

ELEMENTOS DE ÓPTICA E INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS

*INCLUYE EL MANUAL DE LA CALCULADORA
DE OCULARES Y EL LISTADO DE OCULARES*



Ing. Alejandro C. Barelli

<https://www.ocucalc.online>

AGOSTO DE 2024

Contenido

Elementos de óptica geométrica.....	1
Haz de luz.....	1
Índice de Refracción.....	1
Refracción (Ley de Snell).....	1
Lentes.....	2
Espejos.....	4
Diagrama del telescopio - Definición de algunos términos.....	4
Enfocador.....	5
Field stop y baffles (diafragmas).....	5
Principio de funcionamiento del telescopio con ocular.....	6
Apertura.....	7
Distancia focal.....	7
Relación focal.....	8
Distancia focal del ocular.....	8
Ganancia y captación de luz.....	8
Magnitud límite.....	9
Aumento o magnificación (potencia).....	11
Resolución.....	14
Aclaraciones adicionales (Seeing).....	21
Airy Disk (PSF, EE, MTF).....	23
Relación de Strehl.....	40
Parámetros de calidad de un telescopio.....	41
Profundidad de enfoque.....	43
Efectos del seeing (FWHM).....	45
Campo de visión - FOV.....	53
Campo máximo - MFOV.....	54
Campo aparente - AFOV.....	55
Campo efectivo (real) - TFOV.....	56
Campo efectivo en astrofotografía.....	60
Parasoles versus FOV.....	61
Tiempo de tránsito.....	62
Eye relief.....	62
Pupila de salida.....	65
Uso de barlows y reductores focales.....	70
Diseño óptico - Factor de magnificación.....	72
Cota máxima de magnificación.....	74
Reflectores newtonianos - Aberración esférica y coma.....	77
Refractores - Aberración cromática.....	80
Astigmatismo y otras aberraciones.....	83
Patrones de difracción de una estrella para cada tipo de aberración.....	85
Aberraciones, la relación focal y el ángulo de incidencia.....	89
Telescopios luminosos (rápidos) versus oscuros (lentos).....	91
Diseños ópticos.....	94
Resumen.....	96
Anexos.....	99
Transformada de Fourier.....	99
Resumen de las transformadas más usuales.....	107
Resumen de las fórmulas más usuales.....	108
Glosario de términos.....	109
Listado de oculares.....	110
Calculadora de oculares (Manual de uso).....	164
Bibliografía, material recomendado y sitios referenciados.....	176
Contacto.....	185

Acerca de este documento

Si bien varios de los resultados de la calculadora de oculares (así como también los temas que se detallan a continuación) pueden ser válidos en astrofotografía, por lo general, se hará especial hincapié sólo en los aspectos vinculados al campo de la observación (visual), que es para lo que está destinada la calculadora de oculares y, por consiguiente, la presente documentación. Se debe tener en cuenta que además existen ciertas limitaciones o cotas que se aplican para visual, pero que pueden resultar inadecuadas o irrelevantes para astrofotografía (siendo totalmente válida la recíproca). Cada vez que el enfoque difiera significativamente se hará la correspondiente aclaración. Sin embargo, hay casos en los cuales el tratamiento es básicamente diferente, por lo que directamente se las omitirá (por ejemplo, lo referido a la relación focal, sus implicancias y/o limitaciones en visual).

A fin de evitar confusiones se explicitan algunas de las operaciones aritméticas incluyendo el signo de producto 'x' y paréntesis, aun cuando no sean estrictamente necesarios.

*Todo lo que sean enlaces internos o externos se encuentran en color **azul oscuro** (salvo el caso del índice que está este mismo tono de gris). Si el lector de pdf que utiliza tiene deshabilitada esta opción, en el "**Anexo - Bibliografía - Referencias bibliográficas**" se encuentran todos los enlaces a sitios externos de forma explícita (indexados mediante el identificador "\$#").*

En lo que respecta a los enlaces externos, muchos de ellos corresponden a universidades o institutos que suelen reestructurar sus páginas de forma más o menos periódica. Si bien los mismos son verificados en cada revisión de este manual, es posible que alguno de los mismos no se encuentre disponible, en cuyo caso se sugiere buscar en Google por el título, en general sólo son cambios sutiles en la URL. Los enlaces a sitios de terceras partes son responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores y/o responsables.

El sitio <https://www.ocucalc.online> no posee finalidad comercial alguna y está destinado exclusivamente al astrónomo amateur. Salvo el material que sea propiedad intelectual de terceras partes, el restante contenido podrá ser utilizado exclusivamente con fines no comerciales y en sitios relacionados con la astronomía amateur, para lo cual será condición necesaria y suficiente citar la fuente, incluyendo la URL del sitio web de la calculadora de oculares (<https://www.ocucalc.online>) y el nombre del autor.

El material que se detalla a continuación, es propiedad de sus respectivos autores, los cuales mantienen su copyright original: Figuras 1,2, 7 y 14 (5 imágenes) Copyright 2011-2024 by Weather Office, Environment Canada, Government of Canada. Figura 3 Publié par Astrosurf (Portail d'Astronomie des Astronomes Amateurs) Copyright 1997-2024 par Esteban Reina Lorenz. Figura 4 Copyright 2005-2024 by W. M. Keck Observatory. Figura 5 Copyright 2003-2024 by LBT Collaboration, Max-Planck-Gesellschaft, München, Deutschland. Figura 6 Copyright 2012-2024 por Carlos Di Nallo. Figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13 Copyright 2012-2024 by Bruce MacEvoy. Figura 15 Copyright 2009-2024 por Jordi Gallego. Figura 16 Copyright 2012-2024 by Stub Mandrel. Figura 17 Copyright 1994-2024 by The MathWorks, Inc.

Elementos de óptica geométrica

Sin entrar en mayores detalles de óptica geométrica se incluyen una serie de convenciones y conceptos que serán utilizados en explicaciones posteriores.

Haz de luz

Es básicamente un modelo para representar a las ondas electromagnéticas que conforman lo que coloquialmente denominamos luz. A los efectos prácticos lo podríamos asimilar a un láser, aun cuando dicho modelo no representa la forma propagación de la luz.

Índice de Refracción

En el caso de óptica se define **índice de refracción** (n) a la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y su correspondiente velocidad en cierto medio:

$$n = \frac{c}{v}$$

n : Índice de refracción [adimensional] para una dada longitud de onda

c : Velocidad de la luz en el vacío

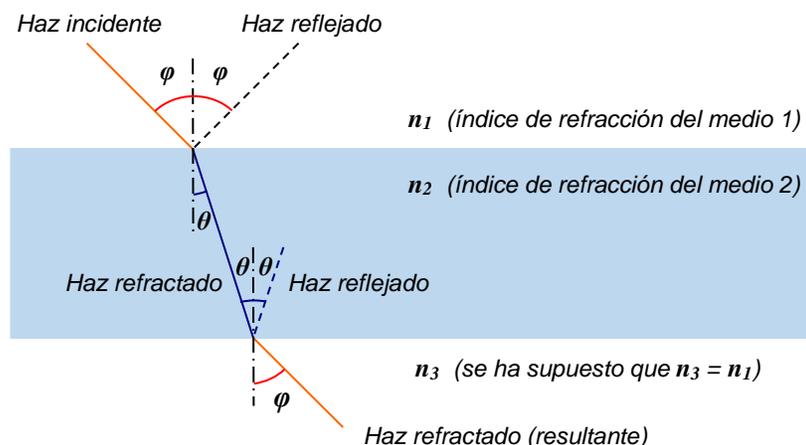
v : Velocidad de la luz en el medio

Dado que $c \geq v$ resulta que siempre $n \geq 1$ y el valor $n = 1$ corresponde al vacío que asimilaremos al aire (en rigor la atmósfera, aunque luego veremos que, si bien se aproxima, depende de otros factores relacionados con la altura).

Refracción (Ley de Snell)

Cuando un haz de luz incide sobre un medio con diferente índice de refracción. Por ejemplo, cuando un haz de luz proveniente del aire incide sobre un cristal, da origen a dos haces de luz:

- Un haz **reflejado** hacia el medio de origen.
- Un haz **refractado**, desviado en el segundo medio.



La **Ley de Snell** establece que: $|n_1 \text{sen}(\varphi)| = |n_2 \text{sen}(\theta)|$

O lo que es equivalente: $\left| \frac{n_1}{n_2} \right| = \left| \frac{\text{sen}(\theta)}{\text{sen}(\varphi)} \right|$ (con θ y φ mayores o iguales a cero y menores a $\pi/2 \equiv 90^\circ$)

De la Ley de Snell y la figura anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

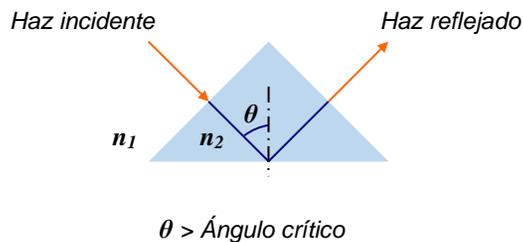
- 1 La **invariabilidad del camino óptico**, si un haz de luz proveniente de un medio n_1 incide sobre un medio n_2 altera su ángulo de salida (θ), pero si nuevamente emerge a un medio n_1 lo hace con el mismo ángulo de incidencia original (φ).
- 2 Un corolario importante de la Ley de Snell es que, si un haz de luz incide sobre otro medio de forma normal, es decir, con un ángulo igual a cero ($\varphi = 0$), mantendrá su camino en el segundo medio ($\theta = 0$), por ende, **no se refracta**.
- 3 Otro importante corolario es que cuando el cociente de los índices de refracción (n_2/n_1 con $n_2 < n_1$) es igual a $\text{sen } (\varphi)$, resulta que el haz incidente es totalmente reflejado, por consiguiente, **no hay refracción**.

A este valor de $\varphi = \arcsen \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$ se lo denomina **ángulo crítico**.

Si por ejemplo $n_1 = 1$ (caso del aire) jamás se tendría ángulo crítico puesto que $n_2 > n_1$, dicho de otra forma, esto sólo ocurre cuando se pasa de un medio con mayor índice de refracción a otro con menor valor.

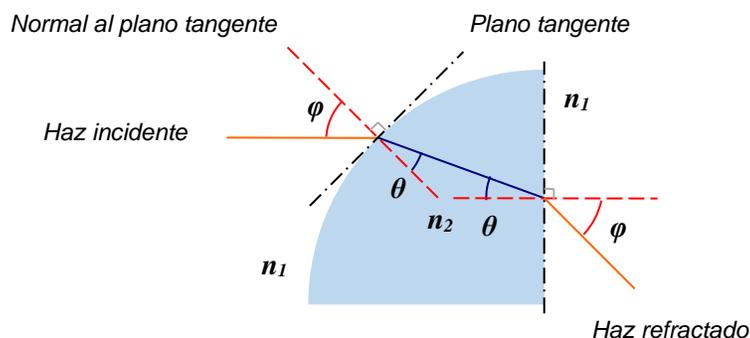
Si $n_1 = 1.33$ (agua) y $n_2 = 1$ (aire) resultaría ser $\theta = \arcsen \left(\frac{1}{1.33} \right) \cong 49^\circ$

Mientras que en el caso de los cristales típicos el valor del ángulo crítico está entre 30° y 46° . Por ejemplo, el caso de un prisma:



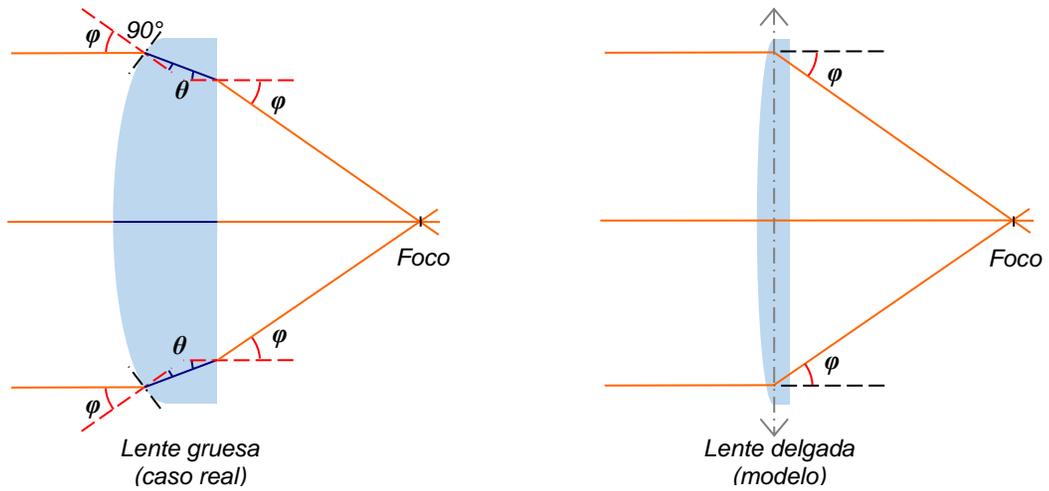
Mientras que en una lente se busca que el haz reflejado sea mínimo, en el caso de un espejo se busca minimizar o anular el refractado. Es precisamente por esto último que los espejos de los telescopios difieren de los tradicionales en que la película reflectora se coloca en la superficie exterior (en el plano de incidencia).

En el caso particular que la interfase entre los materiales no sea un plano como en las figuras anteriores, se aplicará lo mismo para la normal al plano tangente en el punto:

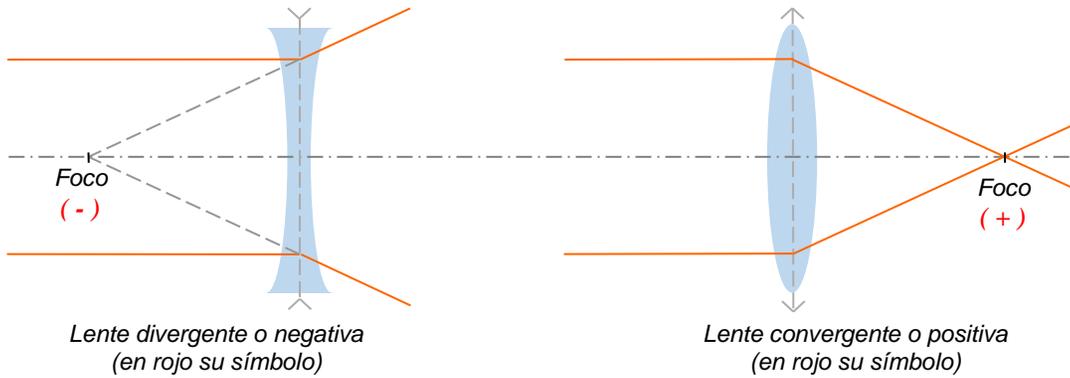


Lentes

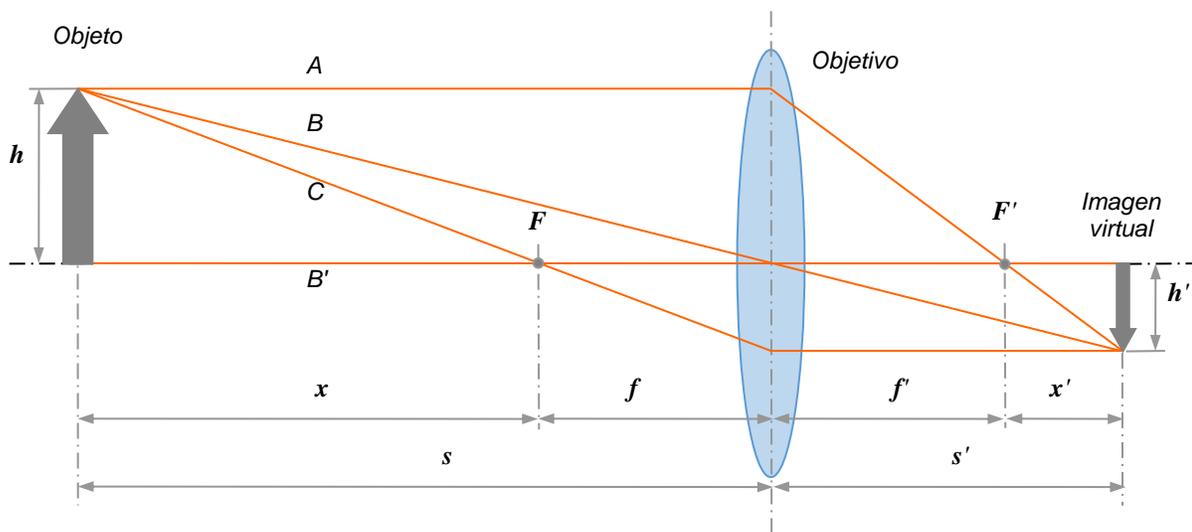
Con base en lo anterior consideremos el caso de una lente típica (también llamada lente gruesa) y su correspondiente modelo (lente delgada):



Formalmente existen dos tipos de lentes, las denominadas lentes divergentes o negativas (por ejemplo, el caso de un barlow) y las convergentes o positivas (el caso de los reductores focales). Lo referente a reductores focales y barlows se tratará en detalle más adelante (ver: [Uso de Barlows y Reductores Focales](#)).



Veamos ahora como se forma una imagen considerando el modelo de lente delgada y convergente:



En la figura se aprecian cuatro haces de luz que resultan relevantes:

- A** Un "haz colimado o paraxial" (paralelo al eje óptico) que sale de la lente pasando por el segundo punto focal F' , formalmente cualquier haz colimado que incide sobre la lente pasará por el punto focal F' y por F si incide del otro lado de la lente (invariabilidad de camino óptico).
- B** Un "haz principal" que pasa por el punto central de la lente y, dado que es un modelo de lente delgada, el mismo no cambia su ángulo de incidencia.
- B'** Un segundo "haz principal y colimado" coincidente con el eje óptico.
- C** Un haz oblicuo que pasa por el primer punto focal F al primer plano principal, el que a su vez sale colimado debido a la invariabilidad de camino óptico.

Por semejanza de triángulos se tiene que:

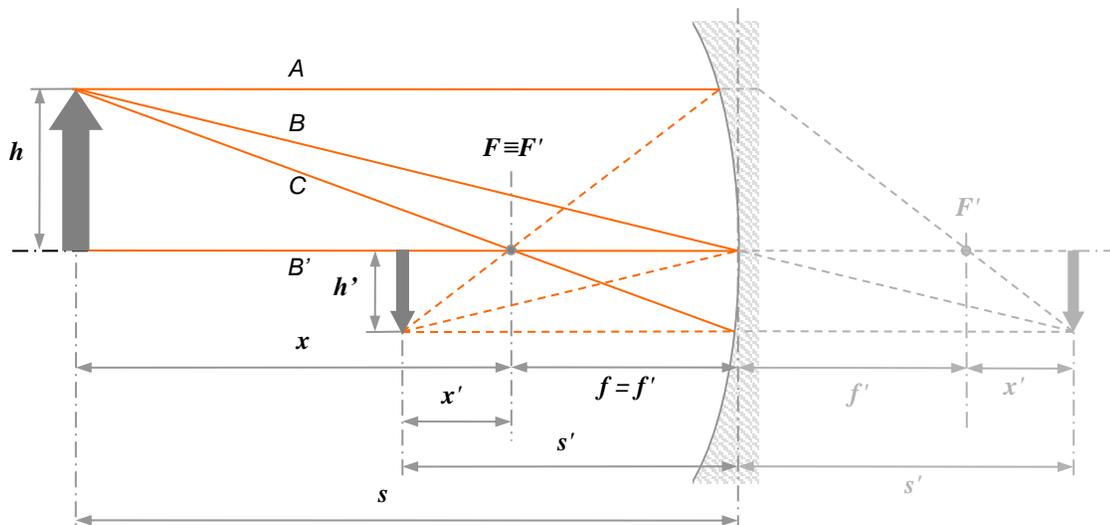
$$\frac{h}{s} = \frac{h'}{s'} \quad \text{y} \quad \frac{h}{f} = \frac{h'}{x'} = \frac{h'}{s' - f'} \Rightarrow \frac{s}{s'} = \frac{f}{s' - f'} \quad \text{Lo que es equivalente a:} \quad \frac{s}{f} = \frac{s'}{s' - f'}, \quad \text{pero como: } f' = -f, \text{ resulta:}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{s} + \frac{1}{f'} \quad (\text{Fórmula de la lente delgada})$$

Por otra parte, la magnificación (aumento) está dado por: $M = \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s}$, reemplazando s' desde la fórmula de la lente delgada ($s' = \frac{s f'}{s + f'}$) se tiene que: $M = \frac{f'}{f' + s}$ (Magnificación para la lente delgada)

Espejos

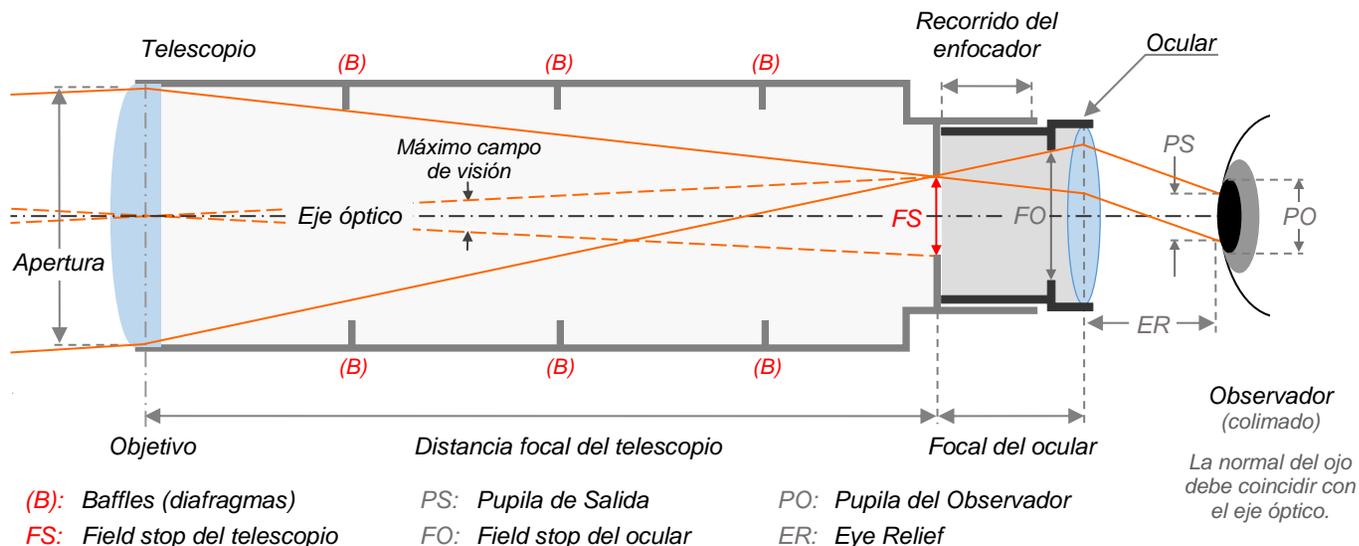
El caso del espejo es totalmente análogo a una lente delgada convergente en cuanto al principio básico, por lo que valen las mismas expresiones.



Tal como se muestra en la figura, equivale a la imagen especular del caso de una lente. La particularidad de este caso es que los puntos focales F y F' se funden en un único punto.

Diagrama del telescopio - Definición de algunos términos

El diagrama que se muestra a continuación es meramente ilustrativo y puede no coincidir con otros diseños, su finalidad es simplemente la de presentar las partes constitutivas de un telescopio.



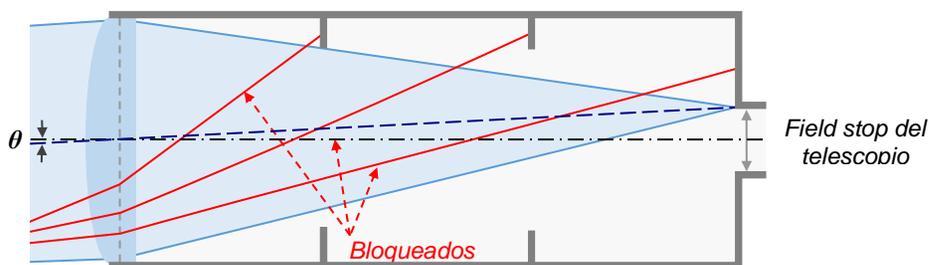
Si bien por comodidad sólo se presentarán los diagramas correspondientes a los refractores, muchas de las conclusiones y definiciones son asimilables a los reflectores newtonianos y los denominados catadióptricos (Maksutov-Cassegrain, Ritchey-Chrétien, Schmidt-Cassegrain, Dall-Kirkham, etc.). Sólo bastaría reemplazar el objetivo por un par de espejos y, eventualmente, una placa correctora en el caso de algunos catadióptricos.

Enfocador

La función del enfocador es la de hacer coincidir el foco del telescopio con el del ocular, ambos en el punto donde se forma la imagen intermedia.

Field stop y baffles (diafragmas)

Su función es básicamente la de restringir los haces de luz parásita en el telescopio y el ocular. Dicho de otra forma, son obstáculos o frenos que limitan los haces de luz indeseados a efectos de obtener una imagen lo más definida posible.

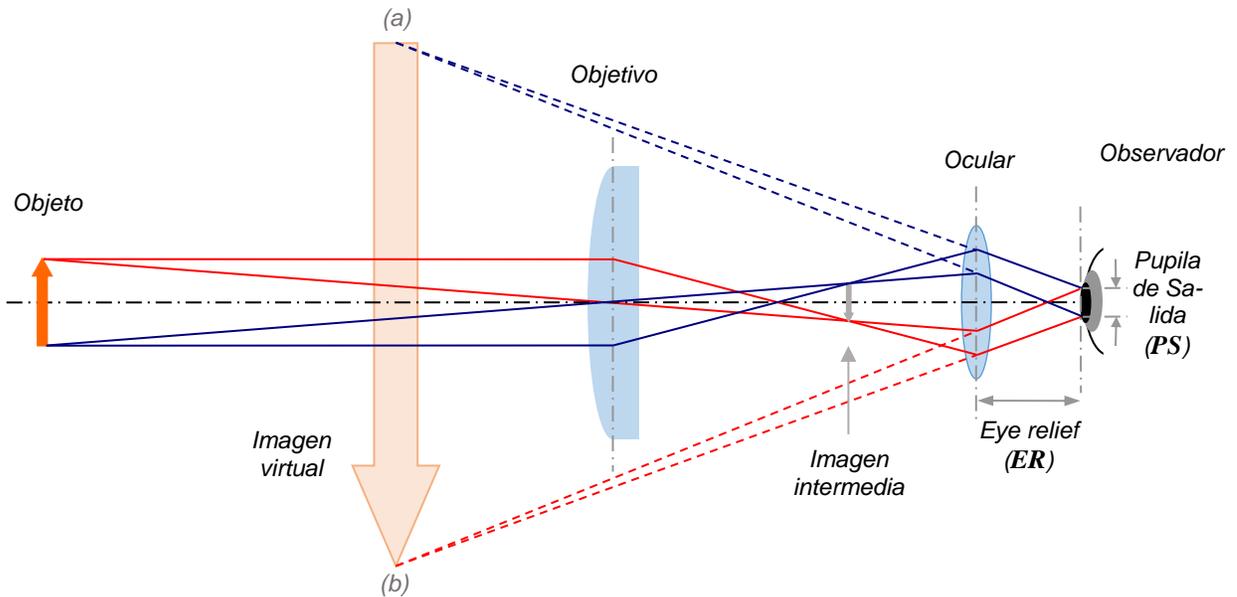


Cualquier haz de luz con un ángulo de incidencia mayor a θ (en valor absoluto) será bloqueado por alguno de los **baffles** o por el **field stop** del telescopio

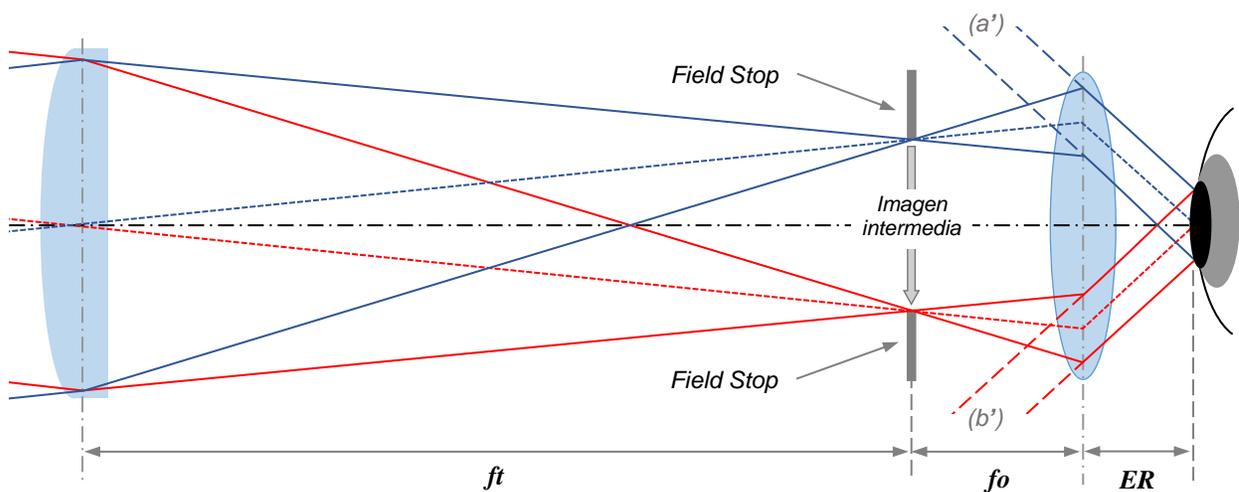
Tal como se indica constituyen simplemente un resguardo adicional para eliminar cualquier haz incidente que se encuentre fuera del campo máximo, evitando así los reflejos internos y/o luces parásitas que pudieran incidir sobre el ocular. Resulta evidente que en el caso de los telescopios **refractores** o **reflectores newtonianos** el **field stop** del telescopio coincide con el enfocador (focuser), sin embargo, no suele ser tan evidente en el caso de algunos diseños catadióptricos (por ejemplo, los Maksutov-Cassegrain y Schmidt-Cassegrain). Cabe señalar que este tipo de limitaciones no afectan la apertura ni la capacidad del telescopio de captar luz. Dichas restricciones están implementadas para aprovechar todo el campo y la captación de luz que puede manejar un equipo para una dada focal y apertura, por consiguiente, no hay ningún beneficio en eliminarlas. Todo lo contrario, eliminar los baffles, el field stop o cualquier restricción que posea un equipo no permite ganar luminosidad o campo, lejos de eso, lo único que se logra es permitir el ingreso de luces parásitas y/o reflexiones internas.

Principio de funcionamiento del telescopio con ocular

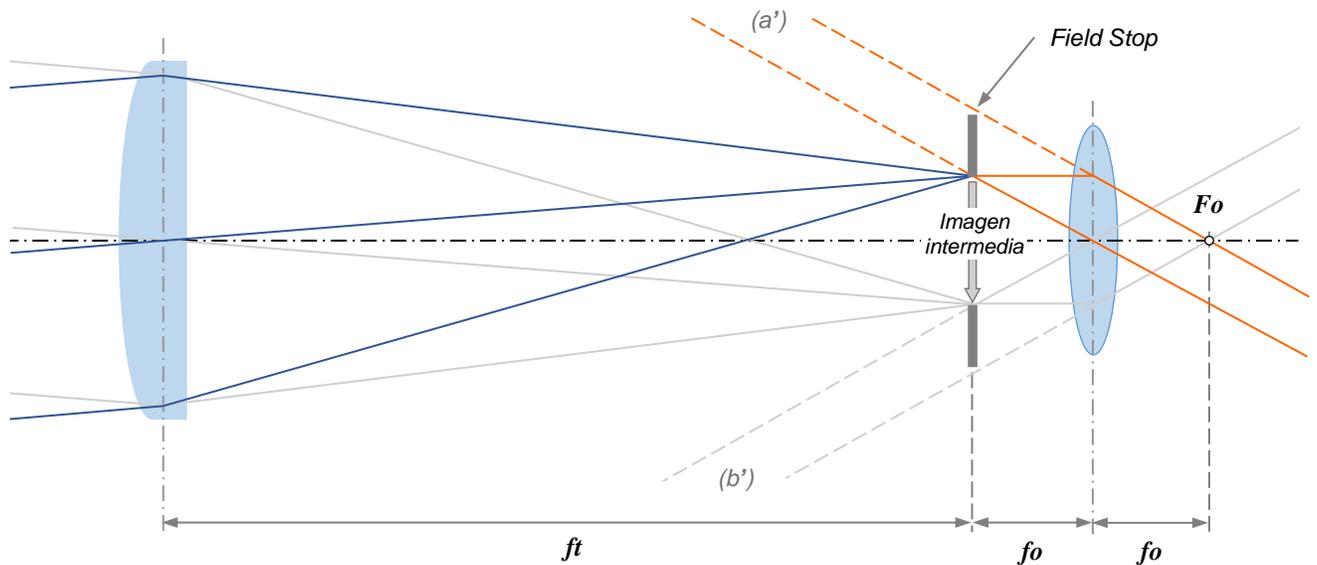
Por último, veamos ahora como se forma la imagen en el caso de un telescopio refractor simple (una sola lente convergente en el objetivo) y su correspondiente ocular (también convergente). Sin entrar en mayores detalles acerca de los diferentes diseños ópticos, se denomina **refractor** cuando su principio de funcionamiento se basa en la refracción de la luz por medio de lentes, a diferencia de los **reflectores** que se basan en la reflexión de la luz mediante el uso espejos (ver: [Diseños ópticos](#)). La figura muestra de una forma simplificada el funcionamiento de un telescopio refractor simple, el cual es similar al diseño de Johannes Kepler, el que no es otra cosa que un diseño mejorado a partir del telescopio de Galileo Galilei (que utilizaba una lente divergente en el ocular). A este diseño suele denominárselo "sistema kepleriano" y será el modelo que utilizaremos en futuras deducciones.



Como se aprecia en la figura, la imagen virtual resulta mucho mayor que la correspondiente al objeto y se encuentra invertida (esto nos muestra que con dos "lupas" se puede hacer un telescopio). En el caso de un espejo el principio de funcionamiento es idéntico. Sin embargo, el modelo anterior sirve para representar la imagen virtual de un objeto ubicado relativamente cerca del objetivo, veamos ahora que ocurre en el caso de un objeto que se encuentra a una gran distancia, que a efectos prácticos podríamos considerar en el infinito. Para ello se utilizará el siguiente modelo para representar el funcionamiento del telescopio con ocular, el cual se basa en el sistema kepleriano anterior:



En la siguiente figura se presenta el mismo modelo, pero simplificado, en este caso se tomará la imagen intermedia formada por el telescopio, pero desde el punto de vista del ocular.



En todos los casos la imagen intermedia queda invertida. En cuanto a la imagen virtual, en el caso de un objeto cercano está definida por las intersecciones de sus respectivas líneas de luz, mientras que en el caso de un objeto en el infinito las intersecciones que determinan la imagen virtual resultan ser (a') y (b') (en rigor dichas intersecciones se darían en el infinito ya que son paralelas).

Apertura

Representa el diámetro del objetivo (típicamente en mm, cm o pulgadas), el cual puede estar conformado por una o más lentes en el caso de los refractores o en el caso de los reflectores por un espejo principal o primario (usualmente esférico o parabólico en el caso de los reflectores newtonianos). Puede que el mismo esté dado en pulgadas, en tal caso sólo debería multiplicárselo por 25.4 para obtener dicho valor en mm (o por 2.54 para obtenerlo en cm).

Precisamente el objetivo es el que se encarga de captar la luz del telescopio, la cual es concentrada y capturada luego por el ocular.

Es un hecho indiscutible que a mayor apertura se logra una mayor ganancia o captación de luz (información), aunque esto también puede ir en contra de la portabilidad. Mucha apertura (más de 200 mm) implica, por lo general, equipos grandes y pesados, en especial si se vive en grandes ciudades donde lo que muchas veces se busca es poder salir al campo. A este respecto una posición muy compartida por varios observadores es que siempre es preferible poca apertura en un buen cielo que mucha apertura en un cielo mediocre (altamente contaminado). Siempre es conveniente tener en mente una regla de oro, la cual es compartida por casi todos los aficionados:

El mejor telescopio es aquel que más se utiliza

Distancia focal

Este parámetro depende de la curvatura del objetivo (frecuentemente es especificado por el fabricante en milímetros) y hace referencia a la longitud efectiva entre el objetivo (lente o espejo primario) y el foco (punto donde convergen los haces de luz colimados) para así obtener una imagen clara y nítida. Como se verá más adelante la distancia focal es directamente proporcional a la capacidad de magnificar el objeto e inversamente proporcional al campo de visión que se puede obtener con el telescopio. En resumen, a mayor distancia focal se tendrá una mayor capacidad de magnificación, pero menor campo de visión.

Al igual que la apertura, la focal también merece algunas aclaraciones especiales, pero por razones prácticas se verán más adelante. Ver: [Telescopios luminosos \(rápidos\) versus oscuros \(lentos\)](#).

Relación focal

En realidad, este es un término que proviene del ámbito de la fotografía y hace referencia al cociente entre distancia focal y la apertura, ambos en las mismas unidades. En algunas oportunidades el fabricante especifica sólo a apertura y la relación focal en lugar de la distancia focal (la que se representa como F# o F/#, donde # es el valor del cociente).

$$F = \frac{ft}{A}$$

F : Relación Focal del telescopio [adimensional]

ft : Distancia focal del telescopio [mm]

A : Apertura del objetivo del telescopio [mm]

A los telescopios con pequeñas relaciones focales (típicamente F6 o menos) se los denomina rápidos o luminosos en cuanto a los tiempos de exposición más cortos en fotografía. En otras palabras, necesita un tiempo menor para captar la misma cantidad de luz que uno lento u oscuro (típicamente F8 o más). Como ya se verá más adelante, al menos en el ámbito de la observación, este parámetro resulta absolutamente irrelevante ya que para el ojo humano no hay diferencia entre un telescopio rápido y uno lento. Simplemente se ha hecho mención a lo de “rápido / lento” por un tema de “usos y costumbres” provenientes del campo de la fotografía.

Distancia focal del ocular

Este valor es equivalente a la distancia focal del telescopio, pero desde el punto de vista del ocular. Este parámetro permite determinar la magnificación o potencia que un ocular provee en un telescopio dado. Pero, a diferencia de lo comentado antes, cuanto más corta es la distancia focal del ocular, mayor será la magnificación o aumento del telescopio.

Ganancia y captación de luz

Dado que la captación de luz es directamente proporcional al área de captura, la ganancia es simplemente la relación geométrica entre el área del objetivo del telescopio y la de la pupila de observador, lo que se traduce en el cociente entre sus respectivos diámetros (o radios) elevado al cuadrado (que sería la ganancia mínima ya que en rigor depende de la pupila de salida que puede ser menor a la del observador, ver [Pupila de Salida](#)):

$$G = \left(\frac{A}{PO} \right)^2 \quad \text{Se ha simplificado el término } \pi/4 \text{ (recordar que relacionan áreas: } \text{área} = \frac{\pi}{4} \text{ diámetro}^2 \text{)}$$

G : Ganancia [adimensional]

A : Apertura del objetivo del telescopio [mm] (supuesta perfectamente circular)

PO : Pupila del observador [mm] (típicamente 6mm y supuesta perfectamente circular)

Esto no deja de ser una aproximación debido a las pérdidas de transmisión, las cuales se dan tanto en los telescopios reflectores newtonianos, catadióptricos y refractores, así como también en los diagonales y oculares.

En cuanto a los **reflectores**, las pérdidas en la superficie del espejo se encuentran en un rango de entre el 2% y el 20%, o aún más, dependiendo del tipo y el estado del revestimiento, así como la de longitud de onda. En el caso de los recubrimientos de aluminio, la pérdida de reflexión dentro del espectro visible es de aproximadamente un 10%, aunque puede reducirse a la mitad con tratamientos más efectivos. En el caso de los revestimientos reflectantes del tipo dieléctrico se puede reducir la pérdida hasta en un orden de magnitud. En el caso de los revestimientos de plata tienen mejor reflectancia para longitudes de onda por encima de 500 nm, y algo inferior por debajo de ese valor, pero no sólo es inestable y se deteriora rápidamente, sino que también es más costoso. Por otro lado, en la mayoría de los telescopios reflectores, se tiene la parte central de su espejo primario oscurecido por un espejo secundario más pequeño (obstrucción central). En general, dependiendo del diseño, el tamaño de dicha obstrucción central es de entre el 15% y el 45% de la apertura, lo que se traduce en una pérdida de luz de aproximadamente entre el 2% y el 20% (visto desde el punto de vista de las áreas).

En el caso de los **refractores** se tienen pérdidas inherentes a las lentes. En general, las lentes pierden la luz debido a la reflexión en la superficie de las mismas y la absorción en el cristal. En lo que hace a las pérdidas por reflexión, el uso de revestimientos antirreflectantes reduce significativamente las pérdidas por reflectancia, incluso los simples como MgF1 (fluoruro de magnesio) reducen la pérdida por reflectividad a cerca del 1% y los más avanzados tienden a casi eliminarlas. Sin embargo, nada se puede hacer respecto a la absorción de luz en los cristales, la cual es mayor o igual al 4% por cada pulgada ($\approx 1.6\% / \text{cm}$) que la luz recorre en el cristal (en el rango de los 400 a los 700 nm) y esto en los cristales con menor grado de dispersión (**Crown**), es aún mayor en los cristales de mayor grado (**Flint**) que se utilizan en los arreglos acromáticos (2 lentes) y apocromáticos (típicamente con 3 lentes). Las pérdidas debidas a la absorción se duplican aproximadamente en las longitudes de onda correspondiente al azul y violeta del espectro visible, en comparación con el verde y rojo. Así pues, la pérdida de luz en los cristales aumenta con el número de superficies no revestidas y la longitud del camino. Por ejemplo, para un doblete sin revestimiento (dos lentes en el objetivo), se tiene una pérdida cercana al 15% debida a reflexión, además de casi un 1% por cada pulgada de apertura debido a la absorción en el cristal (a mayor apertura más grueso es el lente). Sin embargo, en el caso de los dobletes recubiertos, la pérdida por reflexión en el conjunto baja a cerca de un 4%, mientras que la pérdida de la absorción se mantiene.

En los **oculares** las pérdidas son menos relevantes debido a los revestimientos multicapas que prácticamente eliminan los efectos debidos a las reflexiones y, dado que las lentes son más delgadas, las pérdidas por absorción son prácticamente despreciables. Algo similar al caso de los oculares ocurre con los **diagonales**, en cuanto a las pérdidas en la superficie reflectante, en particular en los dieléctricos. En rigor el verdadero poder de recolección de luz de un telescopio está dado por el producto de su área de apertura y el coeficiente de transmisión. En promedio la transmisión de la luz es de aproximadamente el 80% en los telescopios de aficionados de buena calidad, en los extremos se tienen sistemas de baja calidad con sólo el 60% y aquellos de "alta gama" con un 95% o más.

Magnitud límite

La **magnitud** es una unidad relativa relacionada con el brillo de un objeto (planeta, estrella, galaxia, etc.), cuanto más bajo es el número más brillante es el objeto. Los objetos más brillantes pueden tener magnitudes negativas, por ejemplo, -0.01 Alfa Centauro (Rigel Kentaurus), -1.4 Sirio, -2.9 Júpiter, -12.6 la Luna llena y -26.7 la estrella más brillante, el Sol. En rigor, desde los centros densamente poblados los objetos más débiles que pueden observarse a ojo desnudo rondan la magnitud 3, mientras que desde el campo puede llegarse a visualizar a ojo desnudo objetos de magnitud 6 e incluso 7 (dependiendo del observador).

La Magnitud Límite (**MI**) está dada por: $MI = 7.5 + 5 \log\left(\frac{A}{10}\right)$

MI : Magnitud Límite [adimensional]

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

Si se considera una pupila de 6 mm, la magnitud límite se acercaría a 6.4, que coincide con lo que típicamente se puede observar en el campo a ojo desnudo en un buen cielo. Hay que tener en cuenta que la magnitud límite no toma en cuenta las contaminaciones lumínicas o la calidad del cielo, por lo que el límite de aproximadamente 14, que sería la cota para un 200 mm, puede reducirse drásticamente en las ciudades o cielos muy polucionados.

En realidad, la fórmula presentada antes en una aproximación bastante simplificada que no toma en cuenta la pupila del observador, la transmitancia del telescopio y la calidad del cielo. Sin embargo, veremos que es una muy buena aproximación no tan optimista. Sin entrar en los detalles deductivos consideremos la siguiente expresión:

$$MI = m + 5 \log\left(\frac{A \sqrt{T}}{PO}\right) \Rightarrow MI = m + 5 \log\left(\frac{A}{PO}\right) + 2.5 \log(T)$$

MI : Magnitud Límite [adimensional]

m : Máxima magnitud apreciable a ojo desnudo

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

T : Transmitancia del telescopio (mediocre=0.6, bueno=0.8 y excelente=0.95)

PO : Pupila de observador [mm] (típicamente 6 mm)

La fórmula anterior presupone que la pupila del observador es igual a la pupila de salida del telescopio, sin embargo, existe una ganancia debida al efecto magnificador del telescopio cuando la pupila de salida está por debajo de la pupila del observador, lo que se traduce en una ganancia por contraste (ver: [Pupila de Salida](#))

Dicha ganancia es directamente $G = (\frac{PO}{PS})^2$ que multiplica a MI (lo que se traduce en suma para logaritmos):

$$MI = m + 5 \log\left(\frac{A \sqrt{T}}{PO}\right) + \log\left(\frac{PO}{PS}\right)^2 \Rightarrow MI = m + 5 \log\left(\frac{A}{PO}\right) + 2.5 \log(T) + 2 \log\left(\frac{PO}{PS}\right)$$

MI : Magnitud Límite [adimensional]

m : Máxima magnitud apreciable a ojo desnudo

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

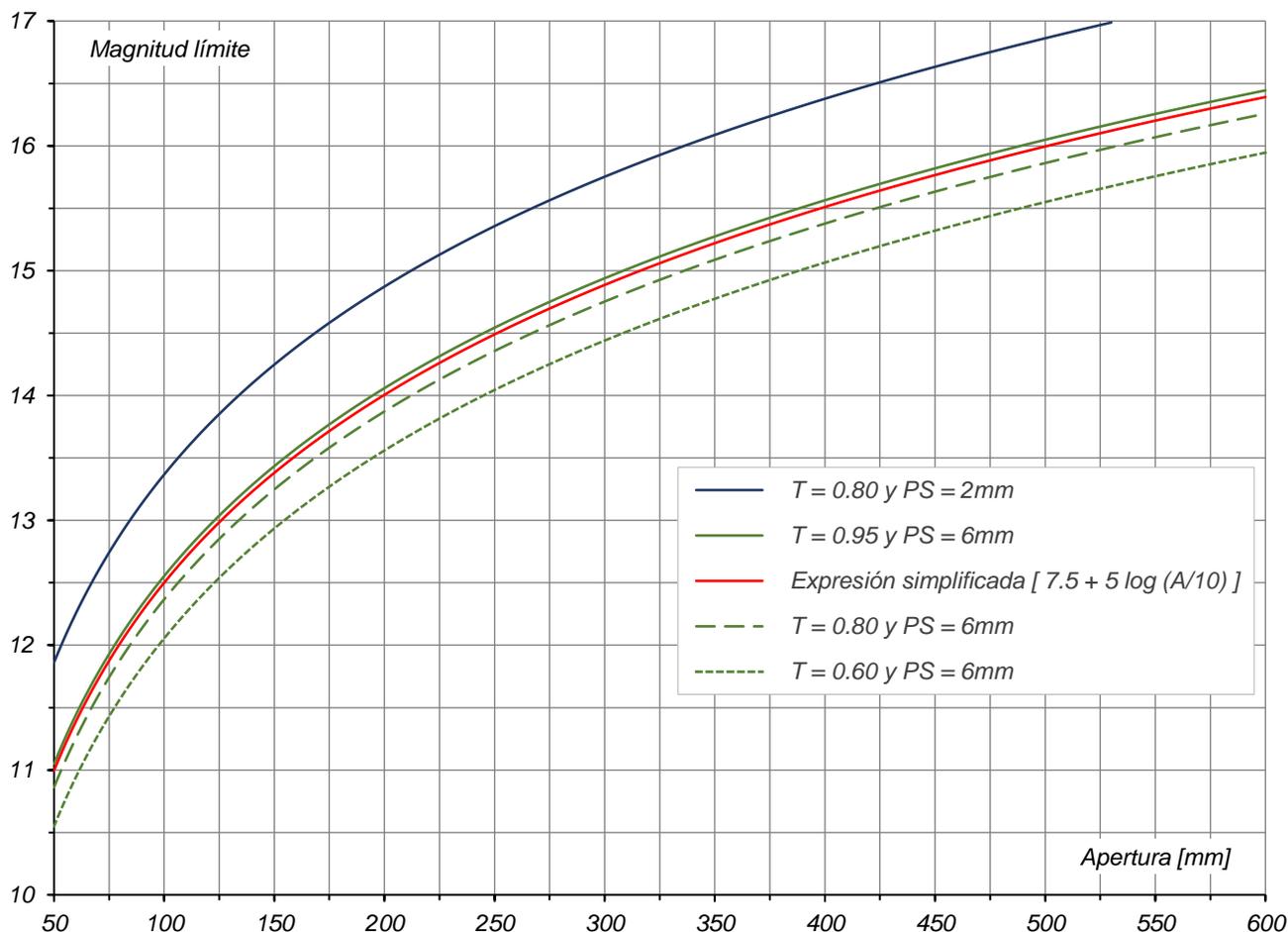
T : Transmitancia del telescopio (mediocre=0.6, bueno=0.8 y excelente=0.95)

PO : Pupila de observador [mm] (típicamente 6 mm)

PS : Pupila de salida [mm]

Como se desprende de la expresión anterior con una pupila de salida 3 veces menor a la pupila del observador se logra acceder a una magnitud más.

A modo de comparación entre las diferentes expresiones, se presentan a continuación los valores de cada una de ellas suponiendo un cielo en el cual la magnitud límite apreciada a simple vista es de 6.5, con una pupila típica de 6 mm.



Cabe destacar que, en el caso de los objetos dispersos, nebulosas por ejemplo, la magnitud suele representar el brillo equivalente, como si el objeto estuviera concentrado en un punto, por lo que resulta frecuente que la magnitud presentada no se corresponda a simple vista con la de una estrella cercana de igual magnitud.

Aumento o magnificación (potencia)

Habitualmente se denomina así al valor que indica “cuántas veces más grande” se ve un objeto a través del telescopio respecto al observado a simple vista (ojo desnudo). Por ejemplo, a 50x (cincuenta aumentos o cincuenta veces magnificado), la Luna (o cualquier objeto que este observando), parecerá ser cincuenta veces más grande respecto al tamaño observado a simple vista.

A diferencia de los binoculares o monoculars, donde es usual que se especifique una magnificación, no ocurre lo mismo en el caso de los telescopios y, a lo sumo, se hace mención al máximo posible (a veces con valores ridículos, como es el caso de algunos “telescopios de juguete” donde se habla de 600x o más en un 70 mm).

Al menos intuitivamente, sabemos que la magnificación depende del ocular que se utilice, ya que al reducir la distancia focal del mismo se obtienen mayores magnificaciones. Considerando un telescopio de focal dada se tendrían los siguientes dos casos para oculares con focales diferentes, a la izquierda un ocular de gran focal y a la derecha otro ocular con una focal considerablemente menor:

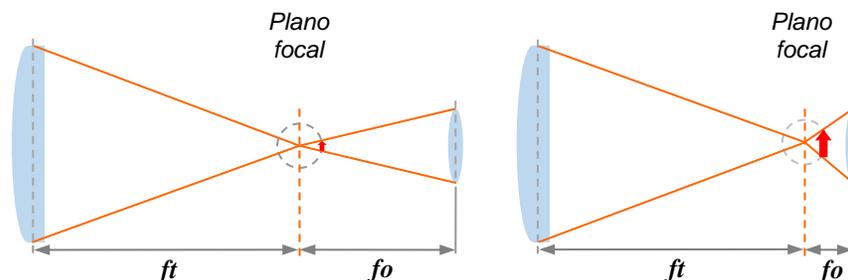
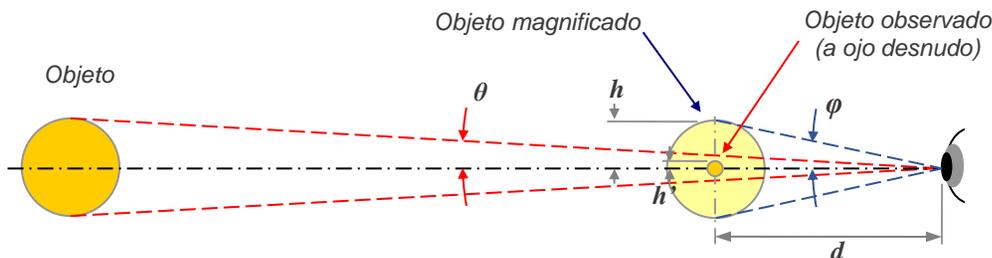


Figura esquemática que no representa el funcionamiento de un telescopio.

Tal como se aprecia en la figura anterior, al reducir la focal del ocular, la porción observada es mayor (representada esquemáticamente por la flecha en rojo). Esto se debe a que el ángulo de ataque sobre la imagen intermedia es mayor.

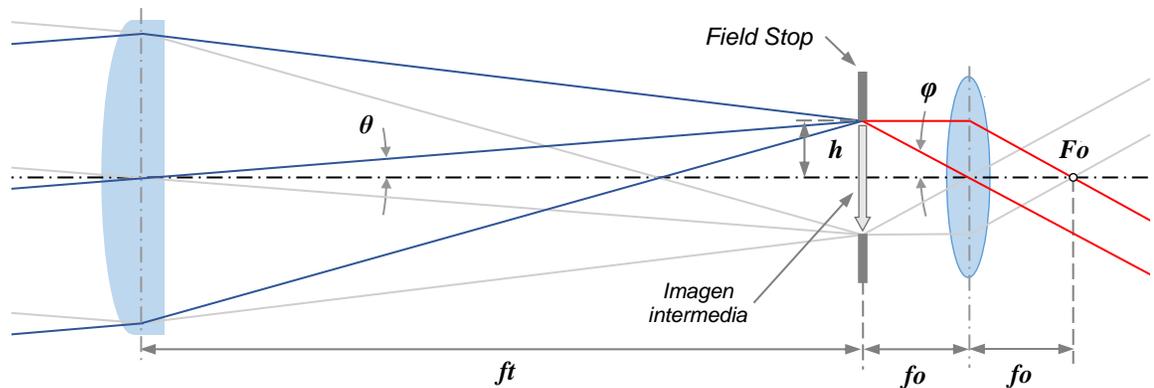
Consideremos ahora el siguiente ejemplo práctico:



Formalmente cuando se habla de magnificación o aumento, como el caso de una lupa, se hace referencia a una relación de tamaños y se define como aumento lateral o transversal que resulta del cociente entre el tamaño observado y el que se observa a ojo desnudo.

Por lo que resulta: $M = \frac{h}{h'}$ Pero como $h = d \times \tan(\varphi)$ y $h' = d \times \tan(\theta)$, resulta que: $M = \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\theta)}$

Sin embargo, en el caso de un telescopio se habla de magnificación angular, la cual se define matemáticamente como el cociente entre los ángulos φ y θ (en radianes). Pero dado que los ángulos involucrados son muy pequeños, el valor del ángulo y la tangente resultan ser casi iguales, con lo que ambas definiciones prácticamente coinciden. Veamos esto, para ello utilizaremos el modelo simplificado del telescopio kepleriano (es decir, tomando la imagen intermedia desde el punto de vista del ocular):



Con base en lo discutido anteriormente se tiene que: $M \cong \frac{\varphi}{\theta}$ (Magnificación angular)

Donde: $\varphi = \arctan\left(\frac{h}{fo}\right)$ y $\theta = \arctan\left(\frac{h}{ft}\right)$

Pero dado que la distancia focal del telescopio (ft) así como la distancia focal del ocular (fo) son mucho mayores que h , resulta que:

$$\varphi \cong \frac{h}{fo} \quad (\text{Si } fo \gg h) \quad \text{y} \quad \theta \cong \frac{h}{ft} \quad (\text{Si } ft \gg h)$$

Esto significa que magnificación resulta ser el cociente entre la distancia focal del telescopio y la focal del ocular, ambas en las mismas unidades:

$$M \cong \frac{\varphi}{\theta} \Rightarrow M \cong \frac{ft}{fo} \quad \text{Alternativamente: } M = \frac{F \times A}{fo} \quad (\text{ya que: } ft = F \times A)$$

M : Magnificación [adimensional, pero suele posponerse una "x" denotando "veces"]

fo : Focal del ocular [mm]

ft : Focal del telescopio [mm]

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] (ft / A)

A : Apertura [mm]

Existe el falso concepto de que el telescopio "más potente" es el mejor (más potente en el sentido de entregar mayor magnificación), de allí que varios vendedores inescrupulosos ofrezcan magnificaciones del orden de 600x o más en un 70 mm (**cosa que es absolutamente imposible**). Como ya se verá, la calidad del cielo difícilmente permita más de 300x o 400x, incluso siendo muy optimista.

Una posible analogía sería suponer que el telescopio es una cámara fotográfica y la cantidad de megapíxeles está dada por la calidad del cielo (atmósfera). En estas condiciones, si el cielo no es capaz de dar más de 2 megapíxeles y se quiere imprimir la foto ampliándola a más de 10x15 cm se va a evidenciar el píxel (el grano en el caso de película). Si por ejemplo se quiere 21x30 cm habrá que esperar que el cielo nos brinde al menos los 8 megapíxeles necesarios para ello. Al menos suponiendo que se quiera mantener la misma calidad de impresión (dpi).

Tomemos por ejemplo una fotografía (originalmente analógica) del interior del Teatro-Museo Dalí (Figueras, Cataluña), en ella se aprecia una de las obras de Salvador Dalí que aparenta ser una pintura de Abraham Lincoln. Si en esas condiciones la magnificamos vemos que no resulta ser muy diferente a la zona resaltada, incluso se podría decir que es peor (lo que se define como “magnificación vacía” y que se verá más adelante).



Sin embargo, si logramos aumentar la resolución del escáner, vemos que ya se aproxima a la imagen real, el retrato de Gala mirando el mar Mediterráneo, 1976; que a 20 metros de distancia se transforma en el retrato de Abraham Lincoln (Homenaje a Rothko).

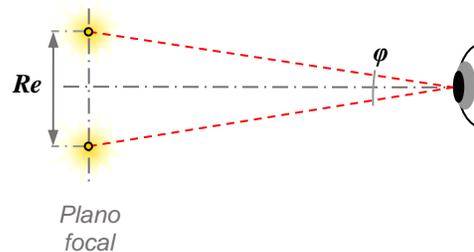


Aunque lo que sigue se tratará en mayor detalle más adelante (ver: [Resolución](#)), la máxima magnificación depende del diseño y la calidad de las ópticas, bien se puede estimar entre dos y dos veces y media la apertura del telescopio expresada en milímetros. Cabe señalar que esas cotas de 2 o 2.5 veces el diámetro de la apertura son condiciones de máxima e ideales, en rigor se recomienda no pasar de una vez el diámetro (usualmente denominada “**Regla de Whittaker**”, ver: *Amateur astronomer’s handbook*, J. B. Sidgwick, 1955, Section 3 - Telescopic function: Magnification and field size - 3.4 Upper limit of useful magnification, página 56).

Resolución

La capacidad de resolución de un telescopio nos dice cuál es el detalle más pequeño que podemos observar (diferenciar) bajo excelentes condiciones atmosféricas. Como se verá más adelante, independientemente de dicha cota, es imposible resolver por debajo de los 0.5 segundos de arco, principalmente debido a las condiciones atmosféricas. Aunque si se quiere ser más conservador habría que hablar de 1 segundo de arco, lo que constituye una cota más realista en un cielo aún excelente. Mientras que en los grandes centros urbanos puede llegar a los 3 o 4 segundos de arco (incluso peor, es decir, aún mayor). Por ejemplo, si podemos diferenciar dos estrellas (de brillo similar) las cuales tienen una separación de 1 segundo de arco (si ambas no se encuentran amalgamadas en un único punto luminoso), entonces diremos que el telescopio está resolviendo detalles de 1 segundo de arco. A este efecto existen tres expresiones que permiten acotar la resolución de un telescopio, los límites de Sparrow, Dawes y Rayleigh.

Límites de resolución		Re (espacial)	φ (angular)	
		[nm / μ m / mm]	[radianes]	[segundos de arco] $\lambda = 550nm$
	Sparrow:	$0.94\lambda F$	$\frac{0.94\lambda}{A}$	$0.2063 \frac{0.94\lambda}{A} \cong \frac{106.6}{A}$
	Dawes:	$1.025\lambda F$	$\frac{1.025\lambda}{A}$	$0.2063 \frac{1.025\lambda}{A} \cong \frac{116.3}{A}$
	Rayleigh:	$1.22\lambda F$	$\frac{1.22\lambda}{A}$	$0.2063 \frac{1.22\lambda}{A} \cong \frac{138.4}{A}$



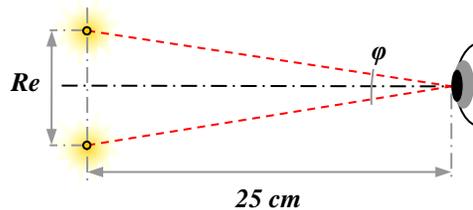
- Re : Resolución espacial en unidades de λ (nm, μ m o mm) ($Re = ft \times \tan(\varphi)$, como $\varphi \ll 1 \Rightarrow Re \cong ft \times \varphi$)
- φ : Resolución angular
- λ : Longitud de onda en mm, se utilizará la correspondiente a la luz verde: $550 \times 10^{-6} \text{mm}$ (550nm)
- A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]
- ft : Focal del telescopio [mm]
- 0.2063** : Conversión de radianes a segundos de arco y de nm a mm: $0.2063 = (180 \times 60 \times 60) / (\pi \times 1000000)$
- F : Relación Focal del telescopio [adimensional] ($F = ft / A$)

Formalmente el más conservador de todos es el Límite de Rayleigh (también denominado “Criterio o regla de Rayleigh”), mientras que el de Sparrow es el más optimista. Aun cuando el que se utiliza con mayor frecuencia en las especificaciones es el Límite de Dawes (que vendría a ser un punto medio entre los anteriores). Normalmente es difícil ver menciones al Límite de Sparrow en astronomía, comúnmente se lo utiliza en microscopía.

En general, cuando se habla de resolución y en particular del Límite de Rayleigh, se lo asocia con la capacidad de separar estrellas dobles o resolver algún cúmulo cerrado. Si bien lo anterior es correcto, estas consideraciones van un poco más allá. Imaginemos que observamos una cebra por un telescopio, si la posibilidad de separar las rayas de la cebra está más allá de la capacidad de resolución del telescopio a lo sumo veríamos algo que se parece a un caballo gris. En otras palabras, resolver un objeto es poder separar la interfase entre dos detalles significativos (en este caso las rayas de la cebra para poder diferenciarla de un caballo).

Veamos un posible uso de esto último, frecuentemente se menciona que la máxima magnificación está dada por 2 veces la apertura. ¿Pero, por qué dos veces la apertura?

Esto se remonta a la década de 1940 cuando Allyn Thompson junto a un grupo de estudiantes intentaron fijar el límite por difracción a ojo desnudo. Para ello utilizaron fuentes puntuales de $7.6 \mu\text{m}$ (0.0003 pulgadas) a 25 cm de distancia de los observadores, los cuales se encontraba en un ambiente parcialmente iluminado (con pupilas dilatadas entre 3 y 4 mm).



Así pues: $Re = 250 \times 2 \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)$, pero dado que $\varphi \ll 1$ resulta que: $\tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) \cong \frac{\varphi}{2} \Rightarrow Re \cong \frac{\varphi}{825}$

Re : Resolución a 25 cm $\cong 250\text{mm}$ [mm]

φ : Resolución angular en segundos de arco.

825 : Conversión de radianes a segundos de arco por la distancia en mm (25 cm) $825 = (180 \times 60 \times 60) / (\pi \times 250)$

Como resultado de esas experiencias llegó a que la máxima resolución para el ojo humano estaba entre 0.30 y 0.35 mm (aproximadamente 4 y 5 minutos de arco respectivamente), alcanzando en algunos casos 0.15 mm (2 minutos de arco) y sólo en un caso 0.07 mm (un minuto de arco). Promediando luego los valores obtenidos, concluyó que valor típico era 4 minutos de arco y utilizando luego el límite de Dawes arribó de llega a que la máxima magnificación estaría en 2 veces la apertura del telescopio (2.5 en el caso de 5 minutos de arco). En efecto, por un lado, se tiene que el ojo humano en promedio es capaz de resolver dos fuentes puntuales con una separación angular de: $\varphi = 240$ segundos de arco y por otra parte, aplicando Dawes, se tiene que el límite de resolución angular θ para un telescopio con apertura A , está dado por:

$$\theta = \frac{116.3}{A}$$

Por lo que la magnificación resultante (M) para que una separación angular θ pueda ser resuelta por el ojo promedio ($\varphi = 240''$), resulta ser:

$$M = \frac{\varphi}{\theta} \Rightarrow M = \frac{240}{116.3} A \Rightarrow M \cong 2A$$

Suponiendo ahora que se considera una separación angular de $\varphi = 300$ segundos de arco, la magnificación máxima resultante (M) sería:

$$M = \frac{300}{116.3} A \Rightarrow M \cong 2.5A$$

La máxima magnificación estaría entre 2 y 2.5 veces la apertura

Se debe tener en cuenta que esta limitación sólo es válida para la observación visual, obviamente no aplica en el caso de astrofotografía.

Para mayor información se puede consultar: *Making your own telescope*, Allyn J. Thompson, 1973, *Resolving power*, página 172-174.

Si se aplicara el criterio de Rayleigh en los dos casos anteriores resultaría que para 240 y 300 segundos de arco se tendría:

a) Para $\phi=240$ segundos de arco $\Rightarrow M \cong 1.7A$

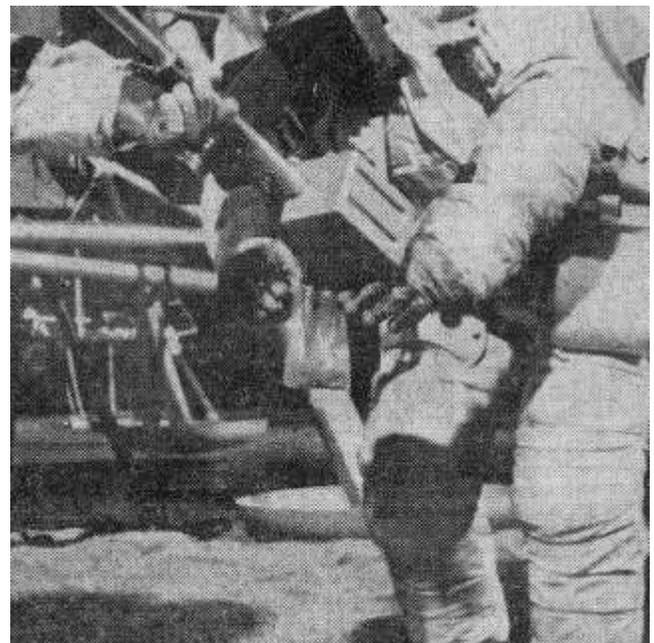
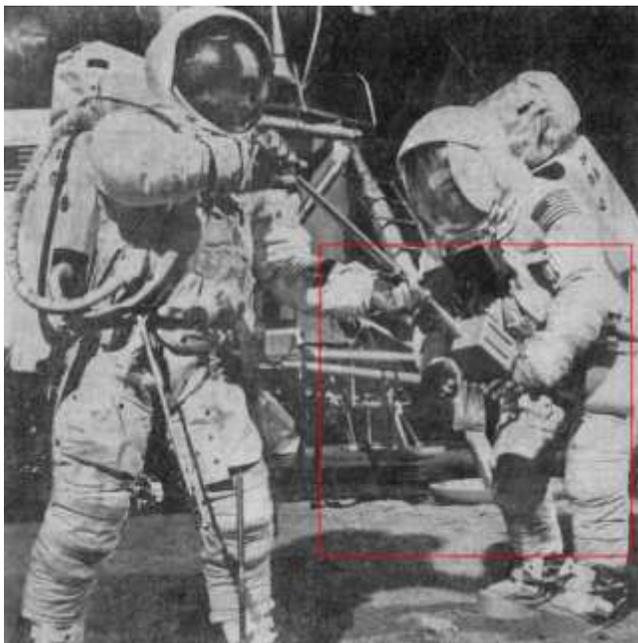
b) Para $\phi=300$ segundos de arco $\Rightarrow M \cong 2.2A$

En resumen, dependiendo del observador, el poder separador del ojo (Re) a 25 cm para diferentes condiciones de dilatación y contraste varía entre 0.07 y 0.35 mm (1 y 5 minutos de arco respectivamente). Esto se traduce a magnificaciones de entre 0.5A y 2.5A si se aplica el límite de Dawes y, en caso de aplicar el criterio de Rayleigh, sería entre 0.4A y 2.2A, aunque a todo esto habría que sumarle las restricciones que se pudieran dar a raíz de la mala calidad de la atmósfera.

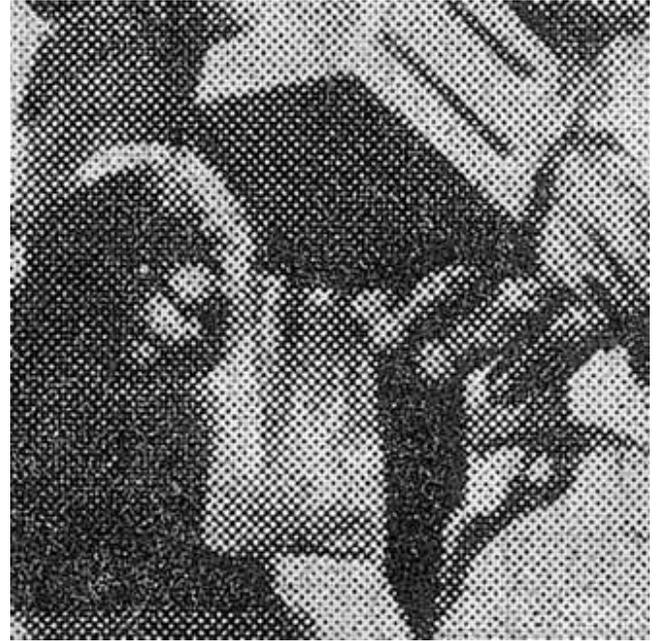
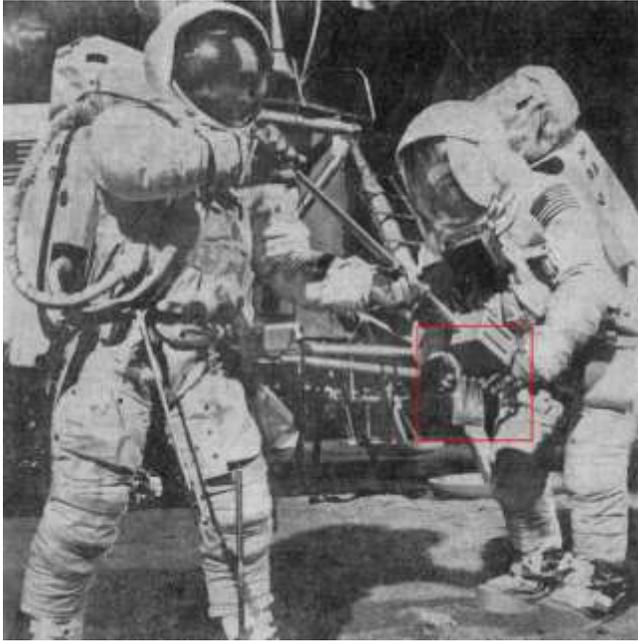
Pero... ¿Cuánto menor sea el poder resolutivo del ojo, mayor es la magnificación?

Sería lógico plantearse que si el límite superior está en 0.35 mm (correspondiente a 300 segundos de arco), por qué no magnificar más allá de ese valor y así evidenciar aún más los detalles. Sin embargo, eso no resulta ser lo más adecuado, en general, lo deseable es que la imagen capturada posea un tamaño tal como para hacer que el detalle más pequeño resuelto por el telescopio ocupe un espacio equivalente a aproximadamente Re en la imagen apreciada por el observador. La magnificación que da una imagen de esas características se denomina **magnificación útil**. Cualquier magnificación en exceso se denomina **magnificación vacía**, ya que no revela ningún detalle en el objeto. En realidad, no es recomendable una magnificación vacía, ya que suele ir acompañada de un aumento en las aberraciones en las ópticas y pérdida de contraste debida a una reducción en la iluminación del campo. Si se quiere se lo puede asociar al caso de película fotográfica, magnificar demasiado pone en evidencia el grano y, lejos de aportar información, los espacios entre granos producen pérdida de contraste y definición. Por lo tanto, la magnificación máxima útil es usualmente la magnificación óptima.

Un ejemplo de magnificación vacía sería el de las fotografías de los periódicos de hace algunos años, en las cuales se evidenciaba el grano en forma de puntos debido a las técnicas de impresión de esa época. Tomemos por ejemplo la foto de abajo publicada en la portada del *Auckland Star Monday* (New Zealand) el 21 de julio de 1969.



Se observa que al ir magnificando comienzan a evidenciarse cada vez más los puntos antes mencionados. Si bien se ha magnificado una porción de la fotografía, al menos en cuanto a detalles, el resultado es discutible. Veamos que sucede si seguimos magnificando.



Resulta evidente que por encima de cierto valor sólo lograría evidenciar una serie de puntos sin demasiado significado, al punto de hacer incomprensibles las imágenes. Si no hubiéramos visto las anteriores, difícilmente podríamos intuir que se trata de dos manos sosteniendo una bolsa de muestras, es obvio que seguir magnificando carece de sentido.

Resulta evidente que, si un observador puede resolver 1 minuto de arco, a los efectos prácticos para ese observador cualquier magnificación por encima de $A/2$ resulta en “magnificación vacía”. Por lo que la máxima magnificación estaría entre el 0.5 y 2.5 veces el diámetro dependiendo del poder resolutor del ojo (entre 1 y 5 minutos de arco respectivamente). En general con un Re de entre 0.15 y 0.22 mm (correspondiente a 2 y 3 minutos de arco) se estaría en presencia del óptimo para el detalle más pequeño resuelto por el telescopio para objetos extensos, mientras que para objetos puntuales el óptimo de Re estaría entre 0.30 y 0.35 mm (4 y 5 minutos de arco respectivamente). Por encima de esos valores ya se la considera “magnificación vacía”.

Es importante señalar que si bien las experiencias anteriores no tomaron en cuenta algunas aberraciones, como se verá a continuación, los resultados siguen siendo válidos. Veamos que sucede si analizamos lo anterior desde el punto de vista estricto de la resolución, es decir, aplicando los límites de resolución al ojo. En otras palabras, si el ojo humano no poseyera ningún tipo de aberración se podría aplicar por ejemplo el criterio de Rayleigh al diámetro de la pupila, por lo que resulta entonces que la resolución del ojo humano estaría dada por:

$$\varphi \cong \frac{138.4}{PO}$$

Lo que lograría un φ de aproximadamente unos 23 segundos de arco para una pupila típica de 6 mm de diámetro, pero teniendo en cuenta que la resolución a 25cm está dada por:

$$Re \cong \frac{\varphi}{825}$$

Resulta que para $\varphi = 23$ segundos de arco, se tiene: $Re \cong 0.03$ mm

PO : Pupila del observador [mm]

Re : Resolución a 25 cm [250 mm]

φ : Resolución angular en segundos de arco.

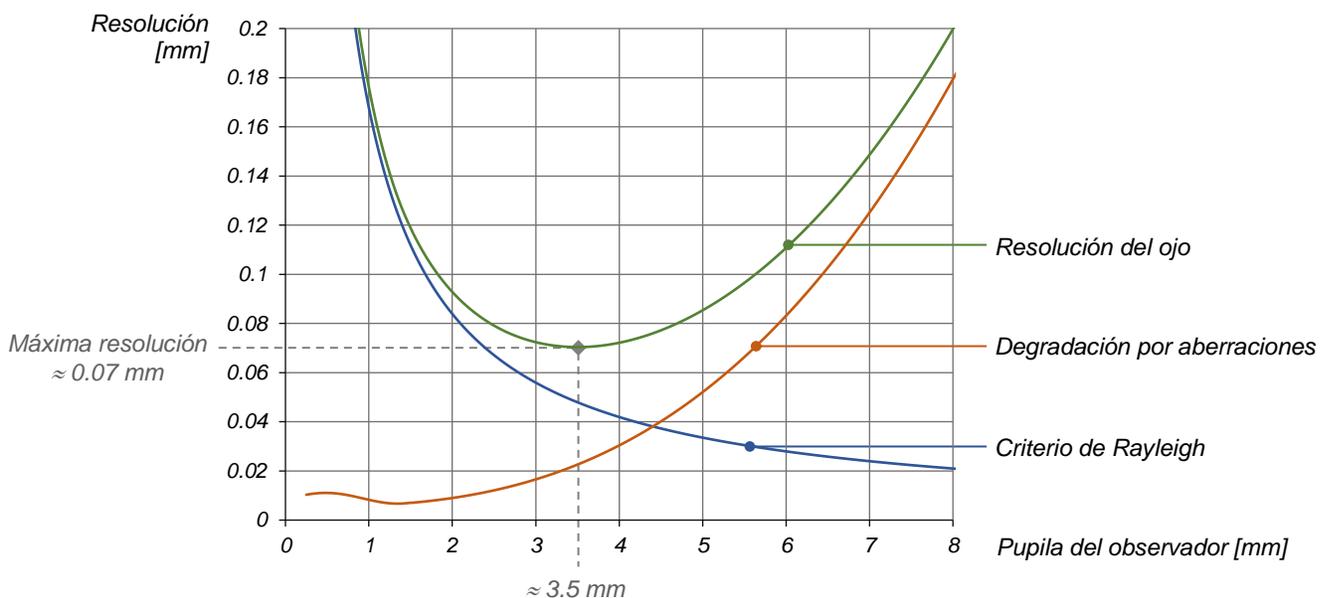
825 : Conversión de radianes a segundos de arco por la distancia en mm (25 cm) $825 = (180 \times 60 \times 60) / (\pi \times 250)$

Pero según las experiencias de Thompson no habría evidencia de que se pueda resolver más allá de 0.07 mm (60 segundos de arco), lo que nos llevaría a cuestionar si realmente es aplicable el criterio de Rayleigh en este caso o, en su defecto, si son correctos los resultados obtenidos por Thompson o que todo pasa por considerar que Thompson no utilizó ese nivel de dilatación.

Lo que ocurre es que a medida que la pupila se dilata se evidencian ciertas **aberraciones propias del ojo humano**, con una pupila (**PO**) de hasta 3.5 ± 0.5 mm la resolución del ojo humano sigue aproximadamente el criterio de Rayleigh, lo que es coincidente con la dilatación de pupila en las experiencias de Thompson y no por simple coincidencia. Razón por la cual si es correcto afirmar que con una pupila menor que dicho valor se cumple con el criterio de Rayleigh:

Es decir: $\varphi \cong \frac{138.4}{PO}$ Donde: $PO < 3.5 \pm 0.5$ mm

Por encima de ese valor de dilatación, el poder resolutivo del ojo disminuye en casi la misma proporción debido a las mencionadas aberraciones propias del ojo humano, por lo que deja de ser aplicable el criterio de Rayleigh. Esto último se pone en evidencia en la figura que sigue:



En general es imposible que el ojo humano pueda resolver por debajo de los mencionados 0.07 mm, ya que para eso se necesitaría una pupila mayor a 3.5 mm, pero justamente al superar ese valor de pupila es que comienza a decrecer el poder resolutivo del ojo.

Con base en lo discutido es obvio que carecería de sentido intentar magnificaciones por encima de entre 2 y 2.5 veces la apertura ya que no se logra ningún beneficio en lo que respecta a apreciar detalles, Pero como eso es algo que depende del observador, incluso con magnificaciones menores a 2 veces el diámetro podríamos estar hablando de magnificación vacía (aun con magnificaciones equivalentes a 1.7 veces el diámetro o menos), al menos en condiciones reales. Para mayor información se puede consultar: Light, Robert. W. Ditchburn, 1958, 8.7. Limit of resolution for the eye, página 230.

A continuación, se presenta un cuadro con las magnificaciones más adecuadas para cada tipo de observación (cielo profundo, planetaria, etc.). En la misma aparecen un par de condiciones resaltadas:

- a) La primera ($M=A/PO$). Si bien es algo que se tratará luego, se relaciona con la mínima magnificación que se puede obtener sin efectos indeseados (ver: [Pupila de Salida](#)),
- b) La última $M = 2A$ hace referencia a lo tratado en esta sección.

En cualquier caso, ninguna de esas condiciones resulta demasiado recomendable debido a que se estaría trabajando en los límites del equipamiento, el ojo o, como ya se verá en breve, de lo que el cielo es capaz de brindar.

Magnificación (A: Apertura)	Focal del ocular (F: Relación Focal)	Descripción
$\frac{A}{PO}$	$F \times PO$	Esta regla fija la mínima magnificación como el cociente entre (A) la apertura y (PO) la Pupila de Salida del observador totalmente dilatada. Esta regla parte de la base de que una menor magnificación produciría pérdida de luz. Sin embargo, adolece de un defecto, pocos observadores conocen el valor de su pupila dilatada, que puede oscilar entre 4 y 9 mm. (1)
$\frac{A}{4}$ hasta $\frac{A}{3}$	$3F$ hasta $4F$	Esta cota para la magnificación mínima es bastante más realista y ofrece vistas de muy buena calidad en cielo profundo incluso con cielos muy contaminados. Sin embargo, es poco efectiva en el caso de observación planetaria. De cualquier forma, se debe recordar que por encima de los 3.5 ± 0.5 mm comienzan a ser relevantes las aberraciones propias de ojo humano . (1)
$\frac{A}{2}$	$2F$	Posiblemente sea la magnificación óptima y se corresponde con en el límite inferior de la capacidad de resolución que según se comentó ronda el minuto de arco y concuerda con un Re de aproximadamente 0.07 mm en las experiencias de Thompson. Aunque aún puede no resultar suficiente para planetaria cuando se tiene poca apertura, si resulta ser adecuada cielo profundo.
A	F	Esta magnificación equivale a una resolución de aproximadamente dos minutos de arco y concuerda con un Re cercano a 0.20 mm , que según Ditchburn (2) es el óptimo para que el detalle más pequeño pueda ser resuelto por el telescopio (aplicando el criterio de Rayleigh), por encima de este valor ya se la considera "magnificación vacía" para objetos extensos. A esta cota se la denominada " Regla de Whittaker " (3). Por lo general, es adecuada para cielo profundo con objetos no muy dispersos tanto como para planetaria con aperturas por encima de los 150 mm.
2A (o más)	$\frac{F}{2}$ (o menos)	Esta magnificación equivale a una resolución de cuatro minutos de arco, lo cual de por sí es algo bastante optimista. Por otra parte, es altamente dependiente de las condiciones de la atmósfera y son pocas las veces que se puede llegar a este valor con grandes aperturas. Esto equivale a un Re de aproximadamente 0.30 mm , ya por encima de ese valor o 0.35 mm se habla de "magnificación vacía" para objetos puntuales. Esto es algo que sólo se puede establecer probando oculares para ver hasta donde se puede llegar, en especial para la separación de estrellas dobles (que es para lo que resulta adecuada esa magnificación).

(1) Se debe tener en cuenta que las dos primeras filas hacen referencia a magnificaciones mínimas, que es algo que luego se verá en detalle, ver: **Pupila de Salida**.

(2) Light, Robert. W. Ditchburn, 1958, 8.7. Limit of resolution for the eye, página 230

(3) Amateur astronomer's handbook, J. B. Sidgwick, 1955, Section 3 - Telescopic function: Magnification and field size, 3.4 Upper limit of useful magnification, página 56

Como ya se ha mencionado en el cuadro anterior, en el caso de objetos extensos, lo más adecuado es considerar valores entre 1 y poco menos de 2 minutos de arco, lo que respectivamente se traduce en magnificaciones equivalentes a la mitad de la apertura y a la apertura. Por encima de esos valores ya se la considera "magnificación vacía" en el caso objetos extensos. Sin embargo, en el caso de los objetos puntuales, el punto en el que se comienza a tener una "magnificación vacía" estaría entre 2 y 2.5 veces la apertura. En ambos casos dependiendo del observador.

A diferencia de la resolución del ojo, donde frecuentemente se habla de una resolución espacial a 25 cm (**Re**), en el caso del telescopio se habla de los límites de Rayleigh o Dawes, que nos brindan una medida en segundos de arco de la posibilidad de separar estrellas dobles e incluso detalles de un objeto extenso.

¿Por qué expresamos la resolución en segundos de arco?

Como se verá a continuación, la resolución de un objeto en la Luna con un telescopio de 200 mm (8") es de aproximadamente dos kilómetros y medio, esto significa que a los efectos prácticos cualquier cosa que se encuentre en un círculo de 2.5 km de diámetro para nosotros estaría fundido en un punto (algo así como un píxel en el sensor que tenemos en el ojo). Pero si observamos el Sol con el mismo telescopio (siempre con algún filtro adecuado y especialmente diseñado para ello, **jamás improvisar con el Sol**), resulta que no podremos separar nada de poco más de mil kilómetros (ya que está aproximadamente 400 veces más distante que la Luna). Resulta obvio que este método es absolutamente impracticable más allá de algunos pocos objetos, ya que es necesario saber la distancia del objeto a observar para poder ponderar que podemos separar y que no.

¿Qué tiene en común la posibilidad de separar algo en la Luna y el Sol? El ángulo (que es tan pequeño que se confunde con el arco tangente), por eso se especifica en segundos de arco.

A modo de ejemplo práctico intentaremos calcular el objeto mínimo que se puede resolver en la Luna o el Sol. Utilizando conservadoramente el Límite de Rayleigh (para ponerse en el peor caso) multiplicado por dos y evaluando la distancia al objeto para así obtener el tamaño mínimo del objeto que se puede resolver a una cierta distancia "d". Si las condiciones del cielo no fueran las adecuadas, se debería multiplicar este valor por dos (incluso por seis u ocho si se consideran cielos urbanos). De todas formas, hay tener en cuenta que las correcciones anteriores serían válidas mientras no se esté por debajo de los 0.5 segundos de arco, si este es el caso los valores presentados son simplemente teóricos y pueden diferir de los reales en más de un orden de magnitud. En resumen, mientras no se superen los 275 mm de apertura (aproximadamente 11"), los valores se mantendrían dentro de lo razonable y las correcciones serían factibles (por ejemplo, multiplicando por 2 para considerar un cielo más realista y por 6 u 8 en el caso de cielos urbanos).

Con base en lo anterior: $2 \times \text{Rayleigh} = 2 \frac{1.22 \lambda}{A} \cong \frac{0.001342}{A}$ expresado en radianes para $\lambda=0.000550 \text{ mm}$

Por lo que: $R = d \times \tan\left(\frac{0.001342}{A}\right)$, pero dado que $0.001342 \ll A$, resulta ser que: $R \cong 0.001342 \frac{d}{A}$

En suma, dado que: $d_{Luna} = 384400 \text{ km}$ y $d_{Sol} = 149597870 \text{ km}$

Resulta:

$$R_{Luna} \cong \frac{516}{A} \text{ km} \quad \text{y} \quad R_{Sol} \cong \frac{200760}{A} \text{ km}$$

R : Mínimo objeto resuelto [km]

λ : Longitud de onda en mm (se ha utilizado 550 nm correspondiente a la luz verde, expresado en mm)

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

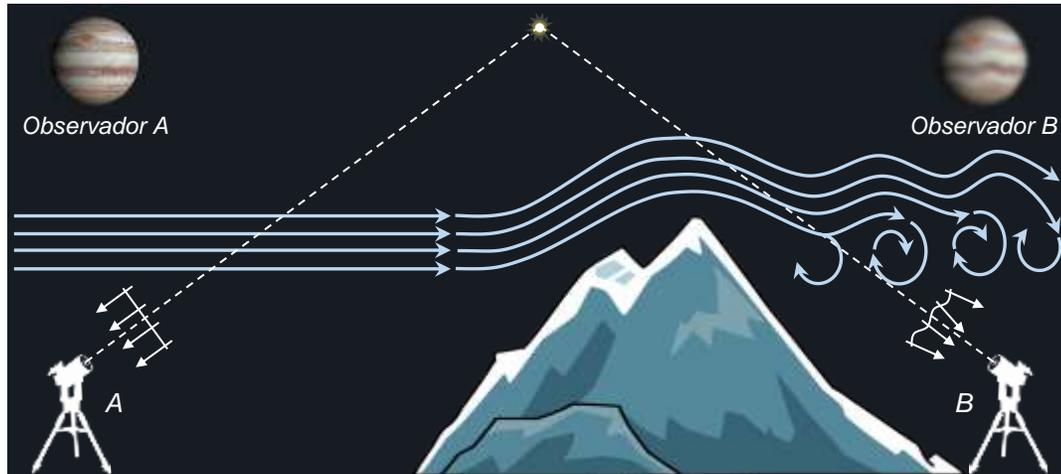
d : Distancia al objeto [km]

A modo de resumen se presentan las resoluciones aproximadas en la Luna y el Sol para algunas de las aperturas disponibles en el mercado (no se incluyen aperturas mayores ya que superarían los 0.5 segundos de arco):

A	[mm] [(")]	66 (2.6)	76 (3)	80 (3.15)	102 (4)	114 (4.5)	127 (5)	152 (6)	180 (7)	203 (8)	234 (9.25)	254 (10)	280 (11)
φ	[arcsec]	2.10	1.82	1.73	1.36	1.21	1.09	0.91	0.78	0.68	0.59	0.54	0.50
R_{Luna}	[km]	7.81	6.77	6.45	5.08	4.51	4.06	3.39	2.90	2.54	2.20	2.03	1.85
R_{Sol}	[1000 km]	3.04	2.63	2.51	1.98	1.75	1.58	1.31	1.13	0.98	0.85	0.79	0.72

Aclaraciones adicionales (Seeing)

Siguiendo con la Luna, sería lógico suponer que si tenemos un telescopio con la suficiente apertura (algunos kilómetros) podríamos ver las pisadas de Neil Angstrom en la Luna o al menos el módulo de descenso. Lamentablemente nunca podríamos lograr algo así, al menos no desde la Tierra. Esto no significa que el Límite de Rayleigh no sea aplicable, en realidad se debe a que la atmósfera “distorsiona” lo que vemos, por lo que existe -valga la redundancia- un límite para el Límite de Rayleigh. Dicha distorsión se relaciona directamente con calidad de la atmósfera y, en particular, con las turbulencias que impactan sobre los flujos laminares presentes en la misma. Antes de llegar a la atmósfera se tiene un frente de onda cuasi perfecto, pero al entrar a la atmósfera el mismo se degrada debido a esas imperfecciones y el lugar de ver las estrellas como puntos fijos se ven titilar a simple vista o como una mancha difusa con movimientos aleatorios en el telescopio. Si bien más adelante se ve con mayor detalle, la suma de estos efectos se denomina **Seeing**, aunque sería más adecuado hablar de “**Nivel de Seeing**”.



En la figura se muestra un ejemplo del frente de onda con un buen seeing debido a un flujo laminar de aire (“A”) versus el frente de onda debido mal seeing debido al aire turbulento (“B”), que en este caso se origina a consecuencia de un obstáculo (cerro o montaña).

Volviendo al tema de la resolución, uno tendería a pensar que resolver con un límite de un segundo de arco es insuficiente para gozar de un buen espectáculo. Sin embargo, no es tan poco, llevándolo a algo más terrestre, equivaldría a poder determinar si lo que viene de frente en la ruta es un auto o una moto a unos 300 km de distancia (aunque en la realidad esto sería imposible debido a la curvatura de la Tierra). Tomando en cuenta lo anterior lo que nos aportaría la apertura es poder determinar si se trata de un auto o un camión, pero sin más detalles significativos (por ejemplo, el logo de la marca, al menos a esa distancia).

Otra aplicación del límite de Rayleigh (condición menos optimista) es utilizarlo para relacionar las cotas de magnificación y la calidad del cielo, equiparando para ello la resolución en segundos de arco con la apertura que entregaría el mismo valor de resolución y multiplicando así dicha apertura por el “Factor de magnificación adoptado (FM)” (ver: [Diseño óptico - Factor de Magnificación](#)). Si bien esta ponderación no toma en cuenta otros aspectos relevantes, constituye una aceptable primera aproximación en cuanto a las posibilidades del cielo (esto se encuentra implementado en la calculadora de oculares). Así pues, si la máxima magnificación que se puede obtener está en el orden de $M = 280x$, equivaldría a la cota de un equipo con apertura $A = 140 \text{ mm}$ (tomando $FM=2$), cuyo Límite de Rayleigh es $R\phi \cong 1 \text{ segundo de arco}$. Dicho de otra forma, suponiendo que se está en límite del equipo en cuanto a la cota de magnificación ($M = 2A$), se podría relacionar M con la resolución angular $R\phi$ (Límite de Rayleigh) mediante la apertura:

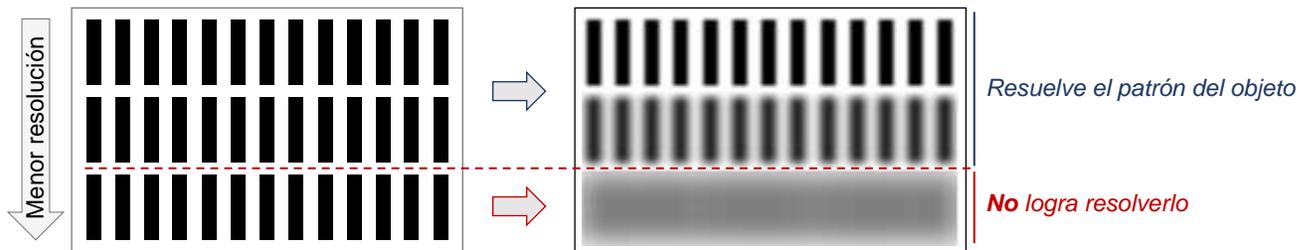
$$\text{Si } M = 2A \Rightarrow A = \frac{M}{2} \text{ y como } R\phi \cong \frac{138.4}{A} \text{ resulta que: } R\phi \cong \frac{280}{M} \text{ (redondeando el 276.8 a 280)}$$

M_a : Magnificación límite para la resolución adoptada

FM : Factor de magnificación adoptado (entre 2 y 2.5, típicamente $FM=2$)

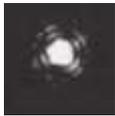
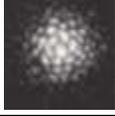
R_a : Resolución adoptada

En otras palabras, aún con una apertura 300 mm (12”), magnificar por encima de 280x resulta inútil a los efectos de separar detalles en un cielo que entregue 1 segundo de arco. Esto no significa que esa apertura sea inadecuada, es obvio que captura más luz y por ende se ven objetos que no serían visibles en un 140 mm (5.5”), pero no con mayor detalle. Dicho de otra forma, aún con una mayor apertura no se podría magnificar por arriba de lo que nos permite el cielo, nos daría una imagen en donde la cebra del ejemplo anterior se confundiría con un caballo gris (no resuelve las “rayas” de la cebra, algo así como la última línea de la figura de abajo). La ventaja de una mayor apertura es “darse cuenta” que se observa algo que puede ser un caballo, sin embargo, con el 140 mm puede ocurrir que no podamos discernir de que cosa se trata (claro que lo anterior depende en gran medida del objeto y del observador).



Hay que tener en cuenta que el método anterior es sumamente aproximado, más adelante se muestra un procedimiento más adecuado, pero requiere de cámara y software, ver [Efectos del Seeing \(FWHM\)](#).

A los efectos de ponderar las diferentes opciones para los valores de resolución se presentan a continuación algunos ejemplos de valores estimados en función de los tipos de cielos, aunque se debe tener en cuenta que los valores presentados son meramente empíricos y no constituyen una regla:

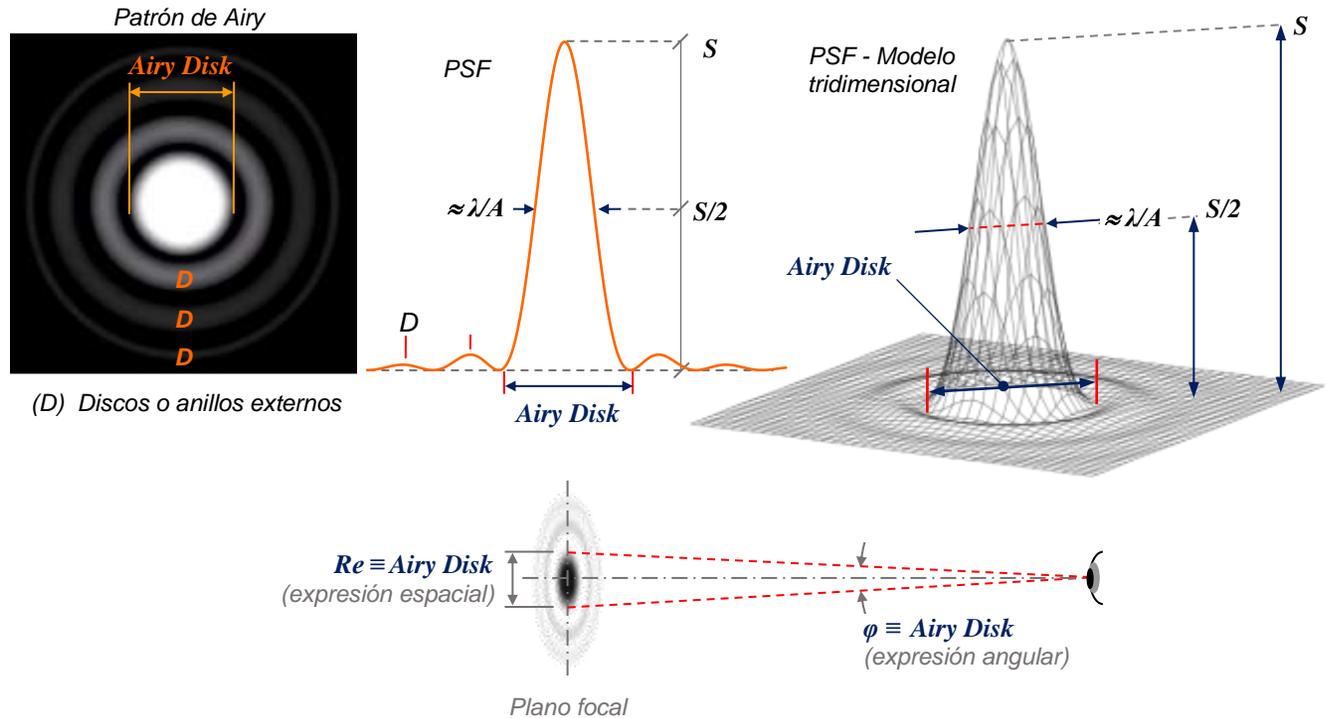
(*) Resolución	Magnificación	Descripción	
 0.1 - 0.5	2770x - 550x	Realmente son pocos los lugares donde se alcanzan estos valores y frecuentemente son inaccesibles para el común de las personas. Aunque en algunas oportunidades el cielo nos regala esos valores por un breve lapso, pudiendo obtener imágenes de una estrella como la de la figura, cosa que también hablaría muy bien del equipamiento que se está utilizando.	
	0.5 - 0.8	550x-350x	Si bien son valores alcanzables corresponden a lugares con cielos privilegiados, usualmente es el sitio de emplazamiento de varios observatorios.
	0.8 - 1.0	350x-280x	Zonas desérticas o mesetas lo suficientemente distantes a cadenas montañosas o cualquier elemento que genere gradientes térmicos en el aire. En este tipo de zonas sólo una vez he obtenido poco menos de 1 segundo de arco, llegando observar Saturno a 340x con excelente calidad de imagen (utilizando un Maksutov-Cassegrain de 180mm F15 y un ocular Vixen LVW de 8 mm y 65° de AFOV).
	1.0 - 1.5	280x-180x	Campo abierto, lo suficientemente distante a centros poblados. Sería la condición más frecuente de un buen cielo para los aficionados.
	1.5 - 2.0	180x-140x	Zonas suburbanas
	2.0 - 3.0	140x-90x	Zonas urbanas con bajas densidades de población.
	3.0 - 4.0 (o mayor)	90x - 70x	Zonas urbanas con altas densidades de población o sitios cercanos a zonas industriales.

(*) © Figura 1 (5 imágenes) - Copyright by Weather Office, Environment Canada, Government of Canada y Seeing forecast for astronomical purposes (§1)

El problema es que el mismo cielo que un día nos da 1.5 segundos de arco de resolución el día siguiente puede estar en 2.0 o 3.0 (incluso peor).

Airy Disk (PSF, EE, MTF)

El Airy Disk (Disco de Airy) es un fenómeno óptico debido a la naturaleza ondulatoria de la luz, la que al pasar por una apertura circular hace que se difracte produciendo un patrón de interferencia de regiones iluminadas y oscuras cuando se observa un objeto puntual (por ejemplo, una estrella). Este patrón de difracción posee una zona central brillante conocida como Airy Disk (Disco de Airy) rodeada de una serie de anillos concéntricos denominados Patrón de Airy, los que su vez están relacionados con la longitud de onda de la luz y el tamaño de la abertura circular.



La región en la que se produce el primer mínimo medido a partir del eje óptico de la luz incidente resulta ser dos veces el Límite de Rayleigh (angular y espacial). Se lo multiplica por 2 para obtener el diámetro y dado que el ángulo es muy pequeño resulta que $\text{sen}(\varphi) \cong \tan(\varphi) \cong \varphi$, por lo que resulta:

Airy Disk [radianes]	Airy Disk [segundos de arco] $\lambda = 550\text{nm}$	Airy Disk [nm / μm / mm]
$2 \arcsen\left(\frac{1.22\lambda}{A}\right) \cong \frac{2.44\lambda}{A}$	$0.2063 \frac{2.44\lambda}{A} = \frac{276.8}{A}$	$ft \frac{2.44\lambda}{A} = 2.44\lambda F$

Re : Expresión espacial en las unidades de λ [nm / μm / mm]

φ : Expresión angular [radianes / segundos de arco]

λ : Longitud de onda en mm, se utilizará la correspondiente a la luz verde: $550 \times 10^{-6}\text{mm}$ (550nm)

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

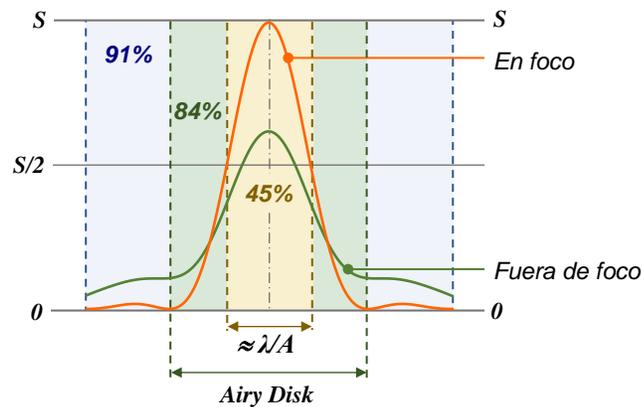
0.2063 : Conversión de radianes a segundos de arco y de nm a mm: $0.2063 = (180 \times 60 \times 60) / (\pi \times 1000000)$

ft : Focal del telescopio [mm]

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] ($F = ft / A$)

De lo anterior se desprende que la mejor resolución con nivel de detalle para un objeto puntual estará limitada por el ancho del Airy Disk. Esto significa que aun con un objetivo ideal (perfecto) la resolución que se puede obtener estaría acotada por ese valor. De esta forma, un telescopio en el que la resolución sólo se encuentra limitada por el Airy Disk (es decir, libre de imperfecciones en sus ópticas) se dice que su resolución está **limitada por difracción**.

Si se intenta graficar el brillo de una estrella sobre el plano visual se tendrá un diagrama como el de abajo, el cual puede ser interpretado como la intensidad $I(r)$ para dado radio r (medido desde el centro de la imagen), pero además representa la distribución de fotones por lo que también permite obtener "la probabilidad de que un fotón para una frecuencia específica se encuentre en determinada región (entre 0 y r)". Frecuentemente sólo se considera el primer pico o máximo (lóbulo central) y se está frente a la denominada **PSF** (Point Spread Function) o **FDP** (Función de Dispersión de Punto). Dicho de otra forma, la región donde la probabilidad de encontrar un fotón es más elevada.



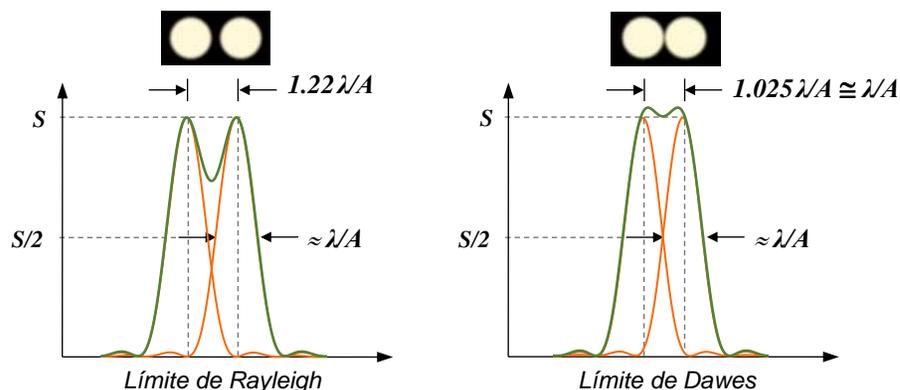
En un sistema limitado por difracción se tiene una distribución de probabilidades como la indicada en la figura (fuera de escala):

- ✓ Si se toma en cuenta hasta el primer lóbulo secundario (primer anillo), esto incluiría el 91% de los fotones.
- ✓ Si se considera sólo la región correspondiente al Disco de Airy el valor disminuye aproximadamente al 84%.
- ✓ Mientras que en la región $\approx \lambda/A$, comprendida entre $-1/2 \lambda/A$ y $+1/2 \lambda/A$, se tiene aproximadamente el 45% del total.

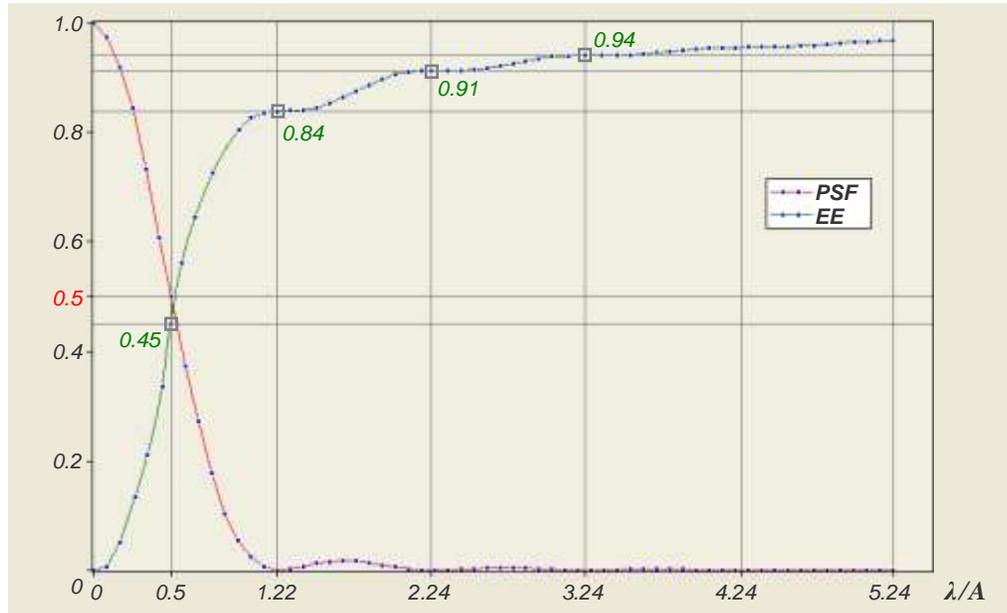
Coloquialmente las probabilidades fueron expresadas en porcentajes, aun cuando lo correcto es hacerlo mediante un valor numérico entre 0 y 1.

En la misma figura también se aprecia la PSF resultante de un sistema desenfocado, la que además de disminuir su altura se deforma haciendo que el Disco de Airy y el primer anillo se confundan. Ello se debe a que la energía involucrada es considerablemente menor. Esto último se verá más adelante cuando se traten las aberraciones en los sistemas ópticos, las que además de producir deformaciones en la PSF también disminuyen su altura. De esta forma, la altura (S) y el ancho de ese pico determinarán la calidad de esa imagen. Para mayor información se puede consultar: *The design and construction of large optical telescopes*, Pierre Y. Bely, 2003, PSF of a system with perfect optics, página 116.

Desde el punto de vista de la resolución, en la siguiente figura se muestra la diferencia entre los límites de resolución de Rayleigh y Dawes en un sistema limitado por difracción.



Consideremos ahora la siguiente representación de la PSF en condiciones ideales (libre de toda distorsión):



En la figura se presentan la PSF y la energía circunscrita **EE** (Encircled Energy), la curva correspondiente a la EE representa la energía contenida para un dado valor de λ/A , considerando que la PSF va de cero a infinito (asumiendo que es perfectamente simétrica), es decir, que se toma media PSF como si toda la energía se concentrara allí. En otras palabras, asimilando a la PSF a una distribución de los fotones en el área del Disco de Airy, se tiene que la **EE(r)** no es otra cosa que la función de densidad de probabilidad (la probabilidad acumulada entre cero y un determinado radio).

Simplemente a efectos formales, desde el punto de vista matemático sería: $EE(r) = \frac{1}{E_0} \int_0^r I_{PSF}(r) dr$

$I_{PSF}(r)$: Intensidad de la PSF en determinado punto (radio)

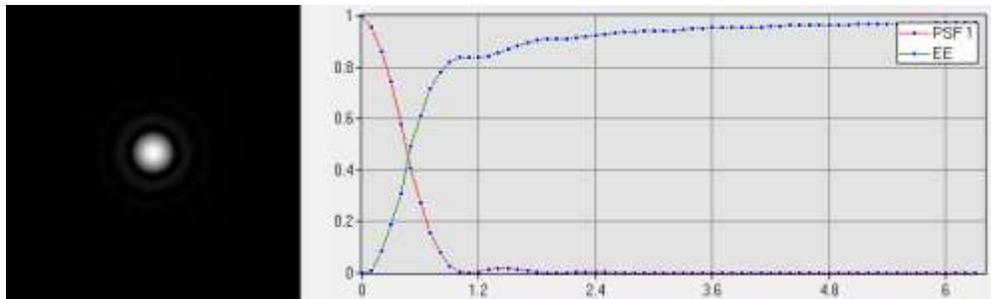
E_0 : Factor normalizador a los efectos de que el valor de **EE(r)** en infinito sea 1 ($E_0 = \int_0^{\infty} I_{PSF}(r) dr$)

En la figura anterior se aprecia que a medida que nos alejamos y tomamos más lóbulos (anillos) el valor de **EE(r)** es asintótico a uno (100%). Es evidente que la energía contenida en los lóbulos superiores disminuye considerablemente, mientras el lóbulo principal aporta 83.8%, el primer anillo aporta sólo un 7.2% (91% acumulado) y el que le sigue menos aún, 2.8% (93.8% acumulado), etc. Esto último se evidencia en la tabla que sigue a continuación, donde se presentan los valores típicos de la **EE(r)**:

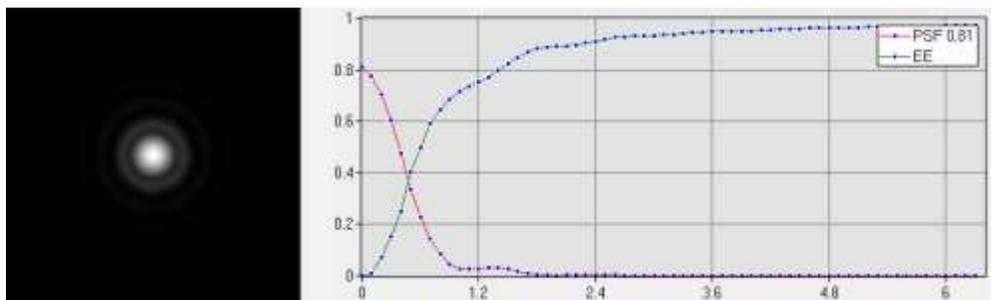
r	EE(r)	Incremento
Lóbulo central	83.78%	-
Primer anillo	90.99%	+ 7.21%
Segundo anillo	93.76%	+ 2.77%
Tercer anillo	95.23%	+ 1.47%
Cuarto anillo	96.14%	+ 0.91%
Quinto anillo	96.76%	+ 0.62%
Sexto anillo	97.20%	+ 0.44%
Séptimo anillo	97.54%	+ 0.34%
Octavo anillo	97.81%	+ 0.27%
Noveno anillo	98.02%	+ 0.21%
Décimo anillo	98.20%	+ 0.18%

Veamos que ocurre con la PSF de un par de equipos:

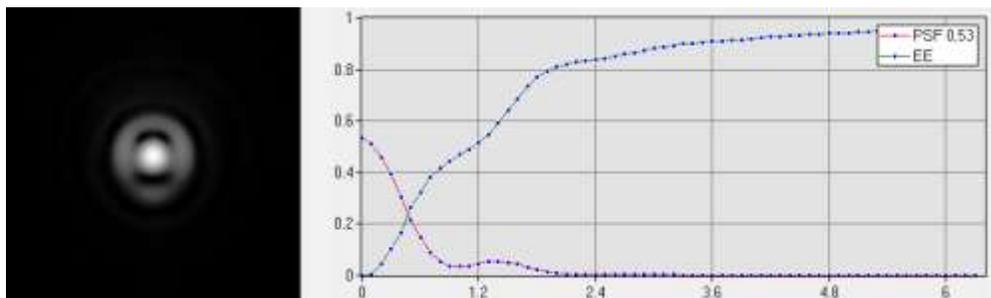
- a) En el primer caso se tiene un refractor apocromático con una apertura de 130mm, una relación focal de 7 (910mm de focal) y libre de todo tipo de perturbaciones atmosféricas u otras condiciones adversas, al menos más allá de las indicadas debajo de cada figura. Por otra parte, la imagen presentada a la izquierda corresponde a una estrella artificial a 1000x.



Equipo en foco sin ningún tipo de aberración.

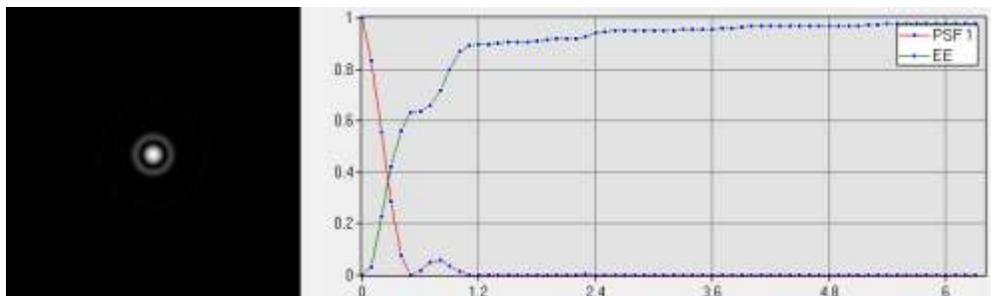


Equipo levemente fuera de foco (apartamiento de $\lambda/4 \cong 54\mu\text{m}$), sin ningún tipo de aberración.

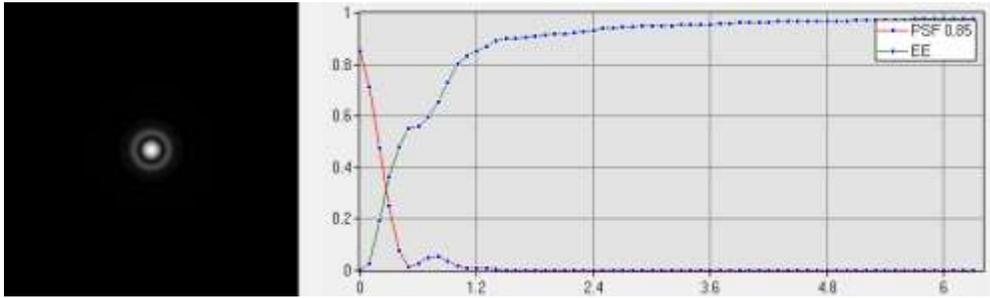


Equipo prácticamente en foco (apartamiento de $\lambda/10 \cong 22\mu\text{m}$), pero con varias aberraciones (coma, astigmatismo, esfericidad, etc.)

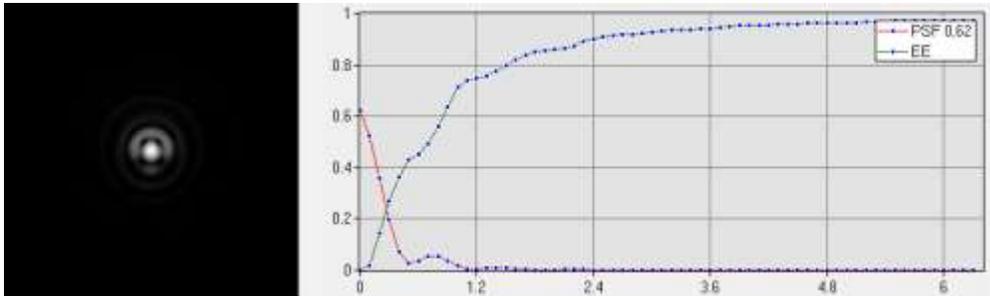
- b) A continuación, se presenta el caso de un Schmidt-Cassegrain con una apertura de 235mm, una relación focal de 10 (2350mm de focal), una obstrucción del 36% y también libre de todo tipo de perturbaciones atmosféricas u otras condiciones adversas más allá de las indicadas debajo de cada figura.



Equipo en foco sin ningún tipo de aberración.



Equipo levemente fuera de foco (apartamiento de $\lambda/4 \cong 110\mu\text{m}$), sin ningún tipo de aberración.



Equipo prácticamente en foco (apartamiento de $\lambda/10 \cong 44\mu\text{m}$), pero con varias aberraciones (coma, astigmatismo, esfericidad, etc.)

Al igual que en el caso anterior, la imagen presentada a la izquierda corresponde a una estrella artificial a 1000x. Sin embargo, la misma parece de menor tamaño que la observada con el refractor anterior, esto se debe a que ahora se tiene mayor apertura, lo que produce una disminución en el Disco de Airy.

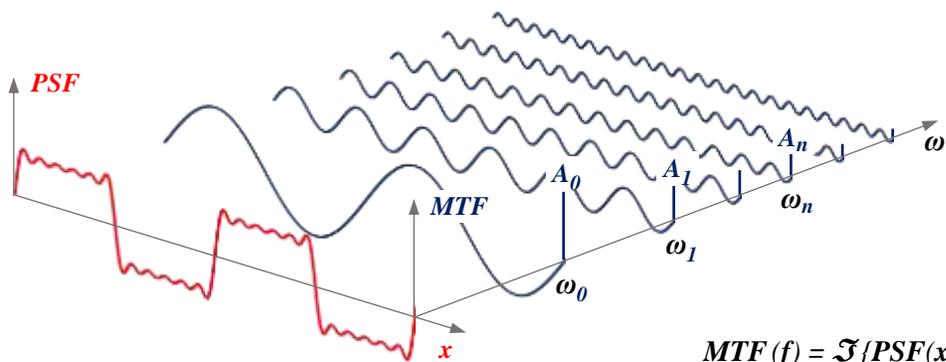
Otro concepto relacionado con la PSF, es el de la Función de Transferencia de Modulación **FTM** o **MTF** (Modulation Transfer Function). Dado que cualquier expresión puede ser descompuesta en frecuencias (en este caso espaciales), al aplicar la transformada de Fourier de la PSF se obtiene la MTF:

$$MTF(u,v) = |\mathcal{F}\{PSF(x,y)\}| / MTF(0,0) \quad \text{En rigor: } \mathcal{F}\{f(x)\} \equiv F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\omega x} dx$$

Donde u y v representan las frecuencias espaciales de los ejes x e y respectivamente. Al igual que la $EE(r)$, la $MTF(u,v)$ se encuentra normalizada, es decir, dividida por el valor de la $MTF(0,0)$.

Supongamos ahora que tenemos una pseudo "PSF" como la de la siguiente figura, la cual se encuentra conformada por la suma de un cierto número de senoides, cada una de ellas con su propia frecuencia ω_n y amplitud A_n :

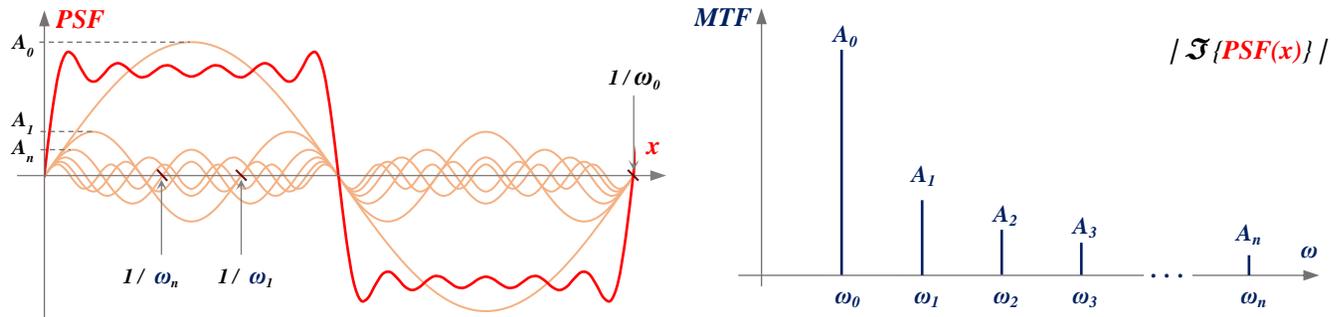
$$I_{PSF}(x) = \sum_{n=0}^r A_n \text{sen}(\omega_n x)$$



Resulta equivalente representarla en el dominio del espacio (o tiempo) que hacerlo mediante la frecuencia y amplitud de cada una de las senoides que la conforman, eso es precisamente lo que hace la transformada de Fourier, descompone una expresión en el dominio del espacio en su equivalente en el dominio de la frecuencia (y viceversa).

Ahora bien, para el ejemplo de la figura anterior se ha asumido que: $A_n = \frac{1}{2n+1}$, $\omega_n = 2n+1$ y $r = 5$, resulta:

$$I_{PSF}(x) = \text{sen}(x) + \frac{1}{3}\text{sen}(3x) + \frac{1}{5}\text{sen}(5x) + \frac{1}{7}\text{sen}(7x) + \frac{1}{9}\text{sen}(9x) + \frac{1}{11}\text{sen}(11x)$$



En este caso la representación en el dominio del espacio es la suma de las seis senoides, mientras que en el dominio de la frecuencia se tiene una Transformada de Fourier (“MTF”) discreta, conformada por las mencionadas seis frecuencias con sus respectivas amplitudes. Sin embargo, si bien la PSF es periódica, está muy lejos de este caso. A continuación se tratará de encontrar la expresión formal de la función de dispersión de punto y su transformada.

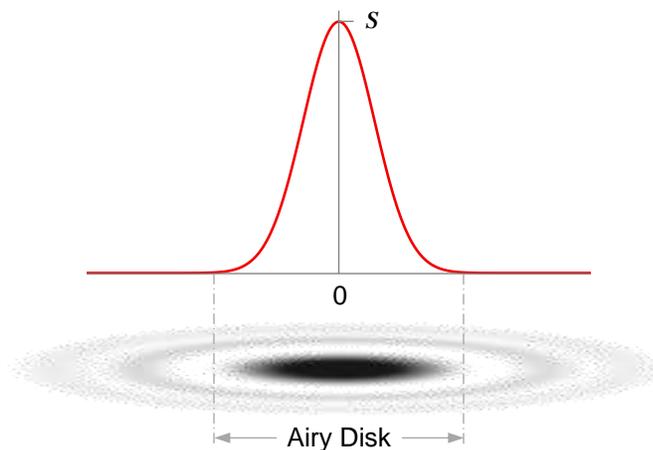
Para mayor información acerca de la definición matemática de la Transformada de Fourier y algunas de sus propiedades, se puede consultar: [Anexo - Transformada de Fourier](#)

Lo ideal sería que la PSF fuera elevada y angosta, para lo cual se podría considerar en primer lugar el denominado pulso gaussiano ($g_\sigma(x)$), que en este caso definiremos como:

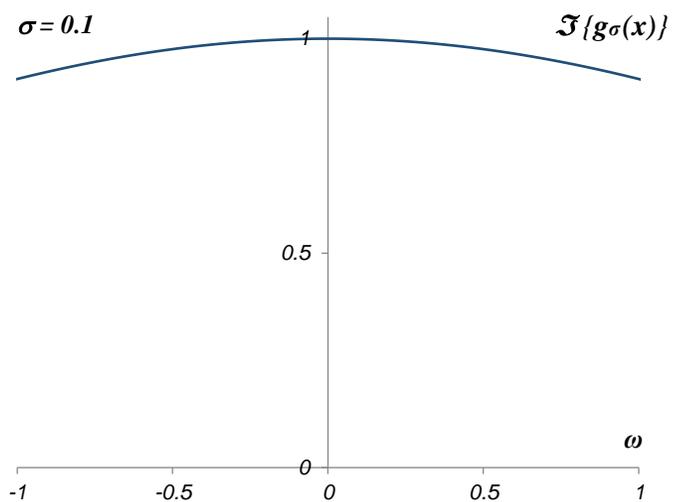
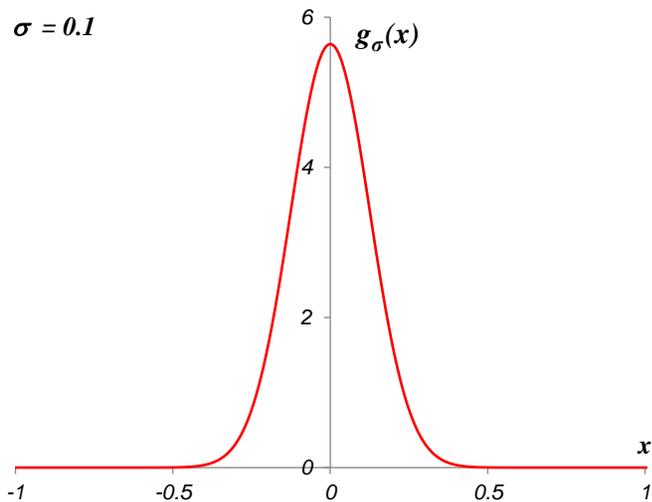
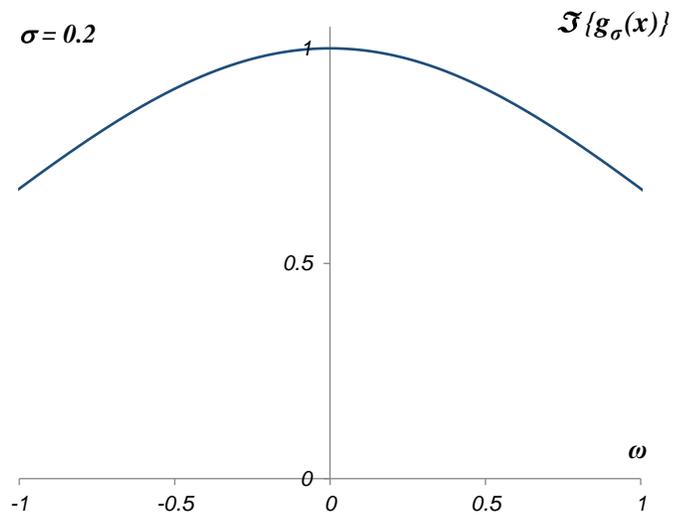
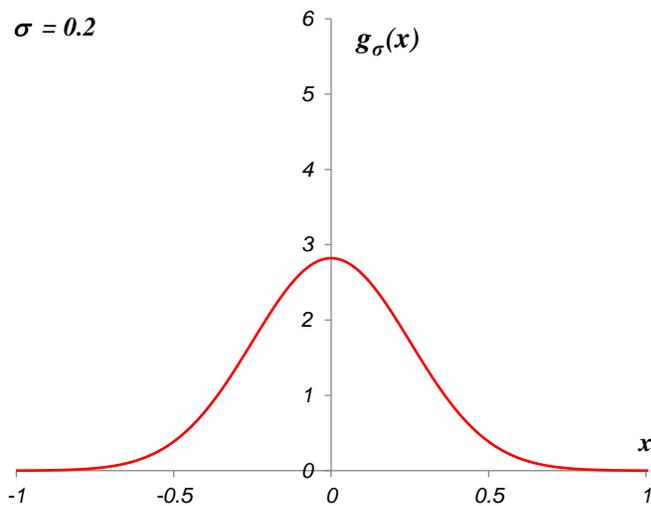
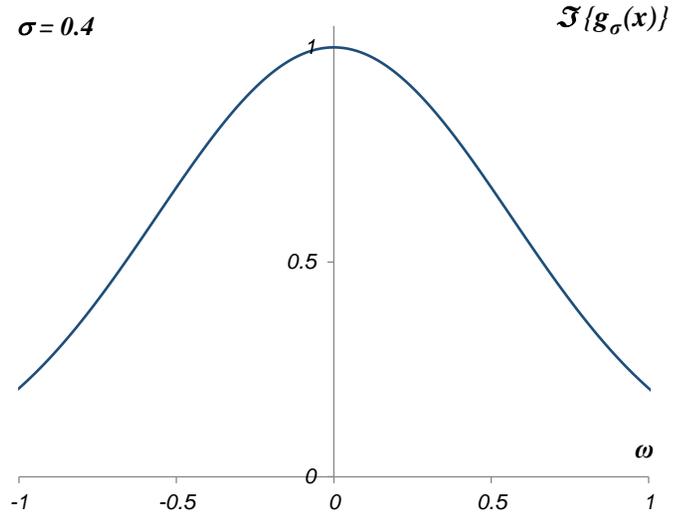
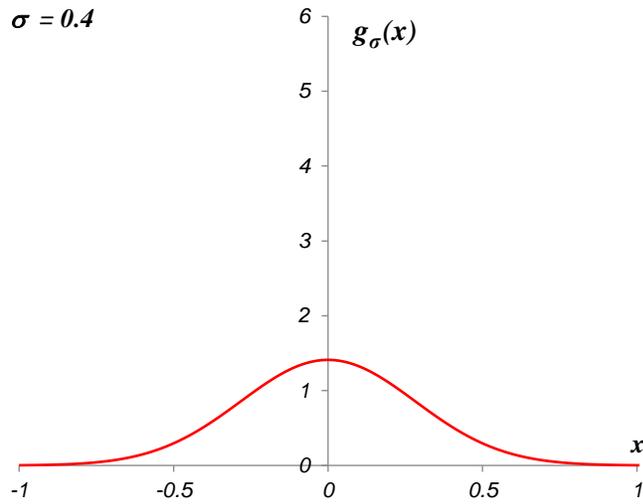
$$g_\sigma(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}}$$

Se puede demostrar que su transformada resulta ser: $\mathcal{F}\{g_\sigma(x)\} = G(\omega) = e^{-(\pi\sigma\omega)^2}$

Dicho de otra forma, se lo podría asimilar al Airy Disk:



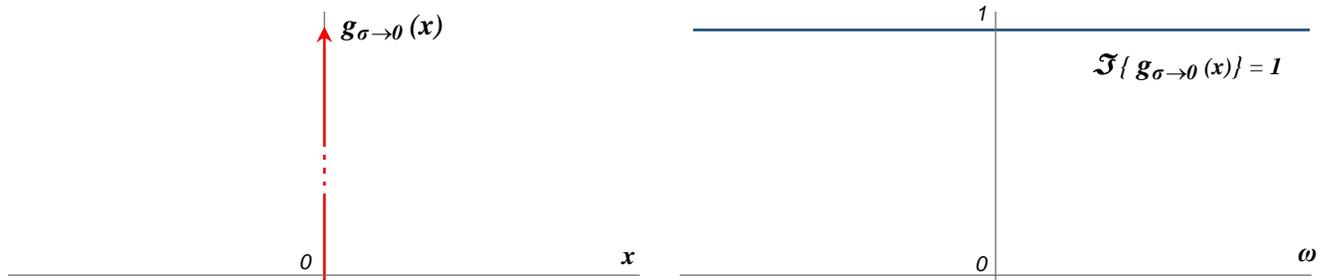
Veamos a continuación que sucede con la transformada al disminuir el valor de σ , es decir, al hacerla cada vez más angosta:



En la figuras de arriba se muestra el mismo pulso asumiendo que $\sigma = 0.4$, $\sigma = 0.2$ y $\sigma = 0.1$.

Ahora bien, lo ideal sería que fuera muy angosta a efectos de mejorar la resolución, lo que en este caso ocurre al disminuir el valor de σ (es decir, $\delta_\sigma(x)$ se hará más angosta). Si bien ocurre lo contrario en el dominio de las frecuencias, es precisamente lo que se consideraría ideal, que la respuesta en frecuencia tienda a aplanarse, o lo que es lo mismo, que la respuesta a altas y bajas frecuencias tienda a ser uniforme.

En el límite, cuando $\sigma \rightarrow 0$, se estaría en presencia de la denominada “Delta de Dirac” (frecuentemente también denominada Función de Impulso). Intuitivamente se la puede imaginar como una función que toma valor en $x = 0$ y es nulo en cualquier otro punto ($x \neq 0$), de forma que su integral entre $-\infty$ y ∞ es uno. Dicho de otra forma, posee ancho nulo y energía infinita en $x = 0$. Una de las particularidades de esta función es que su transformada de Fourier es una constante, esto significa que en el campo transformado la expresión de la Delta de Dirac abarca a todas las frecuencias por igual.



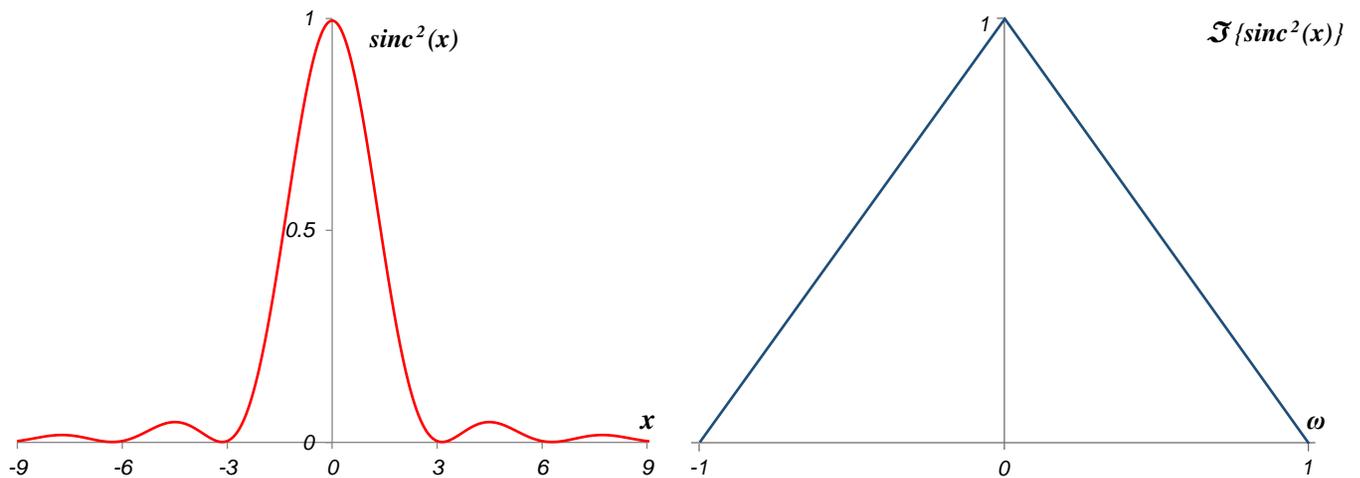
En verdad resultan más cercanas a la realidad las anteriores que la Delta de Dirac, simplemente se la muestra como el máximo al cual se podría aspirar.

Si bien este sería el ideal dista bastante de la realidad, incluso como se verá a continuación la MTF está lejos de ser una constante (aun cuando resultaría deseable que lo fuera), esto se debe a los Patrones de Airy (anillos externos) no fueron tomados en cuenta hasta aquí.

Si se busca algo un tanto más cercano a la PSF se puede considerar la función $\text{sinc}^2(x)$, también llamada $Sa^2(x)$:

$$\text{sinc}^2(x) = \left(\frac{\text{sen}(x)}{x}\right)^2 \equiv \text{sinc}_N^2\left(\frac{x}{\pi}\right)$$

Donde sinc_N es la expresión normalizada: $\text{sinc}_N(x) = \frac{\text{sen}(\pi x)}{\pi x}$

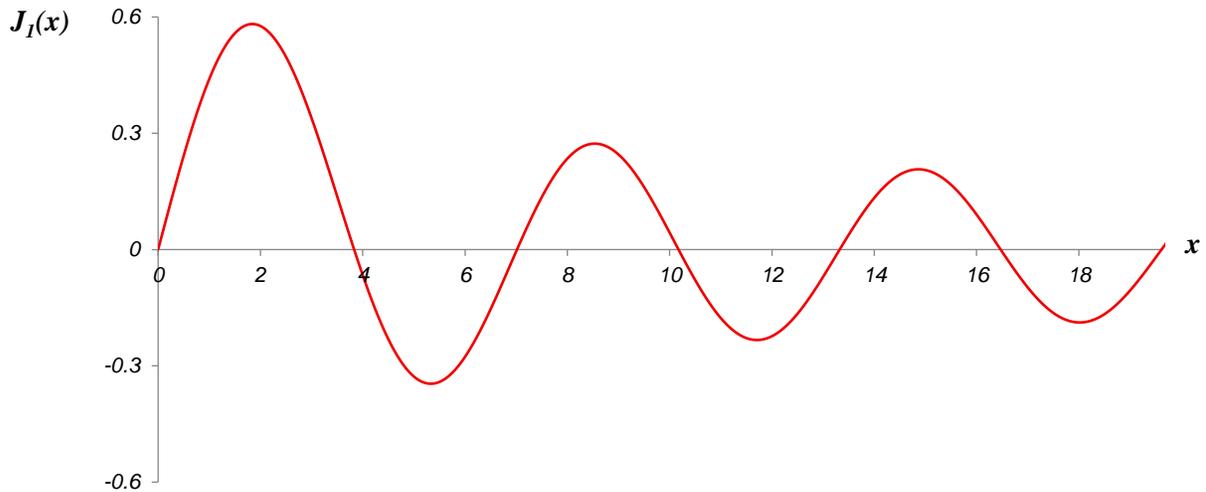


Como veremos a continuación, su forma se aproxima mucho a la de la PSF, mientras en lo que respecta a la transformada de Fourier, se puede demostrar que la misma tiene una forma triangular:

$$\mathcal{F}\{\text{sinc}^2(x)\} = \Lambda(\omega) = \begin{cases} 1 - |\omega| & (|\omega| \leq 1) \\ 0 & (|\omega| > 1) \end{cases}$$

Aun cuando la $\text{sinc}^2(x)$ no es exactamente la real representación de la PSF se aproxima bastante y, como veremos a continuación, también lo hace su transformada (la que resulta bastante similar a la correspondiente a un sistema limitado por difracción).

Ahora bien, si se quiere ser riguroso desde el punto de vista matemático, en lugar del seno se debería considerar la función J_1 de Bessel, cuya representación gráfica se muestra a continuación:



Donde:

$$J_1(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{n!(n+1)!} \left(\frac{x}{2}\right)^{2n+1} = \frac{x}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{2}\right)^3 + \frac{1}{12} \left(\frac{x}{2}\right)^5 - \frac{1}{144} \left(\frac{x}{2}\right)^7 + \dots$$

Con base en esto se puede reformular la expresión de la PSF de la siguiente manera:

$$I_{PSF}(x) \equiv I_0 \left(\frac{J_1(x)}{x} \right)^2$$

Donde I_0 es el valor de la PSF en cero, el cual supondremos igual a uno.

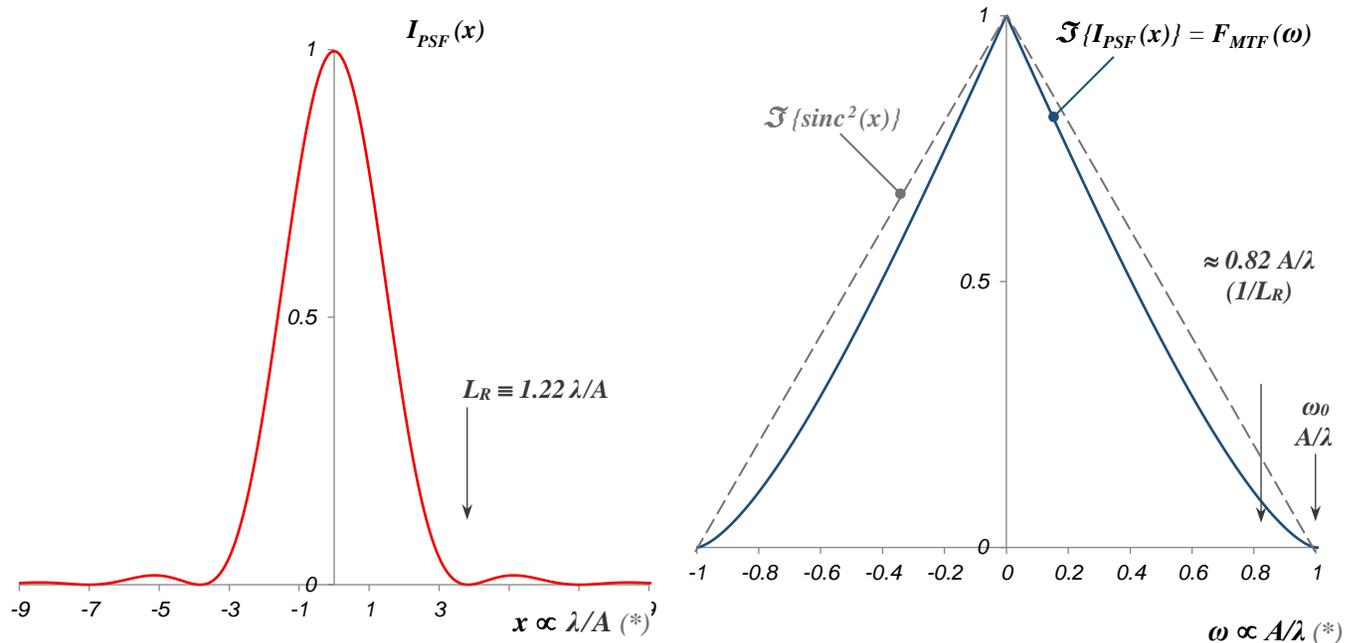
Por otra parte, tal como se indica en: [On super-resolution in astronomical imaging - K. G. Puschmann and F. Kneer \(§2\)](#) y [Handbook of optics, Chapter 32 - Transfer function techniques \(§3\)](#), se puede demostrar que si la Función de Dispersión de Punto (PSF) está dada por:

$$I_{PSF}(x) = \frac{1}{\pi} \left[J_1 \left(\frac{\pi A}{\lambda} x \right) \frac{1}{x} \right]^2$$

Su transformada de Fourier resulta ser:

$$\mathfrak{F}\{I_{PSF}(x)\} = F_{MTF}(\omega) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \left(\arccos\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) - \frac{\omega}{\omega_0} \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \right) & (|\omega| \leq \omega_0) \\ 0 & (|\omega| > \omega_0) \end{cases}$$

Donde A es la apertura, λ la longitud de onda y ω_0 es la frecuencia de corte, es decir la correspondiente a A/λ , la inversa de λ/A (*)



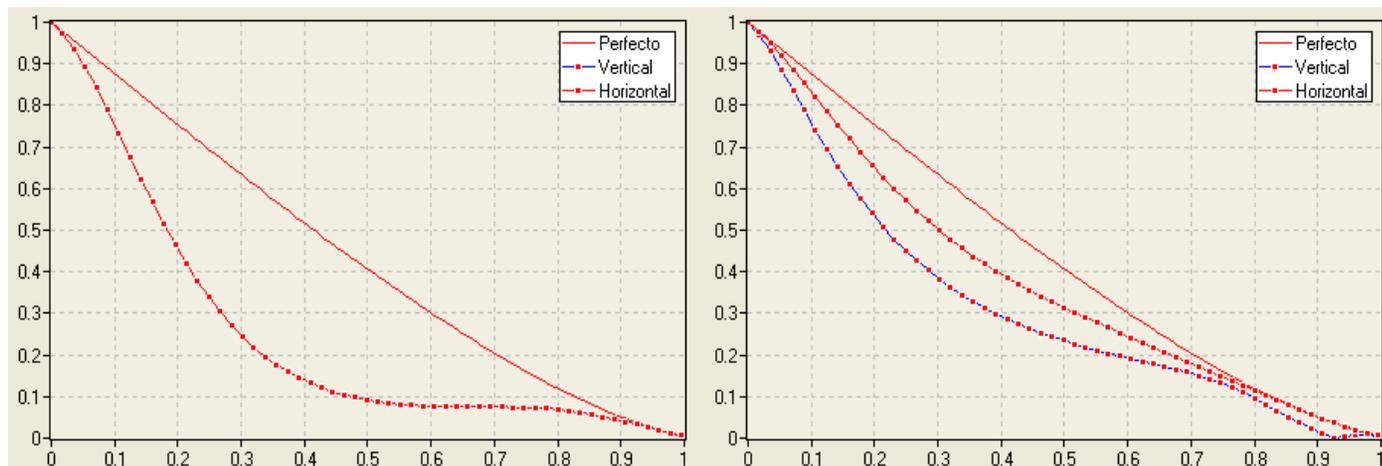
(*) Por la propiedad de escala, la cual establece que si $\mathcal{F}\{f(x)\} = F(f) \Rightarrow \mathcal{F}\{f(ax)\} = \frac{1}{|a|} F\left(\frac{\omega}{a}\right)$

Como puede verse en las figuras de arriba, tanto la expresión espacial como su transformada no difieren demasiado de las correspondientes a la $\text{sinc}^2(x)$.

Para mayor información sobre la transformada de Fourier y sus aplicaciones, se puede consultar el siguiente material disponible en la web:

- [Óptica de Fourier, Claudio Lemmi, Departamento de Física, FCEyN, UBA, 2017](#) (§4)
- [The Fourier transform and its applications, Brad Osgood, Stanford University](#) (§5)

A continuación, se presentan algunas expresiones de la MTF (en rigor, el módulo de $\mathcal{F}\{I_{PSF}(x)\}$) más ajustadas a situaciones reales:



Sistema sin obstrucción desenfocado en $\lambda/2$

Sistema sin obstrucción en foco con coma para $\lambda/2$ a 0° (\uparrow)

El eje de ordenadas (vertical) representa la amplitud de la salida normalizada para una dada frecuencia (modulación) y el eje de abscisas (horizontal) es el valor de la frecuencia espacial normalizado. En la figura también se normalizó a uno la frecuencia de corte A/λ expresada en ciclos por radián (la que por la propiedad de escala es la correspondiente a la máxima resolución alcanzable, la inversa del límite angular de resolución λ/A en radianes). En otras palabras, representaría la inversa normalizada de la resolución, por lo que el valor 0.82 representaría el Límite de Rayleigh ($1/1.22 = 0.82$), mientras que el valor 1 sería aproximadamente el Límite de Dawes (al igual que con el anterior, $1/1.025 = 0.98 \cong 1$), por lo que fija a uno como cota máxima alcanzable dentro de las posibilidades de resolución.

Esta representación de la MTF resulta sumamente útil ya que se relaciona con la pérdida de contraste en la imagen. Dicho de otra forma, mediante la MTF puede estimarse el tamaño mínimo de los objetos que pueden distinguirse con un contraste aceptable, sin aparecer borroso, con aberraciones o con la sensación de fuera de foco para una dada frecuencia.

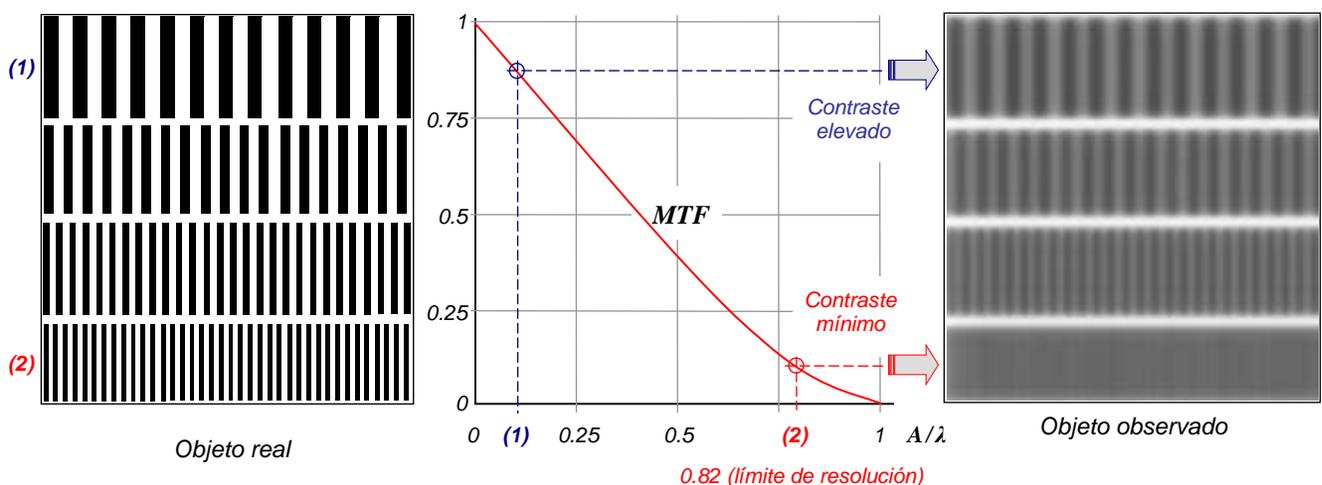
Sin entrar en detalles y sólo a modo de ejemplo se presentan dos casos particulares que evidencian características reales de la MTF. Como puede verse en la figura de arriba, un problema de foco altera la MTF de igual forma, tanto vertical como horizontalmente. En el caso de algunas aberraciones ópticas como por ejemplo el coma, la afectación horizontal y vertical es diferente. Si bien es algo que se tratará más adelante, el coma a 0° influye más sobre el eje vertical que sobre el horizontal, mientras que a 45° ambos ejes se verán afectados por igual (ver: [Reflectores Newtonianos - Aberración Esférica y Coma](#)), esto significa que la mencionada pérdida de contraste se dará en forma diferente en vertical que en horizontal.

Además de las MTF correspondientes a un sistema desenfocado o con aberraciones (en este caso coma a 0°), en ambas figuras se presenta la MTF correspondiente a un sistema limitado por difracción (tal como se ha comentado, un sistema en el cual la resolución sólo se encuentra limitada por el Airy Disk, es decir, libre de imperfecciones en sus ópticas). La línea roja continua (marcada como "Perfecto" en las figuras) indica el comportamiento de un sistema en foco y libre de cualquier aberración o perturbación atmosférica. Esta MTF se incluye en todas las representaciones a efectos de poder realizar las comparaciones del sistema evaluado respecto a un sistema limitado por difracción, la cual concuerda con la $F_{MTF}(f)$ antes vista, la correspondiente a la transformada de $I_{PSF}(x)$ utilizando la J_1 de Bessel:

$$I_{PSF}(x) = \frac{I}{\pi} \left[J_1\left(\frac{\pi A}{\lambda} x\right) \frac{I}{x} \right]^2 \quad \text{Donde } A \text{ es la apertura, } \lambda \text{ la longitud de onda.}$$

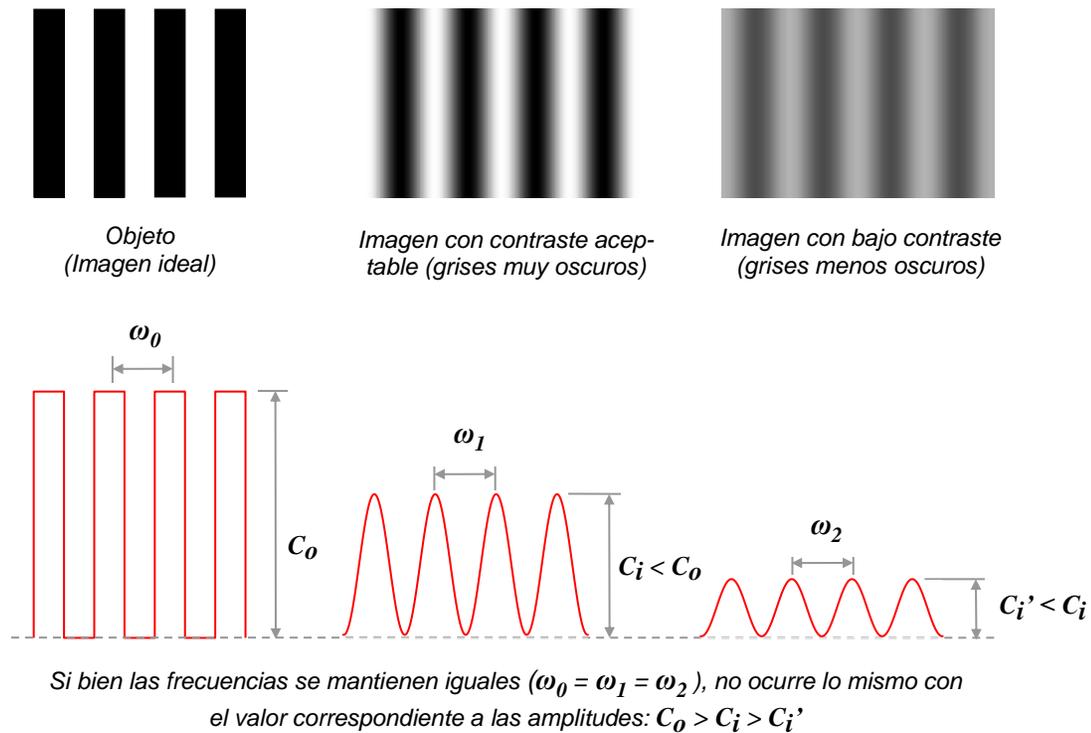
Es usual también representar el eje de abscisas en ciclos/mm (pares de líneas por mm), tomaremos esto para comprender un significado práctico de la MTF.

Supongamos que tenemos un objeto en el que en cada milímetro contiene una línea blanca y una negra, en ese caso la frecuencia angular sería de una línea por mm (también llamado pares de líneas por mm [pl/mm], una blanca y otra negra). Supongamos entonces que tenemos una serie de objetos con diferentes frecuencias como los que se muestran a la izquierda de la siguiente figura.



Así pues, la MTF da una idea del contraste que permanece entre líneas blancas y negras, por lo que si el valor del MTF es de 0.8, significaría que el 80% del contraste (líneas negras) permanece en la imagen. A medida que la frecuencia espacial de entrada aumenta (más líneas por mm, es decir, objetos más pequeños), la salida disminuye lo que implica un menor contraste.

Tal como se muestra en la siguiente figura, al disminuir la amplitud se confunden cada vez más las líneas blancas y las negras. De igual forma se tiene que al aumentar la frecuencia (cantidad de líneas por unidad de medida), disminuye la separación entre las líneas lo que hace que también se confundan.



Por otro lado, es obvio que en el caso ideal de la *Delta de Dirac*, su ancho nulo hace que no haya limitaciones de resolución ya que su transformada plana hace que no haya pérdida de contraste a cualquier frecuencia, por lo que no habría diferencia entre el objeto real y el observado.

La relación entre las amplitudes correspondientes de la imagen obtenida y el objeto resulta ser un buen indicador de la calidad de la transmisión de información. Si bien idealmente C_i / C_0 debería ser igual a uno, debido a la difracción siempre se mantendrá por debajo de ese valor. Por otra parte, de la figura también se desprende que el valor del cociente C_i / C_0 será menor cuanto mayor sea la frecuencia.

Cabe destacar que es habitual hacer referencia a la MTF en las especificaciones de los objetivos fotográficos, para mayor información a este respecto se puede consultar en: [How to Read MTF Charts](#) (§6)

Alternativamente, también se puede derivar desde la MTF una **valoración del contraste** (C_t), la cual es definida como la relación:

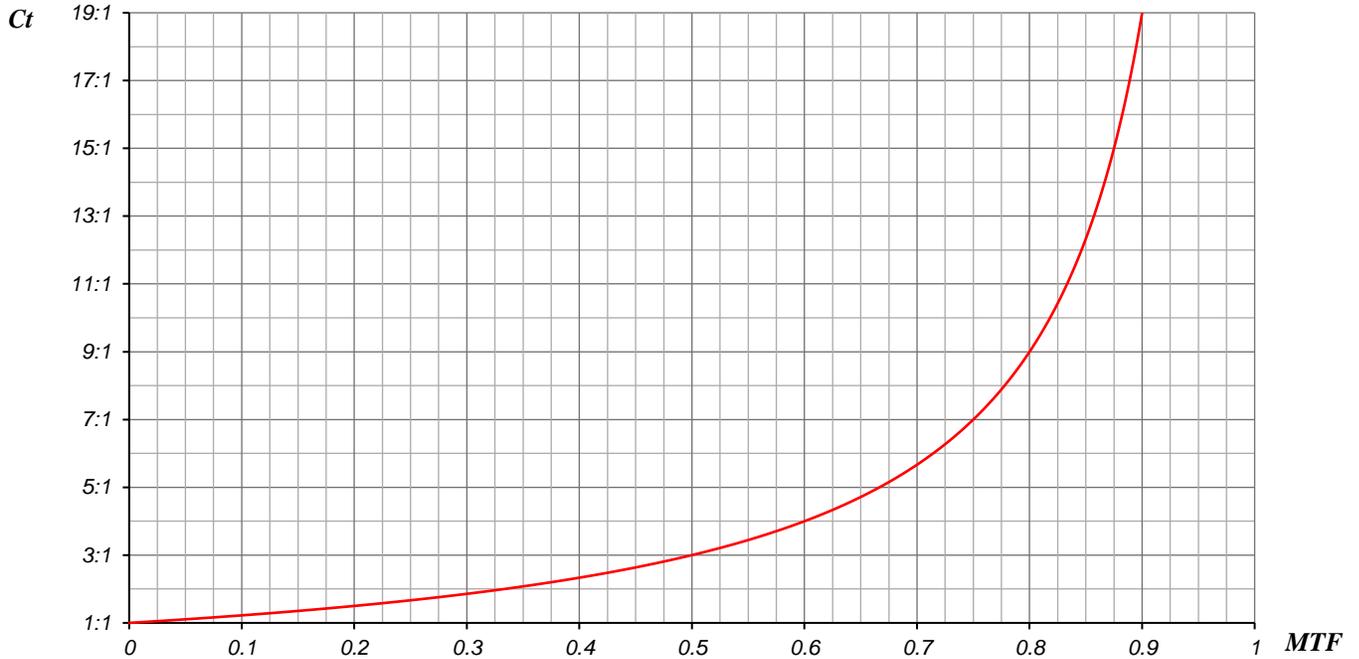
$$C_t = \frac{1 + MTF(Fe)}{1 - MTF(Fe)}$$

Donde:

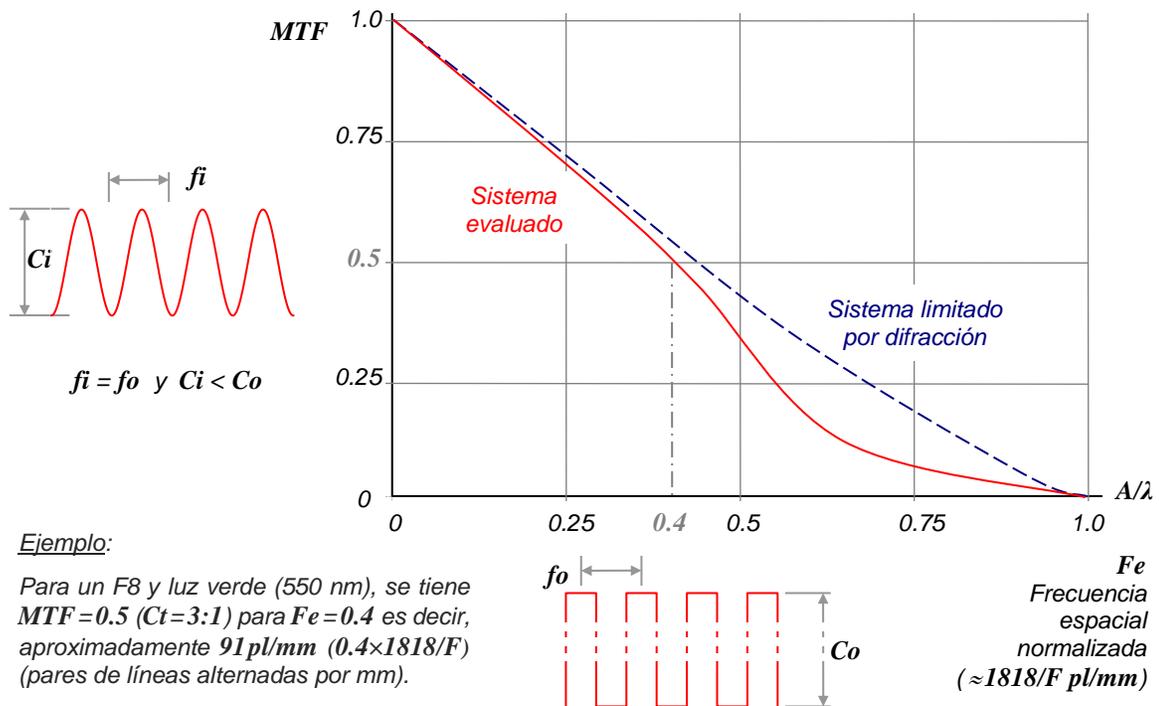
$MTF(Fe)$: Es el valor del MTF para la frecuencia Fe

C_t : Valoración del contraste expresado como una relación a 1 ($n:1$)

Por lo que para una dada F_e se tendrá una representación de C_t como la que sigue:



Dicho de otra forma, en el extremo en el que el espaciamiento es grande, su valor es alto e idealmente tiende a uno (contrastes elevados, por ejemplo: $C_t > 19:1$ para $MTF = 0.9$). Mientras que, en el otro extremo, el valor de MTF se aproxima a cero (contrastes bajos, $C_t = 1:1$ significa que no lo hay). Usualmente valores de MTF por encima de 0.1 ya se consideran aceptables, aunque, por lo general, se está en el límite de las posibilidades del equipo, una cota más razonable es 0.2, aunque los valores óptimos están por encima de 0.33 ($C_t = 2:1$). Por otra parte, el límite de la capacidad del ojo humano está aproximadamente en 0.02, lo que equivaldría a un contraste de 1.041:1 (prácticamente 1:1). Sin embargo, son valores teóricos, ya que hablar de valores de MTF muy bajos tiene poco sentido práctico. Se debe tener en cuenta que en un sistema limitado por difracción el valor de MTF correspondiente a 0.82 (Límite de Rayleigh) es de aproximadamente 0.1 ($C_t = 1.2:1$), por lo que carece de sentido hablar de algo por debajo de ese valor.



Tal como ya se comentó, la frecuencia de corte está dada por el cociente $A/\lambda \equiv 1$ (frecuencia máxima o $Fe=1$) y representa pares de líneas por radianes, si se utiliza la expresión espacial de la resolución ($Re \equiv ft \times \varphi$):

$$F_c = \frac{1}{Re} = \frac{1}{F \lambda} = \frac{1}{F 550 \times 10^{-6}} \Rightarrow F_c = \frac{1818}{F}$$

F_c : Frecuencia de corte en pares de líneas por mm (pl/mm)

φ : Resolución angular [radianes] $\varphi \equiv \lambda / A$

Re : Resolución espacial [mm] $Re \equiv ft \times (\lambda / A) \equiv F \lambda$

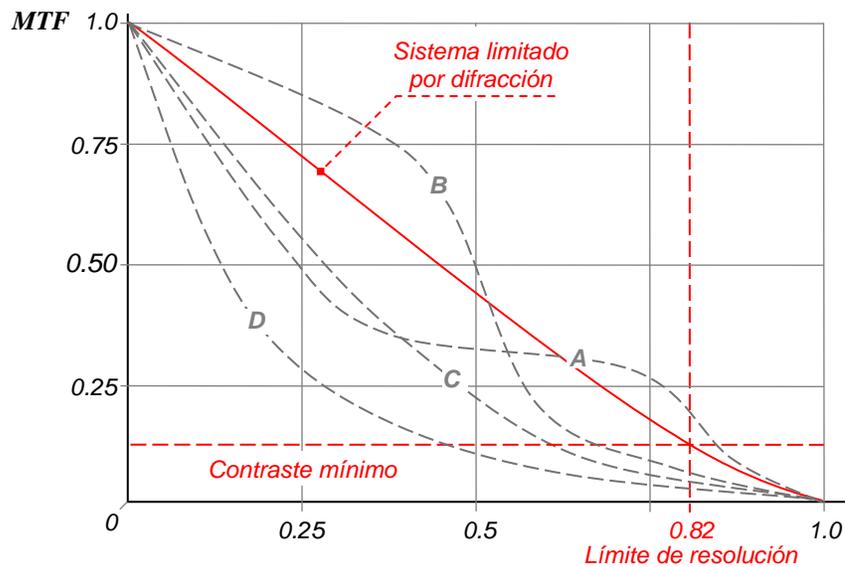
ft : Focal del telescopio [mm]

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

λ : Longitud de onda en nm, se utiliza $550 \text{ nm} = 550 \times 10^{-6} \text{ mm}$ (correspondiente a la luz verde)

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] (ft / A)

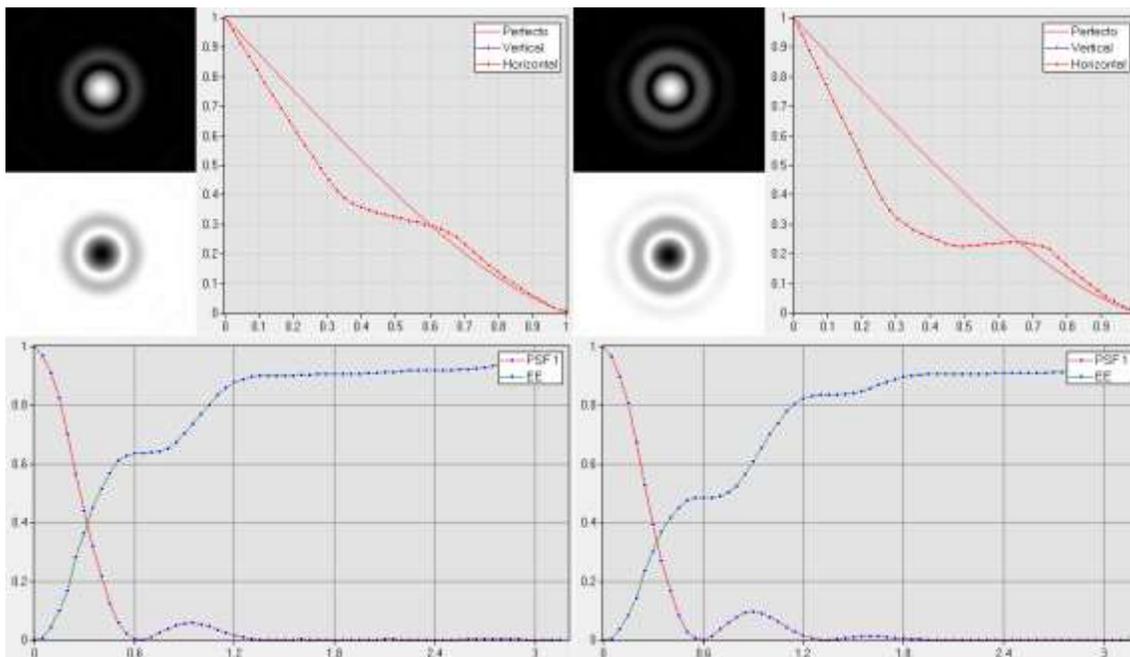
De lo anterior se desprende que, si bien dos telescopios con relaciones focales muy disímiles tendrían representaciones normalizadas muy similares, si las mismas se representan en pares de líneas por mm no sería tan así. La frecuencia de corte ($Fe=1$) en un F6 equivale a aproximadamente ≈ 300 pl/mm, mientras que para un F10 resultaría poco más de ≈ 180 pl/mm. Consideremos ahora la MTF de los siguientes cuatro sistemas y como referencia la de un sistema limitado por difracción:



Tomando en cuenta la figura anterior se aprecia que el Sistema "A" posee un peor desempeño en frecuencias bajas e intermedias, pero en cambio posee mejor resolución (dado que se encuentra por encima de 0.82). Por su parte el Sistema "B" se comporta mejor a frecuencias bajas e intermedias, pero tiene una resolución considerablemente más pobre que el limitado por difracción a altas frecuencias. Mientras que los Sistemas "C" y "D" en todo momento se mantienen por debajo del correspondiente al limitado por difracción, aunque el último resulta ser el más pobre, con un límite de resolución de poco menos de 0.5. Lo ideal es que todas las curvas se encuentren agrupadas lo más cercanas posibles a la curva de contraste máximo (sistema limitado por difracción). Cuando se apartan de ella, existe una pérdida de contraste.

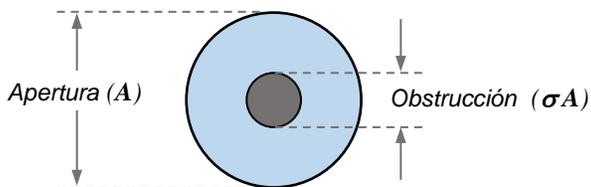
A continuación, se presentan un par de casos con sus correspondientes MTF, PSF y EE, así como las imágenes correspondientes a un objeto puntual a 1000x (estrella artificial). Ambas figuras corresponden al mismo tipo de telescopio F10 de 200mm (en foco, libre de aberraciones y en ausencia de degradaciones atmosféricas de cualquier tipo), la única diferencia es que uno posee una obstrucción del 35% y el otro del 50%. Lo que se aprecia de forma evidente en la figura, es que al aumentar la obstrucción la MTF tiene una mejora considerable a altas frecuencias, incluso por encima de un telescopio ideal sin obstrucción, pero por el contrario hay un deterioro considerable a bajas frecuencias y un poco más evidente en frecuencias medias.

Sin entrar en detalles analíticos, digamos que a medida que aumenta la obstrucción central, el Disco de Airy disminuye de diámetro y se evidencian más los anillos exteriores (se hacen más próximos y luminosos). Si bien lo primero es ventajoso a altas frecuencias, su luminosidad hace que se pierda contraste a bajas frecuencias.



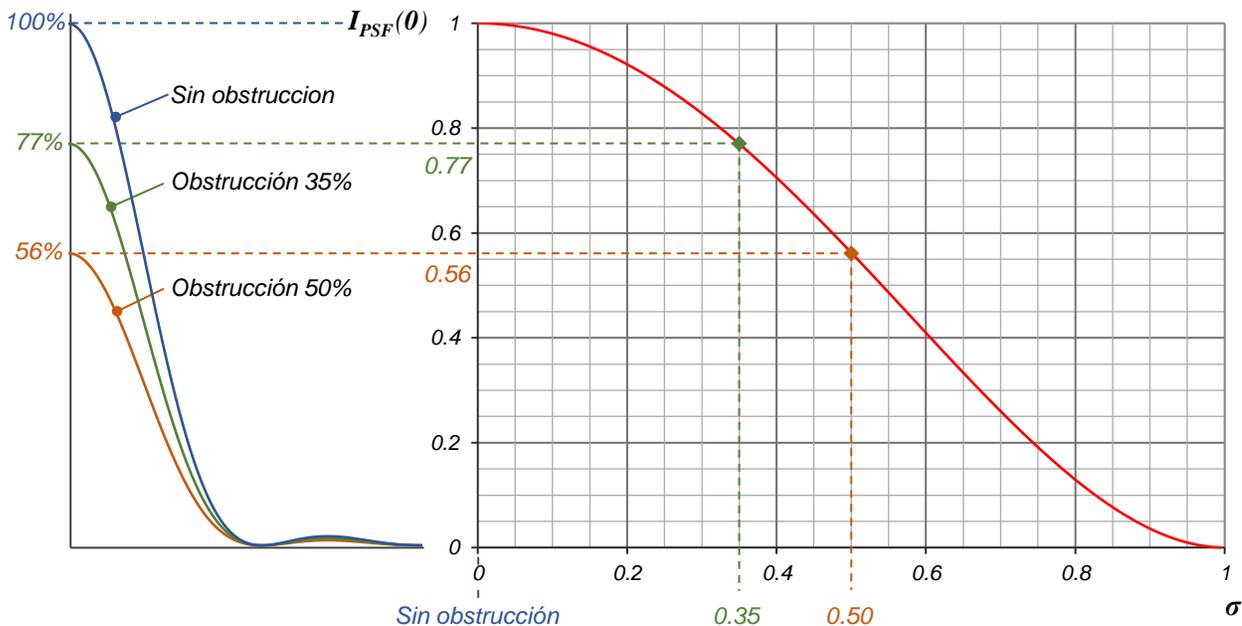
Telescopio F10 de 200mm con 35% de obstrucción Telescopio F10 de 200mm con 50% de obstrucción

En lo que respecta a la PSF, la misma debería bajar en altura al aumentar la obstrucción, aunque eso no se aprecia ya que se mantiene normalizada a 1, obviamente si queda evidenciado en la EE (Encircled Energy). Se puede demostrar que para una obstrucción con diámetro “ σA ”, la PSF en el origen [$I_{PSF}(0)$] resulta ser:

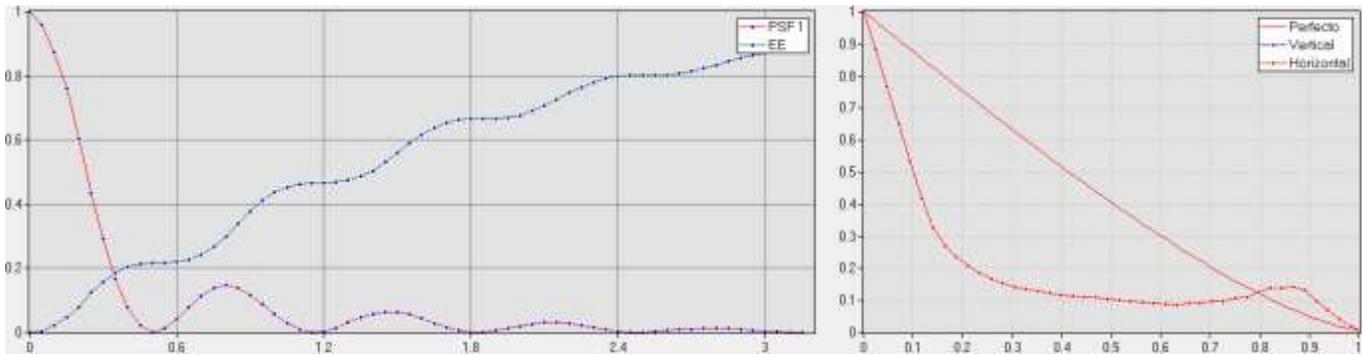


Expresión normalizada de la PSF en el origen:

$$I_{PSF}(0) = (1 - \sigma^2)^2$$



En el caso de una obstrucción del 35% se tendrá que la PSF en el origen resulta ser el 77% de la correspondiente a un sistema sin obstrucción, mientras que para el equipo con una obstrucción del 50% resulta ser del 56%. Simplemente para presentar un extremo (obviamente no práctico) consideremos el mismo equipo, pero ahora con una obstrucción del 75%.



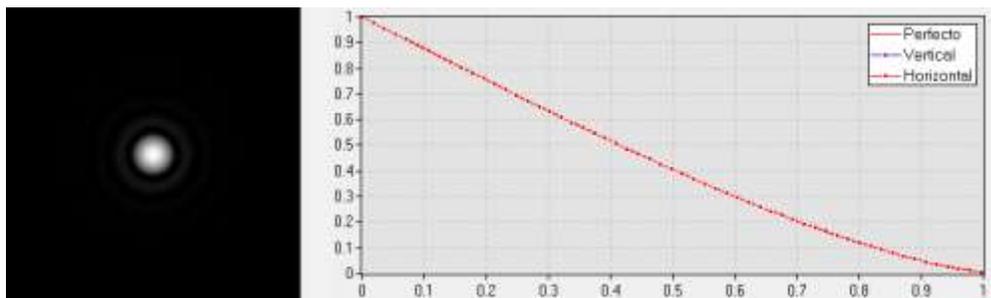
Desde el punto de vista de la MTF, cualquier mejoría que se pudiera obtener a altas frecuencias es virtualmente inservible, esto se debe a que la misma comienza prácticamente a partir del límite de resolución ($A/\lambda \cong 0.82$). En contrapartida, el comportamiento a bajas frecuencias es malo y a frecuencias intermedias directamente es pésimo. En cuanto a la PSF en el origen, la misma resulta ser de sólo el 19%.

Para mayor información acerca del efecto y evaluación de las obstrucciones se puede consultar el siguiente material disponible en la web:

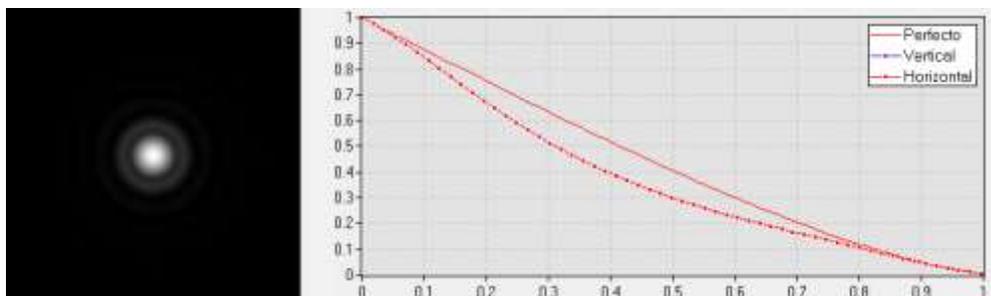
- [Notes on amateur telescope optics, Telescope central obstruction: size criteria](#) (§7)
- [Notes on amateur telescope optics, The effects of aperture obstruction](#) (§8)
- [What are the effects of obstruction?](#) (§9)

Veamos ahora que ocurre con la MTF en las condiciones de los [ejemplos anteriores](#).

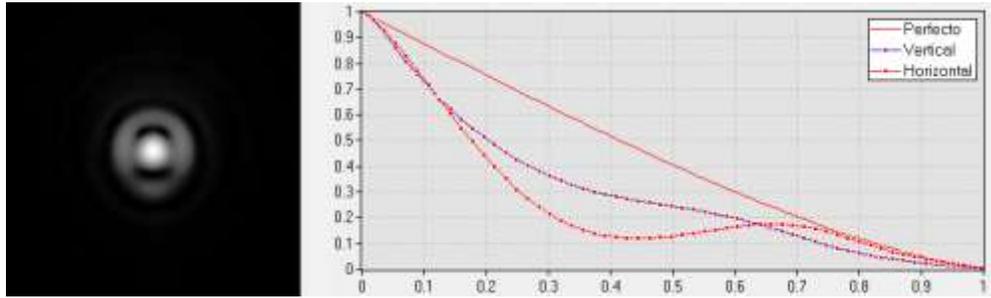
a) En el primer caso se había considerado un refractor apocromático con una apertura de 130mm, una relación focal de 7 (910mm de focal) y libre de todo tipo de perturbaciones atmosféricas u otras condiciones adversas más allá de las indicadas debajo de cada figura:



Equipo en foco sin ningún tipo de aberración.



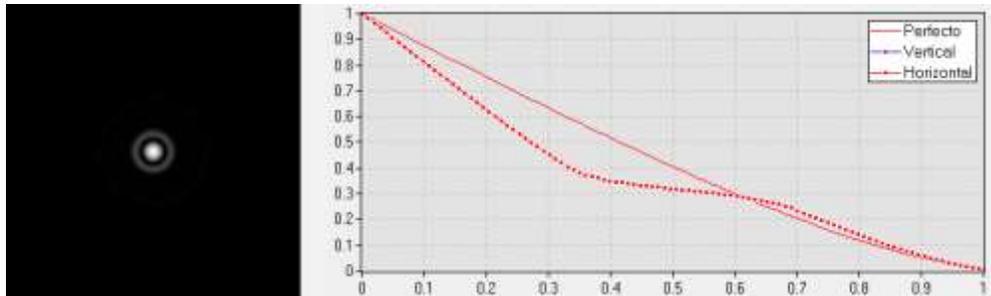
Equipo levemente fuera de foco (apartamiento de $\lambda/4 \cong 54\mu\text{m}$), sin ningún tipo de aberración.



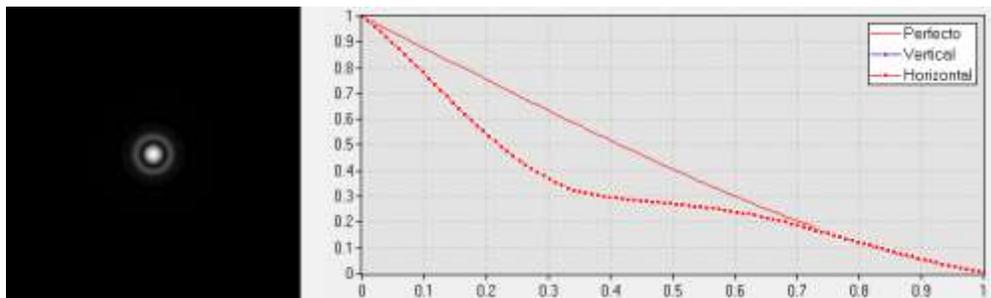
Equipo prácticamente en foco (apartamiento de $\lambda/10 \cong 22\mu\text{m}$), pero con varias aberraciones (coma, astigmatismo, esfericidad, etc.)

- b) A continuación, se presenta el caso de un Schmidt-Cassegrain con una apertura de 235mm, una relación focal de 10 (2350mm de focal), una obstrucción del 36% y libre de todo tipo de perturbaciones atmosféricas u otras condiciones adversas más allá de las indicadas debajo de cada figura.

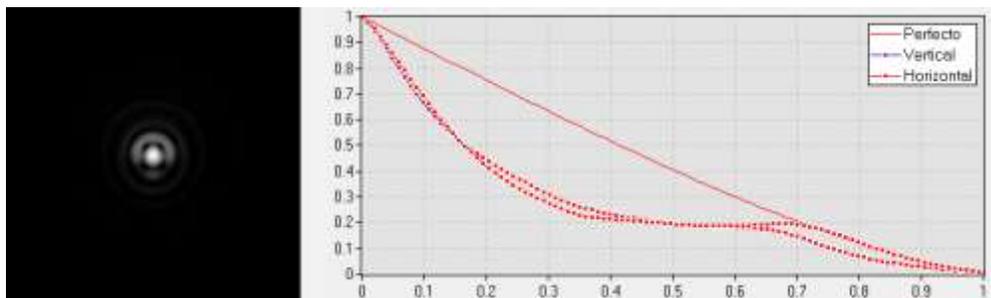
Como ya se ha comentado, la imagen presentada a la izquierda corresponde a una estrella artificial a 1000x, aun cuando la misma parece de menor tamaño que la observada con el refractor anterior, esto se debe a que ahora se tiene mayor apertura, lo que produce una disminución en el Disco de Airy.



Equipo en foco sin ningún tipo de aberración.



Equipo levemente fuera de foco (apartamiento de $\lambda/4 \cong 110\mu\text{m}$), sin ningún tipo de aberración.



Equipo prácticamente en foco (apartamiento de $\lambda/10 \cong 44\mu\text{m}$), pero con varias aberraciones (coma, astigmatismo, esfericidad, etc.)

De lo comentado hasta acá se desprende que la MTF proporciona una medida cuantitativa de la calidad de imagen que entrega determinado telescopio y de cómo se transfiere el contraste del objeto a la imagen observada. En rigor esto va más allá de la posibilidad de separar estrellas dobles, sino que se relaciona también con la posibilidad de poder resolver objetos extensos (por ejemplo, detalles en los anillos de Saturno o la superficie de la Luna).

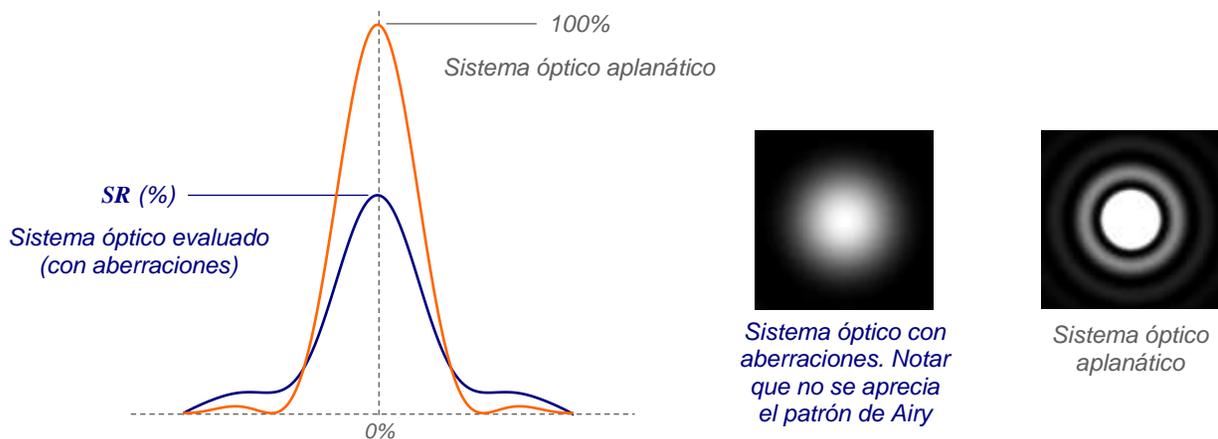
Así pues, lo ideal es que la respuesta del telescopio se asemeje lo más posible a un sistema limitado por difracción, dicho de otra forma, cualquier sistema que se aproxime (o supere) al MTF de sistema limitado en difracción tendrá un buen comportamiento. Se debe tener en cuenta es que la MTF resultante del sistema no sólo dependerá del telescopio, también influye cualquier elemento que se incorpore en el tren óptico (ocular, barlow, reductor focal, etc.), por lo que la MTF del conjunto resulta ser el producto ponderado de las MTF individuales.

A continuación, se verán otras formas de ponderar la calidad de un sistema óptico, siempre suponiendo que se está en ausencia de degradaciones externas y/o perturbaciones atmosféricas de cualquier tipo.

Relación de Strehl

Suponiendo ahora que no hay problemas de foco, la condición ideal sería que la PSF fuera lo más angosta y alta posible, tal como ocurre en los denominados sistemas ópticos **aplanáticos**, libre de toda aberración esférica, astigmatismo, coma, etc. (ver: [Reflectores Newtonianos - Aberración Esférica y Coma](#) y [Aberraciones - Astigmatismo y otras aberraciones](#)).

A fin de comparar el sistema óptico con el aplanático se tiene la denominada **Razón** o **Relación de Strehl (SR)** la cual no es otra cosa que el cociente entre el valor observado de la PSF (S) y el que debería tener en una situación ideal (un sistema aplanático). La Relación de Strehl puede ser expresada en “%” o de cero a uno, donde cero equivale a 0% y uno a 100%.



Como ya se verá más adelante por debajo del 80% se considera un sistema mediocre, por lo que bien se puede aplicar la siguiente expresión, la cual es válida en los casos en que la **SR** posea valores que se encuentren por encima del 50%:

$$SR \cong 1 - 4 \left(\frac{\pi \Delta\Phi}{\lambda} \right)^2 \text{ o lo que es equivalente: } \Delta\Phi \cong \frac{\lambda \sqrt{1 - SR}}{2\pi}$$

Se puede obtener una mejor aproximación si se adiciona: $4 \left(\frac{\pi \Delta\Phi}{\lambda} \right)^4$, resultando: $SR \cong \left(1 - 2 \left(\frac{\pi \Delta\Phi}{\lambda} \right)^2 \right)^2$

SR : Relación de Strehl

λ : Longitud de onda

$\Delta\Phi$: Valor eficaz del error expresado en longitudes de onda

Asignando como referencia de 100% al sistema aplanático un **SR** del 80% se lo considera **limitado por difracción**, también conocida como “**Regla de Maréchal**” (debajo de ese valor se lo considera no satisfactorio) y con un **SR** de 95% o más ya habla de un sistema óptico de muy buena calidad. Con base en la expresión de la Relación de Strehl, para lograr una **SR** del 80% (0.8), debería ser: $\Delta\Phi \cong \lambda/14$ ($RMS = 1/14 \cong 0.071$), mientras que en el caso del 95%, resultaría que $\Delta\Phi \cong \lambda/28$ ($RMS = 1/28 \cong 0.036$).

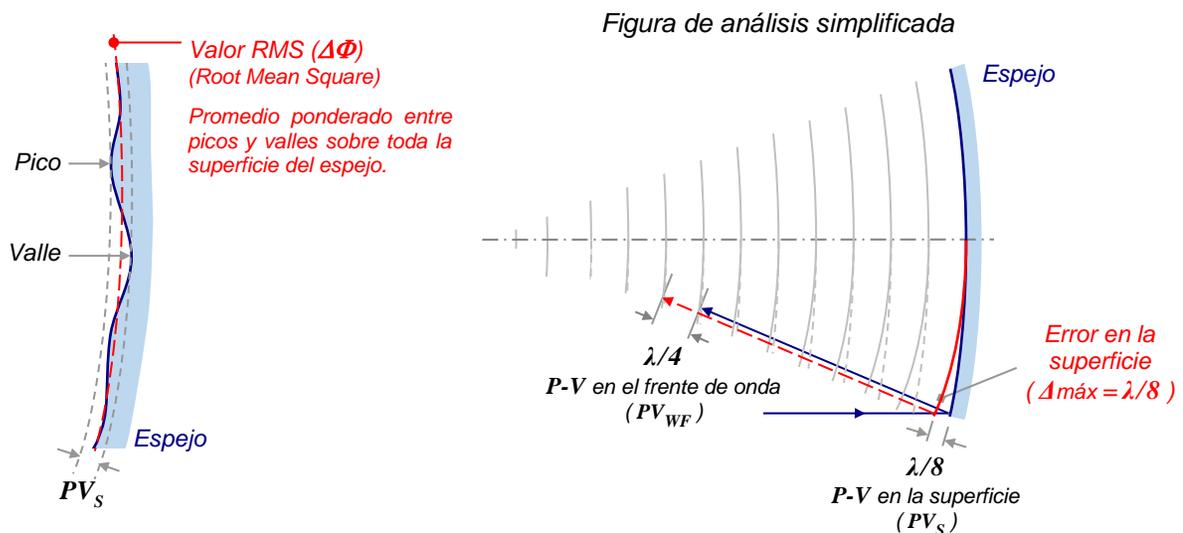
Para mayor información se puede consultar en: *The design and construction of large optical telescopes*, P. Bely, 2003 (Diffraction-limited system, página 119) o en la web:

- [Basic wavefront aberration theory for optical metrology](#) (§10)
- [Choosing and using a refracting telescope, Chapter 2](#) (§11)
- [The principles of astronomical telescope design, Chapter 2, Mirror design for optical telescopes](#) (§12)
- [Notes on amateur telescope optics, Strehl Ratio](#) (§13)

Si bien ya se ha mencionado, es importante recalcar que esta aplicación de la Relación de Strehl no toma en cuenta las degradaciones debidas a condiciones externas (como por ejemplo un mal Nivel de Seeing), sólo sirve para ponderar la calidad de un sistema óptico en condiciones ideales (sin atmósfera u otros agentes externos que pudieran resultar perjudiciales). Sin embargo, si en condiciones de observación se aprecia el Airy Disk al observar una estrella, significa que el telescopio es de muy buena calidad y se está frente a un cielo excelente. Más adelante se verá otra aplicación de la Relación de Strehl que se evalúa el Seeing tomando como 100% el equipo en el vacío.

Parámetros de calidad de un telescopio

Además de la Relación de Strehl frecuentemente se utilizan otros parámetros para definir la calidad de un equipo. Por ejemplo, en el caso de los reflectores, muchas veces se hace referencia al denominado error de “Pico-Valle”, resultante de medir la diferencia entre la máxima depresión (valle) y la máxima elevación (pico) respecto a la curvatura ideal del espejo, por ejemplo: “ $P-V = \lambda/4$ ”. Sin embargo, en muchos casos se encuentra también expresado como la mitad del valor anterior: $P-V = \lambda/8$, pero eso es midiéndolo en la superficie del espejo. Lo que es totalmente análogo a $P-V = \lambda/4$ pero medido en el frente de onda (ya que hay dos diferencias de $\lambda/8$ en lo que respecta al frente de onda, intuitivamente se podría interpretar como la correspondiente al camino de ida más el de vuelta). En el caso de un reflector, se tendría la siguiente representación esquemática:



En la figura se ha considerado que $PV_{WF} = 2 PV_S$

Para una relación formal entre el $P-V$ en la superficie y su correspondiente en el frente de onda, se puede consultar: *Integrated Optomechanical Analysis*, Keith B. Doyle, Victor L. Genberg & Gregory J. Michels, 2002, páginas 129 y 130.

Sin entrar en mayores detalles, para el caso de un reflector, se tiene que para incidencia normal resulta:

$$PV_{WF} = 2 PV_S$$

PV_{WF} : Pico-Valle (P-V) medido en el frente de onda.

PV_S : Pico-Valle (P-V) medido en la superficie.

Es importante destacar que en el caso de los refractores esta regla no se cumple. En rigor el tratamiento es un tanto más complejo ya que involucra índices de refracción de un conjunto de elementos cuyos valores, con frecuencia, se desconocen.

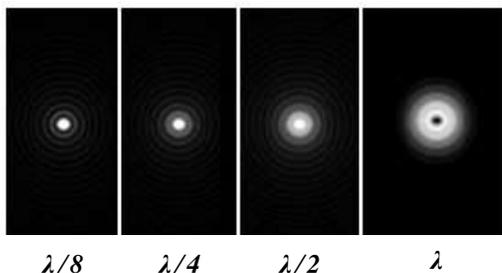
Sin embargo, aún para reflectores, este método de ponderación del error adolece de dos defectos:

1. El primero y principal es que se indica una diferencia entre el máximo y el mínimo, pero no se dice nada acerca de la cantidad de deformidades que hay en todo el espejo.
2. En segundo lugar, no siempre se especifica la forma en que se lo ha medido. Si el error P-V en superficie es de $0.065 \mu\text{m}$ (65nm), expresado en longitudes de onda daría cerca de $\lambda/8$ si es especificado con una longitud de onda correspondiente al verde (550nm), pero resultaría casi $\lambda/10$ si se trata de luz roja (650nm).

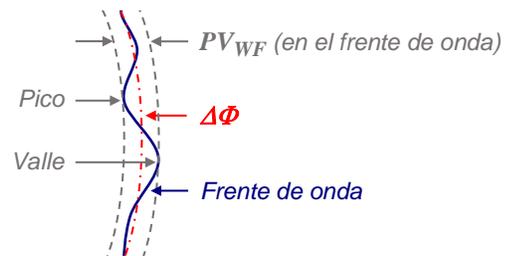
En realidad, es mucho más conveniente utilizar la Relación de Strehl (SR) o en su defecto el valor eficaz del error o RMS ($\Delta\Phi$), ya que en ambos casos el error se pondera sobre la superficie de todo el espejo. Si bien la relación entre PV_{WF} y $\Delta\Phi$ depende del tipo de deformación del espejo, las técnicas actuales de fabricación aseguran que como mínimo se puede obtener que:

$$\Delta\Phi \cong \frac{PV_{WF}}{3.5} \text{ Medido sobre la el frente de onda.}$$

Cuando se tiene un error $PV_{WF} = \lambda/4$ (medido en el frente de onda), esto coincide con una SR de 0.8, es decir, un valor eficaz ($\Delta\Phi$) de aproximadamente $\lambda/14$. Partiendo del caso típico de un telescopio limitado por difracción, en general se tendrá que la imagen no se degrada mayormente si el frente de onda se mantiene en un rango de un cuarto de la longitud de onda.



Sin aberraciones ni perturbaciones atmosféricas

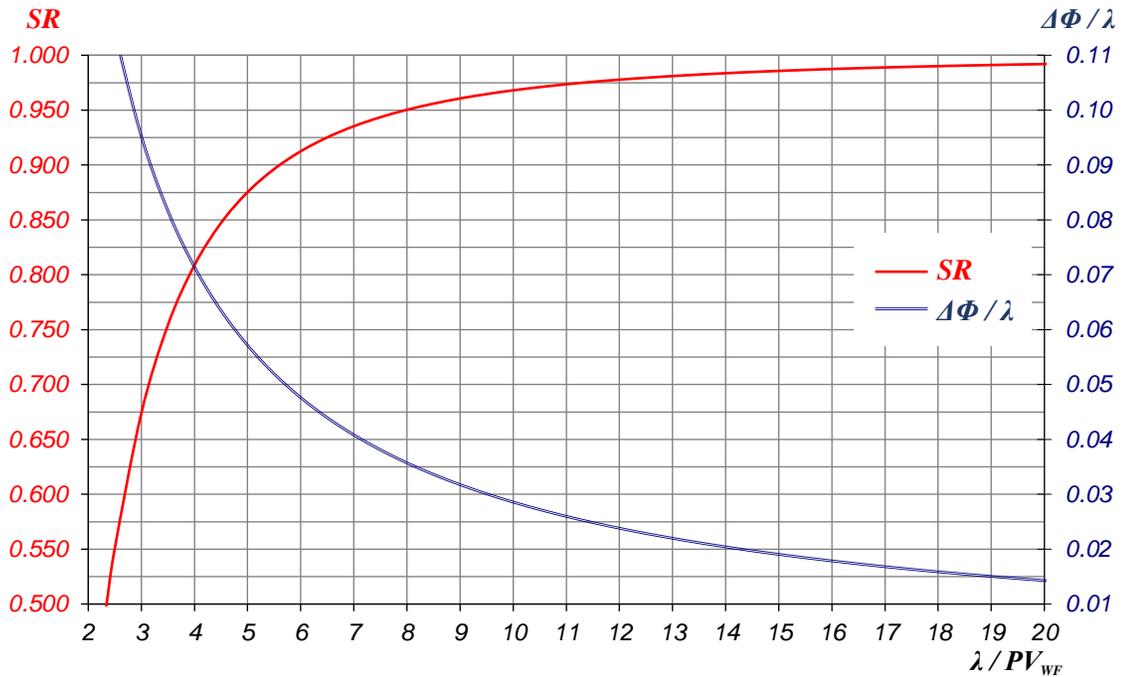


$PV_{WF} = \lambda/4$ (Regla de Rayleigh de $\lambda/4$)

Esto último se conoce como la “Regla de Rayleigh de $\lambda/4$ ” o “Regla de Rayleigh del cuarto de onda” (no confundir esto último con el Criterio o Límite de Rayleigh visto anteriormente).

A continuación, se presenta una gráfica donde se representan SR y $\Delta\Phi$ para cada valor de PV_{WF} , notar que se parte de un valor de por encima de $\lambda/2$, esto se debe a que la expresión de SR es sólo válida cuando SR está por encima de 0.5 (de cualquier forma, algo con una SR por debajo de 0.5, sólo podría considerarse un juguete de mala calidad).

Si bien hay una diferencia considerable entre el valor de SR para $PV_{WF} = \lambda/4$ y el correspondiente a $\lambda/8$, a partir de $\lambda/8$ los incrementos de PV_{WF} no impactan tan dramáticamente en el valor de SR, el cual comienza una lenta aproximación asintótica a 1 por encima de $\lambda/8$.



A continuación, se presenta una tabla resumen con los valores anteriores para ambas expresiones de **SR**.

PV_{WF}	$\Delta\Phi/\lambda$ (1)	$\Delta\Phi$ (1)	SR (2)	SR (3)	Calidad del equipo (*)
$\lambda/2$	-	-	-	-	Pésima
$\lambda/3$	0.095	$\lambda/10.5$	0.642	0.674	Regular a mala
$\lambda/4$	0.071	$\lambda/14$	0.799	0.809	Buena (telescopio limitado por difracción)
$\lambda/5$	0.057	$\lambda/17.5$	0.871	0.875	Buena +
$\lambda/6$	0.048	$\lambda/21$	0.910	0.912	Muy buena
$\lambda/7$	0.041	$\lambda/24.5$	0.934	0.935	Muy buena +
$\lambda/8$	0.036	$\lambda/28$	0.950	0.950	Superior
$\lambda/9$	0.032	$\lambda/31.5$	0.960	0.961	Superior +
$\lambda/10$	0.029	$\lambda/35$	0.968	0.968	Excelente
$\lambda/12$	0.024	$\lambda/42$	0.978	0.978	Excelente +
$\lambda/16$	0.018	$\lambda/56$	0.987	0.987	Sobresaliente
$\lambda/20$	0.014	$\lambda/70$	0.992	0.992	Sobresaliente +

Donde: $\Delta\Phi(1) \cong \frac{PV_{WF}}{3.5}$, $SR(2) \cong 1 - 4 \left(\frac{\pi \Delta\Phi}{\lambda} \right)^2$ y $SR(3) \cong \left(1 - 2 \left(\frac{\pi \Delta\Phi}{\lambda} \right)^2 \right)^2$

(*) En el [Foro de Cloudy Nights](#) se pueden consultar ejemplos de equipos comerciales dentro de cada uno de los rangos mencionados (§14)

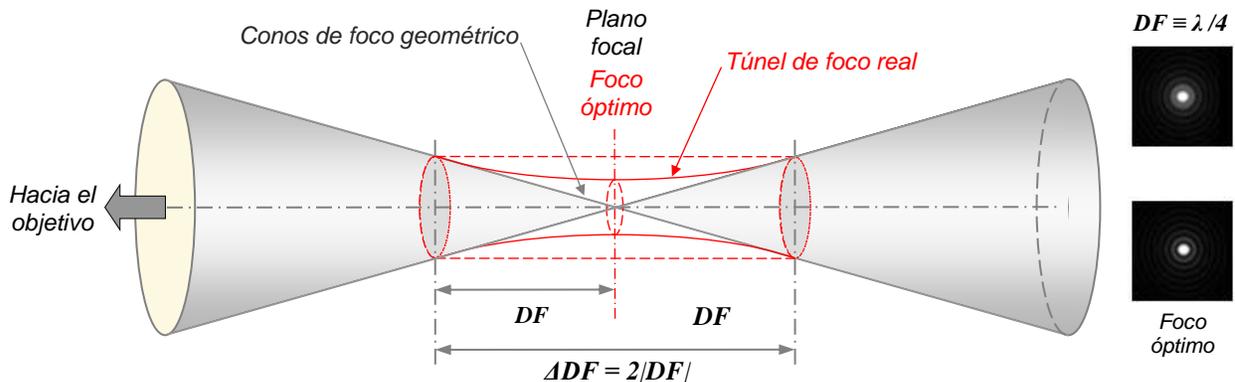
Se debe tener en cuenta que las mencionadas hasta aquí no son las únicas medidas que determinan la calidad de un telescopio, simplemente son las que se presentan con mayor frecuencia en las especificaciones de los equipos.

Profundidad de enfoque

Profundidad de enfoque es la distancia por delante y por detrás del punto focal óptimo en la que la imagen se encuentra aceptablemente enfocada (no confundir este concepto con "profundidad de campo"). Si se toma la Regla de Rayleigh de $\lambda/4$, la imagen no se degrada mayormente si se mantiene en un rango de un cuarto de la longitud de onda, a continuación, se verá como trasladar esto al focuser (enfocador).

Originalmente Robert E. Cox había establecido que la profundidad de enfoque se relacionaba sólo con la focal del telescopio, por lo que resultaba que era independiente de su apertura, artículo publicado en agosto de 1964 por Sky & Telescope, "Gleanings for ATMs - The Problem of Focusing in Amateur Instruments", páginas 97-99. Sin embargo, tal como se demuestra en la bibliografía citada a continuación, si hay una dependencia con la apertura. Para mayor información sobre este tema se puede consultar en *The design and construction of large optical telescopes*, P. Bely, 2003 (Depth of focus, página 121) o el siguiente material disponible en la web:

- [Basic wavefront aberration theory for optical metrology](#), página 11 (§10)
- [Choosing and using a refracting telescope, Chapter 2](#), página 30 (§11)
- [Depth of focus](#) (§15)



Se demuestra entonces que: $PV_{WF} = \frac{DF}{8F^2} \Rightarrow DF = PV_{WF} 8F^2$ (Hacia cada lado)

Así, para un equipo limitado por difracción ($PV_{WF} = \pm\lambda/4$) será: $DF = \pm 2\lambda F^2$ y dado que: $\Delta DF = 2|DF|$

Resulta entonces: $\Delta DF = 4\lambda F^2$ (para $\lambda = 550nm = 0.55\mu m$, se tiene que: $\Delta DF = 2.2F^2 [\mu m]$)

Si el frente de onda se corresponde con el de un equipo limitado por difracción $PV_{WF} = \pm\lambda/4$, podemos reformular la "Regla de Rayleigh de $\lambda/4$ " como la condición en la que la imagen no se degrada mayormente en un rango de foco dado por $\Delta DF = 2.2F^2 \mu m$ (para $\lambda = 0.55\mu m$). Es decir: $\pm 1.1F^2 \mu m$ de intra y extra foco (respecto al punto correspondiente al foco óptimo).

PV_{WF} : Frente de onda adoptado [μm].

ΔDF : Profundidad de enfoque [μm].

DF : Profundidad de enfoque hacia cada lado [μm].

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] (**Focal del telescopio / Apertura**).

λ : Longitud de onda en nm, generalmente se utiliza 550nm correspondiente a la luz verde.

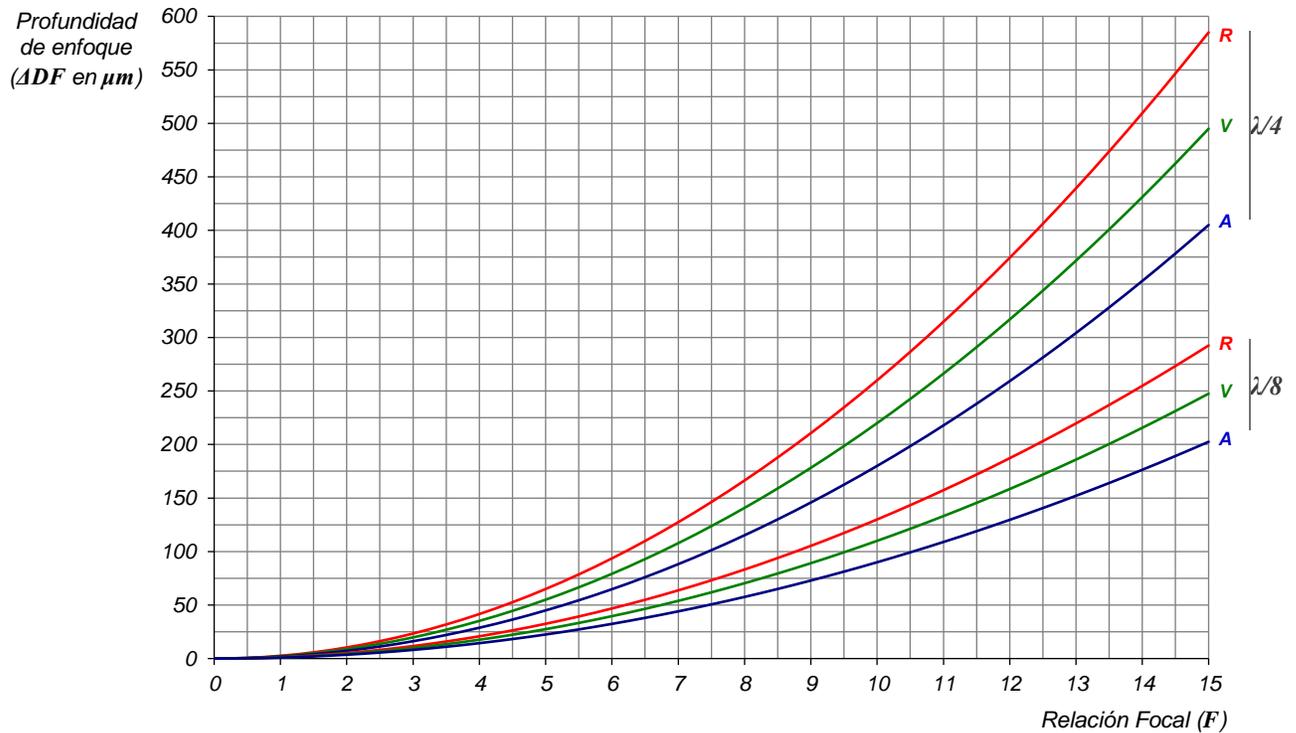
Visto desde un punto de vista más intuitivo, la dependencia respecto a la relación focal se debe a que el cono de luz se mantiene invariante mientras se mantenga la relación entre la apertura y la focal, por lo que la profundidad de enfoque dependerá sólo de la relación focal para una dada longitud de onda, pero siempre teniendo en cuenta que el telescopio está libre de perturbaciones atmosféricas y posee SR de 80% (limitado por difracción). Esto pone en evidencia que cuanto mayor sea la relación focal de un telescopio el enfocador resulta ser menos exigente, por lo que con grandes relaciones focales muchas veces un enfocador (focuser) del tipo "piñón y cremallera" resulta más que suficiente, mientras que con relaciones focales más pequeñas se hace necesario recurrir a otro tipo de enfocadores, como por ejemplo los Crayford.

Si en lugar de $\lambda/4$ ("Regla de Rayleigh de $\lambda/4$ ") se toma $PV_{WF} = \pm\lambda/m$ (con $m > 4$), el ΔDF se reduce en igual proporción. Por ejemplo, para $\pm\lambda/8$ (lo que equivale a una SR de aproximadamente 0.95) se tendría un ΔDF del 50%.

En este caso resulta: $DF = \pm \lambda F^2 \Rightarrow \Delta DF = 2 \lambda F^2$, de forma que para $\lambda = 550 \text{ nm}$ se tiene: $\Delta DF = 1.1 F^2 [\mu\text{m}]$

En general, para λ/m : $\Delta DF = \frac{8.8}{m} F^2 [\mu\text{m}]$ (cuanto mayor sea la exigencia en el foco, menor resultará ΔDF)

A continuación, se muestran las curvas correspondientes a la profundidad de enfoque para el caso de un telescopio limitado por difracción ($PV_{WF} = \pm\lambda/4$), así como para el caso correspondiente a $PV_{WF} = \pm\lambda/8$, con una Relación de Strehl de 0.95 (95%) y $\Delta\Phi \cong \lambda/28$ (con un valor de $RMS \cong 0.036$). Para ambos casos se presentan las curvas individuales correspondientes a las longitudes de onda de 650nm (Rojo), 550nm (Verde) y 450nm (Azul). Tal como se aprecia en la figura, al aumentar la calidad del equipo las exigencias para cada longitud de onda tienden a igualarse:



En el caso de la observación real, bajo condiciones atmosféricas adversas (mal Nivel de Seeing), se define profundidad de enfoque como el rango de enfoque que no degrada la señal más allá del 2%.

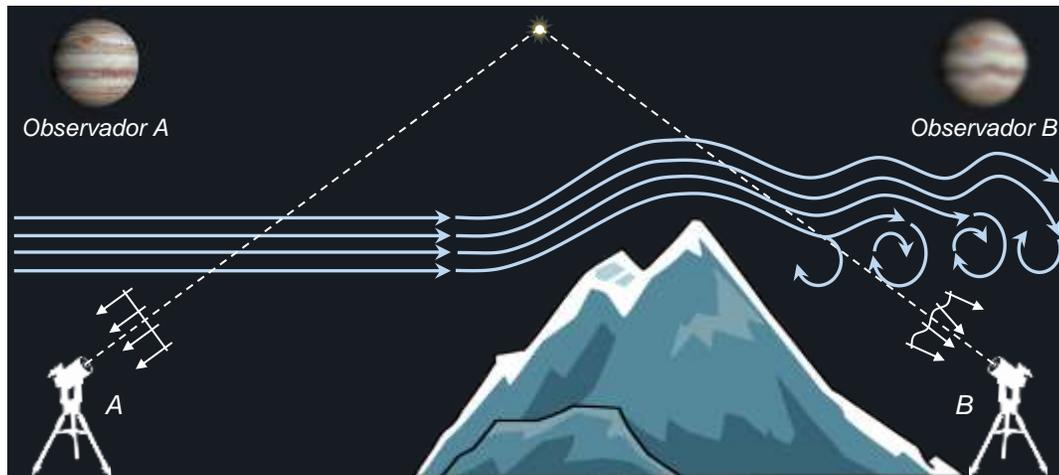
Efectos del seeing (FWHM)

Tal como ya se ha comentado al hablar de resolución, existen limitaciones en lo que se puede observar y estas limitaciones están dadas por la calidad de la atmósfera y, en particular, se relacionan con las turbulencias que impactan sobre los flujos laminares presentes en la atmósfera. Además de ciertos fenómenos intrínsecos de la atmósfera:

- La **absorción** de fotones.
- La **dispersión** de la luz causada por las moléculas del aire y/o las partículas presentes en el espacio exterior (esto último es lo que da origen a la denominada Luz Zodiacal).
- La **emisión**, como por ejemplo el "airglow" (luminiscencia nocturna debida a los átomos y moléculas de la alta atmósfera que fueron excitadas por la radiación ultravioleta durante el día).
- La **refracción** debida a los diferentes índices de refracción en las capas que conforman la atmósfera que, como veremos a continuación, junto con las turbulencias son el principal aporte en cuanto a efectos adversos.

En suma, antes de llegar a la atmósfera se tiene un frente de onda cuasi perfecto (una PSF equivalente a la del vacío), pero al entrar a la atmósfera el mismo se degrada debido a esas imperfecciones y en lugar de ver las estrellas como puntos fijos se ven titilar a simple vista o como una mancha difusa con movimientos aleatorios en el telescopio.

Como ya se ha comentado, la suma de estos efectos se denomina **Seeing**, aunque sería más adecuado hablar de **"Nivel de Seeing"**. Si bien lo que nos ocupa son sus efectos, veamos someramente algunas de sus causas.



En la figura se muestra un ejemplo del frente de onda con un buen seeing debido a un flujo laminar de aire ("A") versus el frente de onda debido al mal seeing debido al aire turbulento ("B"), que en este caso se origina a consecuencia de un obstáculo (cerro o montaña).

Tal como se indica en [The Earth's atmosphere: seeing, background, absorption & scattering](#) (§16), la atmósfera presenta una serie de capas debidas a las diferencias de temperatura y presión a diferentes alturas, donde cada una de ellas posee su propio índice de refracción. Si bien en general se considera que el índice de refracción del aire es 1, esa es sólo una aproximación, ya que en rigor depende de la temperatura y presión, tal como se expresa en la fórmula de Cauchy. Y de la humedad, como lo expresa la corrección efectuada por Lorentz:

$$n = 1 + \frac{77.6 \cdot 10^{-6}}{T} \left(1 + \frac{7.52 \cdot 10^{-3}}{\lambda^2} \right) \left(\rho + 4810 \frac{v}{T} \right)$$

- n : Índice de refracción
- T : Temperatura absoluta [en grados Kelvin].
- λ : Longitud de onda [nm]
- ρ : Presión del aire [mbars]
- v : Presión de vapor de agua [mbars]

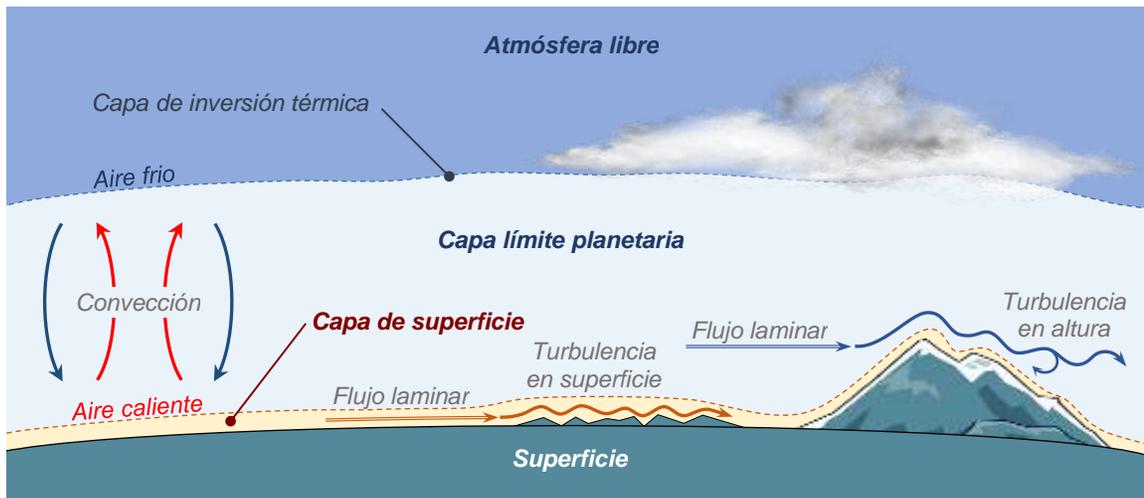
Sin embargo, salvo la niebla, el vapor de agua no tiene un efecto demasiado relevante sobre el índice de refracción al menos desde un punto de vista observacional, pero si puede afectar las columnas de aire al causar convección. Si no se toma en cuenta la humedad, para $\lambda=550\text{nm}$, se tiene que aproximadamente:

$$n \cong 1 + 77.6 \cdot 10^{-6} \frac{\rho}{T}$$

Tomando la aproximación anterior, mientras que a nivel del mar se tiene un índice de refracción de **1.0003**, a 10 km de altura resulta ser de **1.0001**. Si bien las variaciones pueden parecer despreciables, no lo son cuando las capas de la atmósfera se entremezclan debido a turbulencias, las cuales a su vez pueden tener varios orígenes:

- Los **disturbios** debidos a las variaciones en la forma del terreno que pueden crear turbulencias, como por ejemplo las generadas en la figura anterior, del lado de la montaña hacia donde se dirige el viento (sotavento).
- Los **vientos fuertes**, particularmente los muy rápidos, pueden generar cambios de velocidad o dirección originando remolinos, dando origen a capas turbulentas entre otras capas que pueden estar en flujo laminar.
- La **convección** debida a que el aire es calentado por conducción con la superficie cálida de la Tierra y se eleva hacia el aire más frío, mientras que el aire más frío desciende generando corrientes verticales ascendentes y descendentes respectivamente.

En general cuando se habla de seeing hay tres capas relevantes (eventualmente cuatro), cuyas alturas relativas pueden variar con la latitud y a lo largo del día:



- 1) La **capa de superficie** típicamente se extiende desde algunos metros a decenas de metros sobre el suelo. En esta capa la turbulencia es generada por los cambios de velocidad o dirección del viento, lo cual se debe a presencia de obstáculos topográficos y a los efectos de la fricción con la superficie del suelo. Por lo que está fuertemente influenciada por la geometría y rugosidad del suelo, las edificaciones, topografía, vegetación, fuentes de calor, etc.

Por lo general el aporte en cuanto al Nivel de Seeing es similar o menor al de la siguiente capa, aunque en ciertos casos puede que sea esta la que más aporta en el deterioro del Nivel de Seeing, pudiendo llegar incluso a afectar en el orden de los minutos de arco en centros urbanos o con topografías muy abruptas. Es por esa razón que los mejores sitios de observación tienen una capa superficial pequeña, como por ejemplo de 5 metros en el Observatorio de Paranal.

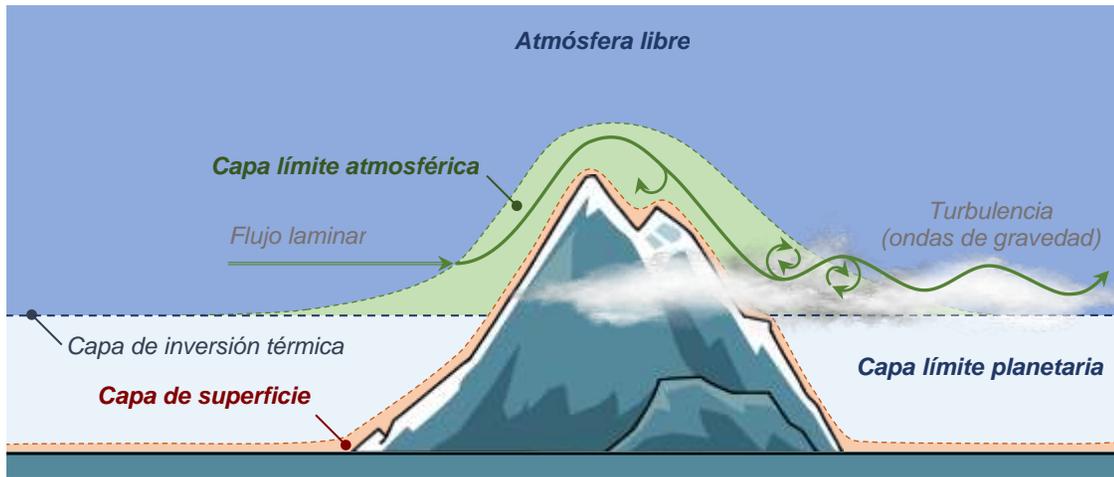
- 2) Le sigue la **capa límite planetaria**, que se extiende desde el límite de la **capa de superficie** hasta la denominada **capa de inversión térmica**, es decir la interfaz entre el aire caliente de la superficie y el aire frío de la atmósfera (no confundir con el efecto de **inversión térmica**, que se produce cuando se intercambian las regiones de aire frío y caliente, lo que impide las corrientes de convección). Frecuentemente se le asigna una altura de entre 600 y 800 m, aunque puede llegar a ser de 1 o 2 km por sobre el nivel del mar. Su altura depende de varios factores, como la topografía, rugosidad de la superficie, naturaleza de la cubierta vegetal, humedad, etc. Desde un punto de vista práctico se puede decir que se extiende hasta la base de las nubes.

Si bien existen efectos de fricción con la superficie de la Tierra, también aparece un movimiento vertical significativo debido a los ciclos diarios de calentamiento y enfriamiento del suelo, que se traslada al aire. Durante el día, el aporte de calor y la consiguiente mezcla vertical del aire incrementan el grosor de esta capa, que alcanza su máxima altura a primeras horas de la tarde; por el contrario, durante la noche el enfriamiento del suelo impide la convección y su espesor se reduce.

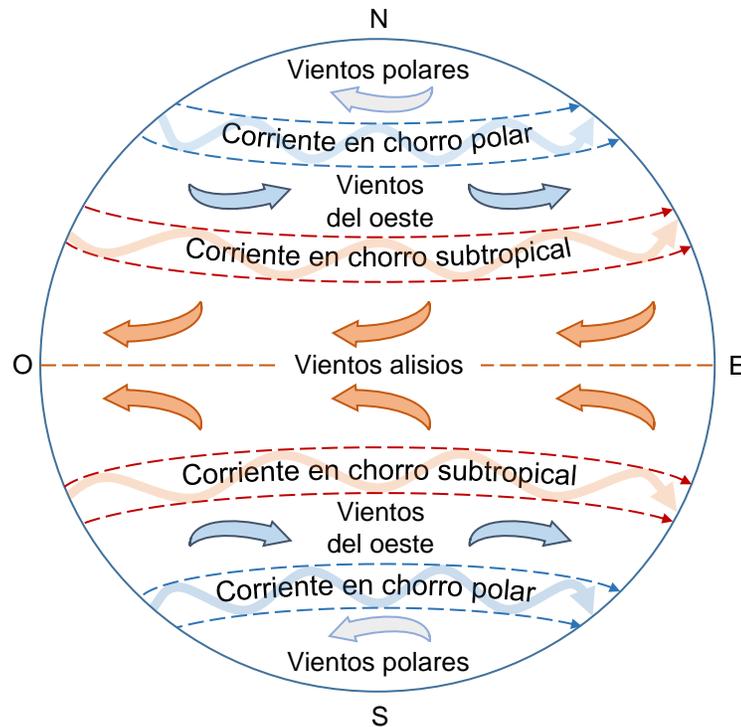
Sin embargo, en caso que existan elevaciones importantes por encima de la capa de inversión térmica (por ejemplo 2 o 3 km), podemos hablar de otra capa, usualmente denominada **capa límite atmosférica** y separada de la **capa límite planetaria** por la **capa de inversión térmica**.

Aunque ya no está tan influida por la convección, puede verse afectada por el suelo desde el punto de vista térmico, pero principalmente topográfico (por ejemplo, grandes montañas). En efecto, los cambios abruptos en la topografía pueden generar las denominadas **ondas de gravedad** (similares a las olas en el mar, tal como se muestra en el siguiente video: <https://youtu.be/yXnkzeCU3bE>- © Daryl Herzmann, Tama, Iowa, USA, KCCI-TV webcam, 2007-05-06), las que a su vez pueden dar origen a un flujo turbulento que se transfiere a las capas más altas de la atmósfera.

En general lo ideal para emplazar observatorios son islas o lugares cerca del mar, donde el flujo es laminar y generalmente exhibe pequeñas fluctuaciones térmicas o, por lo general, por encima de la capa límite. Es en estas capas límite (Planetaria y Atmosférica) donde los efectos adversos en el nivel de seeing son más significativos, pudiendo llegar a varias decenas de segundos de arco.



- 3) Por último, y por encima de la anterior, se tiene la **atmósfera libre** la cual se extiende hasta la tropopausa (límite exterior de la tropósfera, que varía de 6 a 9 km en los Polos hasta los 16 a 18 km en el Ecuador). Si bien no se ve afectada por la influencia del suelo si lo está por los flujos de aire a gran escala que afectan a grandes regiones de la superficie terrestre. Por ejemplo, dependiendo de la latitud, los Vientos Alisios a menor altura y los Vientos del Oeste y las Corrientes en Chorro en las capas medias y altas respectivamente.



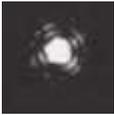
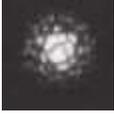
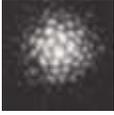
En general la contribución al seeing producida por la atmósfera libre es de aproximadamente 0.4 segundos de arco en promedio.

Como consecuencia de las mencionadas turbulencias en las distintas capas de la atmósfera, aparecen dos efectos notorios:

- El **centelleo**, que surge como consecuencia de que la pupila recibe una cantidad variable de energía durante el tiempo. Esto se debe a que la capa turbulenta en momentos se comporta como una lente convexa (convergente) y en otros momentos como una lente cóncava (divergente) originando que la pupila reciba más o menos luz en forma intermitente. Dado que en última instancia es un fenómeno de interferencia, resulta ser altamente cromático, es por esa razón que las estrellas parecen cambiar de color y aún más las que se encuentran cerca del horizonte.
- El otro efecto es la **agitación** o desplazamiento de la imagen en el plano focal debido a los cambios de inclinación del frente de onda.

Se puede demostrar que ambos efectos son inversamente proporcionales al diámetro de la apertura, es por esa razón que muchas veces se los aprecia a simple vista, pero no por el telescopio. Esto no significa que aumentando la apertura desaparezcan los inconvenientes originados por un mal Nivel de Seeing, simplemente se atenúan, pero si se magnifica demasiado se cambian los beneficios de esa atenuación por una imagen con la apariencia de desenfocada.

Si bien existen varias formas de ponderar el Nivel de Seeing la más usual es la denominada Escala de Antonaldi, dicha ponderación se lleva a cabo generalmente a ojo desnudo y define cinco niveles (aunque algunos prefieren hacerlo con un telescopio y una estrella por encima del horizonte, donde los efectos de seeing son menores):

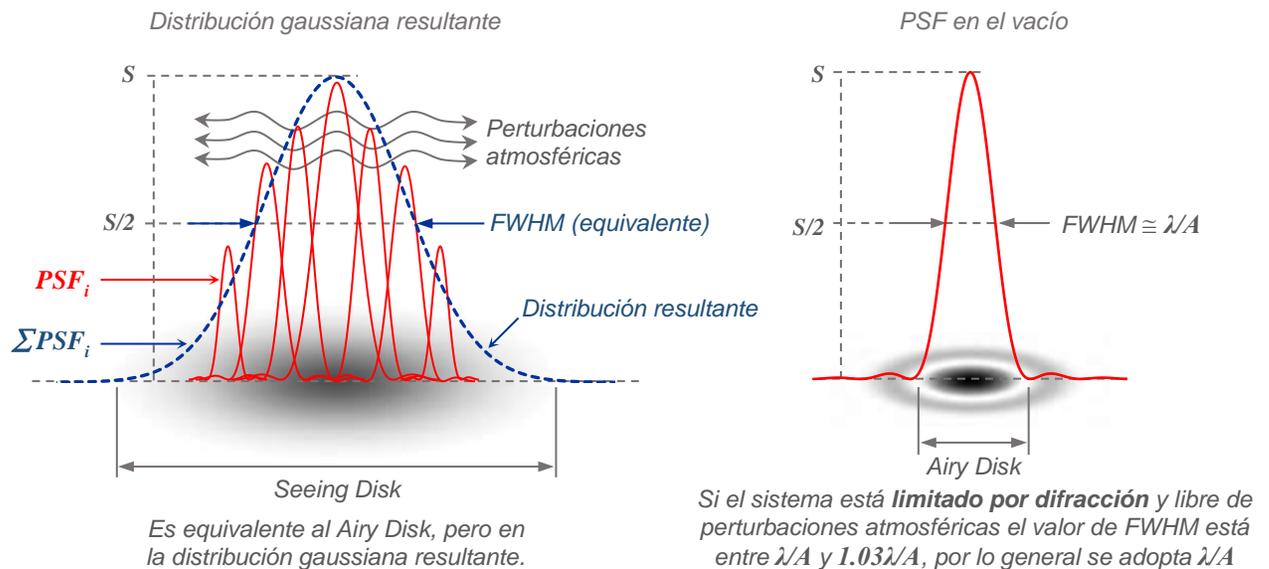
Nivel	Ponderación	Patrón de difracción Patrón de Airy	Resolución Límite de Rayleigh [arcsec] Magnificación (x)	¿Cómo se observa? (*)
1	Perfecto	Muy bien definido e inmóvil.	Menor a 1.0 (> 280x)	 <p>Las estrellas no titilan. Con cualquier ocular se obtienen imágenes perfectas. Esta condición es muy poco frecuente, si bien no es totalmente imposible alcanzarla, usualmente no se prolonga en el tiempo. Se requiere de sitios muy especiales y altos donde predominen los flujos laminares con muy pocas fluctuaciones térmicas.</p>
2	Excelente	Ligeras ondulaciones en los anillos exteriores.	Entre 1.0 y 2.0 (280x ↔ 140x)	 <p>Las estrellas casi no titilan o lo hacen de a ratos. Por lo general, con bajas magnificaciones se obtienen imágenes excelentes y sólo a muy altas magnificaciones (las máximas posibles para el telescopio) se observan en forma continua o esporádica alguna perturbación.</p>
3	Bueno	Algunas deformaciones centrales y los anillos se ven entrecortados.	Entre 2.0 y 3.0 (140x ↔ 90x)	 <p>Las estrellas titilan de forma moderada. En este caso sólo es posible obtener valores cercanos mitad de la máxima magnificación posible, a bajas magnificaciones casi no se detectan perturbaciones.</p>
4	Regular	Deformaciones centrales muy significativas y turbulentas, los anillos casi no se aprecian.	Entre 3.0 y 4.0 (90x ↔ 70x)	 <p>Las estrellas titilan notoriamente. Si bien a bajas magnificaciones las imágenes son aceptables al ir aumentándola se comienzan a percibir resultados medios, generalmente sólo se puede utilizar a lo sumo un tercio de la máxima magnificación.</p>
5	Malo	Directamente no se puede observar ningún patrón de difracción.	Mayor a 4.0 (70x <)	 <p>Las estrellas titilan de forma continua y muy visible. Con cualquier ocular se aprecian imágenes muy distorsionadas. La observación astronómica se hace casi imposible.</p>

(*) © Figura 2 (5 imágenes) - Copyright by Weather Office, Environment Canada, Government of Canada y Seeing forecast for astronomical purposes (§1)

Para mayor información sobre las causas del seeing se puede consultar el siguiente material disponible en la web:

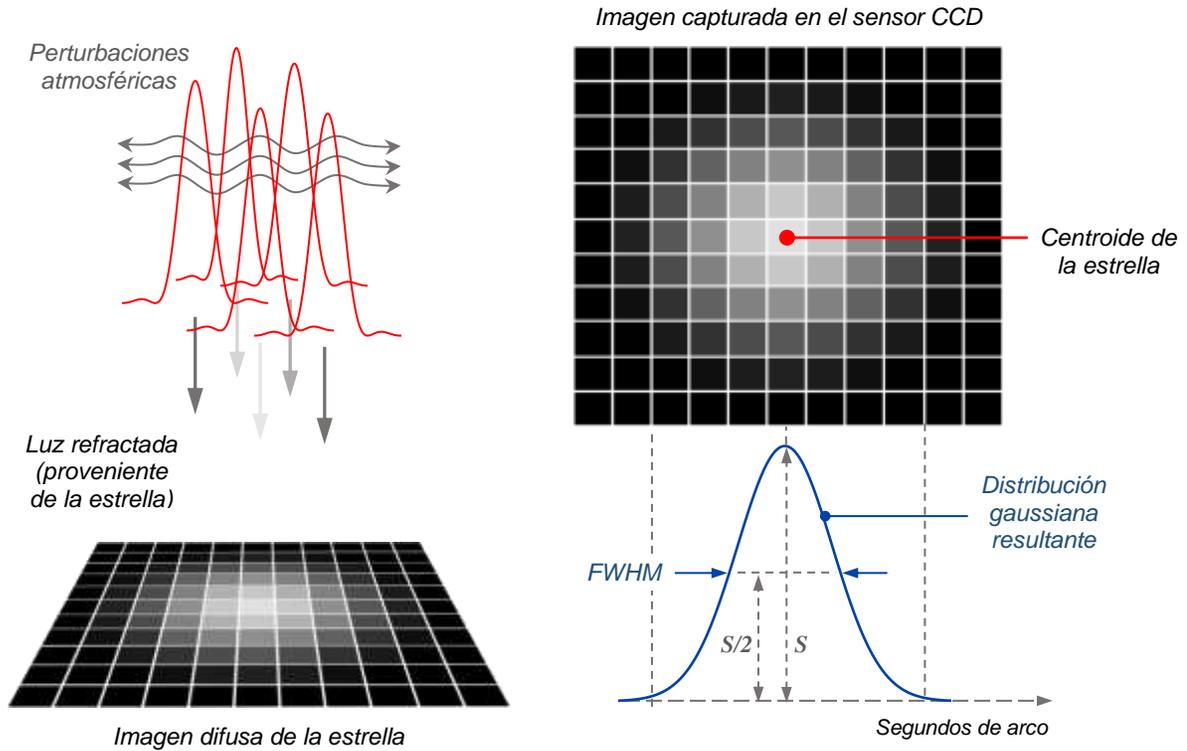
- [Astronomical optics and astronomical seeing \(optical turbulence\) - Part 1: The nature of turbulence](#) (§17)
- [Astronomical optics and astronomical seeing \(optical turbulence\) - Part 2: Seeing measurement methods](#) (§18)
- [Optical Turbulence Characterization for Ground-Based Astronomy](#) (§19)
- [The RASC Calgary Centre - Atmospheric seeing](#) (§20)
- [Astronomía Observacional, La Atmósfera Terrestre, G. L. Baume, 2013](#) (§21)

Si bien lo que sigue aplica usualmente sólo al caso de la astrofotografía permite fijar algunos conceptos. Regresando al concepto de la PSF, lo explicado hasta ahora sería válido para condiciones ideales, o sea sin las perturbaciones ocasionadas por la atmósfera. Resulta evidente entonces, al menos por lo que se aprecia en las imágenes de los Airy Disk en casos reales, que la PSF está lejos del ideal, por lo que el ancho de la PSF visible sería una medida de la perturbación de la atmósfera (debido al Nivel de Seeing). En una situación atmosférica excelente ese valor debería estar entre 0.5 y 1 segundo de arco lo cual supera el poder de resolución de un telescopio con una apertura por encima de los 150 mm, lo que significa que por más que el telescopio resuelva más el resultado va a estar enmascarado por el mal Nivel de Seeing. Formalmente no se debería hablar de PSF en presencia de mal Nivel de Seeing sino más bien de una distribución resultante conformada por varias PSF (tal como se aprecia en los niveles 4 o 5 de la Escala de Antonaldi, en particular el 5, donde cada punto podría verse como una PSF):

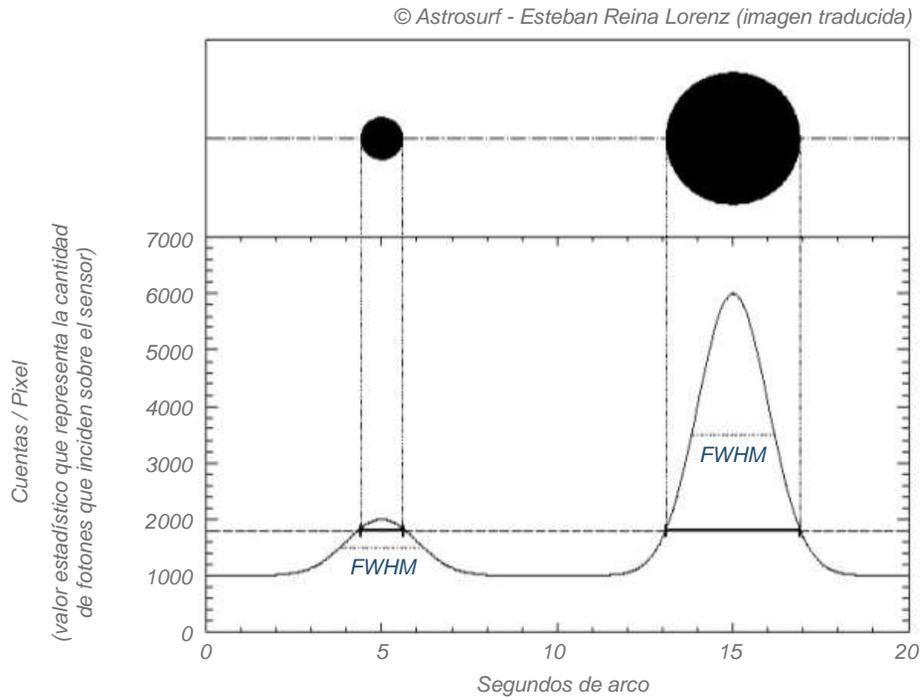


Si las perturbaciones en la atmósfera fuesen nulas, el tamaño de la estrella a través del telescopio sería igual al que determina su Airy Disk, pero cuando la turbulencia atmosférica es lo suficientemente grande como para aumentar el Airy Disk, la resolución queda determinada por la atmósfera y no por la apertura del telescopio. En ese caso en lugar de hablar de Airy Disk se habla de **Seeing Disk** y el valor del FWHM (Full Width at Half Maximum) define el Nivel de Seeing. Ese valor es el que aparece en la figura de la izquierda como "FWHM (equivalente)" y corresponde al valor del ancho en segundos de arco donde la distribución resultante (informalmente PSF resultante) toma su valor medio ($S/2$), el cual obviamente no coincide con el FWHM de un sistema limitado por difracción y sin perturbaciones atmosféricas, tal como se muestra en la misma figura a la derecha.

Tal como ya se ha comentado, dado que la atmósfera distorsiona el frente de onda proveniente de la estrella, lo que se observa (o captura en el sensor de la cámara) no corresponde a una única distribución de la PSF en una ubicación fija, sino a una cierta cantidad de distribuciones alrededor de lo que sería la ubicación más probable de la fuente puntual. Si se observa una estrella por un telescopio en un buen cielo, se ve un Patrón de Airy oscilante, si se asimila al ojo a una filmadora, cada uno de los cuadros se correspondería con una fuente puntual. Dicho de otra forma, lo que captura el sensor es en realidad la composición de varias distribuciones en torno al punto más probable, donde cada una de esas PSF tendrá un eje diferente. Sin embargo, dado que las distorsiones de la atmósfera resultan aleatorias para el conjunto de las PSF, la distribución resultante será una distribución normal gaussiana (Teorema Central del Límite), aun cuando cada una de ellas no sea ni gaussiana ni igual (poseen anchos y alturas diferentes), por lo que el FWHM que se pondera en realidad no es el de la PSF sino el de esta distribución gaussiana resultante, lo que en realidad estará bastante lejos del valor aproximado de λ/A .



Así pues, en un caso real, con perturbaciones atmosféricas y teniendo en cuenta que la PSF resultante posee una sección circular, la misma mantendrá su forma y sólo cambiará de escala, por consiguiente, para diferentes estrellas el valor del FWHM se mantendrá constante en una dada toma. Dicha situación se presenta en la siguiente figura donde se comparan las FWHM correspondientes a las distribuciones gaussianas de diferentes estrellas, es decir, las distribuciones resultantes y no las PSF en el vacío (las cuales no son gaussianas).



Distribuciones gaussianas que representan la PSF equivalente

© Figura 3 - Copyright 1997-2024

Astrosurf - Mejora de la relación señal a ruido, seeing y resolución (§22)

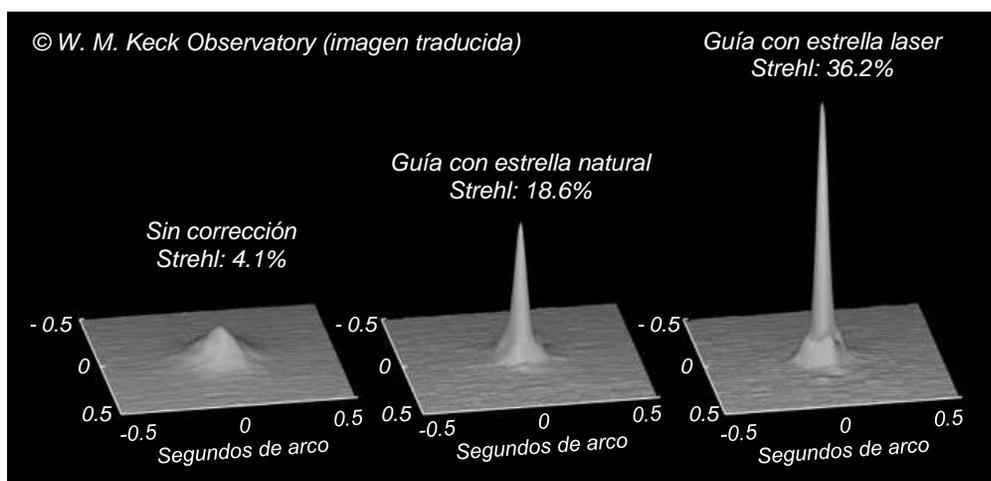
En la figura anterior se deja en evidencia que las FWHM se mantienen iguales independientemente de la magnitud de la estrella. Esto permite tener una idea del nivel de seeing midiendo la FWHM en una estrella de cualquier magnitud.

Desde un punto de vista práctico, el valor correspondiente al FWHM puede ser obtenido por software y mediante el uso de una cámara. Una de las opciones disponibles es el [EQAlign](#) (§23).

Para información adicional referida a las mediciones del seeing se puede consultar el siguiente material disponible en la web:

- [Astronomical seeing conditions as determined by turbulence modelling and optical measurement](#) (§24)
- [Astronomical optics and astronomical seeing \(optical turbulence\) - Part 2: Seeing measurement methods - angular diameter of star image](#) (§25)
- [Metodología para cálculo de seeing](#) (§26)

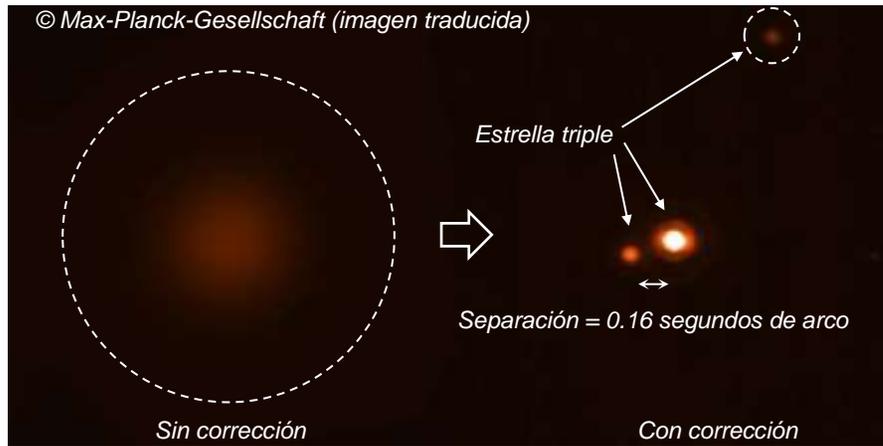
Ahora bien, mientras el ancho se relaciona con la calidad de la atmósfera, la altura de la PSF (S) se vincula con la denominada **Razón** o **Relación de Strehl (SR)**, la cual en este caso no es otra cosa que el cociente entre el valor observado de la PSF (S) y el que ese equipo debería tener en una situación ideal (sin atmósfera). Aunque en este caso no se aplica al diseño óptico sino a la degradación debida a factores externos (la atmósfera), por lo que la PSF del divisor sería ahora la correspondiente a la del sistema evaluado y no a la de un sistema óptico aplanático (libre de toda aberración esférica y coma) que se mencionó antes. Así, cuanto peor sea la atmósfera, más cerca del 0% estará ese valor y la situación ideal (sin atmósfera) sería 100%.



© Figura 4 - Copyright 2005-2024 by W. M. Keck Observatory
[Laser guide star available for adaptive optics](#) (§27)

Antes se había mencionado que cuando la **SR** de un sistema llegaba al **80%** se lo considera **limitado por difracción**. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los valores de la **SR** como consecuencia de la atmósfera están muy por debajo de **80%**, incluso en situaciones normales resulta más que aceptable tener un quinto o un décimo de ese valor (en algunos casos ni se logra llegar a esos valores). En la figura anterior del “W. M. Keck Observatory” se muestran tres representaciones de la PSF resultante correspondiente a la imagen de una estrella puntual. La primera de la izquierda representa la PSF resultante debida a la atmósfera (**SR=4.1%**). Mientras que las otras dos presentan una imagen corregida mediante ópticas adaptativas, en el centro se utiliza como referencia una estrella real (**SR=18.6%**), mientras que en la derecha una estrella láser artificial (**SR=36.2%**).

Al igual que antes, cuanto más angosta y alta sea la PSF mejores serán las condiciones de observación. Para lograr esto último y a nivel profesional se utilizan los sistemas ópticos denominados adaptativos, los cuales se deforman tratando de seguir las perturbaciones atmosféricas para de esa forma compensar su efecto. En realidad, las ventajas de este tipo de soluciones suelen ser bastante evidentes, lamentablemente es algo que está fuera de las posibilidades de cualquier aficionado. Veamos un ejemplo de esto último aplicado al caso del Gran Telescopio Binocular (LBT):



© Figura 5 - Copyright 2003-2024 by [Max-Planck-Gesellschaft](#) (§28) © [LBT Collaboration, Sharper than Hubble, Large Binocular Telescope achieves major breakthrough](#) (§29). Se han resaltado las imágenes muy difusas.

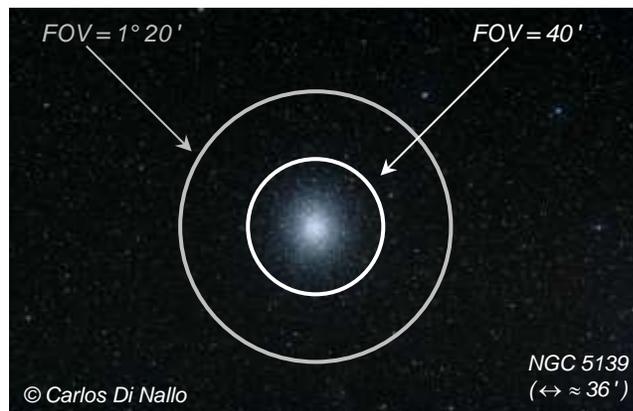
A la izquierda de la figura de arriba se aprecia una estrella doble observada con el Gran Telescopio Binocular (LBT) en el modo estándar y a la derecha con el módulo de corrección adaptativa activado. Como consecuencia de la dispersión atmosférica, la estrella más débil casi no puede ser apreciada en las imágenes tomadas en el modo estándar, mientras que es fácilmente visible cuando está activado el módulo de adaptación. Gracias al aumento de la sensibilidad del telescopio con el modo de adaptación, en la imagen se evidencia también una tercera estrella aún más débil que se hace visible en la parte superior derecha. A partir del uso de las denominadas ópticas adaptativas, el Gran Telescopio Binocular de Arizona han logrado valores del SR por encima del 60%, llegando incluso al 80%.

Para mayor información se puede consultar el siguiente material disponible en la web:

- [Fundamentos de astrofísica](#) (§30)
- [Adaptive optics, an overview of GMT Adaptive Optics \(Giant Magellan Telescope\)](#) (§31)
- [Adaptive optics on large telescopes](#) (§32)
- [Architecture and performance of astronomical adaptive optics systems](#) (§33)
- [Fundamentals of atmospheric and adaptive optics](#) (§34)

Campo de visión - FOV

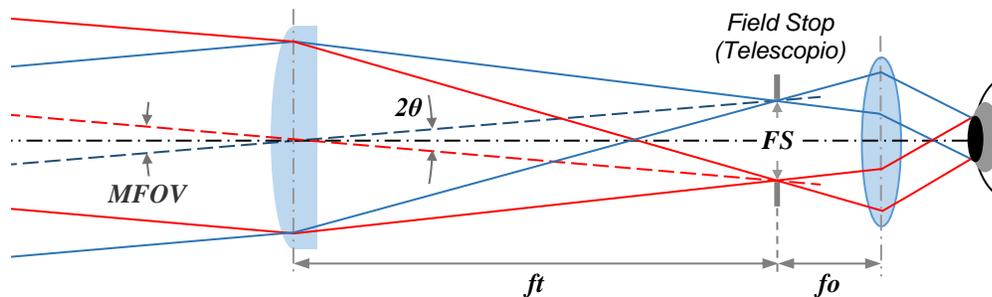
El campo de visión (**FOV**) es el diámetro angular de la región de cielo que se puede observar a través del telescopio. En otras palabras, si la Luna tiene un tamaño de 0.5 grados (30 minutos de arco), esta ocuparía la totalidad del ocular si el conjunto Telescopio + Ocular lograra un campo real de 0.5°. En rigor el FOV representa un ángulo sólido, es decir, el correspondiente al corte transversal de un cono recto y puede ser medido en grados o minutos de arco (matemáticamente sería más preciso hablar de estereorradianes).



© Figura 6 - Copyright 2013-2024 por [Carlos Di Nallo](#) (§35)

Campo máximo - MFOV

Representa el campo máximo que el telescopio puede alcanzar independientemente del ocular que se utilice y se relaciona con la focal del telescopio y el diámetro del field stop (también del telescopio). Recordemos que el **field stop** se define como la menor reducción en tren óptico, lo que con frecuencia coincide con el enfocador (focuser), al menos en el caso de los refractores y los reflectores newtonianos.



De la figura anterior se desprende que cualquier haz de luz que ingrese con un ángulo de incidencia mayor a θ será descartado ya que es "bloqueado" por el field stop del telescopio o los diafragmas.

En consecuencia, resulta que, siendo $MFOV = 2\theta$, se tiene que:

$$MFOV = 2 \arctan\left(\frac{FS/2}{ft}\right) = 2 \times \arctan\left(\frac{FS}{2ft}\right) \text{ [radianes]}$$

Suponiendo que FS es mucho menor que ft se puede admitir que: $\theta \cong \frac{FS}{2ft}$

Por lo que resulta que resulta que el campo máximo $MFOV$ (2θ) resulta ser igual al cociente entre el field stop del telescopio y la distancia focal del mismo (expresado en radianes):

$$MFOV \cong \frac{FS}{ft}$$

$MFOV$: Campo máximo que puede alcanzar el telescopio [radianes]

FS : Field stop del telescopio [expresado en las mismas unidades de ft]

ft : Focal del telescopio [expresado en las mismas unidades de FS]

Notar que es independiente de la apertura y sólo depende de la focal y el field stop (ambos en las mismas unidades). Por lo que so lo expresamos en las unidades usuales resulta:

$$MFOV [^\circ] \cong \left(\frac{180}{\pi}\right) \frac{FS}{ft} \Rightarrow MFOV [^\circ] \cong \frac{1455 FS}{ft} \text{ (1)} \quad \text{o} \quad MFOV [^\circ] \cong \frac{57.3 FS}{ft} \text{ (2)}$$

$MFOV [^\circ]$: Campo máximo que puede alcanzar el telescopio [grados]

FS : Field stop del telescopio [pulgadas] (1) o [mm] (2)

ft : Focal del telescopio [mm]

Suponiendo los casos más típicos para el enfocador de un refractor o reflector newtoniano, tendremos que:

$$MFOV [^\circ]_{@1.25''} \cong \frac{1819}{ft} [^\circ] \quad \text{y} \quad MFOV [^\circ]_{@2.0''} \cong \frac{2910}{ft} [^\circ]$$

En el caso de un refractor o un reflector newtoniano, el valor del field stop generalmente coincide con el diámetro del enfocador (focuser), pero en el caso de los catadióptricos esto puede no ser así. Como formalmente se entiende por field stop a la menor obstrucción en el camino óptico, en algunos diseños esto estaría dado por el baffle tubular interno (caso de los Schmidt-Cassegrain y Maksutov-Cassegrain). Sin embargo, no siempre se tiene acceso para medirlo ni tampoco coincide con el valor que muchas veces se determina prácticamente. En el caso de algunos Schmidt-Cassegrain, el field stop coincide razonablemente con el diámetro del baffle que se encuentra adosado al espejo primario, algo similar ocurre con los Maksutov-Cassegrain. En otros diseños, como por ejemplo algunos Ritchey-Chrétien, puede llegar a 2" (incluso puede ser mayor) tal es el caso de los GSO RC (también comercializados como Astro-Tech y iOptron).

Si el field stop del telescopio fuera inferior a 2" y superior a 1.25", los valores de **MFOV** efectivo serían los correspondientes a los de un field stop de 1.25" si se utilizan oculares de esa medida y menor a 2" si se utilizan estos últimos. Si bien carece de sentido en visual, cuando el field stop supera las 2" (o eventualmente las 3"), los valores que presenta la calculadora de oculares pueden ser utilizados en el caso de astrofotografía, en cuyo caso el límite (cota) sería el ancho, largo o diagonal del sensor de la cámara (en pulgadas).

Si el enfocador fuese de 3" y se le coloca un adaptador para oculares de 1.25" o 2", el **MFOV** resultará ser el de dicho adaptador. En suma, si bien es un parámetro propio del telescopio, el valor real dependerá del barril del ocular utilizado. Por otra parte, resulta evidente que cuanto mayor sea la focal menor será el **MFOV** resultante, puesto que el valor del mismo es inversamente proporcional a la focal del telescopio.

Campo aparente - AFOV

Para el caso del ocular se define un valor equivalente, el Campo Aparente (**AFOV**), el cual representa el diámetro angular del círculo de visión (medido en grados) y por el cual se observa a través de un ocular. Este puede variar típicamente de 30° a 120°, dependiendo del diseño del ocular. En realidad, el valor del **AFOV** real no es exactamente el valor especificado para cada ocular, pero en general suele tomarse ese valor como tal. Al igual que en el caso del telescopio, el **AFOV** puede estimarse aproximadamente mediante la siguiente expresión:

$$AFOV = 2 \arctan\left(\frac{FS_o}{2 f_o}\right) \text{ [radianes]}$$

Si la focal es grande comparada con el field stop del ocular ($f_o \gg FS_o$), se puede utilizar la expresión aproximada, es decir:

$$AFOV \cong \frac{180}{\pi} \times \frac{FS_o}{f_o} \cong 57.3 \frac{FS_o}{f_o}$$

AFOV : Campo aparente del ocular [grados]

FS_o : Field stop del ocular [mm]

f_o : Focal del ocular [mm]

Si bien el field stop del ocular es un parámetro de diseño, puede ser medido con un calibre. Otra opción para estimar el **AFOV** es determinarlo conociendo la focal del ocular y midiendo el tiempo que tarda una estrella sobre el ecuador celeste (0° de declinación) en cruzar diametralmente el ocular. (Ver: [Tiempo de tránsito](#))

Cabe destacar que el ocular suele tener una distorsión positiva, lo que significa que la magnificación de la imagen aumenta exponencialmente con la altura del punto de la imagen. En efecto, la parte exterior de la imagen se estira y se ve con un aumento mayor que el de las partes internas de la imagen (esto puede ir acompañado o no de una aberración esférica de la pupila de salida). Esta distorsión origina que el field stop del ocular, y por ende el campo verdadero, es mayor por el factor de distorsión de lo que realmente es. Eso es relativamente insignificante con oculares **AFOV** pequeños (aproximadamente un 5% de promedio en un ocular convencional de 45°), pero dado que la distorsión aumenta con la tercera potencia del ángulo, puede ser un factor en los de gran campo. Por ejemplo, un ocular de 10 mm con 60° con sin distorsión tendría un field stop de 11,5 mm, mientras que para uno con una distorsión del 10% sería de 12,6 mm. El diámetro del field stop correspondiente al campo real (sin distorsión) es siempre menor que el real.

Con una magnitud habitual de distorsión que va desde hasta el 5% con 40° hasta el 20% con 80°, se puede obtener un valor aproximado de FS_o mediante alguna de las siguientes expresiones más o menos empíricas:

$$FS_o \cong \frac{f_o \times AFOV}{(K - AFOV/K)} \quad [AFOV \text{ en grados}] \quad \text{Notes on amateur telescope optics, Eyepiece functions } (\S 36)$$

$$FS_o \cong 0.964 \frac{f_o \times AFOV}{K} \quad [AFOV \text{ en grados}] \quad \text{Astronomical optics - Part 5: Eyepiece Designs } (\S 37)$$

$AFOV$: Campo aparente del ocular, el especificado por el fabricante [en grados]

FS_o : Field stop del ocular [mm]

f_o : Focal del ocular [mm]

K : Constante de conversión de radianes a grados, es decir: $K=180/\pi \approx 57.3$

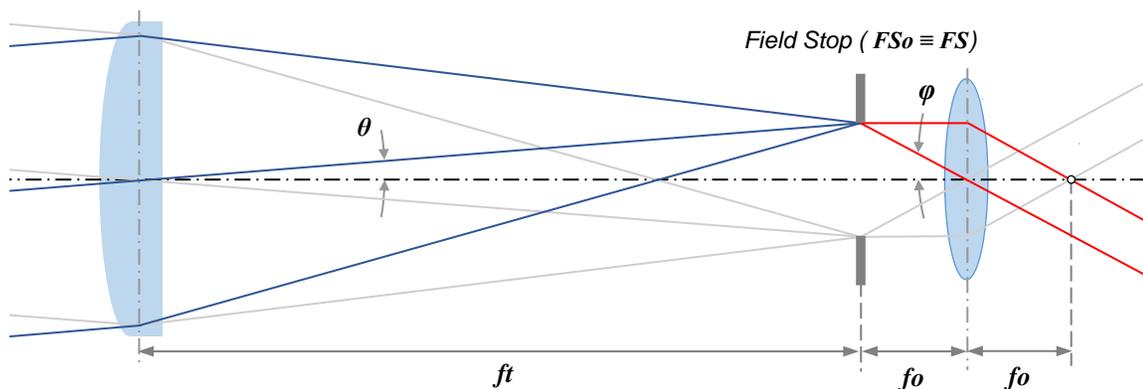
En general esta corrección es más útil con oculares de focales cortas. Sin embargo, como veremos en las secciones siguientes, el valor del $AFOV$ es particularmente significativo cuando tratamos de evaluar los campos máximos, lo que involucra focales altas. Si por el contrario se dispone del valor de FS_o especificado por el fabricante (generalmente en mm), lo más conveniente es utilizarlo para obtener el $AFOV$. Es decir, en lugar de utilizar el valor de campo especificado, tomar como $AFOV$:

$$AFOV [^\circ] \cong 57.3 \frac{FS_o}{f_o} \quad [AFOV \text{ en grados}]$$

En general se va a obtener un valor de campo ligeramente diferente al especificado, diferencia que se irá incrementando a medida que se aumenta el campo especificado.

Campo efectivo (real) - TFOV

Existe otro valor que pondera el campo de visión efectivo para el conjunto Telescopio + Ocular. Cuando tratamos el tema de magnificación (Ver: [Magnificación](#)) vimos que la misma estaba dada por:



$$M = \frac{\tan(\phi)}{\tan(\theta)} \quad \text{Donde } 2\phi \text{ representaría } AFOV, \text{ mientras que } 2\theta \text{ el } TFOV. \text{ Es decir: } M = \frac{\tan(AFOV / 2)}{\tan(TFOV / 2)}$$

Sin embargo, en general el $TFOV$ es un valor pequeño, por lo que la tangente se confunde con el ángulo, es decir:

$$M = 2 \frac{\tan(AFOV / 2)}{TFOV} \Rightarrow TFOV = \frac{2}{M} \tan\left(\frac{AFOV}{2}\right)$$

Dicho de otra forma, el $TFOV$ representa el campo de visión para una dada magnificación (M) un determinado $AFOV$.

Ahora bien, sabemos que: $AFOV = 2 \arctan\left(\frac{FS_o}{2fo}\right) \Rightarrow TFOV = 57.3 \frac{FS_o}{ft}$

- AFOV** : Campo aparente del ocular [grados]
- FS_o** : Field stop del ocular [mm]
- fo** : Focal del ocular [mm]
- ft** : focal del telescopio [mm]

Claro que esto implica conocer el field stop del ocular, algo que no siempre es posible. Eso suponiendo que el field stop del ocular sea mayor o igual al del telescopio, caso contrario habría que tomar el del telescopio (en mm para la expresión anterior).

De esto se desprende la ventaja intrínseca de los telescopios más rápidos o luminosos en visual (es decir, los equipos con bajas relaciones focales: F6 o menos).

A igualdad de apertura (A), una menor relación focal (F), implica mayor Campo Efectivo (TFOV)

Pero el valor del **TFOV** no puede ser cualquiera ya que se encuentra acotado por el **MFOV** del telescopio. Por lo que siempre se debe cumplir: $TFOV \leq MFOV$, caso contrario se producirá **viñeteo** (pérdida de imagen en la periferia) ya que por el ocular sólo se apreciaría lo que el telescopio puede brindar (**MFOV**) y esto sólo depende del Fiel Stop del telescopio (**FS**) y de los parámetros propios del ocular (suponiendo que el field stop del telescopio es mayor al del ocular).



TFOV ≤ MFOV
Sin viñeteo



TFOV > MFOV
Viñeteo de aproximadamente un 20% en diámetro

Es decir: $TFOV \leq MFOV \Rightarrow TFOV \cong 2fo \times \tan\left(\frac{AFOV}{2}\right) \leq FS$ Es decir: $AFOV_{MAX} = 2 \arctan\left(12.7 \frac{FS}{fo}\right)$

- AFOV_{MAX}** : Máximo campo aparente del ocular [grados]
- FS** : Field stop del telescopio [pulgadas]
- fo** : Focal del ocular [mm]

Si se conoce el field stop del ocular, la anterior se puede simplificar un poco más. Teniendo en cuenta que:

$MFOV [^\circ] \cong 57.3 \frac{FS}{ft}$ y $TFOV [^\circ] \cong 57.3 \frac{FS_o}{ft}$, la condición, $TFOV \leq MFOV$ quedaría como: $FS_o \leq FS$

El problema es que es raro que los fabricantes especifiquen el field stop de sus oculares (una excepción serían Tele Vue y Explore Scientific, que lo hacen con todos sus oculares), tampoco se cuenta siempre con un calibre (o si se tiene uno, se corre el riesgo de dañar las ópticas). Por lo que la única opción sería utilizar alguna de las expresiones aproximadas vistas para **FS_o**. En lo personal suelo utilizar: $FS_o = 0.964fo \times AFOV / 57.3$, ya que el hecho de tomar en cuenta el field stop del ocular se hace particularmente relevante cuando deseo conocer el máximo **TFOV** posible.

Lo que se hace en la práctica para evaluar el valor máximo del **TFOV** considerar la siguiente expresión simplificada:

$$M = \frac{AFOV}{TFOV} \Rightarrow TFOV = \frac{AFOV}{M} = \frac{fo \times AFOV}{ft}$$

- TFOV** : Campo efectivo
- AFOV** : Campo aparente del ocular
- M** : Magnificación [adimensional]
- fo** : Focal del ocular [mm]
- ft** : Focal del telescopio [mm]

Dado que $TFOV = \frac{fo \times AFOV}{ft}$ y $MFOV = \frac{FS}{ft}$, la condición, $TFOV \leq MFOV$ quedaría ahora como:

$$\frac{fo \times AFOV}{ft} \leq \frac{FS}{ft} \Rightarrow fo \times AFOV \leq FS \text{ Es decir: } AFOV_{MAX} = 1455 \frac{FS}{fo}$$

- AFOV_{MAX}** : Máximo campo aparente del ocular [grados]
- FS** : Field stop del telescopio [pulgadas]
- fo** : Focal del ocular [mm]

Se debe tener en cuenta que lo tratado hasta aquí no es más que una aproximación razonable en una gran parte de los casos, en particular cuando los valores de **AFOV** no superan los 40° o 50°.

En la calculadora de oculares se presentan los valores de **TFOV** de acuerdo a esta última simplificación, es decir: $TFOV = M \times AFOV$, la cual será más o menos realista dependiendo de si se ingresa el valor del **AFOV** especificado por el fabricante o el valor del **AFOV** correspondiente al field stop del ocular (siempre y cuando se tenga la información del verdadero Field Stop de ocular para estimar el valor del **AFOV** efectivo).

El algoritmo utilizado en la calculadora de oculares parte de las siguientes premisas:

a) Con base en la focal (**fo**) y el **AFOV**, se estimará el Field Stop (**FS_o**) de ocular según la expresión:

$$FS_o = 0.964 \frac{fo \times AFOV}{K} \quad \text{Astronomical optics - Part 5: Eyepiece Designs (§37)}$$

- AFOV** : Campo aparente del ocular, el especificado por el fabricante [en grados]
- FS_o** : Field stop del ocular [mm]
- fo** : Focal del ocular [mm]
- K** : Constante de conversión de radianes a grados, es decir: $K=180/\pi \approx 57.3$

b) En el caso en que el Field Stop estimado resulte mayor que el diámetro del barril del ocular (**Ø_o**), se aplicará la siguiente corrección:

$$\text{Si } \frac{fo \times AFOV}{K} > \text{Ø}_o, \text{ se tomará: } AFOV = \frac{K(\text{Ø}_o - 2)}{fo} \text{ y el } FS_o \text{ estimado se calculará a partir de ese } AFOV.$$

- AFOV** : Campo aparente del ocular, el especificado por el fabricante [en grados]
- fo** : Focal del ocular [mm]
- Ø_o** : Barril del ocular [mm]
- K** : Constante de conversión de radianes a grados, es decir: $K=180/\pi \approx 57.3$

c) El **TFOV** resultante: $TFOV = K \frac{FS_o}{ft}$ será contrastado con el **MFOV**.

TFOV : Campo efectivo [en grados]

FS_o : Field stop del ocular [mm]

ft : Focal del telescopio [mm]

MFOV : Campo máximo del telescopio [en grados]

K : Constante de conversión de radianes a grados, es decir: $K=180/\pi \approx 57.3$

Independientemente de si produce o no viñeteo, si el **TFOV** resultara mayor que el **MFOV** se generará una alerta (valor en rojo). Dependiendo si se trata de un formato planilla, compacto o directamente la calculadora de oculares en HTML, se podrá obtener mayor información acerca de las consideraciones particulares, colocando el cursor sobre el valor, haciendo clic en (i) o directamente en el cuadro de "Información adicional acerca del ocular"

d) En cualquier otro caso ($TFOV \leq MFOV$) resultante, también se hará una comparación entre el Fiel Stop del ocular (**FS_o**) y el correspondiente al telescopio (**FS**) para evaluar la posibilidad de viñeteo (es decir: $FS \leq FS_o$). De ocurrir el valor aparecerá en **bordó**. Para obtener mayor información se puede proceder como en el punto anterior.

En el caso particular de un telescopio con enfocador de 1.25" se debería cumplir $fo \times AFOV \leq 1819$ y en el caso de contar con un enfocador de 2.00" se debería ser $fo \times AFOV \leq 2910$ con oculares de 1.25" y 2" respectivamente. Resulta más que evidente que en el caso de un telescopio con enfocador de 2" basta que se cumplan las condiciones anteriores. Pero veamos que sucede en el caso particular de un telescopio con enfocador de 1.25" en el cual, mediante un adaptador, se utiliza un ocular de 2". Donde **FS_o** y **fo** son respectivamente el field stop y la focal del ocular:

- 1) Si se cumple que: $FS_o > 1.25"$, resulta que ahora se tendría un nuevo **FS_o** (impuesto por el adaptador), por lo que entonces resulta: $AFOV \cong 1819/fo$. En otras palabras, habría una reducción en el campo aparente del ocular que se traduce en el **TFOV**, aunque en este caso se produciría cierto viñeteo ya que se tiene un field stop que resulta ser menor al del ocular, el cual va a ser más significativo cuanto mayor sea dicha reducción. Si bien esta es la condición más frecuente, nada se puede decir sin conocer el diseño del ocular (en particular **FS_o**).
- 2) Sin embargo, es posible que con algunos diseños especiales resulte que $FS_o < 1.25"$, en cuyo caso no debería producirse ninguna variación en el campo aparente del ocular ya que el uso del adaptador no reduce su fiel stop.

Veamos un caso práctico, para ello tomemos el caso del Celestron que para sus Schmidt-Cassegrain especifica:

Equipo	FS (mm)	FS (pulgadas)
SCT XLT C14	54	2.13
SCT XLT C11	54	2.13
SCT XLT C9.25	46	1.81
SCT XLT C8	37	1.46
SCT XLT C6	27	1.06
SCT XLT C5	27	1.06

De allí consideremos el Celestron SCT XLT C6 (F10), el que cuenta con un field stop de 1.06" y supongamos un ocular Tele Vue Plössl de 1.25" con 40 mm de focal y un **AFOV** de 43°. En ese caso sería:

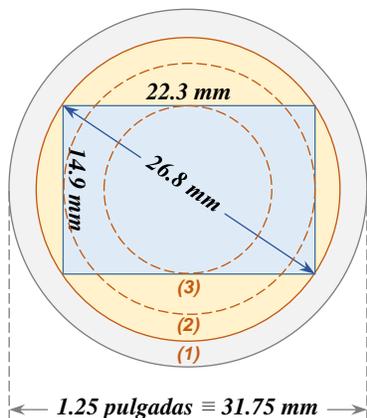
$$MFOV [^\circ] \cong \frac{57.3 FS}{ft} = \frac{57.3 \times 27}{1524} \cong 1.01^\circ \cong 62' \quad \text{y el TFOV con ese ocular: } TFOV = \frac{fo \times AFOV}{ft} \cong 1.15^\circ = 69'$$

A priori podríamos suponer que aplicando la expresión habitual algo de viñeteo se produciría. Sin embargo, el fabricante especifica un field stop de 27 mm (incluso inferior al calculado), por lo que en este caso no habría viñeteo..

De todas formas, lo ideal en la práctica es utilizar diferentes oculares e ir aumentando el valor del **TFOV** hasta que se pueda apreciar viñeteo, ese valor daría aproximadamente el **MFOV** del telescopio (a partir del cual se puede obtener el field stop equivalente), claro que esto supone una batería de oculares de focales altas.

Campo efectivo en astrofotografía

En el caso de fotografía a foco primario (sin ocular) el field stop resulta ser el mínimo entre el propio del telescopio y el tamaño del sensor. Por ejemplo, en el caso de algunas de las cámaras Canon APS-C las dimensiones de sensor son: 22.3mm x 14.9mm, con 26.8mm en diagonal (tal es el caso de la 550D).



En el caso de este modelo de Canon, incluso con un enfocador de 1.25", se tiene que el field stop correspondiente estará dado por las dimensiones del sensor de la cámara, incluso considerando el espesor del barril del T-Adapter (siempre y cuando no sea superior a poco menos de 2.5 mm). Por lo que el MFOV estará dado por:

$$MFOV [^\circ] \cong \left(\frac{180}{\pi}\right) \frac{FS}{ft} \Rightarrow MFOV [^\circ] \cong \frac{57.3 FS}{ft} \cong \frac{1536}{ft} \quad (FS = 26.8mm)$$

Campo en grados, tomando el valor de la diagonal (26.8mm) y con la focal del telescopio (ft) en mm. Por ejemplo, para un telescopio de 1000mm se tiene un campo de aproximadamente 1° 32' en diagonal (26.8mm), 1° 17' en ancho (22.3mm) y 51' en alto (14.9mm).

Si se necesita utilizar un ocular que emule lo que puede capturar la cámara basta con buscar cualquier ocular que cumpla con la condición: $TFOV = MFOV$ o lo que es equivalente que $FS = FSo$, es decir que el field stop del telescopio sea igual al del ocular. Si utilizamos la expresión adoptada anteriormente (*Astronomical optics - Part 5: Eyepiece Designs* (§37)), es decir:

$$FSo = 0.964 \frac{fo \times AFOV}{K} \quad \text{Por lo que resulta que: } fo \times AFOV = \frac{K}{0.964} FSo \Rightarrow fo \times AFOV \cong 59.4 FSo$$

- AFOV : Campo aparente del ocular, el especificado por el fabricante [en grados]
- fo : Focal del ocular [mm]
- FSo : Field stop del ocular [mm]
- FS : Field stop del telescopio [mm]
- K : Constante de conversión de radianes a grados, es decir: $K=180/\pi \approx 57.3$

Por lo que la condición es que el producto de la focal del ocular y su AFOV sea aproximadamente igual a 59.4 FSo. Si tomamos el valor de la diagonal del ejemplo anterior (26.8mm), resulta que la condición sería: $fo \times AFOV \cong 1594$. Si no se quieren hacer cálculos basta con tomar un ocular de 60° de AFOV y con una focal cercana a los 26 mm.

Veamos otras opciones para el sensor del ejemplo y un telescopio de 1000mm de focal:

MFOV según	FS [mm]	fo x AFOV	Algunos oculares posibles (1.25 pulgadas y/o duales)
Diagonal (1)	26.8 mm	1594	Plössl Meade Serie 5000 26.0 mm 60° Explore Scientific Serie 62 26.0 mm 62° Sky Watcher UWA 20.0 mm 80°
Ancho (2)	22.3 mm	1325	Antares Speers Waler Series II 17.0 mm 78° Baader Morpheus 17.5 mm 76° Celestron Axiom 19.0 mm 70°
Alto (3)	14.9 mm	886	Baader Hyperion Planetarium SWA 13.0 mm 68° Celestron Plössl o Sky Watcher Super Plössl 17.0 mm 52° Orion Stratus SWA 13.0 mm 68°

Parasoles versus FOV

Algo que toca muy tangencialmente el tema de campo de visión, es el uso de parasoles o escudos de rocío (dew shield). Es frecuente que se los utilice a efectos de proteger el equipo frente al rocío y resulta obvio que si se exagera en su longitud se reduciría el campo de visión, razón por la cual se recomienda que su longitud no supere 3 veces la apertura del telescopio. Sin embargo, algunos observadores suelen cuestionar el uso de estos dispositivos, al menos en el caso de los refractores, ya que según ellos atentaría en contra de las posibilidades de aclimatación del equipo, algo que puede resultar cuestionable. Veremos esto último, pero antes se debe entender si el rocío cae o se forma.

En principio uno se vería tentado a suponer que el rocío cae como la lluvia, es más, la observación así lo demostraría. Se lo puede ver fácilmente sobre la mesa de un jardín, pero pocas veces si la mesa está debajo de los árboles o una sombrilla, por lo que entonces es evidente que cae como la lluvia y los árboles o la sombrilla hacen las veces de paraguas. Sin embargo, a pesar de resultar una respuesta fácil de entender, lo anterior es absolutamente falso. El rocío no cae, se produce al condensarse el vapor de agua contenido en el aire, originando la formación de pequeñas gotas de agua, neblinas o, si la temperatura es lo suficientemente baja, escarcha. Un ejemplo práctico se presenta en invierno al calefaccionar, si la temperatura exterior está por debajo de punto de rocío se condensará humedad en las ventanas, lo mismo que cuando se saca una bebida fría de la heladera, algo que es más notorio los días húmedos.

Desde un punto de vista más formal, la formación de rocío depende de la humedad relativa y la temperatura ambiente. Si representamos con **Hr** el porcentaje de humedad y con **Ta** la temperatura ambiente en grados Celsius, se formará rocío si el objeto está a una temperatura inferior a la de rocío **Tr**, dada por la siguiente fórmula (simplificada):

$$Tr = Ta + 35 \log\left(\frac{Hr}{100}\right)$$

Así pues, con una humedad del 50% y una temperatura ambiente de 10°C, tendremos formación de rocío por debajo de los 0°C. La pregunta es ahora como se llega a los 0°C si el ambiente está a 10°C. Bueno, aquí entra en juego la segunda ley de la termodinámica (Enunciado de Clausius: el calor fluye de manera espontánea de los cuerpos calientes a los fríos, nunca a la inversa). Si el telescopio se encuentra a la temperatura ambiente no podría haber intercambio entre este y el aire, ya que ambos están a la misma temperatura. Pero este no es el único intercambio de calor que está presente, por más baja que sea la temperatura ambiente, la alta atmósfera e incluso el espacio exterior están a una temperatura mucho menor y, en el caso de este último, bastante cercana al cero Kelvin (-273°C). En otras palabras, hay una pérdida de calor por irradiación, desde el punto más cálido (el telescopio) hacia el más frío (el espacio exterior), la cual será más evidente cuanto menos viento haya. Es decir, cualquier objeto a la intemperie se enfriará por debajo de la temperatura ambiente, exactamente lo contrario a lo que sucede durante un día soleado, donde un objeto expuesto al Sol se calienta por encima de la temperatura ambiente debido a la radiación del Sol. Esta es la razón por la que no se forma rocío debajo de los árboles ya que hacen las veces de “paraguas” pero al revés, bloquean o retardan la radiación hacia el espacio.

Es un hecho que los “telescopios abiertos”, como por ejemplo los reflectores newtonianos, son menos propensos a la condensación que los refractores o los catadióptricos con placa correctora. Sin embargo, para el caso de los abiertos, puede haber problemas de condensación en el secundario, por lo que también afecta a este tipo de equipos abiertos. El inconveniente es que esto no sólo afecta a las ópticas del telescopio, ocurre lo mismo con el buscador y los oculares. Es más, la humedad del ojo también juega un papel relevante, de allí que se recomienda no remover los protectores de goma frecuentes de los oculares y algunos buscadores. Resulta evidente que se necesita exponer lo menos posible las ópticas del telescopio al cielo nocturno, lo que implica buscar alguna forma de protección contra el rocío, más en ambientes muy húmedos. En general los árboles actúan como un sistema anti rocío, el inconveniente es que no se puede observar debajo de ellos. Otra cosa que si puede ayudar es el viento, si bien demasiado viento puede complicar la observación, una brisa moderada ayudará a mantener los equipos a la temperatura ambiente.

En conclusión, se recomienda siempre el uso de parasoles con una longitud no menor a **1.5A** ni mayor de **3A**, aunque Sidgwick (*) recomienda valores entre **2.5A** y **3A**, (donde **A** apertura del telescopio) y, en lo posible, troncocónicos con generatriz de entre 3° y 5° (respecto del eje), esto es a efectos de reducir eventuales pérdidas de campo (aunque lo ideal es que coincida con el **MFOV** del telescopio). El inconveniente es que aún con un parasol no se está exento de que se produzca condensación en las ópticas, sólo la retardan. La alternativa sería utilizar calefactores especialmente desarrollados para cada tipo de telescopio, aunque incluso así es posible que no se pueda evitar que se humedezcan las ópticas. Si esto ocurre, lo mejor es aplicarle a buena distancia el secador de pelo hasta que se sequen, pero nunca hay que valerse de algún paño, ya que lo más seguro es que se termine comprometiendo las ópticas.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es no guardar o tapar el equipo si está húmedo en su interior, incluso cuando parezca no estarlo, lo más adecuado es dejarlo a resguardo en una habitación antes de colocarlo en su valija y/o ponerle las tapas. Esto rige tanto para el telescopio, como para los oculares y cualquier otro elemento que se haya utilizado en esa oportunidad.

(*) Para mayor información consultar: *Amateur astronomer's handbook*, J. B. Sidgwick, 1955, Section 11 - Dewing-Up and tube currents, 11.1 Dewing-up.

Tiempo de tránsito

Representa el tiempo que tarda un objeto (por ejemplo, una estrella) ubicado a determinada declinación en cruzar diametralmente el ocular, obviamente con el telescopio sin ningún tipo de seguimiento activado. Esto da una idea de cuán rápido un objeto pasa delante del ocular. Por defecto se tomará Declinación = 0°, es decir, objetos cercanos al ecuador celeste. Tener en cuenta que si toman objetos muy cercanos al polo celeste los tiempos de tránsito pueden ser infinitos ya que el objeto jamás saldría del campo de ocular. Considerando que la velocidad angular de rotación de la Tierra es de 15° por hora y aplicando la corrección de 0.997271 (día sidéreo), resulta:

$$Tt = 0.997271 \frac{TFOV}{15 \cos(dec)} \text{ y } TFOV = \frac{AFOV}{M} \Rightarrow Tt \cong \frac{3590.2 AFOV}{M \times 15 \cos\left(\frac{dec}{57.3}\right)} \text{ (expresado en segundos)}$$

$$\text{Entonces: } Tt \cong 239.35 \frac{AFOV}{M \cos\left(\frac{dec}{57.3}\right)} \text{ O bien: } Tt = 239.35 \frac{AFOV}{M \cos(dec)} \text{ , si el coseno se evalúa en grados.}$$

Tt : Tiempo de tránsito [segundos]

AFOV : Campo aparente del ocular [°]

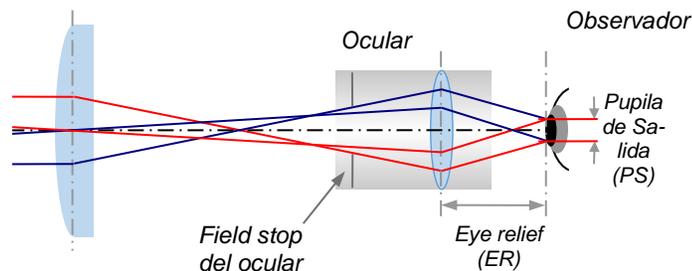
M : Magnificación [adimensional]

dec : Declinación [°]

57.3 : Conversión a radianes

Eye relief

El **eye relief (ER)** es un parámetro que indica la distancia entre el plano del ocular y el punto en el que se forma la pupila de salida, en otras palabras, es la distancia entre el ocular y el ojo del observador. Depende de cada persona determinar cuál es el valor más confortable, aunque por lo general, valores por encima de 8 mm se consideran confortables, pero si se utilizan anteojos son más aceptables valores entre 10 mm y 25 mm.



Un valor de eye relief muy pequeño obliga a pegar el ojo al ocular, dificultando la observación en personas con anteojos (aun sin anteojos se hace incómodo ya que se puede humedecer fácilmente el ocular), en contrapartida un valor demasiado grande implica que se debe separar mucho el ojo permitiendo que las luces parásitas del entorno molesten en la observación.

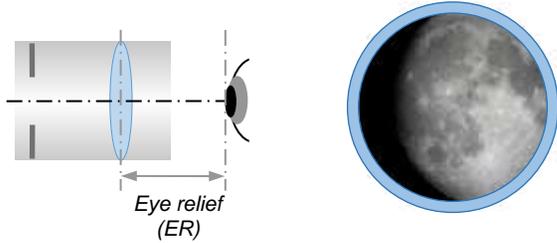


Imagen formada en el ocular cuando se coloca el ojo a la distancia determinada por el eye relief.

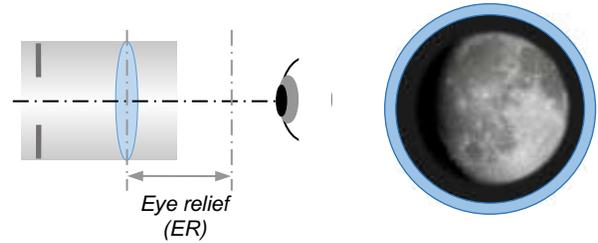
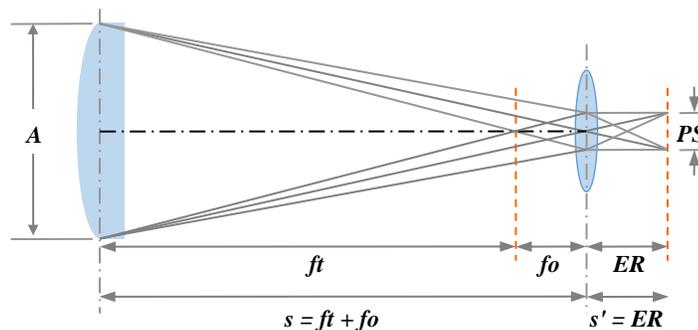


Imagen con viñeteo que se forma en el ocular cuando se coloca el ojo a una distancia superior a la del eye relief.

Como ya se ha mencionado el eye relief no es más que la distancia medida desde el lente del ocular al punto en el que se forma la imagen. En la figura anterior a la derecha se muestra una posible imagen obtenida cuando el ojo del observador se coloca por encima de la distancia definida por el eye relief, en cuyo caso aparece un efecto de viñeteo.

Veamos ahora como derivar una expresión para el eye relief, para lo cual se partirá de un sistema kepleriano simple y de la fórmula de la lente delgada. Considerando los signos (ver: [Lentes](#)):

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{s} + \frac{1}{f'} \quad (\text{Fórmula de la lente delgada})$$



Donde: $s = -(ft + fo)$, $s' = ER$ y $f' = fo$, por lo que entonces resulta:

$$\frac{1}{ER} = \frac{1}{fo} - \frac{1}{ft + fo} \Rightarrow ER = \frac{fo(ft + fo)}{ft} \quad \text{O lo que es lo mismo: } ER = \frac{ft + fo}{M} \Rightarrow ER = fo \frac{M + 1}{M}$$

Si en el caso anterior suponemos que ft es mucho mayor que fo resulta: $\frac{1}{ER} \cong \frac{1}{fo} - \frac{1}{ft}$

$$\text{Lo que es equivalente a: } ER \cong \frac{ft fo}{ft - fo} = fo \frac{M}{M - 1}$$

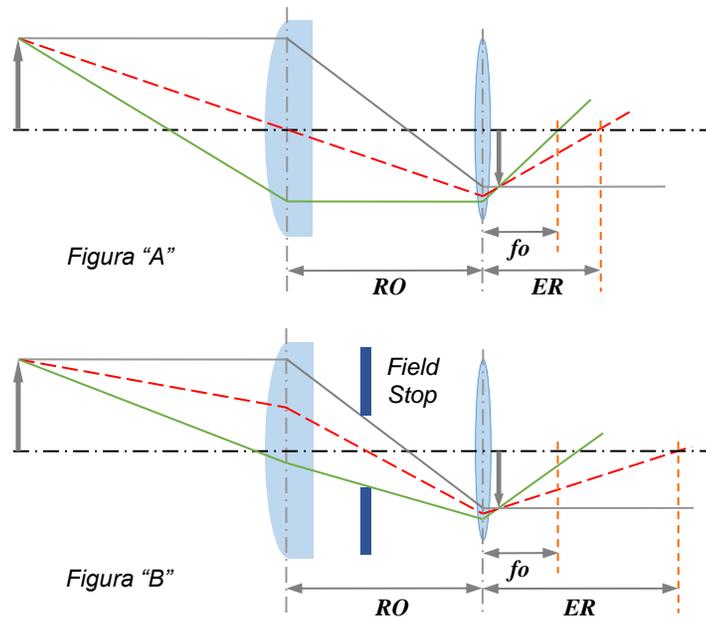
ER : Eye relief [mm]

fo : Focal del ocular [mm]

ft : Focal del telescopio [mm]

M : Magnificación [adimensional]

Otro aspecto que se relaciona directamente con el eye relief es lo referido al field stop, a medida que se disminuye el field stop aumenta el eye relief. Supongamos que partiendo de un sistema kepleriano simple (figura "A") se implementa un field stop de forma tal que $ER=RO$ (figura "B"), con RO la distancia entre el objetivo y el ocular.



Se puede demostrar que en ese caso resulta: $ER = fo \frac{M + 1}{M - 1}$

ER : Eye relief [mm]

fo : Focal del ocular [mm]

M : Magnificación [adimensional]

Para mayor información se puede consultar en: [Handbook of optics - Volume 2 \(2nd edition\), Chapter 2 - Afocal systems, William B. Wetherell \(§38\)](#) (Alternativamente en: [Handbook of optics - Volume 2 \(3rd edition\), Chapter 18](#))

Esto es algo que hay que tener en cuenta si se utilizan oculares de 2.00" en un telescopio con un enfocador de 1.25", ya que además de una reducción en el campo aparente del ocular (*AFOV*), se producirá un aumento en el eye relief resultante.

Si bien no resulta tan simple obtener el eye relief en sistemas más complejos, lo visto sugiere que el eye relief especificado por el fabricante es en rigor es un valor típico que depende de la focal del telescopio. Ese aumento respecto del valor especificado se denomina (**growth**) y está dado por la siguiente expresión aproximada:

$$Gr = \left(\frac{ft \ fo}{ft - fo} \right) - fo$$

Gr : Growth (crecimiento) [mm]

fo : Focal del ocular [mm]

ft : Focal del telescopio [mm]

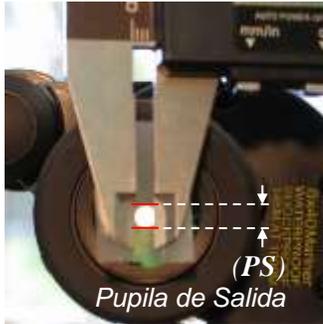
Por lo que el Eye Relief efectivo (*ERE*) estará dado por:

$$ERE = Gr + \text{Eye relief especificado por el fabricante.}$$

De esto se deduce que al aumentar la focal del telescopio (ft) la variación en el eye relief tiende a ser menos marcada, lo mismo que al disminuir la focal del ocular (fo). En el límite, cuando ft tiende a infinito, el valor del eye relief es directamente el especificado para el ocular. La calculadora de oculares utiliza esta expresión para evaluar el eye relief de un ocular típico (aunque en algunos diseños puede ser menor o incluso inexistente).

Pupila de salida

El concepto de pupila es fundamental para el observador, incluso para determinar cuál es el equipo o accesorio más adecuado. Un parámetro que es muy bien conocido para los usuarios de binoculares es precisamente la **pupila de salida (PS)**, que vendría a ser el área efectiva a la salida del ocular en donde se forma la imagen que será capturada por la pupila del observador. Desde un punto de vista práctico la pupila de salida es el pequeño círculo que se aprecia mirando el ocular del instrumento cuando se lo apunta a un objeto muy luminoso.



En la figura se muestra la pupila de salida correspondiente a un binocular de 8x40.

En la misma figura también se indica un procedimiento simple para su evaluación práctica, tal como se aprecia se colocó una cinta Scotch del tipo "Matte finish magic tape" a efectos de obtener una imagen con bordes bien definidos. Hay que tener en cuenta que la medición se debe llevar a cabo a la misma distancia a la que se coloca el ojo cuando se observa y con el binocular enfocado. Tal como se ha visto, a esta distancia se la denomina **Eye Relief**.

Este parámetro se desprende de la especificación misma del binocular como el cociente entre la apertura en milímetros y la magnificación, por lo que la pupila de salida (PS) está dada por la expresión:

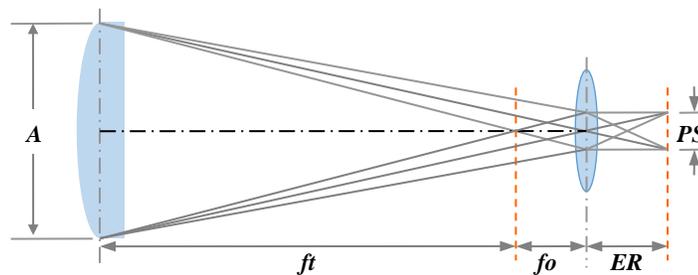
$$PS = \frac{A}{M}$$

PS : Pupila de salida [mm]

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

M : Magnificación [adimensional]

Veamos que sucede en un telescopio, asumiendo un sistema kepleriano:



PS: Pupila de Salida **ER**: Eye Relief

Por semejanza de triángulos, resulta que: $\frac{A}{ft + fo} = \frac{PS}{ER}$

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

ER : Eye Relief [mm]

PS : Pupila de salida [mm]

fo : Focal del ocular [mm]

ft : Focal del telescopio [mm]

Pero como ya se ha visto en la sección anterior, para un sistema kepleriano se tiene que: $ER = \frac{ft + fo}{M}$

Por lo que resulta: $\frac{A}{ft + fo} = \frac{PS \times M}{ft + fo}$ O lo que es lo mismo: $PS = \frac{A}{M}$

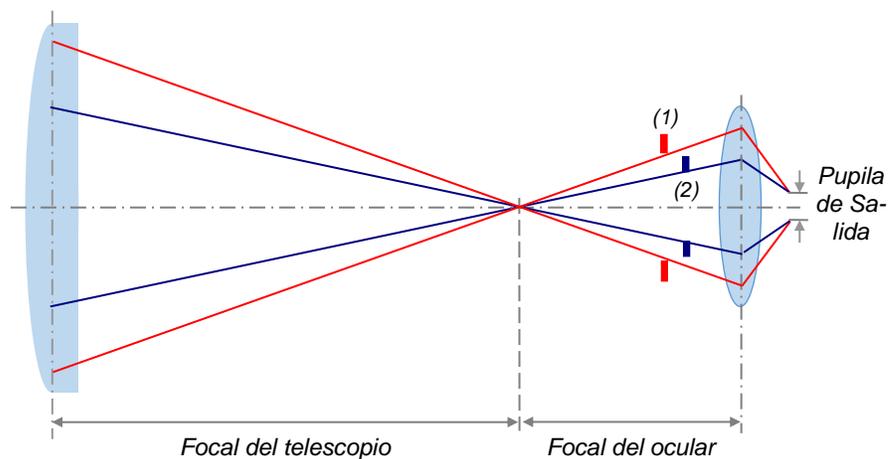
- ER** : Eye Relief [mm]
- PS** : Pupila de salida [mm]
- A** : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]
- fo** : Focal del ocular [mm]
- ft** : Focal del telescopio [mm]
- M** : Magnificación [adimensional]

A diferencia del caso de un telescopio, la pupila de salida de un binocular resulta ser un parámetro de diseño ya que depende exclusivamente de la apertura y la magnificación. Pero en el caso de un telescopio dependerá del ocular que se utilice, esto se debe a que es precisamente el ocular el que determina la magnificación. Lo mismo ocurrirá con los binoculares con función zoom, donde la pupila de salida dependerá de la magnificación adoptada. Sin embargo, cuando se habla de telescopios, es más frecuente utilizar la siguiente expresión, la cual obviamente se desprende de la anterior:

$$PS = \frac{fo}{F}$$

- PS** : Pupila de salida [mm]
- fo** : Focal del ocular [mm]
- F** : Relación Focal del telescopio [adimensional] (ft / A)
- ft** : Focal del telescopio [mm]
- A** : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

Un error bastante frecuente es suponer que los oculares con mayor campo aparente (**AFOV**) ofrecen una mayor pupila de salida, en realidad como ya se ha definido, tanto en el telescopio como en el binocular, la pupila de salida sólo depende de la apertura y la magnificación. Un 8 x 42 con 6° de **TFOV** (campo efectivo) tendrá exactamente la misma pupila de salida que un 8 x 42 con un **TFOV** de 8°. A igualdad de magnificación, más o menos campo sólo dependerá de la focal del telescopio y para una focal dada sólo dependerá del Field stop resultante para el conjunto.

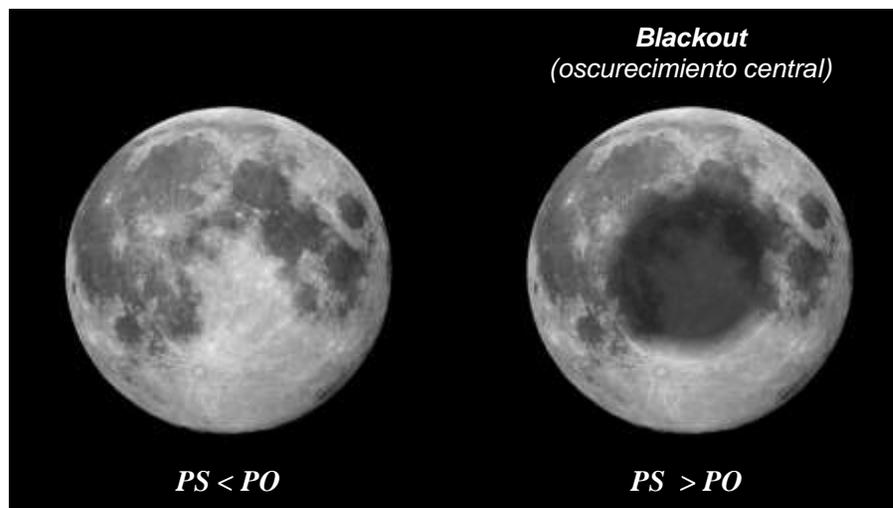


(1) Field stop del ocular con mayor **AFOV** (máximo **TFOV**) (2) Field stop del ocular con menor **AFOV**

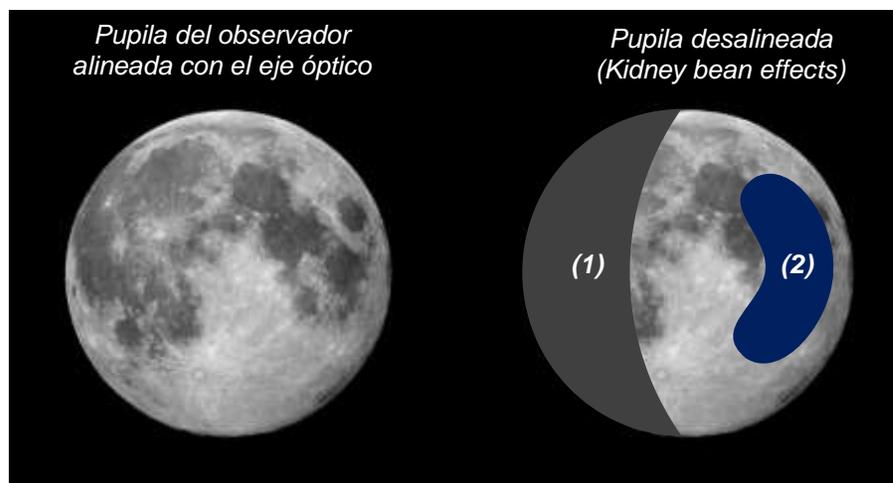
Tal como indica el modelo, la diferencia entre los dos estará en el ángulo en el que los haces de luz inciden sobre la pupila de salida. Al aumentar el campo de visión permite que los haces de luz que emergen de la pupila de salida lo hagan con mayor ángulo, lo que se percibe como objetos más alejados del centro.

No se debe confundir lo anterior con la correspondencia entre el objetivo y la pupila de salida. Es decir, la correspondencia exacta entre cualquier haz de luz que deja la pupila de salida con el lugar donde entró al objetivo. Si un haz de luz entra en el centro del objetivo, tendrá su correspondiente en el centro de la pupila de salida y si entra en el borde del objetivo tendrá su correspondiente en la periferia de la pupila de salida. Así pues, cuando la pupila del observador es menor que la pupila de salida, no todos los haces de luz que salen de la pupila de salida son tomados por el ojo. Esto es equivalente a colocar una máscara circular sobre el objetivo que bloquea los haces destinados a salir de la pupila de salida fuera de la pupila del ojo. Tener en cuenta que esto no hace referencia al ángulo de incidencia sino sólo a la captación de luz. Dicho de otra forma, si la pupila de salida aumenta por encima de la pupila del observador produce cierta pérdida de luminosidad (equivale a observar en un telescopio de menor apertura con la misma focal, o sea, con mayor relación focal). Incluso esa es la mejor de las situaciones y se da cuando se utilizan telescopios refractores.

En el caso particular de telescopios con obstrucciones puede incluso haber una pérdida de imagen usualmente denominada **Blackout** (un notorio oscurecimiento central). Al tener una pupila de salida mayor a la del ojo del observador se puede estar observando la obstrucción, lo que produce un oscurecimiento total o parcial de la imagen (lo que se debe a que dicha obstrucción ya no queda totalmente desenfocada). Obviamente el Blackout será más notorio en telescopios catadióptricos que en los reflectores newtonianos debido a que los primeros tienen una mayor obstrucción.



Es importante diferenciar el Blackout del denominado “Kidney bean effect” (frijol o poroto con forma de riñón). Sin entrar en mayores detalles, esta es una aberración que se puede producir cuando la pupila de salida es muy cercana a la pupila del observador y el ojo no está perfectamente centrado en el eje óptico. En particular esto se produce cuando el ocular está sobre corregido y enfoca los rayos periféricos en un plano de imagen diferente al de los rayos centrales. Esto da lugar a un oscurecimiento que se va desplazando en función del apartamiento del eje óptico produciendo incluso “apagones” más o menos grandes de la imagen, generalmente en alguno de los bordes del ocular.



En la figura se muestran dos tipos de “kidney bean effects”. En **gris (1)** un oscurecimiento lateral y en **azul (2)** otro con la típica forma de riñón, que en muchos casos también puede deberse a una aberración esférica del ocular.

Una forma sencilla de simular un Blackout es utilizar un reflector e intentar observar la Luna durante el día, cuando la pupila del observador se encuentra entre 2 y 4 mm. Bajo estas condiciones, en el caso de un reflector newtoniano con una relación focal de 6, este efecto aparece cuando se utilizan oculares con focales mayores a 12 o 24 mm respectivamente y dependiendo del valor de la pupila contraída. Resulta mucho más evidente cuando las relaciones focales son aún menores.

Esta situación se encuentra configurada en la calculadora de oculares, en cuyo caso tomará un tercio del valor adoptado para la pupila (“Marcar para tomar en cuenta la contracción de la pupila del observador durante el día”):

$$PO_{Diurna} = \frac{PO_{Adoptada}}{3}$$

Asumiendo que la contracción de la pupila durante el día corresponda a la tercera parte.

Para óptimas condiciones de observación debería ser:

$$PO > PS.$$

En efecto, supongamos que tenemos un telescopio de 200 mm y se utiliza una magnificación de 20x, eso nos daría una pupila de salida de 10 mm, pero si el observador sólo logra dilatar su pupila 6 mm equivale a observar con un telescopio de 120 mm de apertura lo que significaría una pérdida de casi el 180% de capacidad de captar luz (recordar que la relación es cuadrática ya que depende de áreas).

Esto es algo que se debe tener en cuenta a la hora de adquirir un ocular para un telescopio. Por lo que la relación entre la apertura y la magnificación debe ser tal que:

$$PO \geq \frac{A}{M}$$

O lo que es lo mismo: $PO \geq \frac{fo}{F}$

PO : Pupila del observador [mm] (típicamente 6 mm)

A : Apertura (diámetro) del instrumento [mm]

M : Magnificación [adimensional]

El máximo para oculares resulta ser: $fo \leq PO \times F$ (con referencia a la focal)

O lo que es equivalente: $M \geq \frac{A}{PO}$

PO : Pupila del observador [mm]

fo : Focal del ocular [mm]

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] (ft / A)

ft : Focal del telescopio [mm]

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

Ahora bien, la pupila se contrae con la luz y se dilata en la oscuridad, pero el valor de una pupila dilatada no es constante para todos los observadores, ya que depende de cada persona. Si bien normalmente se puede asumir un valor típico de entre 6 y 7 mm, algunos observadores no logran llegar a esos valores de dilatación y otros con “ojos de lechuga” pueden superar esos valores, llegando incluso a 9 mm. Sin embargo, algo que sí es común a todos los observadores es que la capacidad de dilatar la pupila se reduce con la edad.

En condiciones normales de observación, sin presencia de luces externas (pupila dilatada), la pupila del observador (**PO**) estará dada por:

$$PO \cong 8.1 - (0.04 \text{ Edad})$$

Edad : Edad del observador en años

PO : Pupila del observador en mm

Esta expresión resulta una aproximación bastante aceptable, aunque usualmente la reducción se acelera notablemente entre los 30 y 60 años, antes y después suele ser más lenta.

Obviamente la clave es “conocer el tamaño de la pupila”. Sin embargo, tal como ya se ha comentado antes, hay que tener en cuenta que igualar la pupila de salida a la del observador implica mantener el ojo perfectamente centrado para aprovechar el máximo de luz y no generar aberraciones indeseadas. Al menos si lo que se pretende es obtener el mayor campo posible, el cual coincide con el campo más “rico”, ya que permite la captación de la mayor cantidad de estrellas posible logrando así el mayor brillo aparente con las estrellas lo más puntuales que sea posible (lo más aproximado a observar a ojo desnudo o con binoculares).

Es evidente que, al aumentar la relación focal para el mismo ocular, se reduce la pupila de salida. Si bien esto puede no parecer muy importante es crítico en observación, ya que permite una mayor tolerancia frente a los defectos de los oculares ya que se toma una menor porción del mismo. Hay que tener en cuenta que la capacidad del ojo (al igual que la de nuestro cerebro) para integrar imágenes depende que las mismas estén lo más libre de posibles aberraciones. De aquí que los primeros refractores con relaciones focales grandes (incluso superiores a los F15 de algunos Maksutov-Cassegrain actuales) pudieran brindar imágenes aceptables incluso con oculares Huygens o Kellner, que hoy en día son considerados como “entry level”. En resumen, cuando se tienen relaciones focales grandes no es necesario recurrir a oculares demasiado costosos para una buena calidad de imagen, lo que sí es una necesidad con telescopios rápidos (relaciones focales bajas).

Hasta aquí se ha mencionado lo que sucede en el límite superior de la pupila de salida. A continuación, se verá que ocurre en el otro extremo, o sea, con una pupila de salida muy pequeña. Normalmente el ojo no procesa muy bien imágenes que provienen de un haz de luz muy delgado, esto se debe a que la pupila contraída rara vez puede alcanzar valores menores a 2 mm. Si bien se puede obtener una imagen aceptable con haces de 1 mm, con 0.5 mm se hace bastante incómodo. Lo cual coincide con el máximo de un telescopio:

$\frac{A}{M} > 0.5 \text{ mm}$, es equivale a $M < 2 A$. En resumen:

PS > 2 mm ($M = \frac{A}{2}$) Vistas de muy buena calidad prácticamente con cualquier ocular.

PS = 1 mm ($M = A$) Vistas calidad aceptable, aun con oculares de calidad media (Regla de Whittaker).

PS = 0.5 mm ($M = 2 A$) Para una calidad aceptable se requiere muy buenos equipos y oculares.

En cualquier diseño basado en espejos (Newton o Catadióptrico) el hecho de exceder la pupila de salida puede producir el efecto de Blackout. Mientras que en el caso de un telescopio refractor el valor correspondiente a la máxima focal del ocular podría hasta ser ignorado ya que el único efecto indeseado sería la pérdida de luz, pudiendo entonces utilizar oculares con una focal mayor a la cota establecida a efectos de lograr más campo (**TFOV**), claro que siempre por debajo del **MFOV** (para no generar viñeteo).

Más aún, en muchos casos la eventual pérdida de apertura en un refractor, se paga con creces frente a la ganancia de campo y contraste. En lo personal he llegado a utilizar oculares de 55 mm en refractores apocromáticos F7 e incluso F5 y las vistas que me ofrecía el ocular pagaban con creces cada milímetro de apertura perdido.

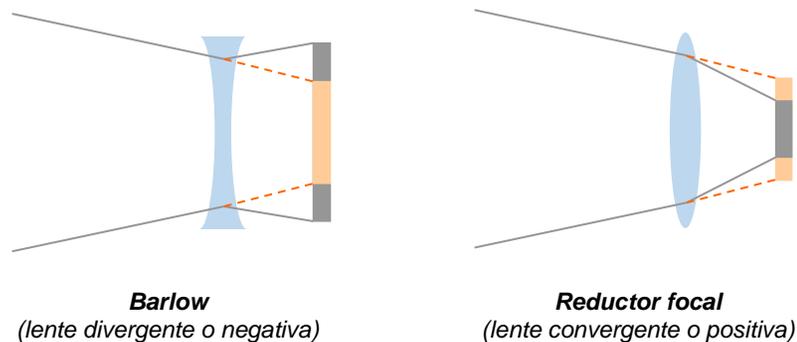
En la calculadora de oculares, al pie del resumen de las cotas de máxima y mínima para los oculares, aparecerá una nota en los casos en que la pupila de salida deba ser tomada especialmente en cuenta (telescopios con obstrucciones).

Uso de barlows y reductores focales

Formalmente su función es “multiplicar” la focal del telescopio (barlow) o “dividirla” (reductor focal), de allí que variarán la *Magnificación*, *Eye Relief Efectivo*, *Pupila de Salida*, *TFOV* y el *Tiempo de Tránsito*, ya que todos estos valores dependen de la focal. Algo que hay que tener siempre en mente es que el uso indiscriminado de barlows o reductores focales puede ir en contra de una buena observación. En efecto, en el caso de los barlows, si se superan las cotas de magnificación, el resultado será una imagen con poca resolución (borrosa y/o con apariencia de “fuera de foco”). De igual forma, el reductor focal también puede llevar a superar la pupila de salida cuando se utilizan oculares con focales altas, llegando a producir viñeteo, Blackout o pérdida de luminosidad (dependiendo de que diseño óptico se trate).

Sin embargo, hay que tener algo en cuenta, en rigor el uso de barlows no aumenta la focal por encima de la propia del telescopio, simplemente aumenta la imagen dando la idea de más focal (obviamente a expensas del *TFOV*), de igual forma el reductor focal no aumenta el *TFOV* por encima del *MFOV* del telescopio sólo achica la imagen para obtener más campo. Dicho de otra forma, de la misma manera que un barlow “abre el cono de luz” dando la sensación de una focal más larga, el reductor focal “estrecha el cono de luz” permitiendo que el campo que entrega el Field stop del telescopio cubra una mayor porción en el Field stop del ocular, pero no por encima del valor correspondiente al campo máximo que el telescopio puede entregar por su focal. De allí las comillas en multiplicar y dividir, si bien mentalmente se realizan dichas operaciones, hay que tener en cuenta que es sólo un modelo.

En el caso particular de la astrofotografía la ventaja del reductor focal es, además de lograr más campo, la de disminuir los tiempos de exposición debido a la disminución de la relación focal equivalente (en realidad es una consecuencia de tomar un campo más grande y abigarrado), obviamente lo opuesto a lo que sucedería con un barlow.



Como se ve en la imagen anterior, en el caso de barlow la imagen resultante (línea llena) resulta mayor a la que se obtendría sin barlow (línea punteada). En cambio, en el caso del reductor focal la imagen resultante (línea llena) resulta menor que la original sin el reductor (línea punteada). Dicho de otra forma, se obtiene mayor campo aparente, pero no más del que es capaz de entregar el telescopio.

En el caso de los Barlow, estos tienden a corregir los defectos del borde debido a que básicamente es un arreglo divergente. Sin embargo, el uso de barlows introduce dos efectos que pueden o no resultar adversos:

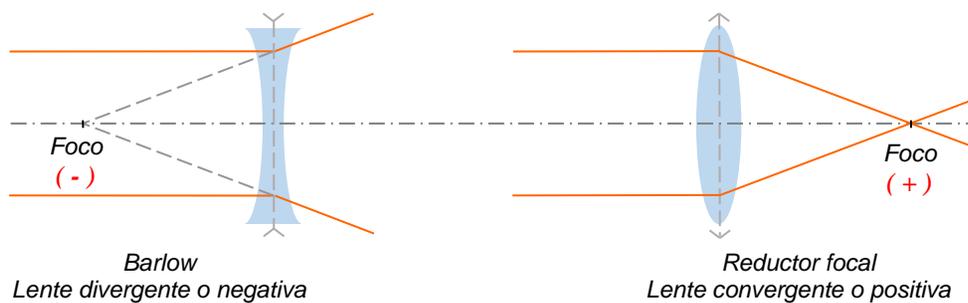
1. Algo que es inherente a los barlows y conviene tenerlo en mente es la pérdida de campo, si se tiene un ocular de 10 mm con 50° de campo, al usar un barlow de 2x equivale a un 5 mm con un campo equivalente a 25° (ya que el campo efectivo es *AFOV / Magnificación*), es decir, la reducción del campo es significativa. Sin embargo, si el interés radica hacer planetaria, es muy posible que la pérdida de campo no vaya a resultar algo tan crítico.
2. Otro problema inherente al uso de barlows es que aumentan el eye relief (efecto denominado **growth** - crecimiento, ver: *Eye Relief*). Cosa que es poco relevante si se utilizan oculares de focales cortas, pero si la focal del ocular es relativamente grande puede que la pupila de salida se forme fuera de los parámetros de eye relief especificados por el ocular, lo que te puede ocasionar viñeteo (el que resultará más significativo cuanto mayor sea la focal del ocular). Si bien existen barlows que corrigen ese defecto agregando un elemento más (una lente convergente), usualmente son bastante costosos, tal es el caso de los Tele Vue Powermate.

Dicho esto, en especial lo referido al segundo punto, normalmente con un buen barlow acromático o apocromático de 2x se pueden obtener muy buenos resultados. Si bien en lo personal los utilizo muy poco, es una buena alternativa a la hora de reducir costos (cantidad de oculares).

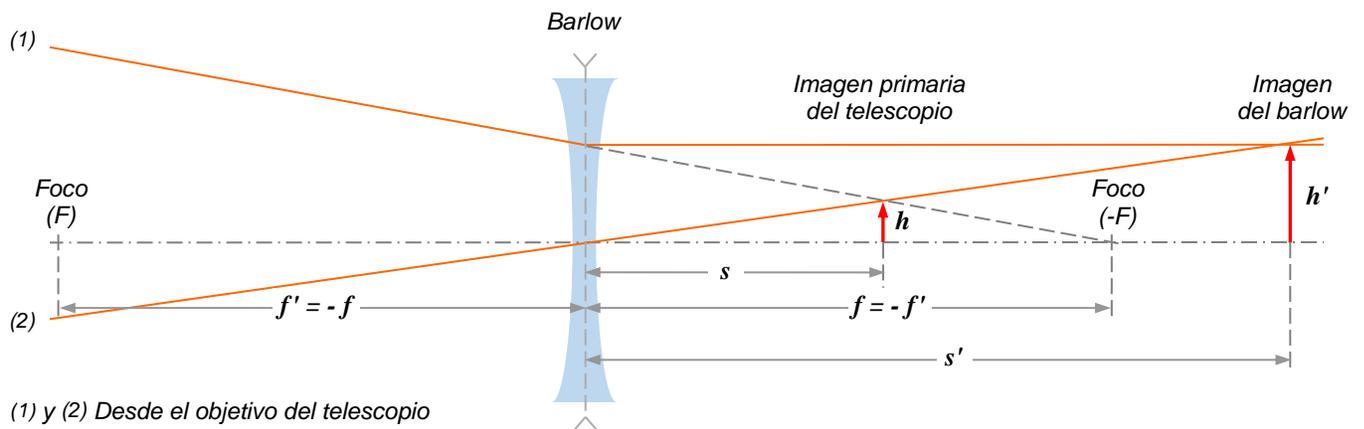
Si se los va a utilizar con un ocular Plössl, un Barlow acromático (ACRO) da muy buenos resultados. Pero si la idea es utilizarlo con oculares de mayor calidad hay que pensar en un buen barlow apocromático (APO). Más aún si se buscan barlows por arriba de 2x o 3x, en cuyo caso la lente convergente extra de los Tele Vue Powermate se hace más que recomendable. Como se verá más adelante, hay que tener en cuenta que acromático y apocromático no son dos cosas diferentes, en realidad son básicamente lo mismo, y sólo se diferencian en cuanto a la capacidad de resolver problemas de cromatismo. Usualmente la diferencia entre ACRO y APO es la cantidad de elementos (dos en el primero y tres en el segundo), pero se pueden encontrar arreglos apocromáticos de dos elementos. Si bien se supone que el APO tiene mejor corrección cromática que el ACRO, al igual que ocurre con los refractores, un muy buen doblete puede ser mejor que un triplete mediocre. Sin embargo, a igualdad de marcas, es casi seguro que el APO siempre va a resultar mejor que el ACRO en cuanto a aberración cromática.

La cadena se rompe siempre por el eslabón más débil, aun si el telescopio y el ocular son excelentes, el uso de un barlow de baja calidad va a hacer que todo el conjunto baje a ese mal nivel

Veamos la forma de determinar la magnificación / reducción dada su correspondiente focal, para ello se adoptarán las siguientes convenciones:



Consideremos el caso de un barlow, el cual se trata de un arreglo divergente por lo que:



Aplicando la **Fórmula de la lente delgada** resulta: $\frac{1}{s'} = \frac{1}{s} - \frac{1}{f'}$ (el signo se debe a se trata de una lente divergente)

Teniendo en cuenta que el aumento lateral está dado por: $Al = \frac{h'}{h}$

Pero por semejanza de triángulos es: $\frac{s'}{s} = \frac{h'}{h} \Rightarrow s = \frac{h}{h'} s' \Rightarrow s = \frac{s'}{Al}$

Se tiene que el aumento lateral (AI) estará dado por: $AI = 1 + \frac{s'}{f'}$ (con $s' \geq f' > 0$) Donde:

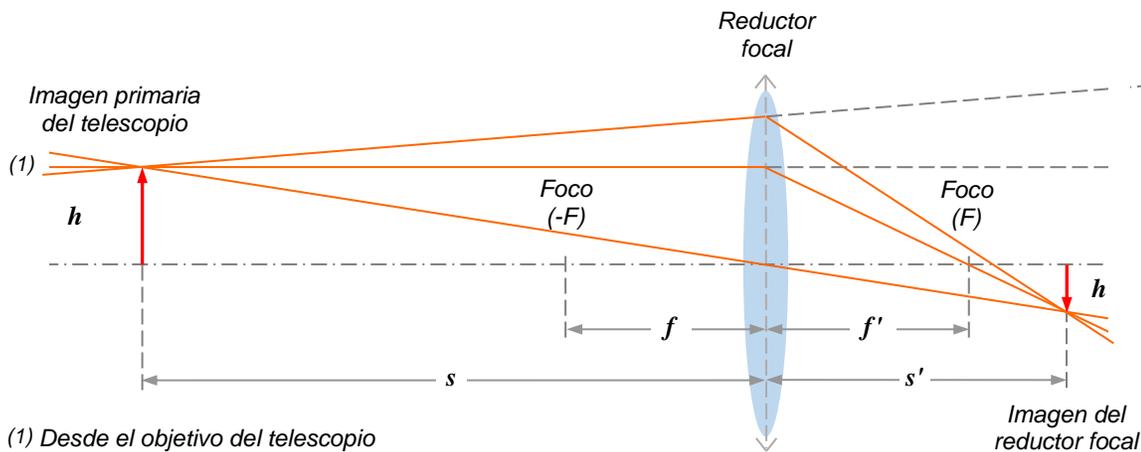
AI : Aumento lateral, donde $AI > 1$ [adimensional, en veces]

s' : Distancia del arreglo al plano focal [mm]

f' : Focal del barlow en valor absoluto (el signo ya fue considerado antes) [mm]

Como se deduce de lo anterior, el aumento lateral (AI) puede ser modificado si se cambia la distancia al plano focal (s'). Si bien esto es siempre posible, se debe tener en cuenta que los barlows se tallan para obtener resultados óptimos a una determinada distancia al plano focal.

En el caso de un reductor focal la deducción es análoga, con la salvedad de que en este caso se trata de un arreglo convergente, por lo que f' tiene valor positivo. Tal como se indica en la figura, por ser convergente, la imagen se formará invertida respecto a la imagen primaria del telescopio.



En este caso es: $\frac{1}{s'} = \frac{1}{s} + \frac{1}{f'}$, por lo que se llega a: $AI = 1 - \frac{s'}{f'}$ (con $f' > s' > 0$) Donde:

AI : Aumento lateral o más apropiadamente reducción lateral, donde $1 > AI > 0$ [adimensional, en veces]

s' : Distancia del arreglo al plano focal [mm]

f' : Focal del reductor focal (siempre positiva) [mm]

Para mayor información puede consultar en: Astrofotografía - Manual de técnicas del amateur - Patrick Martínez, Ediciones Omega S.A., 1999 (Páginas 44 a 50) o en la web:

[How to adjust the focal length? - Barlow lens projection - Astrophotography by Thierry Legault \(§39\)](#)

[Formulae for astrophotography - Effective focal length from barlow projection - AstroPix - Jerry Lodriguss \(§40\)](#)

Diseño óptico - Factor de magnificación

Este parámetro sólo es utilizado para determinar la cota de magnificación, tanto la cota máxima (habitualmente dos veces la apertura) como la cota por resolución (ver: [Resolución](#), en particular: [Aclaraciones adicionales \(Seeing\)](#)).

En un buen cielo, dependiendo del observador y el diseño óptico es posible superar el valor típico de "dos veces la apertura" para determinar la cota de magnificación, aun cuando en la mayor parte de las situaciones puede hasta resultar contraproducente, incluso con valores superiores a una vez la apertura ("**Regla de Whittaker**" - Amateur astronomer's handbook, J. B. Sidgwick, 1955, Section 3 - Telescopic function: Magnification and field size, 3.4 Upper limit of useful magnification, página 56).

A estos coeficientes se los denomina "Factor de Magnificación" y sus valores empíricos para los diseños más usuales son los siguientes:

- 2.50 Refractor Apocromático
- 2.40 Maksutov-Cassegrain o Maksutov-Newton
- 2.30 Dall-Kirkham
- 2.25 Ritchey-Chrétien
- 2.25 Schmidt-Cassegrain o Schmidt-Newton
- 2.20 Refractor Acromático
- 2.00 Refractor Genérico
- 2.00 Reflector Newtoniano
- 2.00 Otro diseño (sólo a efectos de la calculadora de oculares para fijar $FM = 2$)

Si bien ya se comentó anteriormente vale la pena recalcarlo, el conocido dos veces el diámetro de los reflectores newtonianos es correcto, en algunos otros diseños el fabricante especifica entre dos y dos veces y media la apertura, incluso hasta tres veces la apertura. Más de eso es sugestivo, usualmente se ve ese tipo de slogan en telescopios "de juguete". Otra cosa que hay que tener en cuenta que dicho valor no sólo depende de la calidad del telescopio, también depende en gran medida de la calidad del ocular, las condiciones atmosféricas y el observador.

Teniendo en cuenta que el valor de la pupila de salida PS está dado por: $PS = \frac{A}{M}$

En general, se considera que una pupila de salida resulta aceptable si es mayor a 0.5 mm, por lo que resulta que debería ser: $A / M > 0.5 \text{ mm}$ por lo que debería cumplirse que: $M < 2A$. Conservadoramente, con equipos refractores de alta calidad y oculares también muy buenos pueden lograrse menores Pupilas de Salida, lo que resulta en valores del Factor de Magnificación superiores a 2 (pudiendo en algunos casos obtener valores cercanos a 3). Ahora bien, lo anterior hace al diseño del conjunto telescopio / ocular y no a las posibilidades reales de magnificar algo y verlo claramente ya que dependerá del poder resolutivo del ojo del observador.

En un cielo ideal, difícil de conseguir para un aficionado, la máxima magnificación está entre 550x y 700x dependiendo del diseño óptico, así como la calidad del telescopio y los oculares. En un cielo estupendo, por ejemplo, algún desierto con un Nivel de Seeing muy bueno, digamos que la magnificación está entre 280x y 350x (pudiendo llegar incluso a 400x), dependiendo de lo mismo que antes. En el campo, con algo de seeing y humedad en el aire la cota estaría entre 150x y 180x. Por último, en zonas urbanas con un cielo como normalmente se tiene la magnificación estaría en unos 100x. Notar que no se ha hecho mención a la apertura del telescopio (sólo toma real relevancia en los casos que la misma no permita lograr esos niveles).

Lo anterior no quita que se puedan usar 300x en cualquier ciudad densamente poblada, a veces las condiciones del cielo hasta lo permiten, el problema es que si el cielo no es muy bueno los detalles se aprecian borrosos. Con frecuencia se supone que es un problema de foco, cuando en realidad es pretender más de lo posible. Dicho de otra forma, aun cuando se tengan 500 mm de apertura, si lo que se quiere es ver detalles lo que limita es el cielo, no la expresión " $M=2A$ " (o bien $M=FM \times A$). Lo que si es cierto que a mayor apertura se verán cosas que no se verían con equipos más chicos, pero es más información con el mismo nivel de detalle. Claro está que esto es válido siempre y cuando la magnificación que se puede conseguir esté a la altura de la capacidad del telescopio, si el cielo entrega 200x y se tiene un refractor estándar de 60 mm, allí el límite si sería de a lo sumo 120x (150x como mucho con un apocromático y oculares premium).

Algo en lo que varios observadores concuerdan es que no hay que tratar de buscar accesorios para maximizar la capacidad de magnificación del telescopio, con eso sólo se va a terminar invirtiendo en algo que con suerte se podrá utilizar una o dos veces al año, lo más conveniente es ser conservador y ponerse en la condición habitual del sitio de observación al determinar los máximos. A lo sumo, invertir en un buen barlow apocromático para cuando el cielo nos entregue muy buenas condiciones de observación y se puedan lograr esas magnificaciones.

Lo más recomendable es adoptar el valor "1" como factor de magnificación (Regla de Whittaker)

Cota máxima de magnificación

Este valor representa la máxima magnificación que se puede obtener con un telescopio. Si bien en muchos casos depende del diseño óptico y la calidad de las ópticas, por lo general, se puede estimar entre dos veces y dos veces y media la apertura del telescopio expresada en milímetros. Pero como ya se comentó es muy dependiente de la calidad del cielo, por lo que para ser muy conservadores no se debería utilizar más de 2 como Factor de Magnificación (y mejor aún $FM=1$).

A efectos de acotar las posibilidades se puede considerar la siguiente tabla:

Apertura (A)		Límite de Rayleigh (138.4/A) [arcsec]	Magnificación para FM = 2					Magnificación para FM = 2.5						
			Máximo Teórico	(*) Resolución adoptada [arcsec]					Máximo Teórico	(*) Resolución adoptada [arcsec]				
[mm]	["]			0.5	1	2	3	4			0.5	1	2	3
50	2	2.77	100	100	100	100	92	69	125	125	125	125	115	87
66	2.6	2.10	132	132	132	132	92	69	165	165	165	165	115	87
70	2.8	1.98	140	140	140	138	92	69	175	175	175	173	115	87
76	3	1.82	152	152	152	138	92	69	190	190	190	173	115	87
80	3.1	1.73	160	160	160	138	92	69	200	200	200	173	115	87
90	3.5	1.54	180	180	180	138	92	69	225	225	225	173	115	87
102	4	1.36	204	204	204	138	92	69	255	255	255	173	115	87
114	4.5	1.21	228	228	228	138	92	69	285	285	285	173	115	87
127	5	1.09	254	254	254	138	92	69	318	318	318	173	115	87
130	5.1	1.06	260	260	260	138	92	69	325	325	325	173	115	87
140	5.5	0.99	280	280	277	138	92	69	350	350	346	173	115	87
152	6	0.91	304	304	277	138	92	69	380	380	346	173	115	87
178	7	0.78	356	356	277	138	92	69	445	445	346	173	115	87
203	8	0.68	406	406	277	138	92	69	508	508	346	173	115	87
229	9	0.60	458	458	277	138	92	69	573	573	346	173	115	87
235	9.25	0.59	470	470	277	138	92	69	588	588	346	173	115	87
254	10	0.54	508	508	277	138	92	69	635	635	346	173	115	87
280	11	0.49	560	554	277	138	92	69	700	692	346	173	115	87
305	12	0.45	610	554	277	138	92	69	763	692	346	173	115	87
356	14	0.39	712	554	277	138	92	69	890	692	346	173	115	87
406	16	0.34	812	554	277	138	92	69	1015	692	346	173	115	87
457	18	0.30	914	554	277	138	92	69	1143	692	346	173	115	87

N Resolución imposible para esa apertura, se presenta el máximo teórico.

N Supera la correspondiente a la máxima resolución para una atmósfera ideal (0.5 "), se tomará $M = (138.4/0.5) \times FM$

(*) © Figura 7 (10 imágenes) - Copyright by Weather Office, Environment Canada, Government of Canada y Seeing forecast for astronomical purposes (§1)

En la tabla anterior se presenta a modo de ejemplo como se observaría una estrella con una gran magnificación, suponiendo que esa es la resolución del cielo.

En resumen:

Magnificación (A: Apertura)	Focal del ocular (F: Relación Focal)	Descripción
$\frac{A}{PO}$	$F \times PO$	Esta regla fija la mínima magnificación como el cociente entre (A) la apertura y (PO) la Pupila de Salida del observador totalmente dilatada. Esta regla parte de la base de que una menor magnificación produciría pérdida de luz. Sin embargo, adolece de un defecto, pocos observadores conocen el valor de su pupila dilatada, que puede oscilar entre 4 y 9 mm.
$\frac{A}{4}$ hasta $\frac{A}{3}$	$3F$ hasta $4F$	Esta cota para la magnificación mínima es bastante más realista y ofrece vistas de muy buena calidad en cielo profundo incluso con cielos muy contaminados. Sin embargo, es poco efectiva en el caso de observación planetaria. De cualquier forma, se debe recordar que por encima de los 3.5 ± 0.5 mm comienzan a ser relevantes las aberraciones propias de ojo humano .
$\frac{A}{2}$	$2F$	Posiblemente sea la magnificación óptima y se corresponde con en el límite inferior de la capacidad de resolución que según se comentó ronda el minuto de arco y concuerda con un Re de aproximadamente 0.07 mm en las experiencias de Thompson. Aunque aún puede no resultar suficiente para planetaria cuando se tiene poca apertura, si resulta ser adecuada cielo profundo.
A	F	Esta magnificación equivale a una resolución de aproximadamente dos minutos de arco y concuerda con un Re cercano a 0.20 mm , que según Ditchburn es el óptimo para que el detalle más pequeño pueda ser resuelto por el telescopio (aplicando el criterio de Rayleigh), por encima de este valor ya se la considera "magnificación vacía" para objetos extensos. A esta cota se la denominada " Regla de Whittaker ". Por lo general, es adecuada para cielo profundo con objetos no muy dispersos tanto como para planetaria con aperturas por encima de los 150 mm.
$2A$ (o más)	$\frac{F}{2}$ (o menos)	Esta magnificación equivale a una resolución de cuatro minutos de arco, lo cual de por si es algo bastante optimista. Por otra parte, es altamente dependiente de las condiciones de la atmósfera y son pocas las veces que se puede llegar a este valor con grandes aperturas. Esto equivale a un Re de aproximadamente 0.30 mm , ya por encima de ese valor o 0.35 mm se habla de "magnificación vacía" para objetos puntuales. Esto es algo que sólo se puede establecer probando oculares para ver hasta donde se puede llegar, en especial para la separación de estrellas dobles (que es para lo que resulta adecuada esa magnificación).

La primera limitante está definida por el valor del **MFOV** del telescopio a efectos de evitar fenómenos de viñeteo, según de que ocular se trate se tendrá que:

a1) $fo \times AFOV < 1455$ (para oculares de 1")

a2) $fo \times AFOV < 1819$ (para oculares de 1.25")

a3) $fo \times AFOV < 2910$ (para oculares de 2")

La condición (a1) se agrega para los viejos oculares de 0.965" y debido a que varios catadióptricos poseen un field stop que resulta ser de aproximadamente una pulgada, en cuyo caso, independientemente del ocular utilizado, debe utilizarse esa expresión como cota para seleccionar el **AFOV** o la focal más adecuada para el ocular. Adicionalmente al tema del viñeteo hay que considerar otra restricción adicional que resulta independiente de las anteriores y es debida a la pupila de salida:

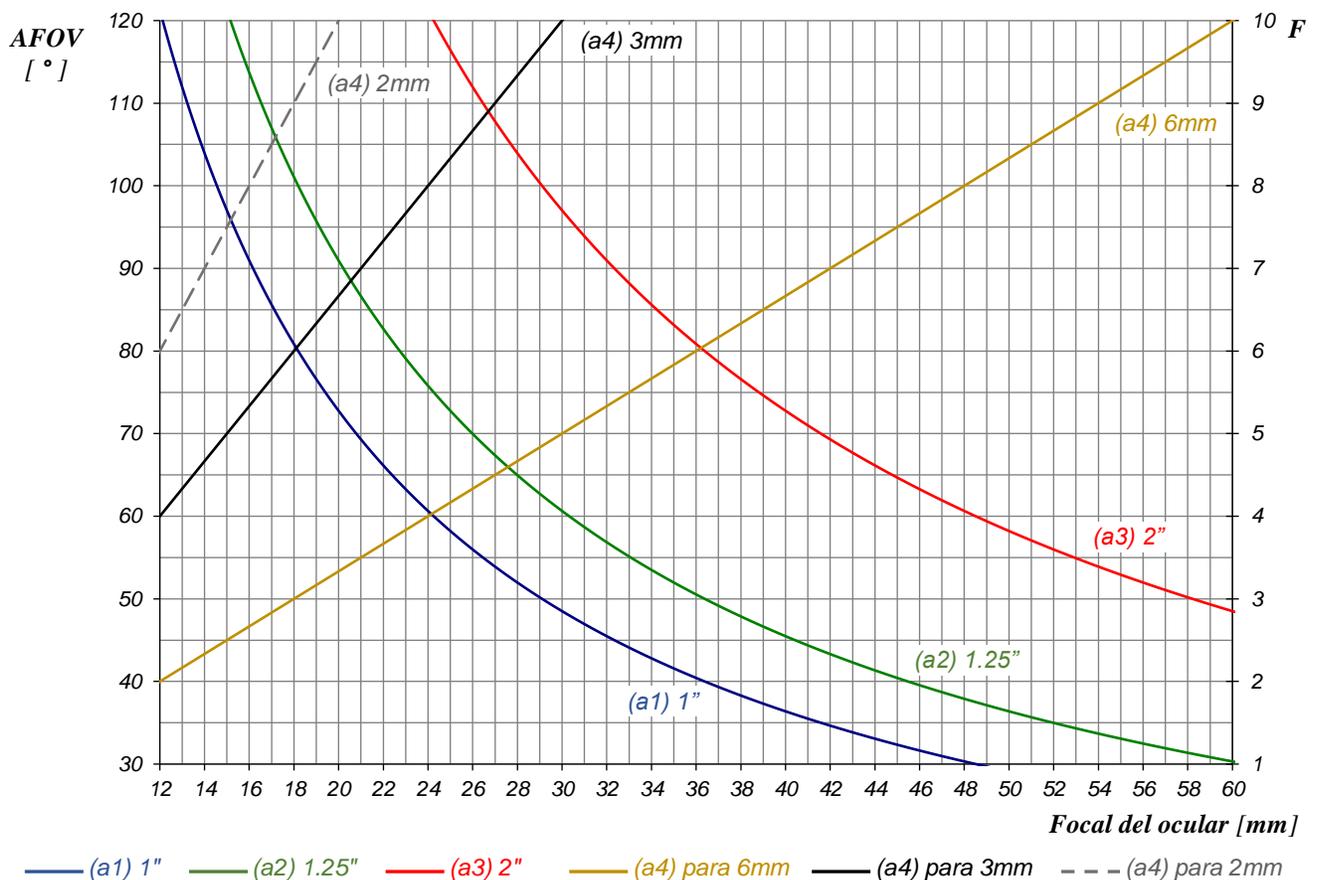
a4) $fo < F \times PO$

En otras palabras, la focal del ocular debe ser menor que el producto de la Relación focal (F) y la Pupila del Observador (PO), la cual típicamente se puede considerar de 6mm. Recordar que esto es realmente crítico sólo en el caso de telescopios reflectores (newtonianos o catadióptricos). Para los refractores es a lo sumo deseable, pero no crítico.

Ambas condiciones resaltadas, la primera $f_o = F \times PO$ y la última $f_o = F/2$, no son demasiado recomendables ya que, por lo general, se está trabajando en los límites del equipamiento y/o el cielo. Mientras que la primera hace relación a la imposibilidad de conocer de antemano la pupila del observador en el momento de la observación, la segunda está supeditada a las condiciones de la atmósfera. Particularmente en el caso de la máxima magnificación ($f_o = F/2$) resulta más conveniente utilizar un barlow y sólo tener los oculares para una condición coincidente con la **Regla de Whittaker** ($f_o = F$), puesto que no siempre se podrán obtener grandes magnificaciones, lo que además asegura no tener oculares que sólo podrán ser utilizados en ocasiones muy especiales (no en vano el barlow más común es 2x). En realidad, es algo que sólo se justifica cuando ya se han cubierto los rangos intermedios de oculares o cuando se cuenta con varios equipos.

En el otro extremo, para lograr el máximo campo, lo más adecuado es mantenerse entre $f_o = 3F$ y $f_o = 4F$, igualmente es algo que cada observador debería ensayar.

A continuación, se presenta una gráfica para las cuatro condiciones referidas a las mínimas magnificaciones, las correspondientes a la limitación por **MFOV** (a_1 , a_2 y a_3) y la relacionada con la pupila de salida para diferentes valores de PO (con respecto).

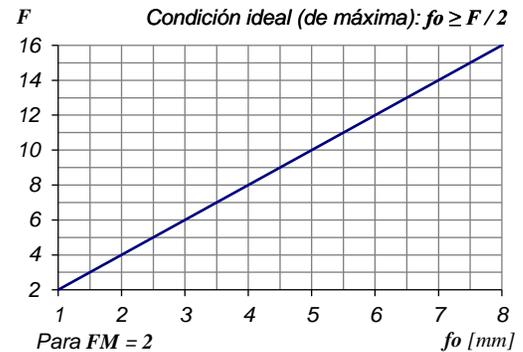


Suponiendo que el valor correspondiente a la pupila del observador es de 6mm, la línea amarilla permite, dada una relación focal (F), obtener la máxima focal para el ocular hasta la cual no se producirán efectos de pérdida de luz o, eventualmente, blackout en el caso de telescopios con obstrucción (reflectores newtonianos, catadióptricos, etc.). También se presentan las condiciones de máxima focal con pupila contraída (observación diurna) con para valores de 3mm y 2mm (líneas negra y gris punteada respectivamente).

Luego, en el otro extremo, está la cota debida a la calidad del cielo ya sea por mal seeing o por efectos de contaminación lumínica, polución, etc. En general, la suma de los efectos de un mal cielo puede ocasionar que, aun con grandes aperturas, incluso hasta la "Regla de Whittaker" se convierta en una utopía inalcanzable, con más razón la regla de dos veces el diámetro que implica el doble de magnificación que la anterior. A este respecto varios observadores coinciden en que la cota máxima estaría rondando los 300x, pero incluso esto ya es algo que requiere de un cielo excelente.

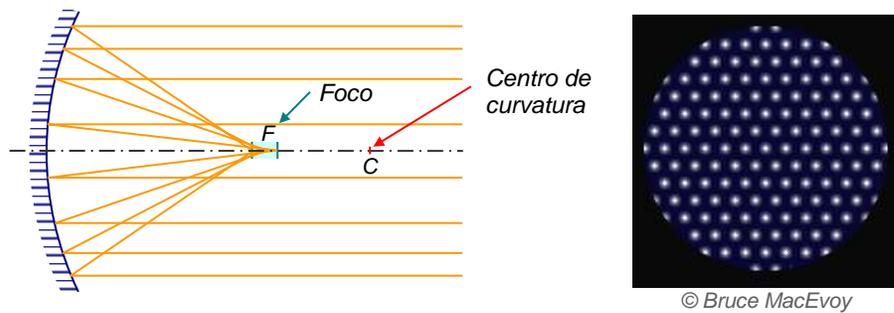
A continuación, se plantean cotas más razonables en función del sitio de observación versus la condición ideal:

$f_o > \frac{f_t}{300}$	Zonas desérticas distantes a cadenas montañosas.
$f_o > \frac{f_t}{200}$	Campo abierto, lo suficientemente distante a centros poblados.
$f_o > \frac{f_t}{150}$	Zonas suburbanas o urbanas con baja densidad de población.
$f_o > \frac{f_t}{100}$	Zonas urbanas con alta densidad de población o sitios cercanos a zonas industriales.



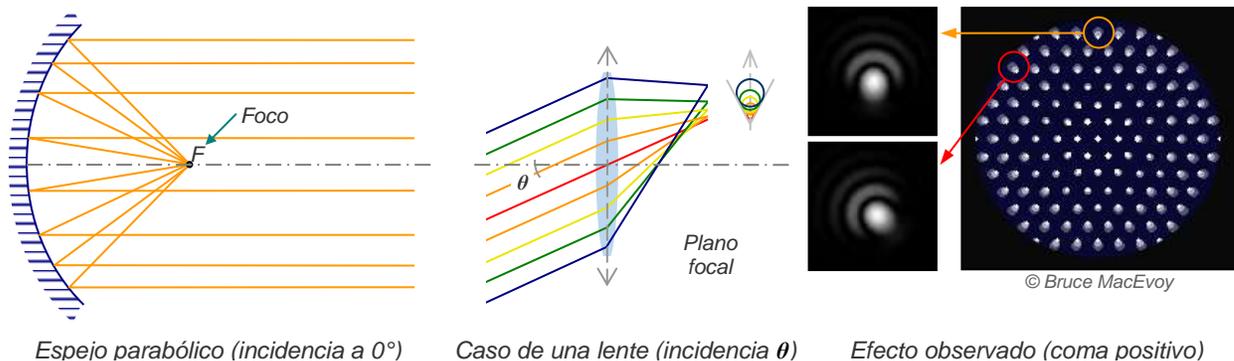
Reflectores newtonianos - Aberración esférica y coma

Una de las formas más simples de construir un espejo sería considerar la opción de casquete esférico. Sin embargo, tal como se indica en la figura, este tipo de soluciones adolece de un defecto, el foco no se forma en un punto sino en una región (en la figura representada en celeste), esto se denomina **aberración esférica**.



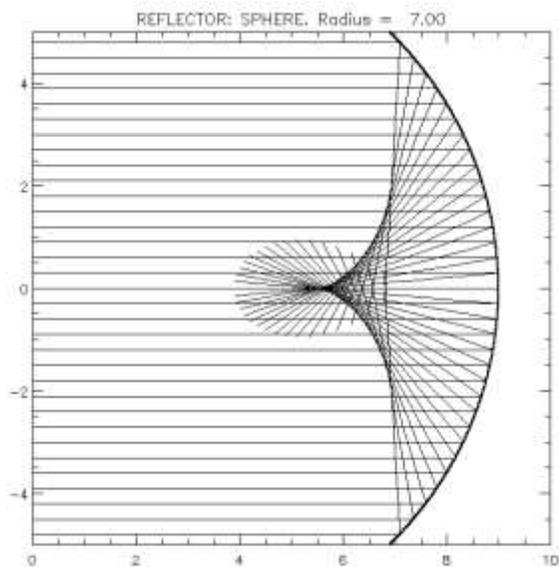
© Figura 8 (imagen en fondo negro) - Copyright 2012-2024 by Bruce MacEvoy
Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Spherical) (§41)

A medida que el haz incidente se aleja del eje óptico el foco se formará en un punto más cercano al espejo, este efecto será más evidente cuando menor sea el radio de curvatura del espejo, o lo que es lo mismo, cuanto mayor sea el casquete esférico. Esta es una de las aberraciones más notorias debido a que se presenta en todo en campo del ocular. Una solución inmediata sería utilizar un espejo parabólico en lugar de uno esférico, ya que en este caso todos los haces incidentes se focalizarán en un punto único, el foco de la parábola.

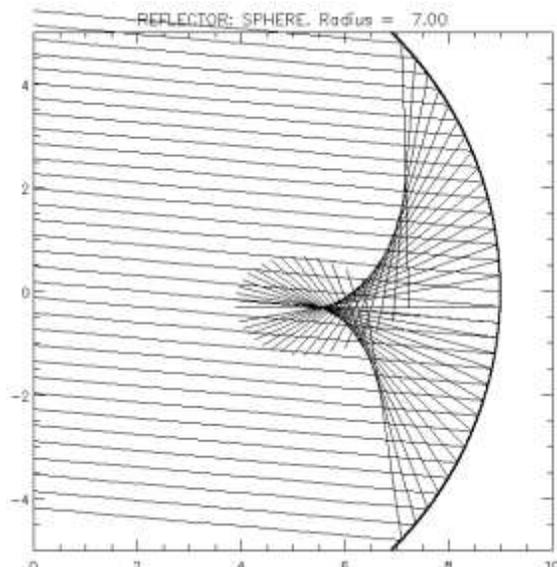


© Figura 9 (imagen en fondo negro) - Copyright 2012-2024 by Bruce MacEvoy
Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Coma) (§42)

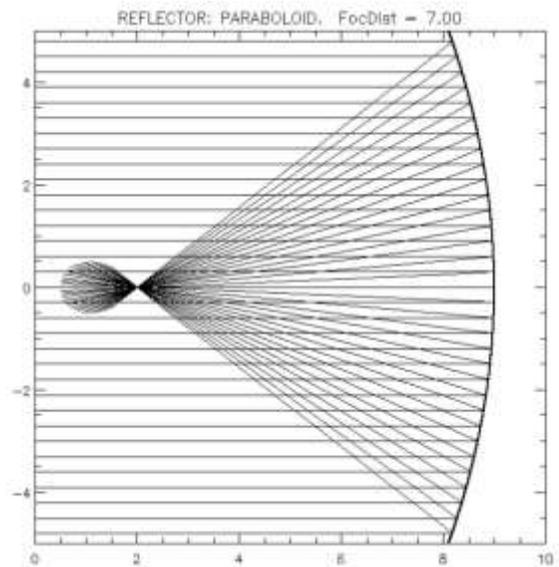
Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando no inciden de forma paraxial (paralelos al eje de la parábola). Esto da origen a la aberración denominada **coma**, la que también puede aparecer en otros diseños. Como se indica en la figura, el coma depende del ángulo de incidencia (o lo que es equivalente la posición del objeto en el ocular y se manifiesta más en los bordes). Se dice que el coma es positivo cuando se extiende hacia el exterior del centro óptico y negativo a la inversa.



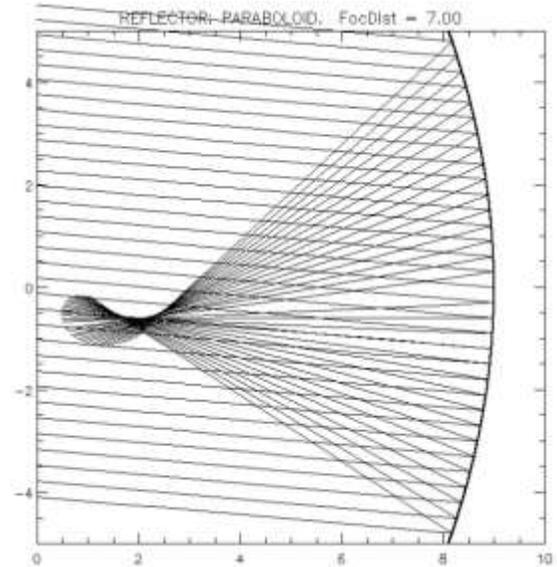
Esférico con incidencia paraxial



Esférico con incidencia a 5° fuera del eje



Parabólico con incidencia paraxial



Parabólico con incidencia a 5° fuera del eje

Simulación con incidencia paraxial (paralelos al eje óptico) y con incidencia de 5° fuera del eje.

Si bien por lo general es frecuente ver que los telescopios reflectores newtonianos cuentan con un espejo parabólico, en muchas ocasiones se ven diseños con espejos esféricos lo cual contradice lo visto respecto a la aberración esférica. Esto se debe a que es mucho más simple construir un espejo esférico que uno parabólico y tal como se indicó antes, si se tienen radios de curvatura lo suficientemente grandes, los efectos de la aberración esférica resultan despreciables. A este respecto se puede utilizar la fórmula de Couder (ver: *How to make a telescope*, Jean Texereau, 1957, II.1 Form of the main mirror in the newtonian telescope, página 17), la cual establece que, si la focal del telescopio se mantiene por encima de la indicada abajo, las aberraciones debidas a la esfericidad resultan despreciables.

Fórmula de Couder: $ft^3 = 3.49 A^4$

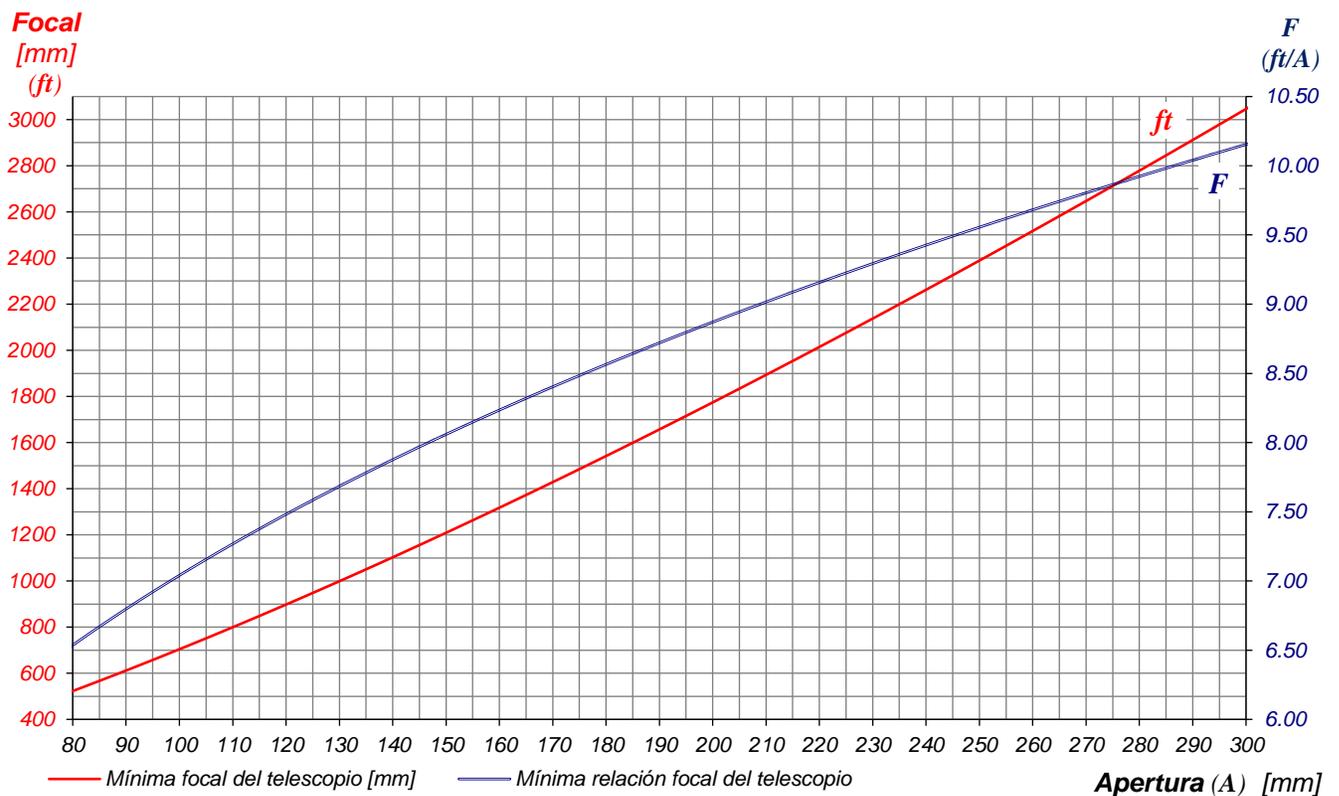
ft : Focal del telescopio [mm]

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

A continuación, se listan los valores típicos y su correspondiente representación gráfica:

Apertura [pulgadas]	Apertura [mm]	Focal [mm]	Relación focal
3.0	76	488	6.43
4.5	114	838	7.35
5.0	127	968	7.62
5.1	130	994	7.67
6.0	152	1230	8.10
7.0	178	1519	8.53
8.0	203	1810	8.91
9.0	230	2138	9.29
10.0	254	2440	9.61
11.0	280	2779	9.92
12.0	305	3114	10.21

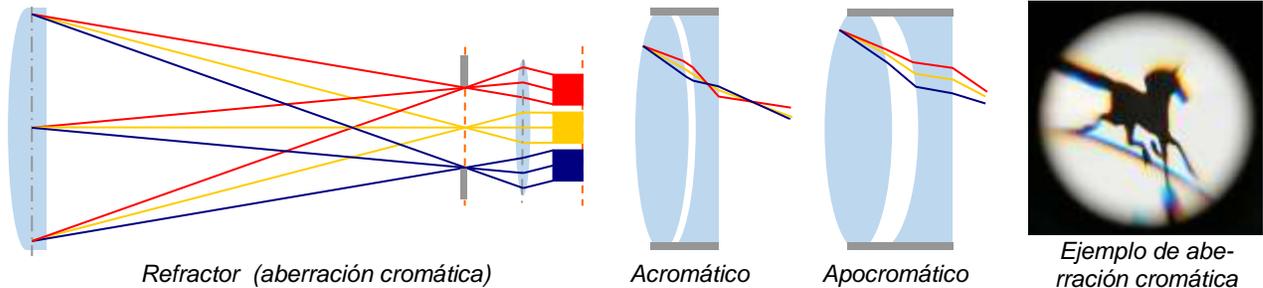
En la figura se grafica la relación focal mínima (en azul) junto con su correspondiente focal (en rojo) en función de la apertura (tanto la focal como la apertura se encuentran expresadas en mm).



Si bien este tipo de aberraciones son más frecuente en telescopios reflectores también pueden aparecer en los refractores, en cuyo caso se recurre también a lentes con perfiles parabólicos, elipsoidales o hiperbólicos en lugar de esféricos.

Refractores - Aberración cromática

Uno de los problemas inherentes a los refractores se relaciona con la aberración cromática, la cual se debe a que la luz está compuesta por varias longitudes de onda donde cada una de ellas es afectada por un índice de refracción diferente, esto lleva a que el foco para cada una de ellas se forme a diferentes distancias. Dicho de otra forma, al igual que en un prisma, cada longitud de onda se desvía de forma diferente, lo que hace que el plano focal del violeta esté más próximo a la lente y el del rojo más alejado.



En la figura anterior se esquematiza el efecto de la aberración cromática, así como los dos arreglos más usuales para mitigarla. Sin entrar en más detalles de óptica, más adelante veremos que al aumentar la relación focal (la focal en realidad) la aberración cromática se hará menos notoria, ya que ello implica el uso de lentes más delgadas. La condición para que la aberración cromática se haga despreciable en observación visual es la siguiente:

$$F > 0.122 A \Rightarrow ft > 0.122 A^2$$

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] (ft / A)

ft : Focal del telescopio [mm]

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

Para mayor información se puede consultar: *Telescope optics: A comprehensive manual for amateur astronomers*, Harrie Rutten y Martin van Venrooij, 1999, 6.2.1 Chromatic aberration, página 57.

Tomando en cuenta la fórmula anterior, en el caso de un 80 mm la relación focal debería ser superior a F9.8 y para un 120 mm superior a F14. Para resolver ese inconveniente sin recurrir a grandes focales se puede utilizar un par de lentes con diferente tipo de vidrio, recordar que cada longitud de onda está afectada por un índice de refracción diferente, por lo que si se combinan diferentes tipos de vidrio es posible compensar la diferencia de planos focales. Así surgen los Refractores Acromáticos (ACRO), básicamente comenzaron con un par de lentes, una convergente con bajo grado de dispersión de la luz denominada **Crown** y otro divergente con mayor grado de dispersión denominada **Flint** (de mayor densidad). Si bien existen varios tipos de arreglos, en general se basan en un par de lentes, una con vidrios Crown ($V > 50$) y la otra con vidrio Flint ($V < 50$) y separadas por aire, lo cual adicionalmente reduce el denominado "efecto de cromatismo esférico o axial". El valor "V" representa el Número de Abbe el cual pondera el índice de refracción del vidrio a distintas frecuencias. Con este tipo de diseños se logra menos sensibilidad al cromatismo sin necesidad de relaciones focales tan exageradas, las que conllevan a problemas mecánicos en el diseño de los tubos. De todas formas, en planetaria o lunar pueden presentar algún cromatismo cuando las focales son bajas F5 o F6. Por eso es común reducirles la apertura cuando se desea hacer observación o fotografía de ese tipo de objetos. Algunos refractores acromáticos poseen una tapa doble, en cuyo caso y para este tipo de observaciones, se puede dejar la tapa principal y sólo se retira la menor, claro que se pierde resolución, ya que la apertura es menor.

Al igual que en el caso de los refractores con una sola lente existe una fórmula empírica para determinar cuándo se produciría aberración cromática, aunque en realidad dependerá de la calidad de los cristales utilizados:

$$F > 0.069 A \Rightarrow ft > 0.069 A^2$$

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] (ft / A)

ft : Focal del telescopio [mm]

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

Un paso más allá en niveles de corrección están los Refractores Apocromáticos (APO), los que en esencia son simplemente acromáticos con una corrección de color mejorada (A survey of refractive systems for astronomical telescopes, Roger Ceragioli, 2006, Chapter 4a: Survey of apochromats -General considerations & doublets-, General considerations). Si bien los acromáticos resuelven en gran medida el problema del cromatismo, fue necesario buscar mejores vidrios para minimizar aún más el cromatismo. Así fue que hacia fines del siglo XIX Ernst Abbe, encontró que los cristales naturales de fluoruro de calcio (“fluorita”) producían el efecto deseado. El problema fue que la fluorita natural sólo estaba disponible en cristales pequeños y sólo era posible su uso en microscopios. Recién en la primera mitad del Siglo XX fue posible la creación de “fluorita artificial”, pero el problema que tenía es que era sumamente frágil e incluso era afectada por el rocío, aunque con tratamientos adecuados si puede tener contacto con el aire. Eso sin mencionar que, además, el proceso de fabricación de la fluorita resulta altamente costoso y no era accesible al amateur. Recién hacia 1980 la fluorita artificial llegó a las manos de unos pocos aficionados a un alto costo. Poco tiempo después los fabricantes de vidrio Schott de Alemania y Ohara de Japón, lograron compuestos de vidrio más estables con propiedades ópticas muy similares a la fluorita denominados “Fluor Crown”, también ED (“Extra-low Dispersion”) y SD (“Super-wide Dispersion”), estos últimos más costosos y menos comunes. Algunos de los vidrios Fluor Crown más utilizados para los refractores apocromáticos son los que se listan a continuación:

	<u>Valor de referencia:</u>	V = 95.6 (Fluorita)		
(§43)	CDGM China	V = 81.61 (H-FK61)		
(§44)	Hoya Japón	V = 81.61 (FCD1)	V = 90.27 (FCD10)	
(§45)	Ohara Japón	V = 81.54 (S-FPL51)	V = 90.29 (S-FPL52)	V = 94.94 (S-FPL53)
(§46)	Schott Alemania	V = 92.05 (N-PK52A)		
(§47)	LZOS Rusia	V = 92.05 (OK4)		

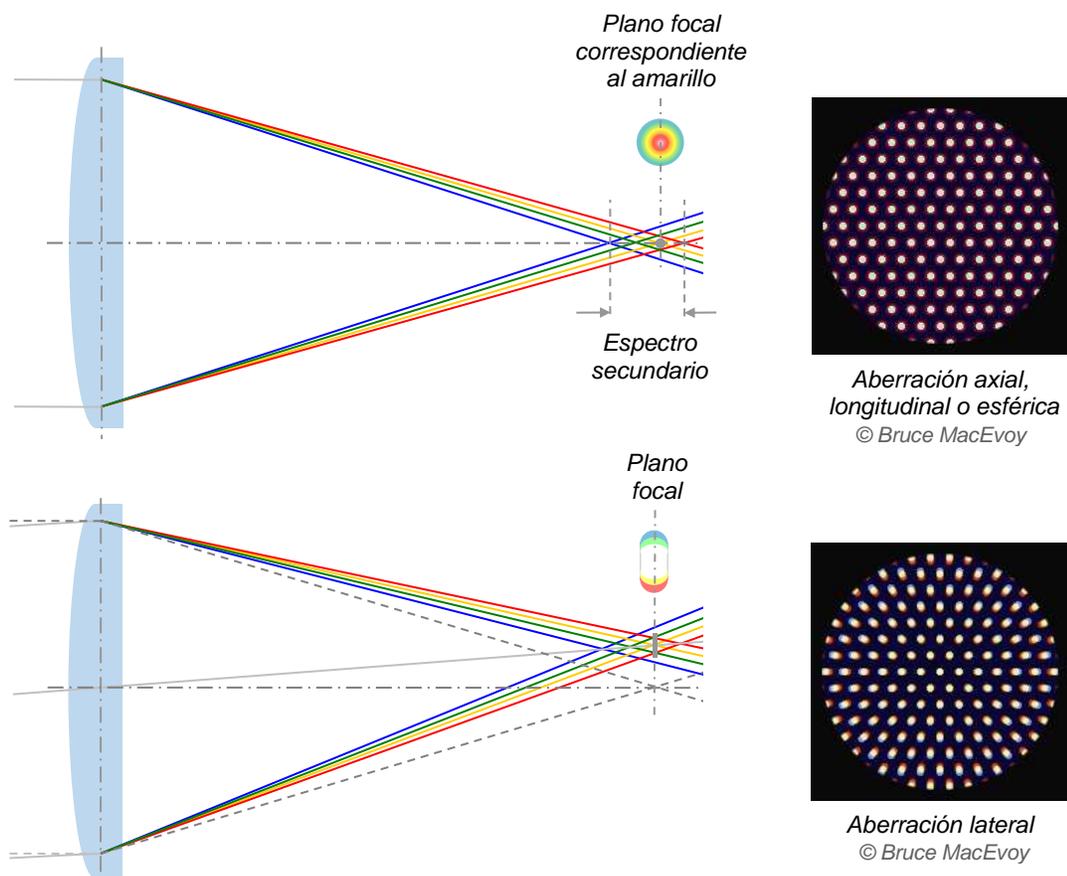
Para mayor información se puede consultar en [Refractive Index](#) (§48)

Observaciones:

1. Cabe destacar que si bien el FPL-53 resulta mucho menos frágil que la fluorita, lo es más que el FPL-51 (o sus equivalentes H-FK61, FCD1 y N-PK52A).
2. Notar que hasta acá no se han mencionado las palabras doblete ni triplete, las cuales siempre están presentes cuando se habla de apocromáticos. Esto se debe a que un apocromático no necesariamente es un triplete, la diferencia formal entre apocromático (APO) y acromático (ACRO) es el nivel de corrección (que, por lo general, depende del vidrio) y no la cantidad de elementos. Si bien actualmente es común ver apocromáticos que son tripletes esto se debe a que la inclusión de un tercer elemento hace mucho más fácil de fabricar arreglos de alto rendimiento. Incluso hay arreglos de dos dobletes separados (Petzval), es decir, cuádrupletes y quintupletes. Aunque en el caso de estos las lentes adicionales se utilizan para solucionar otro tipo de aberraciones que no se refieren específicamente con el cromatismo.
3. Al igual que los acromáticos, los elementos de los apocromáticos se encuentran separados por aire (aunque existen algunos diseños cementados o separados por aceite). Lo que se debe tener en cuenta que, si bien el hecho de que estén separados por aire soluciona algunas aberraciones ópticas, complica considerablemente la aclimatación del telescopio, por lo que lo más conveniente es esperar de una a tres horas antes de utilizarlo. En el caso de los Takahashi que si emplea fluorita en el Crown se especifican tiempos menores para la aclimatación, por ejemplo, media hora para el doblete APO Takahashi FCL-90.
4. **¿ED significa APO?** No necesariamente, usualmente todos los APO utilizan vidrio ED o superior, pero hay dobletes ED que no son APO, pero si son unos excelentes ACRO.
5. **¿Es Mejor un APO con S-FPL53 que uno con S-FPL51?** No es simple de responder a eso, normalmente los fabricantes de ópticas compran bloques de vidrio y cada uno los talla. En realidad, la calidad puesta en ese proceso a veces hace que se obtengan resultados muy superiores con un S-FPL51. Por otro lado, hay que tener en cuenta que los S-FPL53 son más frágiles. Ahora, comparando un APO F6 con S-FPL53 y otro APO F7 con S-FPL51, podríamos decir que si ambos están igualmente tallados serían equivalentes. Tomando en cuenta que la diferencia entre los Números de Abbe de ambos es de 16.43%, es la misma diferencia entre las relaciones focales, lo cual en cierta forma “lo compensaría”.

6. **¿Por qué los fabricantes indican el Número de Abbe sólo del Crown?** Es algo intrigante, todos los fabricantes en el mejor de los casos especifican a lo sumo los detalles del Crown, pero usualmente no informan acerca del Flint que utilizan, el que además resulta ser mucho más denso.
7. **¿Es Mejor un APO que un ACRO?** Depende de los procesos de fabricación, hay acromáticos que superan por mucho a algunos apocromáticos. Además, todo dependerá de la focal y de la calidad de los cristales y, como ya se ha mencionado, del proceso de tallado de los lentes.
8. **¿Es Mejor un triplete APO que doblete APO?** Al igual que en punto anterior, dependerá de los procesos de fabricación. Existen dobletes de fluorita muy costosos (por ejemplo, el Takahashi FCL-90 - Sky 90 F5.6) que superan en calidad a muchos de los tripletes más comercializados (aunque obviamente también los supera en precio).

Sin entrar en mayores detalles podemos decir que formalmente existen dos tipos de aberración cromática, las cuales pueden presentarse de forma separada o conjunta:



© Figura 10 (imágenes en fondo negro) - Copyright 2012-2024 by Bruce MacEvoy
Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Chromatic) (§49)

- En el primer caso se tiene la denominada aberración cromática axial o longitudinal, la cual se manifiesta como un error de enfoque el cual se debe a que cada longitud de onda converge en un plano focal diferente, el efecto se asemeja a la aberración esférica.
- El segundo caso corresponde a la denominada aberración lateral, la cual se debe a errores de ampliación puesto que las diferentes longitudes de onda fuera del eje óptico se dispersan de forma diferente, produciendo un efecto similar al coma. A diferencia de la aberración longitudinal que manifiesta de forma similar en toda la imagen, la aberración lateral se hace más evidente a medida que nos alejamos del eje óptico.

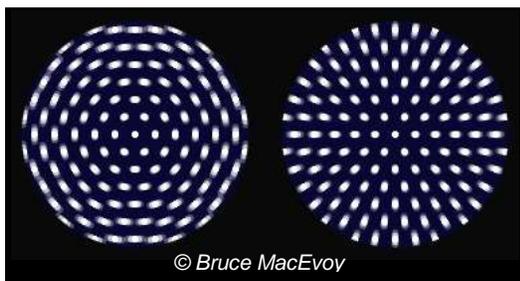
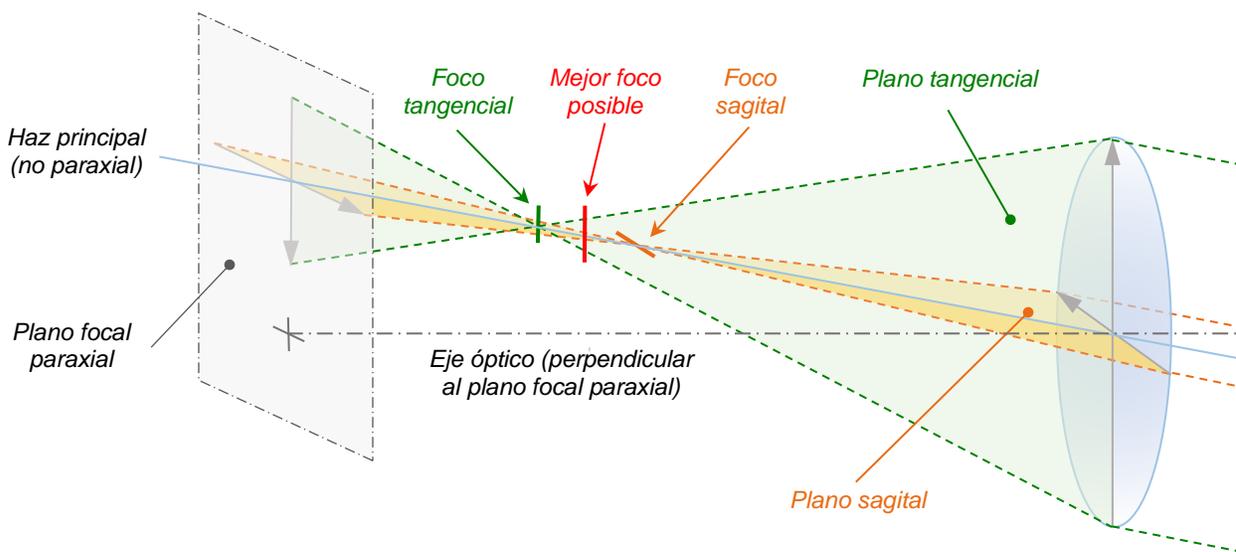
En la calculadora de oculares aparecerá una advertencia en el caso de que la focal del telescopio se encuentre por debajo de la mínima necesaria para evitar la aberración cromática de acuerdo al diseño del refractor. Dicha advertencia aparecerá debajo de las cotas de máxima y mínima de los oculares. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la misma sólo apunta a la calidad de los oculares, barlow o reductor focal que se utilice, ya que no es posible modificar la focal nativa del telescopio.

Cabe señalar que aún un triplete apocromático puede llegar a introducir cierta aberración cromática, cuando su relación focal es pequeña (generalmente inferior a F5). Esto no significa que no los haya, de hecho existen, pero son muy costosos. Tal es el caso de algunos Petzval modificados, como el cuádruplete Takahashi FSQ-106ED F5 de 106 mm o el quintuplete Vixen VSD100 F3.8 de 100 mm. Pero hay que tener en cuenta que estamos hablando de valores que pueden llegar a ser entre 5 y 10 veces el correspondiente a un triplete apocromático F6 o F7 con la misma apertura.

Astigmatismo y otras aberraciones

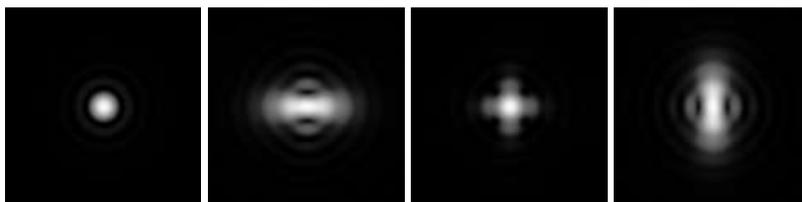
Si bien las aberraciones vistas antes son propias de cada diseño, en los reflectores catadióptricos con placa correctora puede aparecer aberración cromática, aunque, en general, es despreciable debido a que la misma es muy delgada (y, por cierto, bastante frágil). De igual forma, las aberraciones esféricas y coma pueden darse también en los refractores. En cualquier caso, cualquiera de las aberraciones antes vistas, incluso pueden ser introducidas por el ocular.

Sin embargo, aparece otra aberración denominada **astigmatismo**, que al igual que el coma se produce por la incidencia fuera del eje óptico (no paraxial). Pero a diferencia del coma que se produce en la superficie óptica, el astigmatismo se produce por la diferencia de foco entre los haces que inciden en el plano que contiene al eje óptico y el objeto, denominado plano tangencial y en el plano perpendicular (plano sagital). En la siguiente figura se ha supuesto que el objeto se encuentra en el plano vertical.



Tangencial

Sagital



En foco (sin aberraciones)

Foco Tangencial

Mejor foco posible

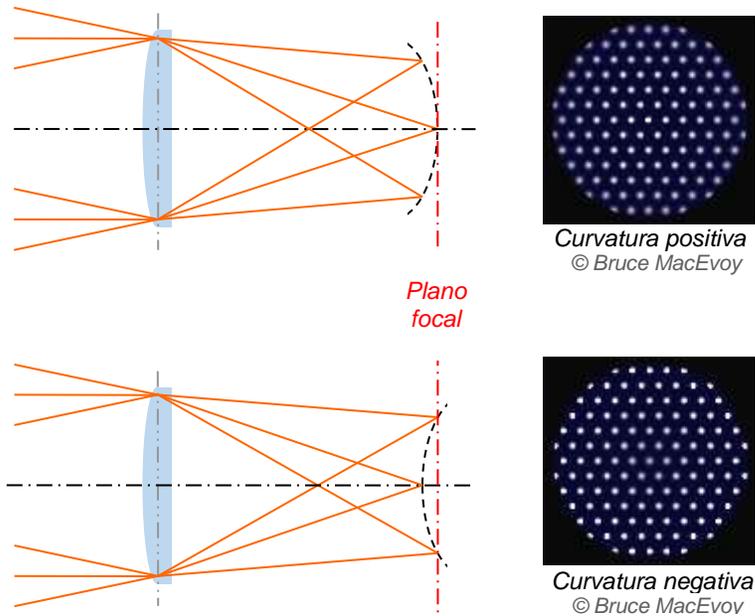
Foco Sagital

Refractor apocromático F7 de 130 mm sin y con astigmatismo para $\lambda/2$

© Figura 11 (imágenes en fondo negro) - Copyright 2012-2024 by Bruce MacEvoy
Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Astigmatism) (§50)

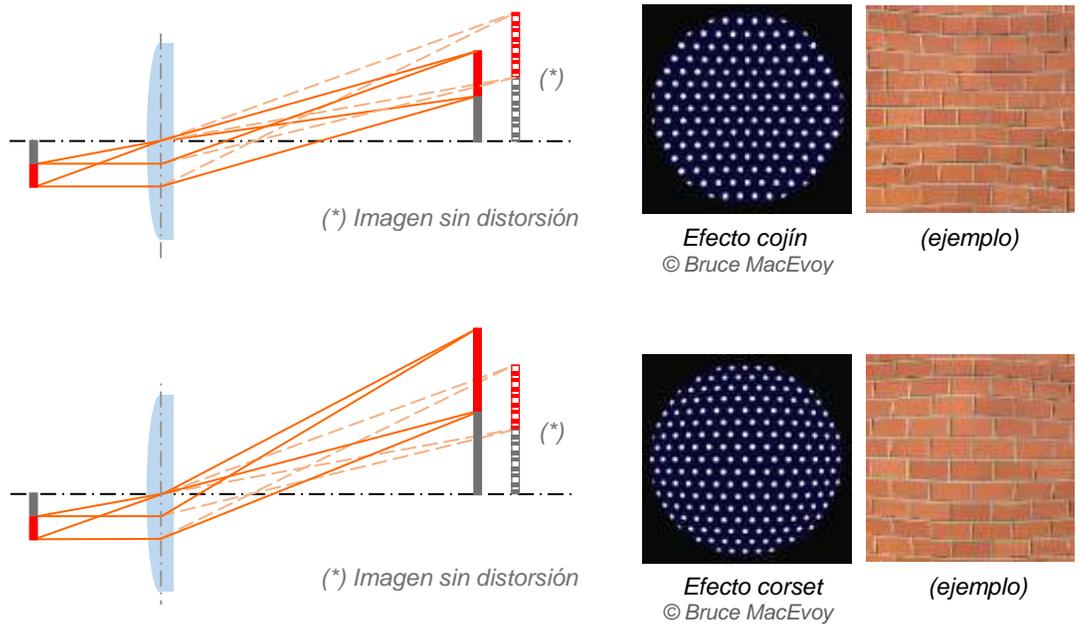
También aparecen otros tipos de aberraciones, dos de las cuales se mencionan a continuación:

- ❖ **Curvatura:** La denominada **curvatura de campo** (también llamada **Curvatura Petzval**) es la incapacidad de hacer foco en un plano. En lugar de un "plano focal" resulta ser una superficie similar a la de un paraboloide de revolución. Esto produce la característica incapacidad para enfocar el centro y los bordes del campo al mismo tiempo (generalmente resulta positiva en los telescopios).



© Figura 12 (imágenes en fondo negro) - Copyright 2012-2024 by Bruce MacEvoy
Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Curvature) (§51)

- ❖ **Distorsión:** Es básicamente una deformación de la imagen. Esta deformación puede ser negativa (efecto corsé o cojín) o positiva (efecto barril). Si bien en este caso es posible enfocar todo el campo, el mismo se encuentra distorsionado.

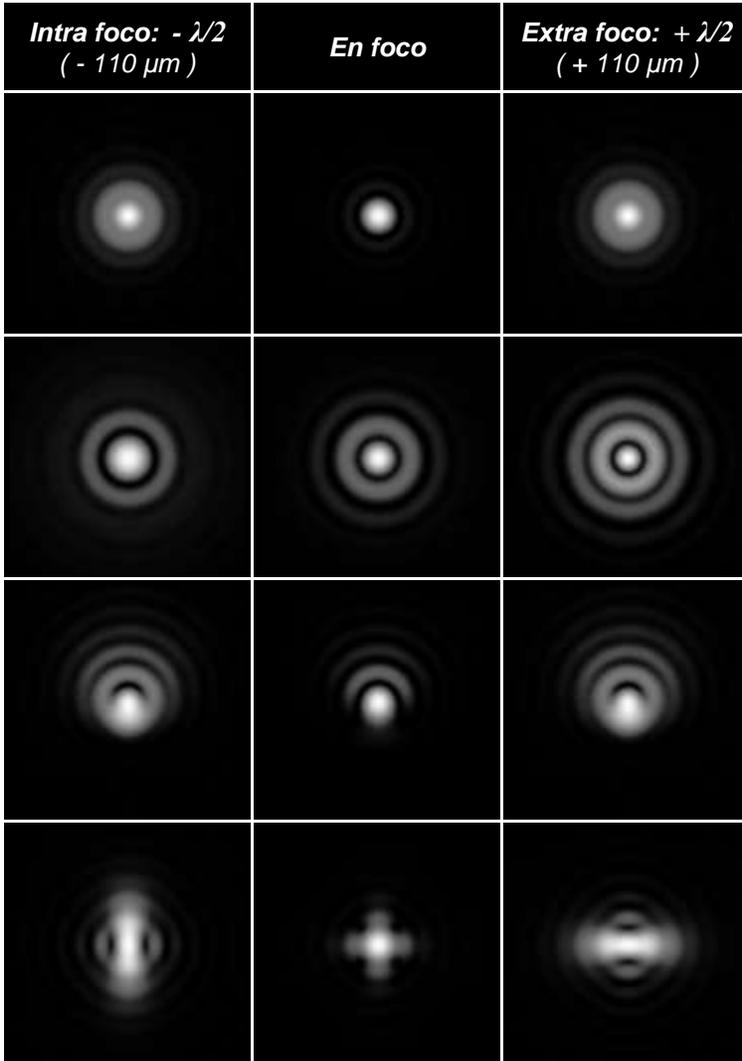


© Figura 13 (imágenes en fondo negro) - Copyright 2012-2024 by Bruce MacEvoy
Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Distorsion) (§52)

Patrones de difracción de una estrella para cada tipo de aberración

En todos los casos se analizará el comportamiento de un refractor de 130 mm y un catadióptrico de 200 mm con 35% de obstrucción central en condiciones ideales de laboratorio.

Aberraciones monocromáticas a 1800x, sin turbulencias atmosféricas:



Aberraciones para un refractor acromático de 130 mm - F7
(Profundidad de enfoque: $\pm 55 \mu\text{m}$)

Patrón de difracción sin aberraciones (sistema aplanático)

Tanto en intra foco como en extra foco se tienen los mismos patrones de difracción.

Aberración esférica para $\lambda/2$

En cualquier caso, los patrones de difracción para intra foco y extra foco son diferentes. En foco evidencian el primer y segundo anillo de difracción.

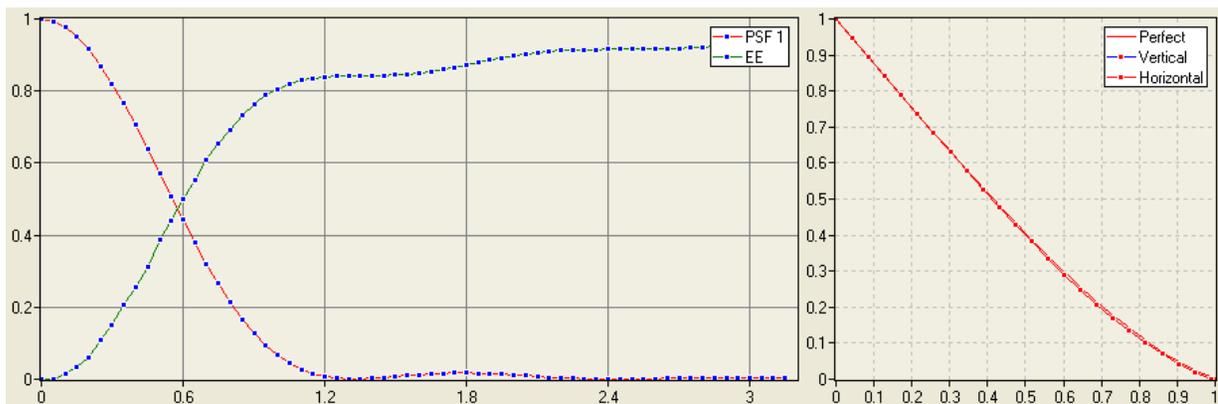
Coma para $\lambda/2$ a 0° (\uparrow)

Se produce una deformación del patrón de difracción, presentando imágenes similares en intra y extra foco. El MTF se ve afectado de forma diferente en horizontal y vertical, sólo a 45° afecta por igual en ambos ejes.

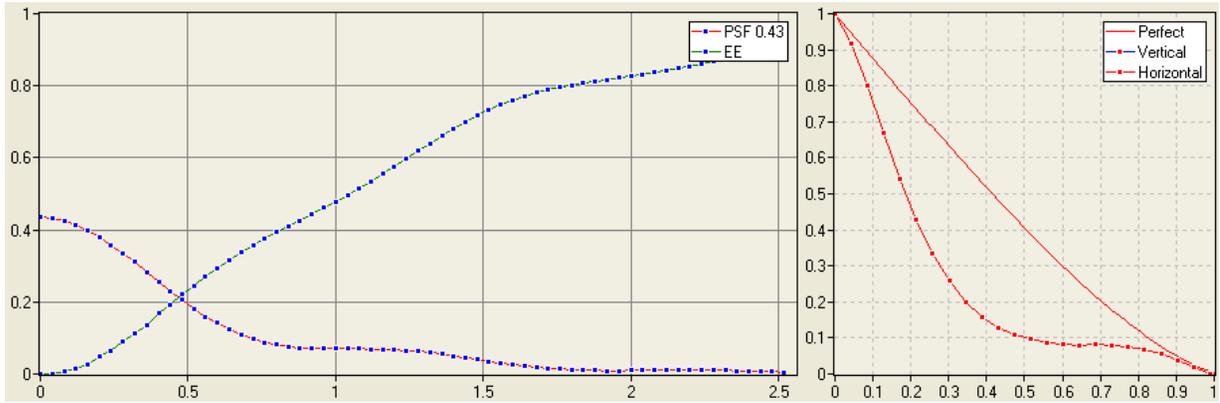
Astigmatismo para $\lambda/2$

Se produce una deformación en forma de cruz en el patrón de difracción, produciendo patrones diferentes en intra foco y extra foco, esto se debe a que intra foco predomina el foco sagital y en extra foco el tangencial. El foco óptico evidencia ambos.

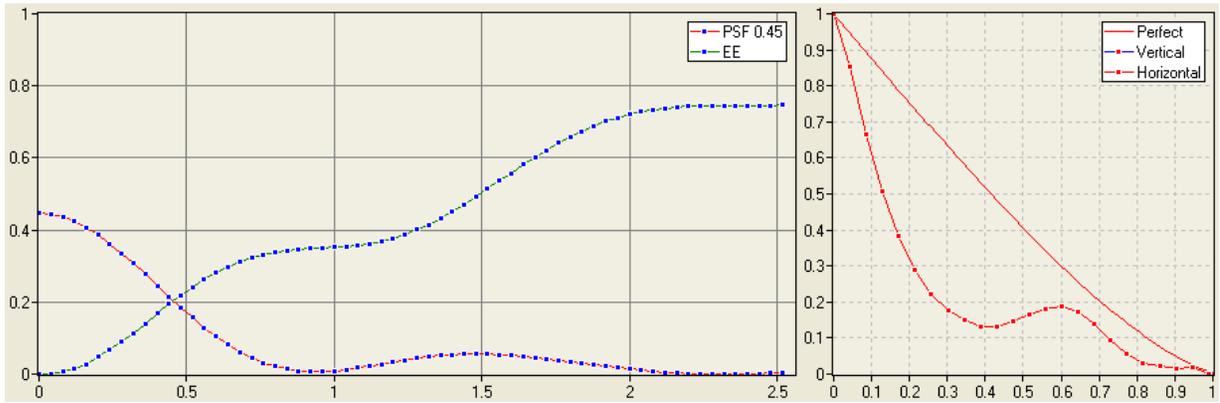
A continuación, se muestra para cada aberración la PSF y EE, así como la MTF para cada caso:



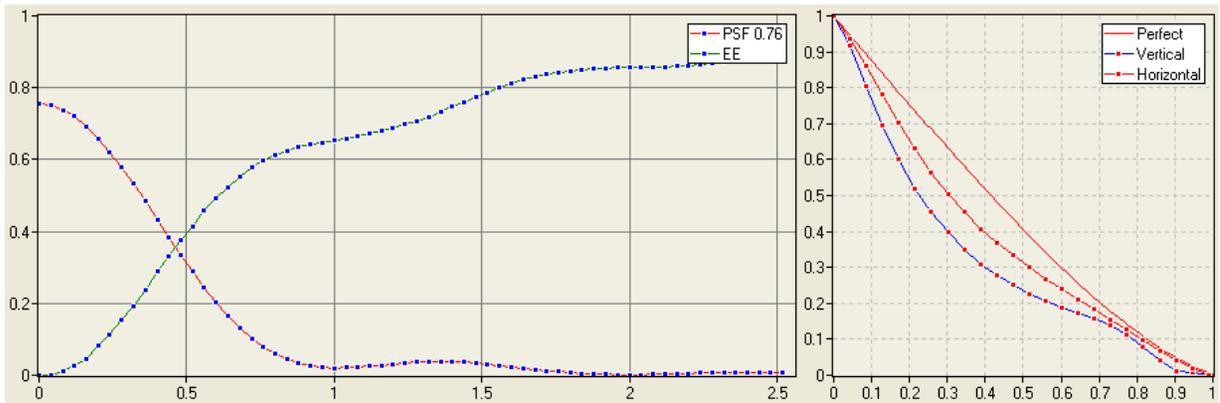
Refractor acromático de 130 mm, F7 - Sin aberraciones (sistema aplanático), en foco.



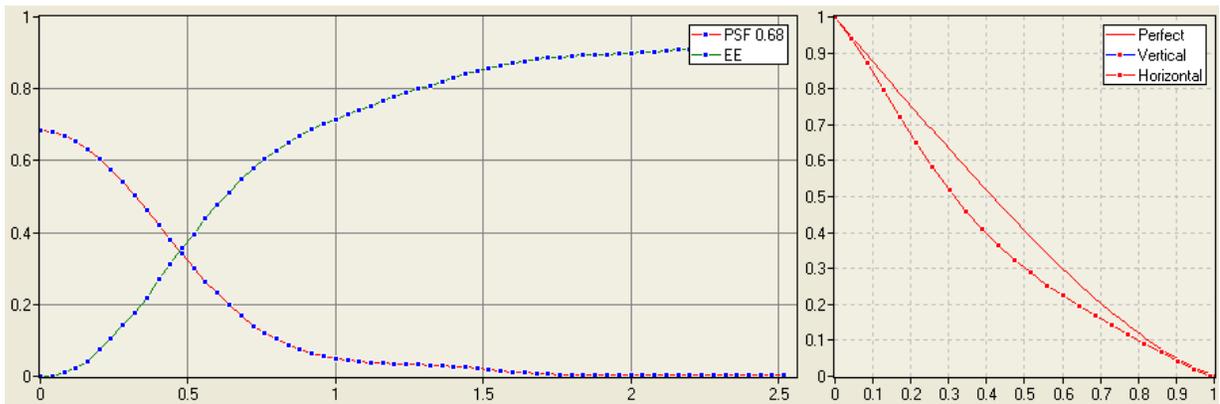
Refractor acromático de 130 mm, F7 - Sin aberraciones (sistema aplanático), fuera de foco en $\lambda/2$.



Refractor acromático de 130 mm, F7 - Aberración esférica para $\lambda/2$ (en foco).



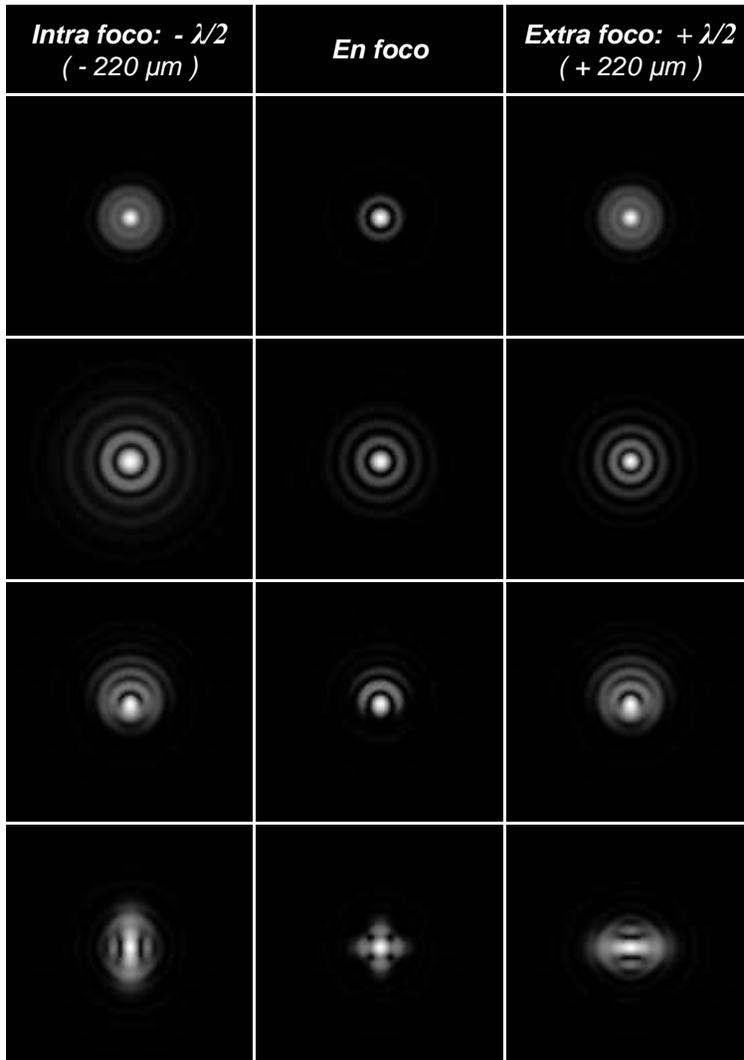
Refractor acromático de 130 mm, F7 - Coma para $\lambda/2$ a 0° (en foco).



Refractor acromático de 130 mm, F7 - Astigmatismo para $\lambda/2$ (en foco).

En las figuras de la izquierda, utilizadas para las representaciones de la PSF y la EE, el eje de abscisas (horizontal) está expresado en segundos de arco y en el eje de ordenadas (vertical) representa la Relación de Strehl para la PSF y la probabilidad acumulada para la EE (en ambos casos de cero a uno). Mientras que, en las figuras de la derecha utilizada para la representación de la MTF, el eje de abscisas (horizontal) expresa la inversa de la resolución normalizada y en el eje de ordenadas (vertical) la modulación de cero a uno.

Aberraciones monocromáticas a 1800x, sin turbulencias atmosféricas:



Aberraciones para un catadióptrico de 200 mm - F10, con 35% de obstrucción (Profundidad de enfoque: $\pm 110\ \mu\text{m}$)

Patrón de difracción sin aberraciones (sistema aplanático)

Tanto en intra foco como en extra foco se tienen los mismos patrones de difracción.

Aberración esférica para $\lambda/2$

En cualquier caso, los patrones de difracción para intra foco y extra foco son diferentes. En foco evidencian el primer anillo de difracción.

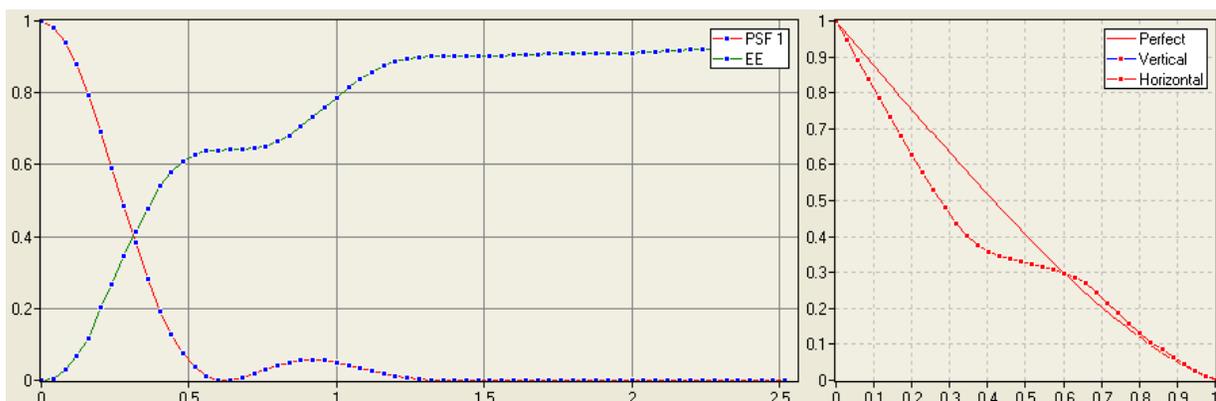
Coma para $\lambda/2$ a 0° (\uparrow)

Se produce una deformación del patrón de difracción, presentando imágenes similares en intra y extra foco. El MTF se ve afectado de forma diferente en horizontal y vertical, sólo a 45° afecta por igual en ambos ejes.

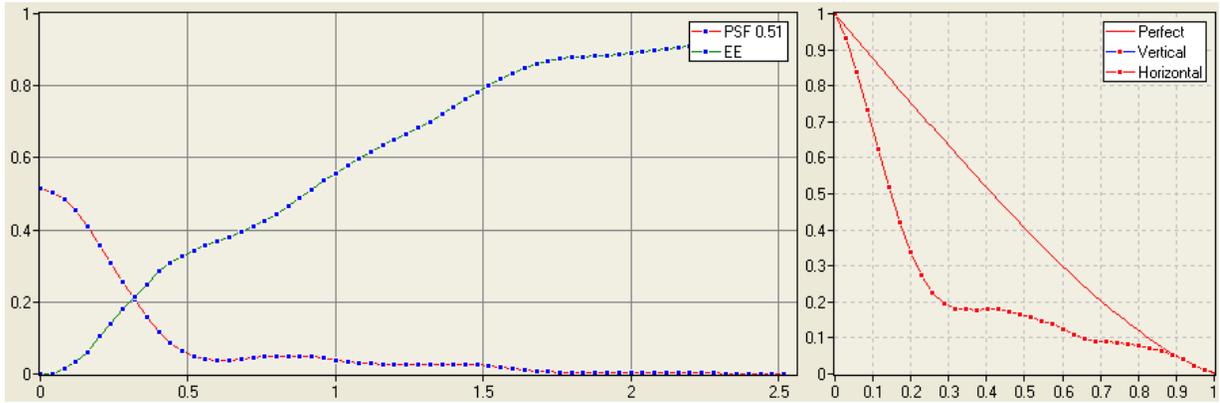
Astigmatismo para $\lambda/2$

Se produce una deformación en forma de cruz en el patrón de difracción, produciendo patrones diferentes en intra foco y extra foco, esto se debe a que intra foco predomina el foco sagital y en extra foco el tangencial. El foco óptico evidencia ambos.

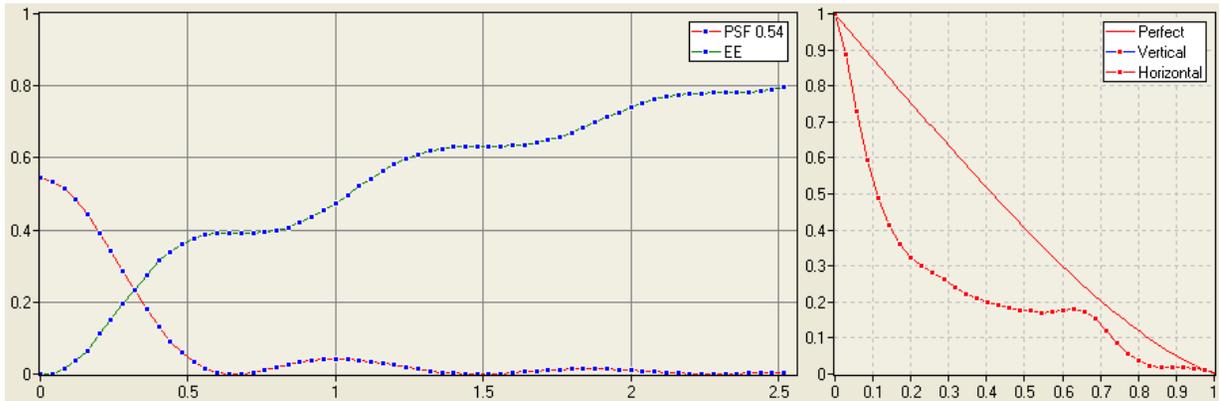
A continuación, se muestra para cada aberración la PSF y EE, así como la MTF para cada caso:



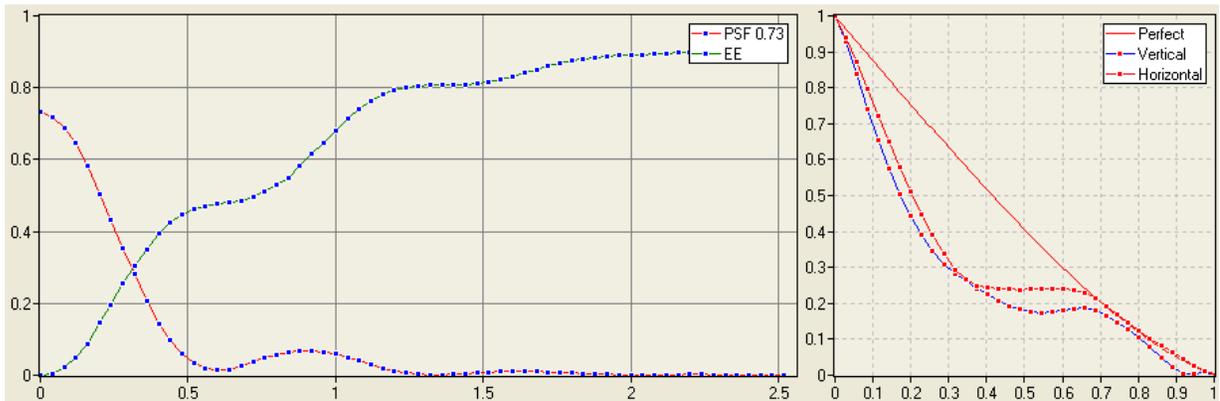
Catadióptrico de 200 mm, F10 y con 35% de obstrucción - Sin aberraciones (sistema aplanático), en foco.



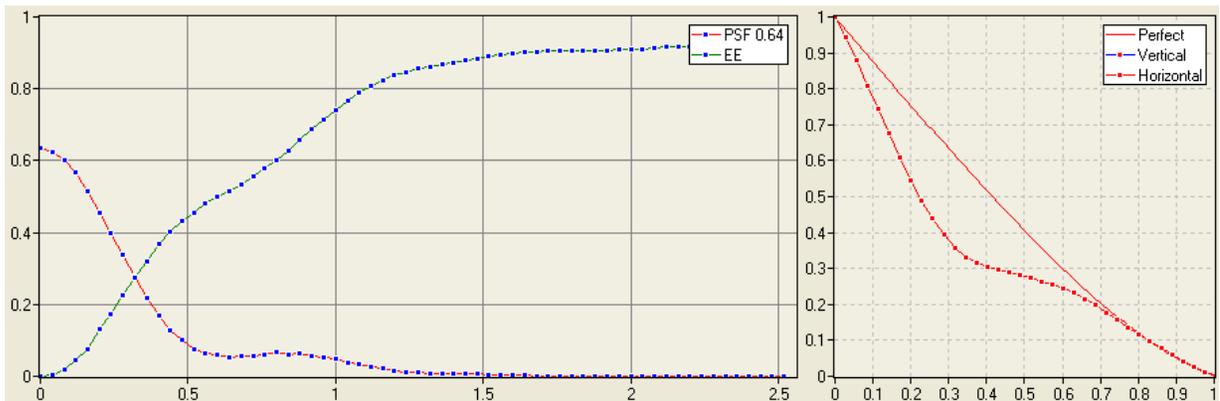
Catadióptrico de 200 mm, F10 y con 35% de obstrucción - Sin aberraciones (sistema aplanático), fuera de foco en $\lambda/2$.



Catadióptrico de 200 mm, F10 y con 35% de obstrucción - Aberración esférica para $\lambda/2$ (en foco).



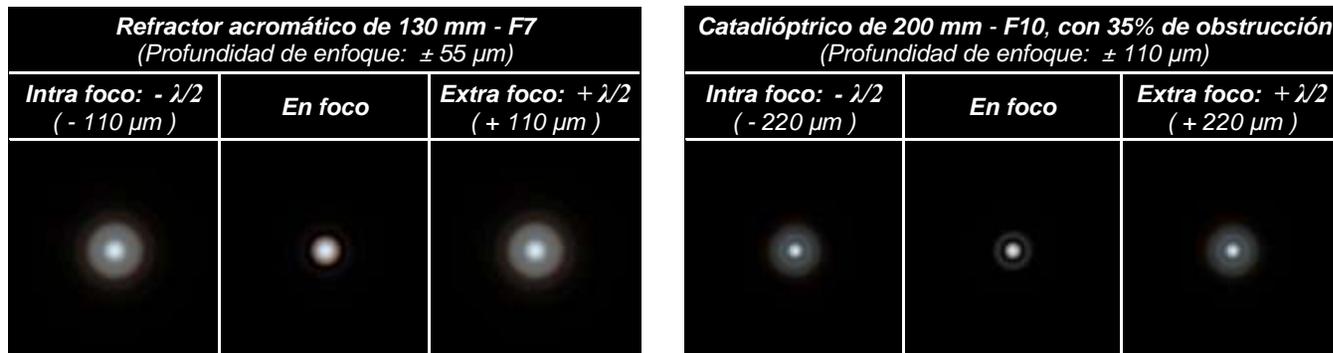
Catadióptrico de 200 mm, F10 y con 35% de obstrucción - Coma para $\lambda/2$ a 0° (en foco).



Catadióptrico de 200 mm, F10 y con 35% de obstrucción - Astigmatismo para $\lambda/2$ (en foco).

Al igual que en el caso anterior, las figuras de la izquierda son utilizadas para las representaciones de la PSF y la EE, el eje de abscisas (horizontal) está expresado en segundos de arco y en el eje de ordenadas (vertical) representa la Relación de Strehl para la PSF y la probabilidad acumulada para la EE (en ambos casos de cero a uno). Mientras que, en las figuras de la derecha utilizada para la representación de la MTF, el eje de abscisas (horizontal) expresa la inversa de la resolución normalizada y en el eje de ordenadas (vertical) la modulación de cero a uno.

Aberración cromática a 1800x, sin turbulencias atmosféricas ni otras aberraciones:



Como se observa en las figuras anteriores, los patrones de difracción son idénticos a los correspondientes a un sistema sin aberraciones, pero presentan cromatismo en la periferia. Obviamente es mucho más apreciable en un telescopio refractor que en catadióptrico con placa correctora, pero ello se debe a que la focal es mayor y la placa correctora es mucho más delgada.

Notas: Simulaciones y gráficos realizadas con el software [Aberrator 3.0](#), Copyright de Cor Berrevoets, Ritthem, The Netherlands (§53)

Los valores de intra y extra foco corresponden a los máximos que cumplen con la Regla de Rayleigh de $\lambda/4$,
Profundidad de enfoque: $DF = \pm 1.1 F^2 [\mu\text{m}]$

DF : Variación de foco hacia cada lado con base en la profundidad de enfoque para $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] (ft / A)

ft : Focal del telescopio [mm]

A : Apertura (diámetro) del telescopio [mm]

Aberraciones, la relación focal y el ángulo de incidencia

A continuación, se explicita la relación de las diferentes aberraciones monocromáticas con ciertos parámetros característicos del sistema. Como se verá a continuación en algunos casos las mismas dependen de la relación focal (F), en otros casos del ángulo de incidencia (θ) o de una combinación de ambas cosas. En el caso de la aberración cromática, la dependencia con la relación focal ya fue mencionada antes.

- La **aberración esférica** es debida al hecho de que los haces de luz no convergen todos en el mismo punto, si bien es propia de los espejos esféricos puede darse en cualquier diseño. Esto produce que el foco correspondiente de los haces marginales, es decir, los que inciden de forma no paraxial (no paralelos al eje óptico), es diferente del foco correspondiente a los paraxiales, por lo que, si se trata de enfocar una zona, la otra queda fuera de foco. Sin entrar en los detalles deductivos, este efecto es independiente del ángulo de incidencia y es inversamente proporcional al cubo de la relación focal.
- El **coma** es debido al hecho de que los haces de luz que inciden fuera del eje (no paraxiales) no convergen en el mismo punto del plano focal. Esto crea una falta de definición que se asemeja a un cometa, de ahí el nombre. Es la aberración dominante en los sistemas newtonianos clásicos. Si bien es dependiente del campo de visión, aumenta linealmente a medida que el ángulo de incidencia se aleja del eje. Los equipos que cuentan con una pequeña relación focal son mucho más afectados por este efecto ya que esta aberración se manifiesta de forma cuadrática inversa con la relación focal.

Este efecto también puede aparecer en los reflectores cuando el espejo secundario no es exactamente coaxial con el eje del espejo primario, pero este estado de “**coma adicional**” resulta independiente del ángulo de incidencia y se manifiesta igual en todo el campo.

- c) A diferencia del coma que se produce en la superficie óptica, el **astigmatismo** se origina en el hecho de que el foco de los haces incidentes en el plano que horizontal (plano tangencial) es diferente del foco de los haces en el plano vertical (plano sagital). El astigmatismo impacta de forma cuadrática con el ángulo de incidencia y es inversamente proporcional a la relación focal.
- d) La **curvatura de campo** se produce cuando la imagen no se forma en un “plano”, sino en una superficie curva. El impacto a nivel sagital es equivalente al caso del Astigmatismo.
- e) La **distorsión** se origina en el hecho de que la “escala de placa” (escala en el plano de la imagen) no es perfectamente constante, sino que varía tanto con el ángulo de incidencia y la dirección. La distorsión impacta de forma cúbica con el ángulo de incidencia.
- f) La **aberración cromática** impacta como la inversa de la relación focal o del ángulo de incidencia según sea axial o transversal respectivamente.

En resumen:

Aberración	Dependencia con el ángulo de incidencia (θ)	Dependencia con la Relación Focal (F)
Esférica	No	$\frac{1}{F^3}$
Coma	θ	$\frac{1}{F^2}$
Astigmatismo (tangencial)	θ^2	No
Astigmatismo (sagital)	θ^2	$\frac{1}{F}$
Curvatura (longitudinal / tangencial)	θ^2	No
Curvatura (transversal / sagital)	θ^2	$\frac{1}{F}$
Distorsión	θ^3	No
Cromática (axial / longitudinal)	No	$\frac{1}{F}$
Cromática (transversal)	θ	No

Lo anterior se deja en evidencia una ventaja inherente a los telescopios con relaciones focales grandes que se relaciona a cierta inmunidad a la mayor parte de las aberraciones primarias. Esto se debe a que el impacto de la mayor parte de las aberraciones se vincula con la inversa de la relación focal, de esta forma, cuanto mayor sea esta menor será el impacto de la aberración. Por otro lado, se tiene que, si bien una elevada focal limita considerablemente en campo de visión, la capacidad de lograr elevados ángulos contribuye en cuanto a las aberraciones desde el punto de vista de los ángulos de incidencia, ya que la mayoría de ellas son directamente proporcionales a dichos ángulos. Dicho de otra forma, lo acotado del **MFOV** hace que los ángulos de incidencia no puedan tomar valores elevados.

Para mayor información sobre este tema se puede consultar en: [Basic Wavefront aberration theory for optical metrology](#) (§10).

Telescopios luminosos (rápidos) versus oscuros (lentos)

Una de las características del ojo es que puede apreciar más detalles si la imagen está bien contrastada, es decir, los bordes se aprecian más definidos. Esto se logra cuando la pupila de salida es menor que la pupila del observador y óptima cuando la pupila del observador se encuentra dilatada a 3 y 4 mm. Así pues, al aumentar la magnificación la luz capturada se distribuye en una menor área brindando así mucho mayor contraste, ya que el objeto es resaltando en el fondo oscuro. Formalmente es un tema de campo, al estrechar el campo se pierde la sensación de luminosidad que aportan los objetos adyacentes. Es precisamente por esto que los equipos de focales largas (incluso con altas relaciones focales) sean más recomendados para observación de objetos puntuales (planetaria, galaxias, cúmulos cerrados, etc.) en comparación con los telescopios más rápidos. Sin embargo esto en muchos casos hace más al ocular que al telescopio en sí. Esto mismo se puede ver de otra forma, supongamos dos telescopios de 200 mm de apertura, uno F4 (800 mm de focal) y el otro F10 (2000 mm de focal) y supongamos que buscamos una magnificación de 100x. Es evidente que en el primer caso necesitaríamos un ocular de 8 mm, mientras que, en el segundo uno de 20 mm, si bien en ambas situaciones la pupila de salida es idéntica (2 mm), el field stop del ocular de 20 mm es muy superior al del 8 mm, lo que brinda una imagen más "cómoda" (mejor eye relief). Adicionalmente, dado que el diámetro de la pupila de salida se mantiene, permite una mayor tolerancia frente a los defectos de los oculares, debido a que toma una menor porción (superficie) del mismo.

Por otra parte, los telescopios con una relación focal baja (F5 o menos) traen aparejadas demandas adicionales en cuanto al ocular. Esto se debe a que esos telescopios poseen una curvatura de campo pronunciada, lo que significa que cuando se hace foco en centro del campo de visión, las estrellas en el borde del campo de visión están ligeramente desenfocadas y viceversa. Algunos refractores premium con bajas relaciones focales incorporan un diseño Petzval que utiliza elementos adicionales entre el objetivo para eliminar la curvatura del campo. El plano focal de los oculares también tiene una ligera curvatura de campo, junto con otras imperfecciones ópticas que, si bien no desaparecen por completo, disminuyen a medida que se aumenta la calidad del mismo. Si bien el ocular no puede subsanar los defectos del telescopio, al menos no se produce una suma de aberraciones. Los oculares premium están diseñados de manera más rigurosa para minimizar el efecto de la curvatura de campo propia del ocular y, en cierta forma, llegan hasta a disimular la del telescopio al no aumentarla, en particular los oculares un AFOV de 68° o más. En el caso de los oculares menos costosos, los objetos en el centro del campo generalmente se ven bien, pero hay una degradación de la imagen en el borde del campo. Como ya se ha mencionado, está claro que ningún ocular puede corregir las aberraciones inherentes al telescopio, como por ejemplo el coma que, como ya vimos, se manifiesta más en telescopios reflectores con relaciones focales relativamente bajas (F5 o menos). El coma da como resultado que en el borde del campo de visión las estrellas se asemejen a cometas, algo que se hace más evidente cuando el campo de visión se acerca al máximo del telescopio (oculares con elevada distancia focal y AFOV). El coma puede reducirse utilizando un corrector de coma que, al igual que un barlow o un reductor focal, se inserta en el enfocador entre el telescopio y el ocular. El inconveniente es que estos correctores suelen ser costosos, pero la alternativa es ignorar la imagen en los bordes del ocular lo que implica sacrificar campo. Lo mismo sucede con curvatura de campo y sus correctores, los aplanadores de campo.

Respecto a los oculares, mediante ópticas muy bien tratadas es posible lograr altos grados de eficiencia. Con frecuencia esto se realiza agregando elementos en el tren óptico, logrando así diseños más complejos que reducen drásticamente varias de las posibles aberraciones que le son propias y maximizan el contraste. Pero acá hay que tener algo en cuenta, desde el punto de vista óptico influye la cantidad de elementos de un ocular. Al agregar elementos hay reflexiones internas por diferencias de impedancia óptica (no se hace mención a las pérdidas por absorción ya que resultan despreciables debido a que los lentes del ocular son muy delgados). Para evitar este tipo de aberraciones es necesario recurrir a recubrimientos muy optimizados y así lograr oculares con mayor corrección y contraste. El inconveniente es que estos oculares premium por lo general son muy costosos, incluso pueden llegar a valores cercanos a los de un telescopio apocromático chico.

Si lo que se busca es visual con una buena calidad de imagen sin recurrir a oculares de alto costo, bien contrastada y con un eye relief más adecuado para el observador, la respuesta es una alta relación focal (cuanto mayor mejor). Especialmente si se busca hacer planetaria. Si bien con un barlow se podría lograr lo mismo hay que tener en cuenta lo que ya se ha mencionado: "la cadena se rompe siempre por el eslabón más débil", por lo que se necesita es tener un barlow de calidad igual o superior a la del telescopio y el ocular, aunque se debe tener en cuenta que el costo del barlow apocromático premium puede ser elevado, tal es el caso de los Powermate de Tele Vue (ver: [Uso de Barlows y Reductores Focales](#)). Si bien es cierto que con altas focales se tiene un menor campo de visión, eso no sería un problema demasiado grave ya que usualmente la mayor parte de los objetos no superan los 2° y pocos los 3° (por no decir M31), claro que en estos casos la focal estaría limitada a 1500 mm o 1000 mm para lograr respectivamente un campo de 2° o 3° con oculares de 2", lo que normalmente implica relaciones focales bajas o muy poca apertura.

Sin pecar de ser reiterativo, hay algo que vale la pena recalcar y es que el uso de reductores focales va de la mano con un error de concepto muy habitual. En efecto, partamos de la siguiente pregunta: ¿Es posible obtener 3° de campo máximo con un 200 mm F10 y 2" de field stop mediante un reductor focal?

Respuesta: NO. Si bien se podría suponer que con un buen reductor focal del 0.5x se obtienen los 1000 mm de focal equivalente, lamentablemente no es así. Ese telescopio entregará a lo sumo cerca 1.5° con oculares de 2", independientemente del reductor focal que se utilice. Dicho de otra forma, el reductor focal en realidad no puede aumentar el **TFOV** por encima del **MFOV**, sólo lo optimiza para que en el ocular alcance todo el campo posible, en ese ejemplo con un reductor focal de 0.5x lo único que se lograría es viñeteo, incluso dependiendo de la focal del ocular se podría producir blackout si se tratara de un reflector. Así pues, en el caso del telescopio anterior el límite es 1.5° (con o sin reductor focal), si realmente se necesita lograr 3° la solución no es un buen reductor focal, la solución es un buen 200 mm F5. De todas formas, los reductores focales para visual poseen un costo relativamente bajo en comparación de los utilizados en fotografía y, al igual que un buen barlow, nunca están de más en la valija del observador, pero siempre teniendo en cuenta la pupila de salida. Es decir:

$$0.5\text{mm} < PS = \frac{fo}{F \times Rt} < PO \quad \text{Usualmente resulta: } 0.5 < \frac{fo}{F \times Rt} < 6 \quad \text{o lo que es equivalente: } 0.5 < \frac{A}{M \times Rt} < 6$$

PS : Pupila de salida [mm] (óptimamente mayor que 0.5 mm y menor que la pupila del observador)

PO : Pupila del observador [mm] (puede variar según sea la luminosidad del objeto observado, típica 6 mm)

F : Relación Focal del telescopio [adimensional] (**Focal / Apertura**)

Rt : Representa la reducción de la focal (**Rt < 1**) o en el caso de un barlow ampliación de la focal (**Rt > 1**)

La **PS** debe ser mayor que 0.5 mm para un barlow y menor que la pupila del observador (**PO**) para un reductor focal (típicamente 6mm), ya que esto en realidad depende de la magnificación y el reductor focal efectivamente aumenta la pupila de salida (al igual que el barlow la reduce). Algo que hay que tener en cuenta es que no siempre la pupila de salida es una limitante estricta, al menos en el caso de un refractor. En realidad, se la puede sobrepasar sin problemas, al menos hasta el punto en el cual comienza a ser evidente el viñeteo, donde ya no tiene más sentido aumentar el campo, ya que de seguir con el viñeteo sería el equivalente a observar por el ojo de una cerradura. Es indudable que superar la pupila de salida trae aparejada una pérdida de luminosidad, pero en cierta forma no es algo tan crítico ya que la magnificación es muy baja. Si lo que se necesita es ganar campo incluso es un sacrificio aceptable. Sin embargo, en el caso de los reflectores la situación es muy diferente, cuando se supera la pupila de salida comienza a ser evidente el blackout, dicho de otra forma, se gana de campo en los bordes del ocular a costa de perderlo el centro. Algo que incluso es más notorio en el caso de los catadióptricos, donde la obstrucción es mayor.

Con respecto a los equipos con bajas focales, es frecuente que a muchos observadores aprecien una sensación de mayor luminosidad, en particular con oculares de focales altas trabajando en los límites del campo alcanzable, en comparación con uno de mayor focal también en sus límites en cuanto al campo. Esa sensación de luminosidad es básicamente eso, una sensación que se basa en un tema de campo, al ampliar el campo se gana una sensación de luminosidad debido a que aparecen más objetos en el campo visual, esta es la razón por la que un binocular parezca más luminoso.

Otra ventaja vinculada a las relaciones focales grandes se asocia a cierta inmunidad a la mayor parte de las aberraciones primarias. Tal como se ha discutido en la sección: [Impacto de la Relación Focal y el ángulo de incidencia sobre las diferentes aberraciones](#), esto se debe a que la mayor parte de las aberraciones se vincula con la inversa de la relación focal, de esta forma, cuanto mayor sea esta menor será el impacto de esas aberraciones (recordemos que ningún equipo está totalmente libre de aberraciones). Por otra parte, ya se mencionó que en lo que respecta al **MFOV** una gran focal más que una ventaja es una limitación, sin embargo, las focales grandes usualmente son más benignas en cuanto a las aberraciones desde el punto de vista de los ángulos de incidencia ya que la mayoría de ellas son directamente proporcionales a dichos ángulos. Dicho de otra forma, lo acotado del **MFOV** hace que los ángulos de incidencia no puedan tomar valores elevados.

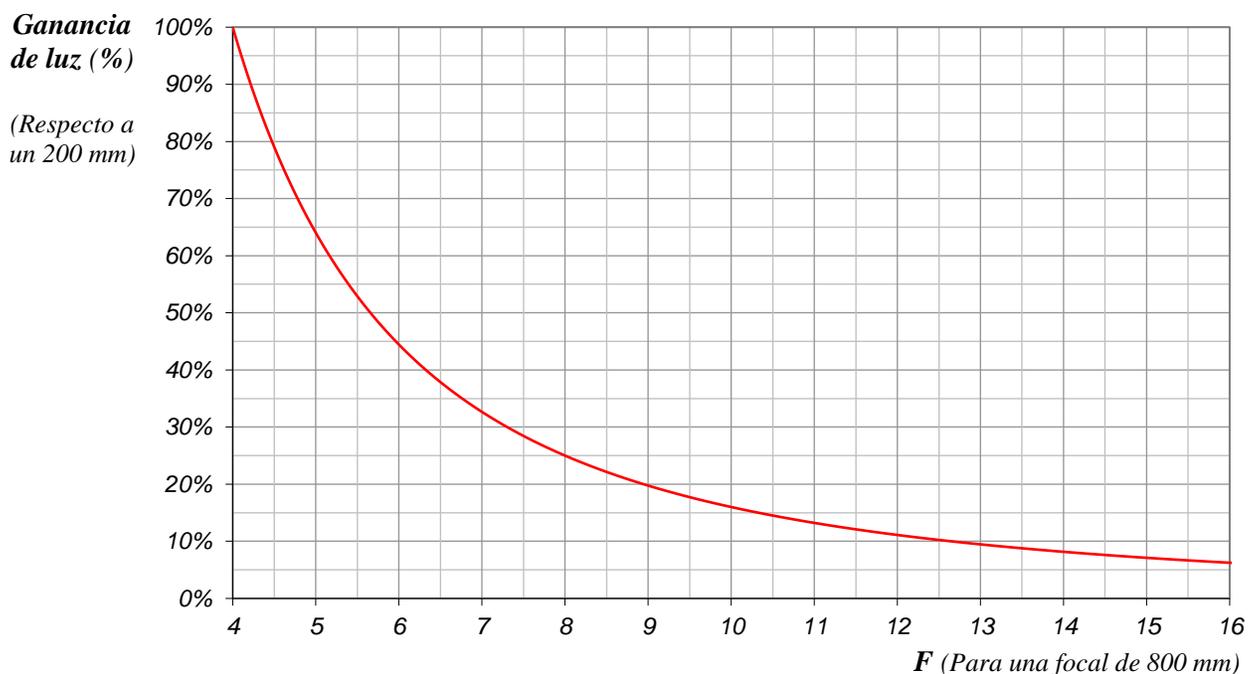
Por otra parte, cuando se trató el tema de la [Profundidad de enfoque](#) se había visto que la misma dependía del cuadrado de la relación focal. En otras palabras, cuanto mayor sea la relación focal de un telescopio el enfocador resulta menos exigente, por lo que con grandes relaciones focales muchas veces un enfocador (focuser) del tipo "piñón y cremallera" resulta más que suficiente, mientras que con relaciones focales más pequeñas se hace necesario recurrir a otro tipo de enfocadores, como por ejemplo los Crayford.

Ahora bien, la regla básica de observacional es que cuanto mayor apertura, mejor. Esto se debe a que la apertura es la que determina la capacidad de recolección de luz y cuanto más grande, más detalles puede capturar. Sin embargo, no se hizo mención a la relación focal (focal), esto se debe a que el brillo total de un objeto está determinado por la apertura del telescopio a través de la **Ganancia de luz** y la focal no juega ningún papel en ello. La cantidad de luz que llega al ojo depende exclusivamente de la apertura y cuanto mayor sea la apertura mayor será la magnificación que se puede lograr. Pero si mantenemos la apertura y la magnificación daría lo mismo un F4 que un F10, a lo sumo lo que variaría sería que ocular hay que utilizar en cada caso. Por ejemplo, con un 200 mm F4 necesitaríamos un ocular de 8 mm, mientras que con el F10 uno de 20 mm, pero el objeto se vería exactamente igual en ambos y, dado que el campo depende exclusivamente del **AFOV** y la magnificación, si tienen el mismo **AFOV** las vistas serían idénticas. En conclusión, al menos mientras los sensores no igualen la capacidad del ojo humano, en observacional resulta que:

No existen telescopios oscuros - A igual apertura, igual "luminosidad"

Pero en el caso de la astrofotografía lo más relevante es la relación focal en lugar de la apertura, ya que la premisa es que cuanto menor sea la relación focal, mayor será la cantidad de luz capturada en cada uno de los píxeles y serán menores tiempos de exposición, sin embargo, acá hay una cuestión que muchas veces puede pasar desapercibida y se refiere precisamente a la apertura, puede que un 200 mm F10 sea mucho más adecuado que un 100 mm F5. Veamos dos situaciones posibles:

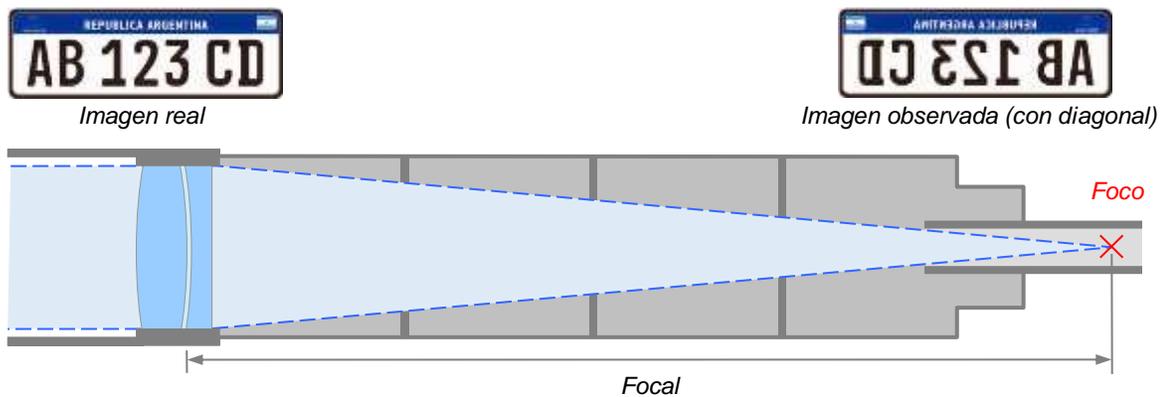
1. Resulta obvio que, si mantenemos la apertura, como la cantidad de luz capturada depende sólo de ella, al aumentar la focal la luz será distribuida en cada vez más píxeles del sensor (linealmente en cuanto a superficie), dicho de otra forma, si con una dada relación focal F la luz de una estrella es capturada por una determinada superficie del sensor, al duplicar la relación focal ($2F$) dicha superficie será el doble, haciendo que cada uno de los píxeles capture menos luz. Sería algo similar al caso de una cámara fotográfica cuando tratamos de magnificar mediante un teleobjetivo con zoom, pero manteniendo la misma apertura en el diafragma.
2. Pero la situación cambia drásticamente si mantenemos la focal y se disminuye la apertura, esto se debe a que la ganancia de luz decrece cuadráticamente con la apertura. Consideremos ahora que mantiene la distancia focal (800 mm) y disminuimos la apertura por debajo de los 200 mm:



Tal como se aprecia en la figura, duplicar la relación focal cuadruplica la pérdida de ganancia de luz, por lo que se concluye que no todos los telescopios con la misma relación focal son equivalentes, lo que coincide con observacional, la diferencia es que observacional da lo mismo en F4 que un F10, mientras que no ocurre lo mismo en astrofotografía. Sería similar al caso de una cámara fotográfica cuando se acciona sobre el diafragma del objetivo para ganar profundidad de campo.

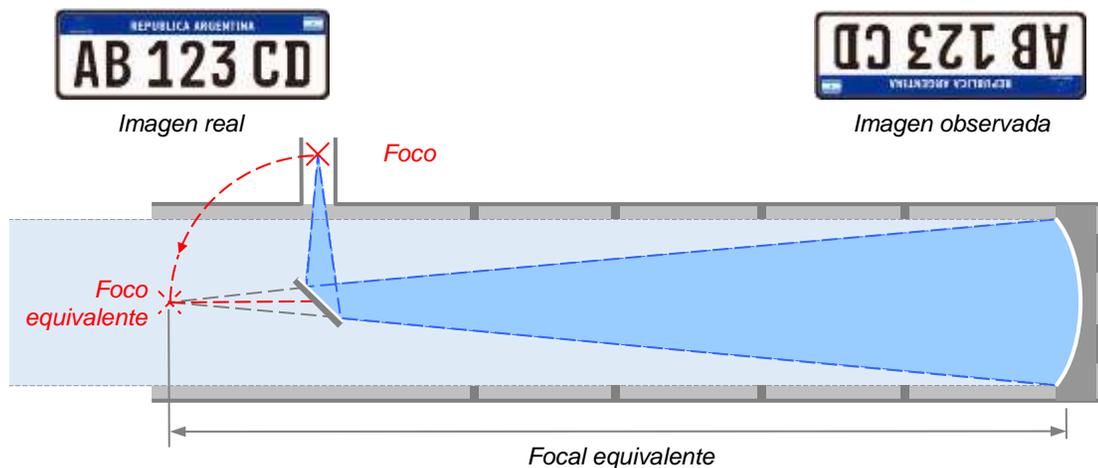
Diseños ópticos

El caso más simple corresponde a los **refractores** cuyas partes constitutivas ya fueron mencionadas con anterioridad.



En rigor la figura correspondería a un refractor acromático clásico con dos elementos en la celda, aunque existen diseños apocromáticos que en lugar de los clásicos tres elementos poseen dos elementos en la celda (por ejemplo, el Takahashi FCL-90 o el William Optics Zenithstar 66 SD).

Si bien los **reflectores newtonianos** se basan en principios que parecerían muy diferentes a los anteriores, son prácticamente equivalentes.



Como se ve en la figura, la distancia focal está definida exclusivamente por la geometría del espejo o celda primaria (normalmente parabólica), lo que coincide con el caso de los refractores. La función del espejo secundario (sin curvatura) es la de desviar el haz 90° hacia el ocular. Sin embargo, si hay una diferencia fundamental, el "oscurecimiento" derivado de la existencia de la obstrucción originada por el espejo secundario. Frecuentemente el espejo secundario es soportado mediante un arreglo denominado araña. Aun cuando usualmente los soportes que constituyen la araña son muy delgados, también introducen cierto oscurecimiento y aberraciones adicionales. A este respecto existen algunos arreglos en los cuales se reemplaza la araña por una placa de cristal muy fina (ópticamente inerte, es decir, que no produce ninguna corrección adicional). Esto último no debe confundirse con los diseños Maksutov-Newton o Schmidt-Newton, en los cuales la placa que soporta el secundario si produce una corrección. Sin bien la presencia del secundario y la araña son prácticamente inapreciables debido a que la distancia del secundario es despreciable respecto al punto focal de objeto, si se supera demasiado la pupila de salida esta se hace mucho más apreciable, mucho más si se realiza observación diurna. Una de las tantas razones por las cuales usualmente se recurre a refractores para este tipo de observaciones.

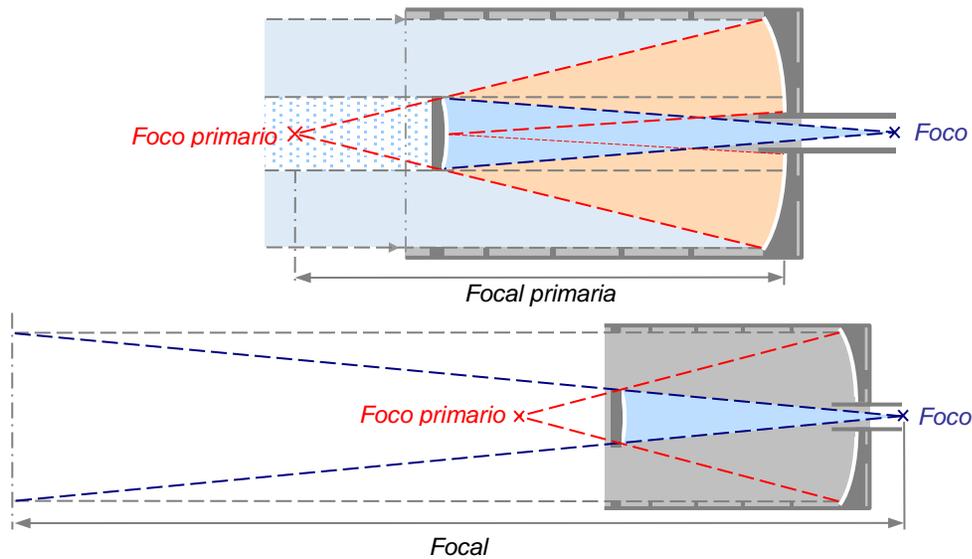
Un paso más allá de los reflectores newtonianos están los diseños **catadióptricos**, los cuales incorporan una serie de mejoras que intentan eliminar varias de las aberraciones más comunes de los reflectores newtonianos (principalmente el coma). A este respecto existen una gran variedad de diseños, siendo los más comunes los Ritchey-Chrétien, Dall-Kirkham, Schmidt-Cassegrain y Maksutov-Cassegrain.



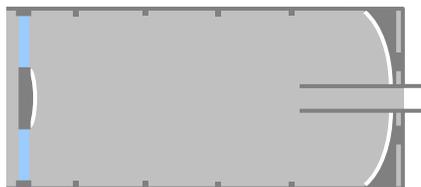
Imagen real



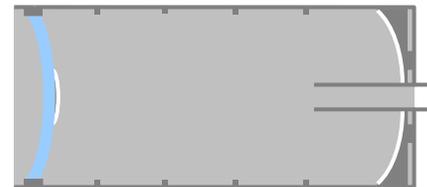
Imagen observada (con diagonal)



La principal diferencia entre estos diseños es la geometría del primario y el secundario, así como la existencia o no de una placa correctora. Cabe destacar que a diferencia de los newtonianos que poseen un espejo secundario plano, en el caso de estos diseños el secundario posee una geometría específica para cada diseño. Por un lado, tenemos los **Dall-Kirkham** que poseen un espejo elipsoidal en el primario y en el secundario un espejo esférico, mientras que para los **Ritchey-Chrétien** ambos espejos son hiperbólicos. Ambos diseños cuentan con la particularidad de que, por lo general, no se cuenta con una placa correctora, por lo que el secundario está soportado por una araña). En cuanto a los diseños con placa correctora, la cual además constituye soporte del secundario, tenemos los dos más frecuentes en el mercado de los aficionados, los **Maksutov-Cassegrain**, en los que ambos espejos son esféricos y los **Schmidt-Cassegrain**, en los cuales el primario es esférico, pero el secundario es hiperbólico.



Schmidt-Cassegrain



Maksutov-Cassegrain

Algo que vale la pena destacar es que cuanto menor sea el diámetro del secundario mayor será la focal y por consiguiente la relación focal. En efecto:

- ✓ Los Maksutov-Cassegrain poseen el secundario más pequeño, con relaciones focales que están típicamente en el orden de entre F12 y F15. Esto los hace ideales para la observación planetaria o de objetos muy puntuales (galaxias, nebulosas planetarias, etc.)
- ✓ En el caso de los Schmidt-Cassegrain se tiene un punto intermedio, los cuales típicamente rondan F10. Esto los hace adecuados para observación general, aunque en el caso de objetos extensos estos pueden escapar del campo de visión debido a su gran focal, al menos con aperturas por encima de 150mm.
- ✓ En el extremo opuesto se encuentran los diseños Ritchey-Chrétien que poseen relaciones focales entre F7 y F10. Además de que, por lo general, no cuentan con placa correctora, estos diseños frecuentemente no incorporan el baffle tubular que usualmente aparece en los dos anteriores.

Por último, existen también diseños híbridos como por ejemplo los Maksutov-Newton y los Schmidt-Newton, los cuales son básicamente reflectores newtonianos con sus correspondientes placas correctoras. Al igual que los reflectores newtonianos de grandes aperturas, es usual que estos últimos también cuenten con relaciones focales relativamente bajas (típicamente entre F4 y F7).

Resumen

A continuación, se presentan nuevamente los cinco rangos de magnificaciones para observación. Los extremos resaltados en la tabla anterior corresponden a las condiciones de máxima y mínima para la focal del ocular que, como ya se ha comentado, no son muy recomendables (al menos en la mayor parte de los casos).

Focal del ocular (F: Relación Focal)	Observaciones
$\frac{F}{2}$ Magnificación $M = 2A$	<p><u>Condición de máxima (recomendada para objetos puntuales):</u></p> <p>Esta magnificación corresponde a una resolución de cuatro minutos de arco, lo cual de por sí es algo bastante optimista. Esto equivale a la capacidad de separar aproximadamente 0.30 mm, ya por encima de ese valor o 0.35 mm se habla de “magnificación vacía” para objetos puntuales. Esto es algo que sólo se puede establecer probando oculares para ver hasta donde se puede llegar, en especial para la separación de estrellas dobles.</p> <p>Por otra parte, es altamente dependiente de las condiciones de la atmósfera y son pocas las veces que se puede llegar a este valor con grandes aperturas. A continuación, se plantean cotas de máxima típicas en función del sitio de observación, condición (M1):</p> <p>$fo > ft/300$ Zonas desérticas distantes a cadenas montañosas. $fo > ft/200$ Campo abierto, lo suficientemente distante a centros poblados. $fo > ft/150$ Zonas suburbanas o urbanas con baja densidad de población. $fo > ft/100$ Grandes zonas urbanas o sitios cercanos a zonas industriales.</p> <p>Siempre y cuando la apertura lo permita, para lo que además se debe cumplir la condición (M2): $fo > F/2$ Donde fo es la focal de ocular en mm, ft es la focal del telescopio en mm, A la apertura (diámetro) del telescopio en mm y F su relación focal.</p> <p>La mínima focal utilizable para el ocular es el máximo de M1 y M2. Por lo tanto: $fo \geq \text{Máximo}[M1, M2]$</p>
F Magnificación $M = A$	<p><u>Magnificación recomendada (objetos extensos o capacidad de resolución media):</u></p> <p>Esta es la magnificación óptima y equivale a una resolución de aproximadamente dos minutos de arco y equivale a la capacidad de separar cerca de 0.20 mm, que según Ditchburn (1) resulta ser el óptimo para que el detalle más pequeño pueda ser resuelto por el telescopio (aplicando el criterio de Rayleigh), por encima de este valor se la considera “magnificación vacía” para objetos extensos. A esta cota se la denominada “Regla de Whittaker” (2). Por lo general, es adecuada para cielo profundo con objetos no muy dispersos y observación planetaria con aperturas por encima de los 150 mm.</p>
$2F$ Magnificación $M = 0.5 A$	<p><u>Magnificación óptima (objetos extensos o capacidad de resolución alta):</u></p> <p>Posiblemente sea la magnificación óptima y se corresponde con en el límite inferior de la capacidad de resolución que según se comentó ronda el minuto de arco y equivale a la capacidad de separar 0.07 mm a 25cm. Aunque aún puede no resultar suficiente para planetaria cuando se tiene poca apertura, si resulta ser muy adecuada cielo profundo.</p>
$3F$ hasta $4F$	<p><u>Magnificación recomendada si se busca maximizar el poder resolutivo del ojo:</u></p> <p>Esta cota para la magnificación mínima es bastante más realista y ofrece vistas de muy buena calidad en cielo profundo incluso con cielos muy contaminados. Sin embargo, es poco efectiva en planetaria. Recordar que para $PO > 3.5 \pm 0.5 \text{ mm}$ son relevantes las <i>aberraciones propias de ojo humano</i>.</p>
$F \times PO$	<p><u>Condición de mínima:</u></p> <p>Esta regla fija la mínima magnificación como el cociente entre (A) la apertura y (PO) la pupila de salida del observador totalmente dilatada. Esta regla parte de la base de que una menor magnificación produciría pérdida de luz:</p> <p>(C1) $fo < F \times PO$ (esta cota puede ser ignorada en el caso de refractores)</p> <p>Donde fo es la focal de ocular en mm, F la relación focal del telescopio y PO la pupila del observador en mm (típicamente 6mm). En cuanto a la cota de mínima para la focal del ocular debida al máximo TFOV se tiene:</p> <p>(C2) $fo < 57.3 FS / AFOV$</p> <p>Donde fo es la focal de ocular en mm, FS es el field stop del telescopio o el barril del ocular en pulgadas, lo que sea menor y $AFOV$ es el campo máximo especificado para el ocular en grados [*].</p> <p>La máxima focal utilizable para el ocular es el mínimo de C1 y C2. Por lo tanto: $fo \leq \text{mínimo}[C1, C2]$</p>

(1) Light, Robert. W. Ditchburn, 1958, 8.7. Limit of resolution for the eye, página 230

(2) Amateur astronomer's handbook, J. B. Sidgwick, 1955, Section 3 - Telescopic function: Magnification and field size, 3.4 Upper limit of useful magnification, página 56

Seguidamente y al simple efecto de acotar las posibilidades en cuanto a la cota de magnificación en situaciones reales, se plantean los valores de magnificación máxima para cada apertura teniendo en cuenta diferentes condiciones de la atmósfera (nivel de seeing).

Apertura (A)		Límite de Rayleigh (138.4/A) [arcsec]	Magnificación [x]							
			Máximo Teórico <i>Re</i> = 0.30mm (2 x A)	Regla de Whittaker <i>Re</i> = 0.20mm (A)	Óptima <i>Re</i> = 0.07mm (A / 2)	Según la resolución adoptada ($\approx 277/Ra$), con <i>Ra</i> :				
[mm]	[pulgadas]	0.5"				1"	2"	3"	4"	
50	2	2.77	100	50	25	100	100	100	92	69
66	2.6	2.10	132	66	33	132	132	132	92	69
70	2.8	1.98	140	70	35	140	140	138	92	69
76	3	1.82	152	76	38	152	152	138	92	69
80	3.1	1.73	160	80	40	160	160	138	92	69
90	3.5	1.54	180	90	45	180	180	138	92	69
102	4	1.36	204	102	51	204	204	138	92	69
114	4.5	1.21	228	114	57	228	228	138	92	69
127	5	1.09	254	127	64	254	254	138	92	69
130	5.1	1.06	260	130	65	260	260	138	92	69
140	5.5	0.99	280	140	70	280	277	138	92	69
152	6	0.91	304	152	76	304	277	138	92	69
178	7	0.78	356	178	89	356	277	138	92	69
203	8	0.68	406	203	102	406	277	138	92	69
229	9	0.60	458	229	115	458	277	138	92	69
235	9.25	0.59	470	235	118	470	277	138	92	69
254	10	0.54	508	254	127	508	277	138	92	69
280	11	0.49	560	280	140	554	277	138	92	69
305	12	0.45	610	305	153	554	277	138	92	69
356	14	0.39	712	356	178	554	277	138	92	69
406	16	0.34	812	406	203	554	277	138	92	69
457	18	0.30	914	457	229	554	277	138	92	69
501	20	0.28	1002	501	250	554	277	138	92	69
710	24	0.19	1420	710	355	554	277	138	92	69

N Resolución imposible para esa apertura, se presenta el máximo teórico.

N Supera la correspondiente a la máxima resolución para una atmósfera ideal (0.5"), se tomará $M = 2 \times 138.4 / 0.5$

© Figura 14 (5 imágenes) - Copyright by Weather Office, Environment Canada, Government of Canada y Seeing forecast for astronomical purposes (§1)

En todos los casos se ha adoptado un factor de magnificación de 2, por lo que el máximo teórico y el equivalente según la resolución se calculan sobre la base de dos veces la apertura del telescopio. A modo de ejemplo se presenta como se presenta también observaría una estrella una gran magnificación, suponiendo que esa es la resolución del cielo.

Por último, se presentan las características más usuales de los diseños más frecuentes en el mercado. Cabe destacar que los aspectos referidos a las limitaciones se basan en un punto de vista personal y puede no ser compartido, en especial si se utiliza el equipo para fotografía, en cuyo caso el análisis podría diferir.

Diseño óptico	Relación Focal	Magnificación	Campo (MFOV)	Observaciones
<p>Refractor común</p> <p>Celda primaria con un elemento. Por lo general suelen presentar un cromatismo considerable.</p>	Mayor a F9	Alta	Aceptable	Pueden ser considerados equipos de calidad cuando la relación focal es mayor al cuadrado de la apertura multiplicada por 0.122. Si se cumple lo anterior resultan ser bastante poco exigentes en cuanto a la calidad de los oculares.
<p>Refractor acromático</p> <p>Celda primaria con dos elementos. Con frecuencia el cromatismo que introducen es bajo (salvo en focales cortas).</p>	Mayor a F5 o F6	Media	Bueno	Son el estándar de mercado en lo que a refractores se refiere. Si bien el óptimo se da con focales largas (no tanto como los anteriores), también suele vérselos con focales chicas. En este último caso no resultan muy adecuados para planetaria debido al cromatismo que introducen. En focales largas son bastante poco exigentes en cuanto a la calidad de los oculares.
<p>Refractor apocromático</p> <p>Típicamente la celda primaria posee tres elementos, pero puede tener sólo dos elementos, incluso hay diseños con más de tres elementos (por ejemplo, el caso de los Petzval). El cromatismo que introducen es muy bajo o incluso casi nulo.</p>	Mayor a F4	Baja	Excelente	Constituye el tope de la gama en lo que a refractores se refiere y, por lo general, son muy costosos. En contrapartida sus prestaciones son excelentes, en particular en el caso de cielo profundo. Para planetaria requieren de oculares muy chicos o el uso de barlows apocromáticos de muy buena calidad. Con frecuencia son muy exigentes en cuanto a la calidad de los oculares, en especial en focales chicas.
<p>Reflector Newtoniano</p> <p>Espejo primario generalmente parabólico, pero puede haberlos esféricos con focales largas. El secundario es plano en ambos casos. En aperturas grandes (pequeñas relaciones focales) introducen bastante coma, sin embargo, en esos casos se puede recurrir a correctores de coma.</p>	Entre F4 y F6	Baja	Excelente	Prácticamente es el estándar de mercado para los aficionados (excelente relación costo prestaciones). Son muy aptos para cielo profundo. Para planetaria requieren de oculares muy chicos o el uso de barlows. Debido a sus bajas focales son extremadamente exigentes en cuanto a la calidad de los oculares.
<p>Ritchey-Chrétien</p> <p>Ambos espejos son hiperbólicos. Usualmente no poseen placa correctora.</p>	Entre F7 y F10	Alta	Aceptable	En general son costosos, pero son aptos tanto para cielo profundo como para planetaria. Debido a que cuentan con focales grandes no son tan exigentes en cuanto a la calidad de los oculares.
<p>Schmidt-Cassegrain</p> <p>Usualmente cuentan con placa correctora. El espejo primario es esférico y el secundario hiperbólico.</p>	Típicamente F10	Alta	Regular	Son aptos tanto para cielo profundo como para planetaria y un poco menos exigentes que los anteriores en cuanto a la calidad de los oculares.
<p>Maksutov-Cassegrain</p> <p>Ambos espejos son esféricos y poseen placa correctora.</p>	Mayor a F12	Muy alta	Escaso	Dado su campo muy exiguo los hace particularmente aptos para planetaria u objetos muy puntuales. En contrapartida son los menos exigentes en cuanto a la calidad de los oculares debido a su focal.

Anexos

Transformada de Fourier

Expresiones matemáticas para la Transformada de Fourier (\mathcal{F}) y su inversa (\mathcal{F}^{-1}) para $f(x)$ integrable en $(-\infty, \infty)$:

$$F(\omega) = \mathcal{F}\{f(x)\} \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\omega x} dx \quad / \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i2\pi\omega x} dx \quad / \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\omega x} dx$$

$$f(x) = \mathcal{F}^{-1}\{F(\omega)\} \quad \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega x} d\omega \quad / \quad \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i2\pi\omega x} d\omega \quad / \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega x} d\omega$$

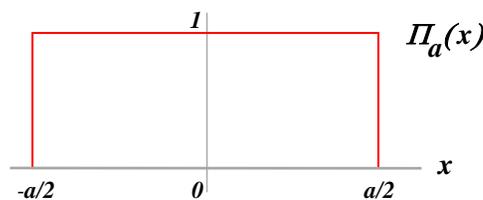
Dónde ω se encuentra expresado en radianes por segundo.

Es importante destacar que la definición puede variar en función de la forma en que se desea manejar las constantes, aquí se presentan las más frecuentes, en el futuro se utilizará la primera. Por ejemplo, en lugar del exponente “ $-i\omega x$ ” en muchos casos suele utilizarse “ $-2\pi i\omega x$ ” y desaparece la constante $1/2\pi$ que multiplica a la inversa, en este caso la frecuencia estará expresada en Hertz (Hz).

De igual forma, en muchos casos se utiliza el signo positivo en el exponente de la Transformada, lo que implica que la Transformada Inversa tendrá signo negativo.

Veamos un ejemplo sencillo, para ello supondremos el caso de un pulso rectangular de altura unitaria y definido en el intervalo $-a/2$ y $a/2$, es decir:

$$\Pi_a(x) = \begin{cases} 1 & (|x| \leq a/2) \\ 0 & (|x| > a/2) \end{cases}$$



Para este ejemplo supondremos que $a = 1$, es decir:

$$\mathcal{F}\{\Pi_a(x)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \Pi_a(x) e^{-i\omega x} dx = \int_{-1/2}^{1/2} e^{-i\omega x} dx$$

$$\mathcal{F}\{\Pi_a(x)\} = -\frac{1}{i\omega} e^{-i\omega x} \Big|_{x=-1/2}^{x=1/2}$$

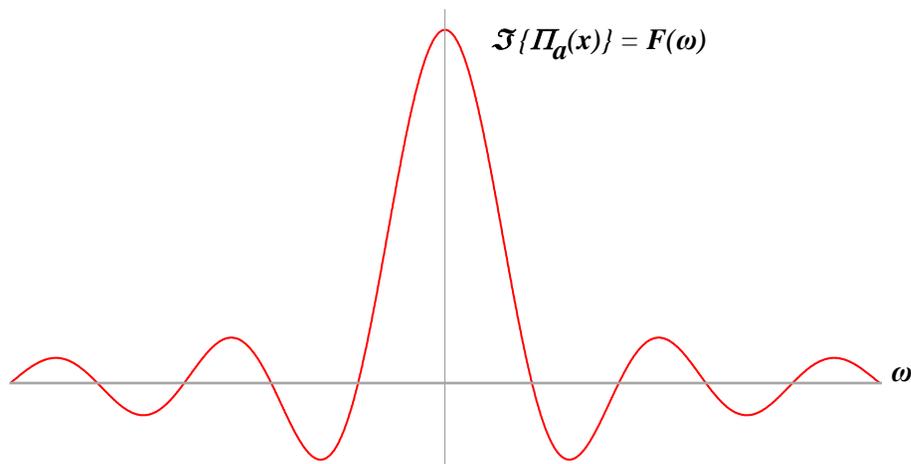
$$\mathcal{F}\{\Pi_a(x)\} = -\frac{1}{i\omega} (e^{-i\omega/2} - e^{i\omega/2}) = \frac{1}{i\omega} (e^{i\omega/2} - e^{-i\omega/2})$$

Teniendo en cuenta que: $\frac{(e^{i\alpha} - e^{-i\alpha})}{2i} = \text{sen}(\alpha)$, por lo que multiplicando y dividiendo por 2 resulta que:

$$\frac{1}{i\omega} (e^{i\omega/2} - e^{-i\omega/2}) = \frac{2}{\omega} \frac{(e^{i\omega/2} - e^{-i\omega/2})}{2i} = \frac{1}{\omega/2} \text{sen}(\omega/2)$$

Por lo tanto: $\mathfrak{F}\{\Pi_a(x)\} = \frac{2}{\omega} \text{sen}\left(\frac{\omega}{2}\right)$

Utilizando la definición de la función: $\text{sinc}(\alpha) = \frac{\text{sen}(\alpha)}{\alpha}$ (también llamada $Sa(x)$), resulta: $\mathfrak{F}\{\Pi_a(x)\} = \text{sinc}\left(\frac{\omega}{2}\right)$



Simetría y relaciones básicas:

$f(x)$	$F(\omega) = \mathfrak{F}\{f(x)\}$	Observaciones
$f(x) = f(-x)$	$F(\omega) = F(-\omega)$	$f(x) = f(-x)$ (par)
$f(x) = -f(-x)$	$F(\omega) = -F(-\omega)$	$f(x) = -f(-x)$ (impar)
$f(x) = f(-x)$ y $f(x) \in \mathbb{R}$	$F(\omega) = F(-\omega)$ y $F(\omega) \in \mathbb{R}$	$f(x) = f^*(x)$ (conjugada) $\mathbb{R} \equiv \text{Real}$
$f(x) = -f(-x)$ y $f(x) \in \mathbb{R}$	$F(\omega) = -F(-\omega)$ y $F(\omega) \in i$	$i \equiv f(x) = -f^*(x)$ (imaginaria)
$f(x) = f(-x)$ y $f(x) \in i$	$F(\omega) = F(-\omega)$ y $F(\omega) \in i$	
$f(x) = f(-x)$ y $f(x) \in \mathbb{C}$	$F(\omega) = F(-\omega)$ y $F(\omega) \in \mathbb{C}$	$\mathbb{C} \equiv \text{Complejo}$
$f(x) = -f(-x)$ y $f(x) \in \mathbb{C}$	$F(\omega) = -F(-\omega)$ y $F(\omega) \in \mathbb{C}$	

Propiedades básicas:

$f(x), g(x) \in \mathbb{R}$ e integrables en $(-\infty, \infty)$ / $\mathcal{F}\{f(x)\} = F(\omega)$ y $\mathcal{F}\{g(x)\} = G(\omega)$	Observaciones
$\mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}\{f(x)\}\} = f(x)$	Isomorfismo en el dominio espacial
$\mathcal{F}\{\mathcal{F}^{-1}\{F(\omega)\}\} = F(\omega)$	Isomorfismo en el dominio de la frecuencia
$\mathcal{F}\{F(x)\} = 2\pi f(-\omega)$	Reciprocidad
$\mathcal{F}\{f(x) \cos(\alpha x)\} = \frac{1}{2}F(\omega - \alpha) + \frac{1}{2}F(\omega + \alpha)$	Modulación
$\mathcal{F}\{f(x) \operatorname{sen}(\alpha x)\} = \frac{1}{2i}F(\omega - \alpha) - \frac{1}{2i}F(\omega + \alpha)$	Modulación
$\mathcal{F}\{\mathcal{F}\{f(x)\}\} = 2\pi f(-x)$	Simetría en el dominio espacial
$\mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}^{-1}\{F(\omega)\}\} = \frac{1}{2\pi} F(-\omega)$	Simetría en el dominio de la frecuencia
$\mathcal{F}\{f(\alpha x)\} = \frac{1}{ \alpha } F(\omega/\alpha)$	Cambio de escala
$\mathcal{F}\{f(x - \tau)\} = e^{-i\tau\omega} F(\omega)$	Traslación espacial
$\mathcal{F}\{f(x) e^{-i\varphi x}\} = F(\omega - \varphi)$	Traslación en frecuencia
$\mathcal{F}\{\alpha f(x) + \beta g(x)\} = \alpha F(\omega) + \beta G(\omega)$	Linealidad
$\mathcal{F}\left\{\frac{d^n f(x)}{dx^n}\right\} = (i\omega)^n F(\omega) \quad (n \in \mathcal{N})$	Derivación en el dominio espacial
$\frac{d^n F(\omega)}{d\omega^n} = \mathcal{F}\{(-ix)^n f(x)\} \quad (n \in \mathcal{N})$	Derivación en el dominio de la frecuencia
$\int_{-\infty}^x f(\tau) d\tau = \frac{1}{i\omega} f(i\omega) + \pi f(0)\delta(\omega)$ $f(x)$ sea integrable en $(-\infty, \infty)$	Integración en el dominio espacial

Convolución:

$f(x), g(x) \in \mathbb{R}$ e integrables en $(-\infty, \infty)$ / $\mathcal{F}\{f(x)\} = F(\omega)$ y $\mathcal{F}\{g(x)\} = G(\omega)$		Observaciones
$\mathcal{F}\{[f * g](x)\} = F(\omega) \times G(\omega)$	$[f * g](x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) g(x - \tau) d\tau$	Convolución en el dominio espacial
$\mathcal{F}\{f(x) g(x)\} = \frac{1}{2\pi} [F * G](\omega)$	$[F * G](\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\nu) G(\omega - \nu) d\nu$	Producto en el dominio espacial

Propiedades de la convolución:

Conmutativa: $[f * g](x) = [g * f](x)$

Asociativa: $[(f * g) * h](x) = [f * (g * h)](x)$

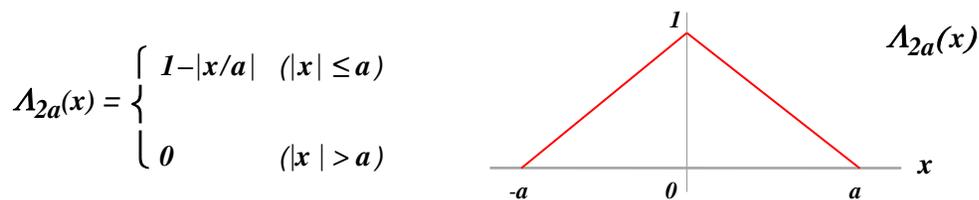
Asociatividad con escalares: $a [f * g](x) = [(af) * g](x) = [f * (ag)](x)$

Distributiva para la suma: $[f * (g + h)](x) = [f * g](x) + [f * h](x)$

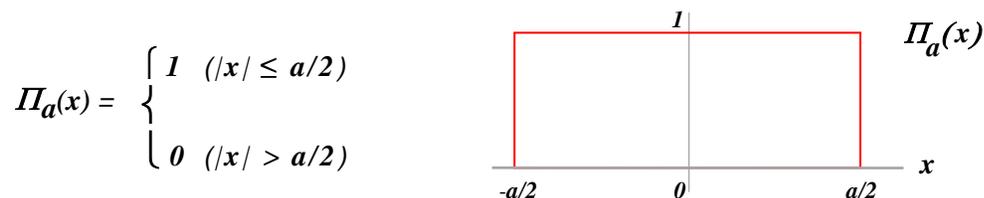
Elemento neutro: $[f * \delta](x) = f(x)$ (donde $\delta(x)$ es la Función Impulso o Delta de Dirac)

Derivada: $\frac{d[f * g](x)}{dx} = \frac{d[f](x)}{dx} * g(x) = f(x) * \frac{d[g](x)}{dx}$

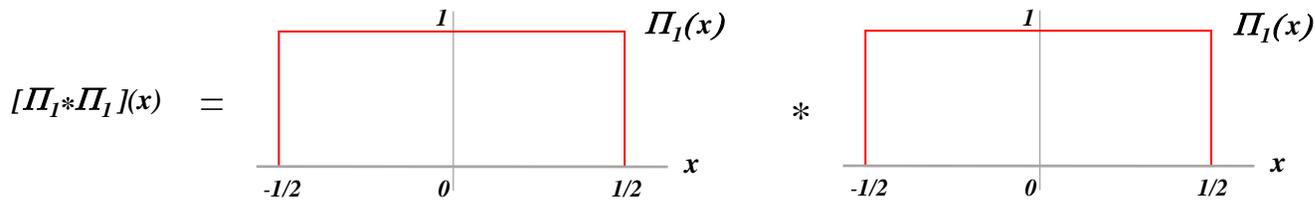
Veamos una aplicación intuitiva de convolución para determinar la transformada de un pulso triangular como el presentado a continuación:



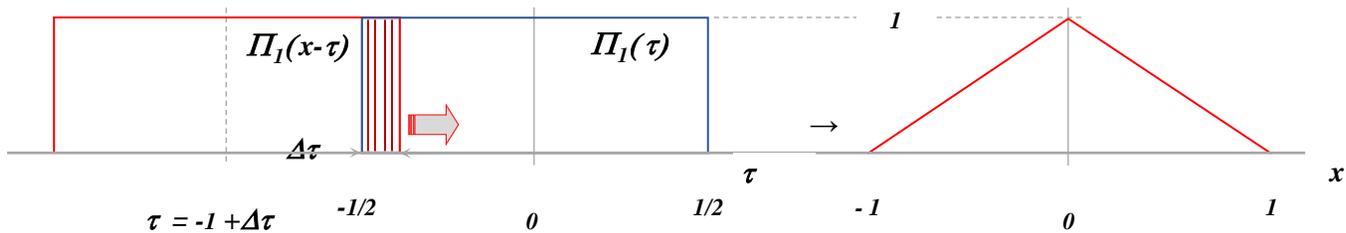
Para ello consideremos un pulso rectangular definido como:



Para ello consideremos el siguiente caso de $[\Pi_a * \Pi_a](x)$, con $a = 1$, es decir:

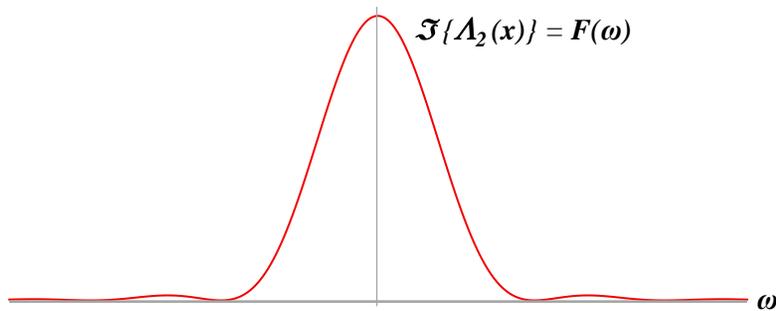


Por definición de convolución: $[\Pi_1 * \Pi_1](x) = \int_{-\infty}^{\infty} \Pi_1(\tau) \Pi_1(x - \tau) d\tau$

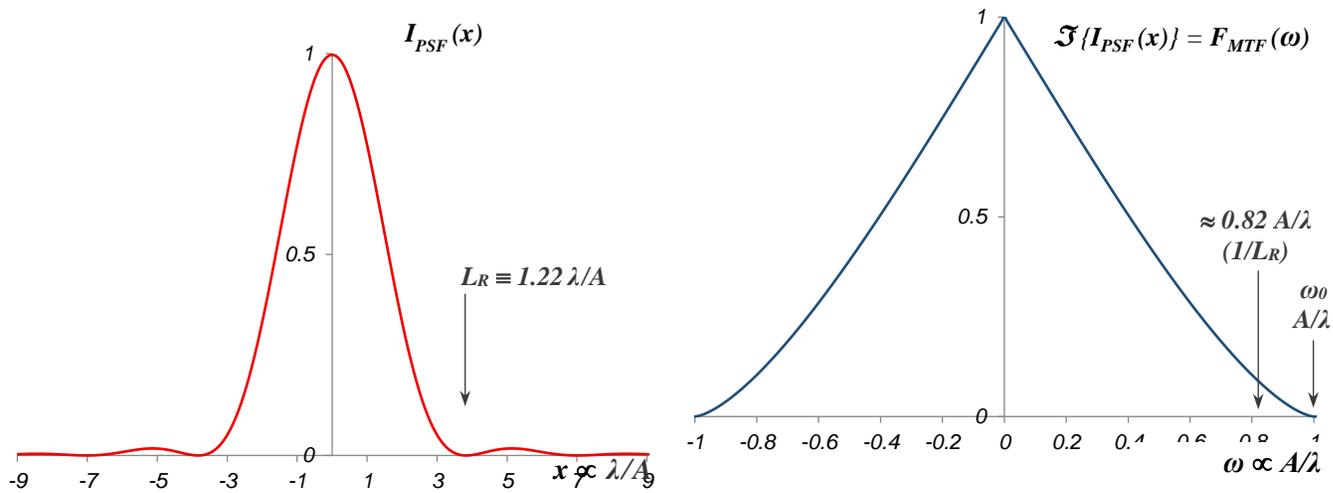


Teniendo en cuenta que: $\Lambda_2(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \Pi_1(\tau) \Pi_1(x - \tau) d\tau$ y que: $\mathcal{F}\{\Pi_1(x)\} = \text{sinc}\left(\frac{\omega}{2}\right)$

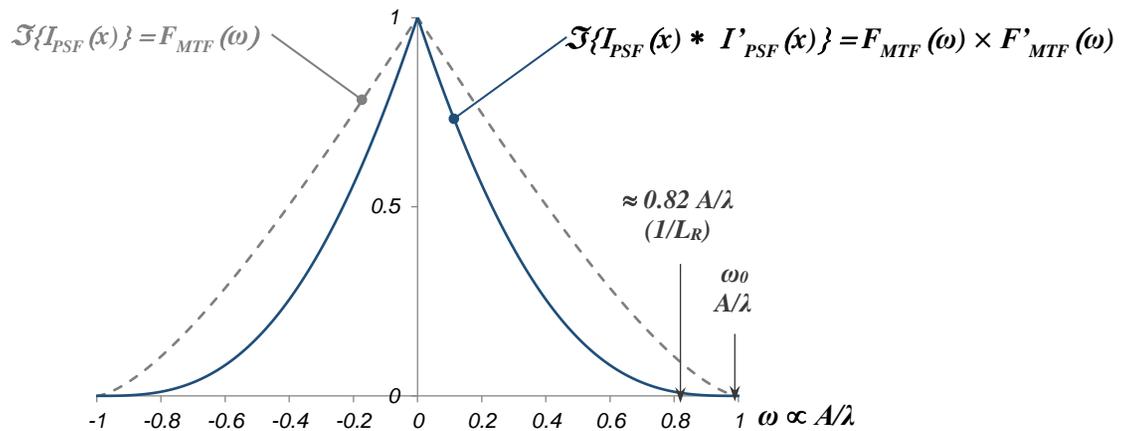
Por lo tanto: $\mathcal{F}\{[\Pi_1 * \Pi_1](x)\} = \mathcal{F}\{\Pi_1(x)\} \times \mathcal{F}\{\Pi_1(x)\}$ Resulta que: $\mathcal{F}\{\Lambda_2(x)\} = \text{sinc}^2\left(\frac{\omega}{2}\right)$



Veamos ahora que sucede con la PSF ($I_{PSF}(x)$) y su respectiva Transformada de Fourier ($F_{MTF}(\omega)$)



Partiendo de dos PSF idénticas ($I_{PSF}(x) = I'_{PSF}(x)$) y dado que la convolución en el dominio espacial resulta en el producto de sus transformadas $F_{MTF}(\omega)$ y $F'_{MTF}(\omega)$ (en este caso también idénticas), se tiene que:



Deconvolución

La deconvolución es una operación matemática utilizada para la restauración de señales que han sido degradadas por un proceso físico, que en nuestro caso involucraría la atmósfera y el equipamiento propiamente dicho. Razón por la cual es fundamental en el procesamiento de señales e imágenes a fin de eliminar los efectos debidos a las condiciones de observación. A tal efecto se han desarrollado diversos algoritmos, muchos de ellos a raíz de la necesidad de corregir ciertos defectos ópticos en el Telescopio Espacial Hubble.

En el caso de tener información acerca de la PSF, es obviamente una operación mucho más sencilla ya que una convolución espacial se puede manejar como un producto en frecuencia. Sin embargo, no siempre es posible conocer a priori la PSF, a lo que además deberíamos sumarle el ruido debido a la variación natural inherente del flujo de fotones incidentes.

Desde el punto de vista matemático sería: $h_{Obs}(x, y) = \{f_{PSF} * g_{Obj}\}(x, y) + \mu_x(x, y)$

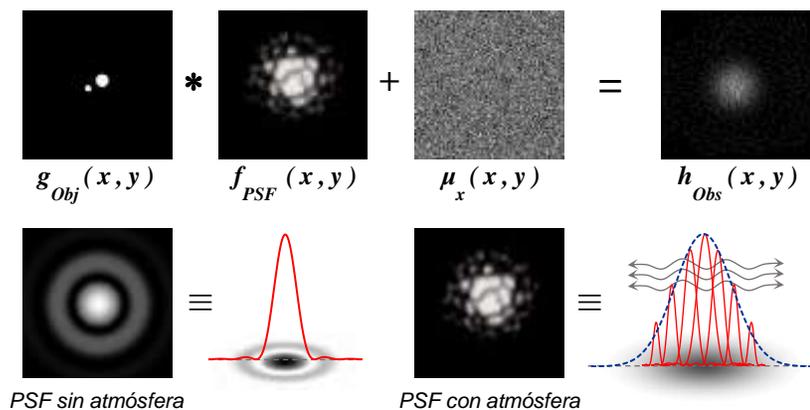
Donde:

h_{Obs} : Representa la señal observada

f_{PSF} : Representa la PDF

g_{Obj} : Representa la señal real

μ_x : Representa el ruido aleatorio



Lo que se busca es obtener g_{Obj} a partir de h_{Obs} y f_{PSF} , para lo cual se debería realizar la operación inversa:

$$g_{Obj}(x, y) = \{h_{Obs} \overline{*} f_{PSF}\}(x, y)$$

Pero como ya se ha establecido, esto es algo que puede ser llevado a cabo en el campo transformado:

$$g_{Obj}(x, y) = \mathcal{J}^{-1}\{H_{Obs}(\omega) / F_{PSF}(\omega)\}$$

Donde:

$\overline{*}$: Deconvolución (también suele utilizarse: $*/*$)

g_{Obj} : Representa la señal real

f_{PSF} : Representa la PDF

F_{PSF} : Representa la transformada de f_{PSF}

h_{Obs} : Representa la señal observada

H_{Obs} : Representa la transformada de h_{Obs}

Existen diversos métodos y algoritmos para llevar a cabo el proceso de deconvolución, uno de ellos es la denominada “**deconvolución ciega**”, en la que no se conoce ni la PSF ni la señal original. Si bien es posible aplicar ciertas restricciones, este tipo de procedimientos no siempre arroja muy buenos resultados. Sería como tratar de encontrar una solución única para una ecuación con dos variables (lo único que se puede hacer es suponer un valor de una de las variables para encontrar el de la otra). Dicho de otra forma, se podría jugar con la PSF para obtener señales cada vez más limpias, lo que no significa que no se aparten cada vez más de la real.

En general se recurre a algoritmos recursivos que, si bien no garantizan que la señal obtenida sea la original, dan una buena estimación de cómo podría haber sido. Sin embargo hay algo que se debe tener en cuenta, el ruido, ya que estos algoritmos pueden llegar a hacerlo más relevante, por lo que sólo tiene sentido aplicarlos cuando es elevada la relación señal a ruido. Tal es el caso del algoritmo de Van Cittert, propuesto por P. H. van Cittert en 1931, este es uno de los métodos más simples y robustos de estimación iterativa de imágenes.



Deconvolución a partir del algoritmo de Van Citter

© Figura 15 – Copyright por Jordi Gallego - *Técnicas en el procesamiento digital de imágenes - Una constante exploración de nuevos campos con PixInsight - V Seminario de Astrofotografía Digital de Cielo Profundo Madrid, 31 de Octubre 2009 (§54)*

Para mayor información acerca de un enfoque práctico del algoritmo de Van Citter y procesamiento de imágenes con PixInsight se puede consultar en el enlace anterior (§54).

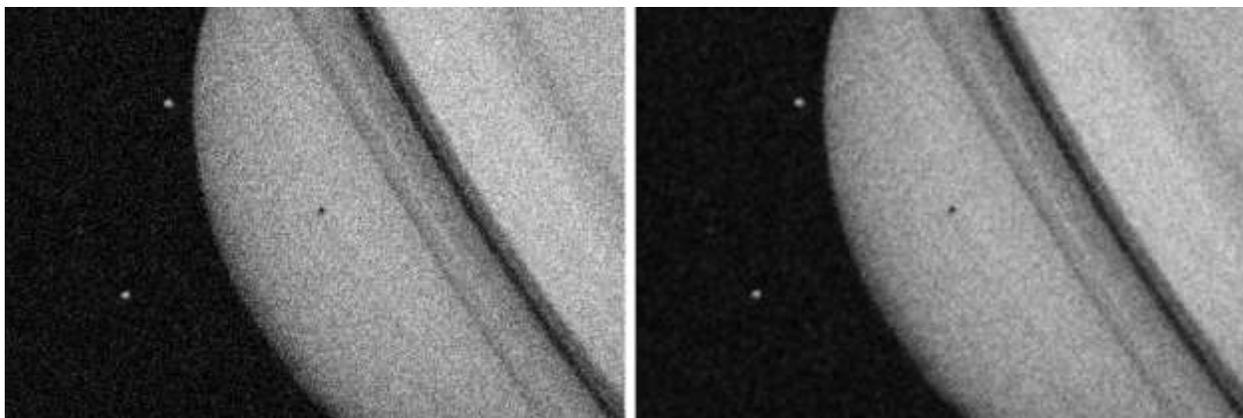
Otro algoritmo es el propuesto por William H. Richardson en 1972, también llamado método de Richardson-Lucy. Si bien los métodos iterativos suelen ser adecuados, requieren muchas iteraciones para llegar a un resultado más o menos preciso trabajando sobre todos los píxeles de la imagen, entre 10 y 20 iteraciones (incluso muchas más).



Deconvolución a partir del algoritmo de Richardson-Lucy

© Figura 16 - Copyright by Stub Mandrel - *Stacked images of the crater Copernicus before and after deconvolution using the Lucy Richardson method. No other processing has been applied* - Wikipedia (§55)

Cuando la relación señal a ruido no es elevada el resultado al que se llega puede no ser muy satisfactorio, por lo que es fundamental asegurar que la relación señal a ruido sea lo más elevada posible. Para ello se pueden utilizar otros métodos no iterativos, como por ejemplo el propuesto por Norbert Wiener en la década de 1940 a partir de los trabajos de Andrey Kolmogorov que utiliza métodos estadísticos para mitigar el ruido presente en la señal de entrada.



Deconvolución a partir del algoritmo de Wiener

© Figura 17 - Copyright by The MathWorks, Inc. - *Image Processing Toolbox - Image Filtering - Basic Image Filtering - 2-D adaptive noise-removal filtering* (§56)

Para mayor información acerca de las aplicaciones de la Transformada de Fourier, deconvolución y procesamiento de imágenes se puede consultar en:

- *Astronomical image and data* - Jean-Luc Starck y Fionn Murtagh, Springer, 2006 (*)
- *Blind image deconvolution*, Subhasis Chaudhuri, Rajbabu Velmurugan y Renu Rameshan, Springer, 2014 (*)
- *Blind image deconvolution: Theory and applications* - Patrizio Campisi, Karen Egiazarian et al, CRC Press, 2007 (*)
- *Óptica de Fourier*, Claudio Lemmi, Departamento de Física, FCEyN, UBA, 2017 (§4)
- *Optical imaging and photography* - Ulrich Teubner y Hans Josef Brückner, Walter de Gruyter GmbH, 2019
- *The Fourier transform and its applications*, Brad Osgood, Stanford University (§5)
- *The handbook of astronomical image processing* - Richard Barry y James Burnell, Willmann-Bell Inc., 2005

(*) Incluye el fundamento teórico de varios algoritmos de deconvolución (requiere de conocimiento matemático)

Resumen de las transformadas más usuales

$f(x) \in \mathcal{R}$	$F(\omega) = \mathcal{F}\{f(x)\}$	Observaciones
$\Pi_a(x) = \begin{cases} 1 & (x \leq a/2) \\ 0 & (x > a/2) \end{cases}$	$a \operatorname{sinc}\left(\frac{a}{2}\omega\right)$	Pulso rectangular
$\delta_a(x) = \frac{1}{a} \Pi_a(x)$	$\operatorname{sinc}\left(\frac{a}{2}\omega\right)$	Pulso unitario
$\Lambda_{2a}(x) = \begin{cases} 1- x/a & (x \leq a) \\ 0 & (x > a) \end{cases}$	$a \operatorname{sinc}^2\left(\frac{a}{2}\omega\right)$	Pulso triangular
$\delta(x) = \lim_{a \rightarrow 0} \delta_a(x)$	1	Delta de Dirac
$k \quad (k \in \mathcal{R})$	$2\pi k \delta(-\omega) = 2\pi k \delta(\omega)$	Obviamente: $\delta(-\omega) = \delta(\omega)$
$u(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ 0 & (x \leq 0) \end{cases}$	$\frac{1}{i\omega} + \pi \delta(\omega)$	Heaviside (Pulso en escalón)
$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ 0 & (x = 0) \\ -1 & (x < 0) \end{cases}$	$\frac{2}{i\omega}$	Signo de x
$g_\sigma(x) = e^{-\sigma x^2}$	$\sqrt{\frac{\pi}{\sigma}} e^{-(\omega^2/4\sigma)}$	Pulso gaussiano
$e^{-\sigma x }$	$\frac{2\sigma}{\sigma^2 + \omega^2}$	
$e^{\pm i \sigma x}$	$2\pi \delta(\omega \mp \sigma)$	
$e^{-\sigma x} u(x)$	$\frac{1}{\sigma + i \omega}$	
$e^{-\alpha x} \cos(\sigma x) u(x)$	$\frac{\sigma}{(\alpha + i \omega)^2 + \sigma^2}$	
$e^{-\alpha x} \operatorname{sen}(\sigma x) u(x)$	$\frac{\alpha + i \omega}{(\alpha + i \omega)^2 + \sigma^2}$	
$\cos(\sigma x)$	$\pi [\delta(\omega - \sigma) + \delta(\omega + \sigma)]$	
$\operatorname{sen}(\sigma x)$	$i \pi [\delta(\omega + \sigma) - \delta(\omega - \sigma)]$	
$\operatorname{sinc}^2(x) = \frac{\operatorname{sen}^2(x)}{x^2}$	$\Lambda(\omega)$	

Resumen de las fórmulas más usuales

Airy Disk (Disco de Airy)	$Airy\ Disk = \frac{276.8}{A}$	Segundos de arco
Campo efectivo	$TFOV = \frac{AFOV}{M}$	Grados
Campo máximo del telescopio	$MFOV = \frac{1455\ FS}{ft}$	Grados
Campo máximo con oculares de 1.25" y 2"	$MFOV_{1.25''} = \frac{1819}{ft} \quad \quad MFOV_{2''} = \frac{2910}{ft}$	Grados
Campo máximo posible para un ocular	$AFOV_{MAX} \cong 57.3 \frac{FSe}{fo}$	Grados
Eye Relief	$ER = \frac{(ft + fo)}{M}$	Milímetros
Eye Relief efectivo: $ER + Gr$ (Growth)	$ERF = ER + Gr = ER + \left(\frac{ft\ fo}{ft - fo} \right) - fo$	Milímetros
Field stop del ocular	$FSo \cong 0.964 \frac{\pi}{180} fo \times AFOV$	Milímetros
Focal máxima para un ocular	$fo_{MAX} = \min \left \frac{1455\ FSe}{AFOV}, F \times PO \right $	Milímetros
Focal mínima para un ocular	$fo_{min} = \frac{F}{FM}$ (típicamente $FM = 2$)	Milímetros
Ganancia y captación de luz	$G = \left(\frac{A}{PO} \right)^2$	Adimensional
Límites de Rayleigh y Dawes	$\varphi_{RAYLEIGH} = \frac{138.4}{A}$ y $\varphi_{DAWES} = \frac{116.3}{A}$	Segundos de arco
Magnificación	$M = \frac{ft}{fo} = \frac{F \times A}{fo}$	Adimensional
Magnificación límite (para cierta resolución)	$Ma = 138.4 \frac{FM}{Ra}$	Adimensional
Magnitud Límite (aproximación)	$Ml = 7.5 + 5 \log\left(\frac{A}{10}\right)$	Adimensional
Mínimo objeto resuelto en el Sol	$R_{Sol} = \frac{200\ 760}{A} \quad R_{Sol} > 725 \quad (\varphi > 0.5'')$	Kilómetros
Mínimo objeto resuelto en la Luna	$R_{Luna} = \frac{516}{A} \quad R_{Luna} > 1.86 \quad (\varphi > 0.5'')$	Kilómetros
Profundidad de enfoque (para $\lambda = 550nm$)	$\Delta DF = 2.2 F^2 \quad (DF = \pm 1.1 F^2)$	Micrómetros
Pupila de Salida	$PS = \frac{fo}{F} = \frac{A}{M}$	Milímetros
Relación Focal	$F = \frac{ft}{A}$	Adimensional
Resolución límite (para cierta magnificación)	$Rs = 138.4 \frac{FM}{Ma}$	Segundos de arco
Tiempo de Tránsito (coseno en grados)	$Tt = \frac{239.35\ AFOV}{M \cos(dec)}$	Segundos

Glosario de términos

A	Apertura (diámetro) del telescopio	Milímetros (*)
AFOV	Máximo campo posible para un ocular	Grados (*)
AFOV_{MAX}	Máximo AFOV del ocular para una dada focal (suponiendo $FS > BO$)	Grados
BO	Barril del ocular (1.25" o 2.00")	Pulgadas (*)
dec	Declinación	Grados
DF	Recorrido del enfocador respecto del foco óptimo (intra y extra foco)	Micrómetros
ΔDF	Profundidad de enfoque ($\Delta DF = 2 DF$)	Micrómetros
ER	Eye relief	Milímetros
ERE	Eye Relief efectivo	Milímetros
ERF	Eye Relief especificado por el fabricante	Milímetros (*)
F	Relación Focal del telescopio	Adimensional (*)
FM	Factor de magnificación adoptado (típicamente entre 2 y 2.5)	Adimensional
FS	Field stop del telescopio (típicamente 1.25" o 2.00")	Pulgadas (*)
FSe	Field stop efectivo. $FSe = BO$ (si $BO \leq FS$) o $FSe = FS$ (si $FS < BO$)	Pulgadas
FSo	Field stop del ocular	Milímetros (*)
fo	Focal del ocular	Milímetros (*)
fo_{MAX}	Máxima focal del ocular para un dado AFOV	Milímetros
fo_{min}	Mínima focal del ocular	Milímetros
ft	Distancia focal del telescopio	Milímetros (*)
G	Ganancia de luz	Adimensional
Gr	Growth (crecimiento respecto al eye relief especificado)	Milímetros
M	Magnificación (suele posponerse una "x" denotando veces)	Adimensional
Ma	Magnificación límite (para la resolución adoptada Ra o límite Rs)	Adimensional
MFOV	Máximo campo posible para un telescopio	Grados
MI	Magnitud Límite	Adimensional (*)
Ms	Magnificación máxima alcanzable con buena calidad de imagen	Adimensional
φ	Resolución angular	Segundos de arco (*)
PO	Pupila del observador (típicamente 6mm y supuesta circular)	Milímetros
PS	Pupila de salida	Milímetros (*)
PV_{WF}	Frente de onda	Nanómetros (*)
Ra	Resolución adoptada	Segundos de arco
Re	Resolución espacial	Nanómetros
R_{Luna}	Mínimo objeto que puede ser resuelto en la superficie lunar	Kilómetros
Rs	Resolución límite (resolución para la máxima magnificación alcanzable)	Segundos de arco
R_{Sol}	Mínimo objeto que puede ser resuelto en el Sol	Kilómetros
T	Transmitancia del telescopio (mediocre=0.6, bueno=0.8 y excelente=0.95)	Adimensional
TFOV	Campo efectivo de un telescopio para un ocular con cierto AFOV	Grados
Tt	Tiempo de Tránsito	Segundos

(*) Típicamente especificado por el fabricante.

Listado de oculares

A continuación, se presenta un listado con varios de los oculares más usuales en el mercado, aun cuando muchos de ellos se encuentran discontinuados, incluso se han incluido algunos de los viejos oculares de 0.965 pulgadas. También es posible que no figuren algunas de las marcas y modelos más recientes. Los datos presentados fueron obtenidos a partir de evaluación personal, bibliografía específica (como por ejemplo "Choosing and using astronomical eyepieces - William Paolini, Editorial Springer, 2013)", sitios especializados y/o los datos suministrados por los fabricantes, como por ejemplo:

- Explore Scientific: <https://explorescientificusa.com/collections/eyepiece> (sitio del fabricante) e información adicional: https://www.cloudynights.com/index.php?app=core&module=attach§ion=attach&attach_id=1090335 (§57)
- Tele Vue: https://www.televue.com/engine/TV3b_page.asp?id=214&plain=TRUE#.Ur2gIOXm4y4 (§58)
- Baader Planetarium: <https://www.baader-planetarium.com/en/accessories/optical-accessories/eyepieces.html> (§59)

Valores en azul Valores estimados, aplica tanto al **AFOV** como al **Eye Relief**.

DUAL Ocular de 2.00" con adaptador de 1.25" incorporado.

(1) **FS** Field stop del ocular especificado por el fabricante (*)

(2) **AFOV** Calculado a partir del field stop especificado en (1): $AFOV \cong \frac{180}{\pi} \frac{FS}{Focal}$ (*)

(3) **FS_o** Field stop del ocular calculado: $FS_o \cong 0.964 \frac{\pi}{180} Focal \times AFOV$

Si el **FS_o** calculado resultara mayor que el diámetro del barril del ocular, conservadoramente se tomará el diámetro del barril menos 2 mm.

(4) **F_{mínima}** Mínima relación focal (**F**) para no exceder la pupila de salida: $Focal < F \times PO$, los valores presentados suponen que la pupila del observador (**PO**) es 6 mm.

(*) Los valores en rojo indican que el resultado obtenido a partir del field stop especificado **FS** (1) conduce a un valor de **AFOV** (2) que resulta al menos 5° mayor al informado por el fabricante.

Descripción del ocular [Ordenados por marca y modelo]	Barril [pulgadas]	Focal [mm]	AFOV [grados]	Eye relief [mm]	FS (1) [mm]	AFOV (2) [grados]	FS _o (3) [mm]	F _{mínima} (4)
Agena ED	1.25	2.30	55	20.00			2.13	-
Agena ED	1.25	3.80	55	20.00			3.52	-
Agena ED	1.25	5.20	55	20.00			4.81	-
Agena ED	1.25	7.50	55	20.00			6.94	1.3
Agena ED	1.25	9.50	55	20.00			8.79	1.6
Agena ED	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Agena ED	1.25	14.00	55	20.00			12.96	2.3
Agena ED	1.25	18.00	55	20.00			16.66	3.0
Agena ED	1.25	21.00	55	20.00			19.43	3.5
Agena ED	1.25	25.00	55	20.00			23.13	4.2

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima (4)
Agena EWA	1.25	6.00	66	14.80			6.66	-
Agena EWA	1.25	9.00	66	15.00			9.99	1.5
Agena EWA	1.25	15.00	66	13.00			16.66	2.5
Agena EWA	1.25	20.00	66	18.00			22.21	3.3
Agena MWA	DUAL	9.00	100	16.00			15.14	1.5
Agena MWA	DUAL	16.00	100	16.00			26.92	2.7
Agena Starguider	1.25	3.20	60	15.80			3.23	-
Agena Starguider	1.25	5.00	60	15.80			5.05	-
Agena Starguider	1.25	8.00	60	16.50			8.08	1.3
Agena Starguider	1.25	12.00	60	20.00			12.11	2.0
Agena Starguider	1.25	15.00	60	20.00			15.14	2.5
Agena Starguider	1.25	18.00	60	18.00			18.17	3.0
Agena Starguider	1.25	25.00	60	20.00			25.24	4.2
Agena SWA	1.25	10.00	70	10.00			11.78	1.7
Agena SWA	1.25	15.00	70	13.00			17.67	2.5
Agena SWA	1.25	20.00	70	16.00			23.55	3.3
Agena SWA	2	26.00	70	20.00	32.30	71	30.62	4.3
Agena SWA	2	32.00	70	24.00	40.00	72	37.69	5.3
Agena SWA	2	38.00	70	28.00	45.70	69	44.75	6.3
Agena UWA	1.25	11.00	74	9.00			13.70	1.8
Agena UWA	1.25	16.00	75	12.00			20.19	2.7
Agena UWA	2	15.00	75	18.00			18.93	2.5
Agena UWA	2	20.00	73	20.00			24.56	3.3
Agena UWA	2	30.00	80	22.00			40.38	5.0
Agena WA	1.25	8.00	60	9.00			8.08	1.3
Agena WA	1.25	12.00	60	10.00			12.11	2.0
Agena WA	1.25	17.00	65	16.00			18.59	2.8
Agena WA	1.25	20.00	65	20.00			21.87	3.3
Altair Ultra Flat	1.25	10.00	60	16.00	14.70	84	10.09	1.7
Altair Ultra Flat	1.25	15.00	65	16.00	19.60	75	16.40	2.5
Altair Ultra Flat	1.25	18.00	65	20.00	23.40	74	19.69	3.0
Altair Ultra Flat	1.25	24.00	65	29.00			26.25	4.0
Altair Ultra Flat	2	30.00	70	22.00	30.40	58	35.33	5.0
Antares Elite Plössl	1.25	5.00	52	6.00			4.37	-
Antares Elite Plössl	1.25	7.50	52	5.00			6.56	1.3
Antares Elite Plössl	1.25	10.00	52	6.00			8.75	1.7
Antares Elite Plössl	1.25	15.00	52	10.00			13.12	2.5
Antares Elite Plössl	1.25	20.00	52	13.00			17.50	3.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
<i>Antares Elite Plössl</i>	1.25	25.00	52	17.00			21.87	4.2
<i>Antares Erfle</i>	2	30.00	72	20.00			36.34	5.0
<i>Antares Erfle</i>	2	32.00	65	20.00			35.00	5.3
<i>Antares Erfle</i>	2	32.00	70	20.00			37.69	5.3
<i>Antares Erfle</i>	2	40.00	65	20.00			43.74	6.7
<i>Antares Erfle</i>	2	52.00	50	30.00			43.74	8.7
<i>Antares Orthoscopic</i>	1.25	5.00	40	4.00	3.40	39	3.36	-
<i>Antares Orthoscopic</i>	1.25	6.00	40	4.90	4.20	40	4.04	-
<i>Antares Orthoscopic</i>	1.25	7.00	40	6.00	4.90	40	4.71	-
<i>Antares Orthoscopic</i>	1.25	9.00	40	7.60	6.30	40	6.06	1.5
<i>Antares Orthoscopic</i>	1.25	12.50	40	10.40	9.20	42	8.41	2.1
<i>Antares Orthoscopic</i>	1.25	18.00	40	12.50	12.50	40	12.11	3.0
<i>Antares Plössl</i>	1.25	6.00	52	4.00			5.25	-
<i>Antares Plössl</i>	1.25	7.50	52	5.00			6.56	1.3
<i>Antares Plössl</i>	1.25	10.00	52	7.00			8.75	1.7
<i>Antares Plössl</i>	1.25	12.50	52	8.00			10.94	2.1
<i>Antares Plössl</i>	1.25	15.00	52	10.00			13.12	2.5
<i>Antares Plössl</i>	1.25	17.00	52	11.00			14.87	2.8
<i>Antares Plössl</i>	1.25	20.00	52	13.00			17.50	3.3
<i>Antares Plössl</i>	1.25	25.00	52	17.00			21.87	4.2
<i>Antares Plössl</i>	1.25	32.00	52	20.00			28.00	5.3
<i>Antares Plössl</i>	1.25	40.00	40	20.00			26.92	6.7
<i>Antares Speers Waler</i>	1.25	9.50	80	11.30			12.79	1.6
<i>Antares Speers Waler</i>	1.25	12.80	80	14.60			17.23	2.1
<i>Antares Speers Waler</i>	1.25	17.00	80	9.00			22.88	2.8
<i>Antares Speers Waler Series I</i>	1.25	7.50	82	12.00			10.35	1.3
<i>Antares Speers Waler Series I</i>	1.25	10.00	82	12.00			13.80	1.7
<i>Antares Speers Waler Series I</i>	1.25	14.00	82	12.00			19.32	2.3
<i>Antares Speers Waler Series I</i>	1.25	18.00	82	12.00			24.83	3.0
<i>Antares Speers Waler Series II</i>	1.25	4.90	82	12.00			6.76	-
<i>Antares Speers Waler Series II</i>	1.25	7.20	82	12.00			9.93	1.2
<i>Antares Speers Waler Series II</i>	1.25	9.40	82	16.00			12.97	1.6
<i>Antares Speers Waler Series II</i>	1.25	13.40	80	12.00			18.04	2.2
<i>Antares Speers Waler Series II</i>	1.25	17.00	78	19.00			22.31	2.8
<i>Antares Speers Waler SWA</i>	1.25	10.00	70	16.00			11.78	1.7
<i>Antares Speers Waler SWA</i>	1.25	12.00	80	13.00			16.15	2.0
<i>Antares Speers Waler SWA</i>	1.25	14.00	72	14.00			16.96	2.3
<i>Antares Speers Waler SWA</i>	1.25	14.00	82	12.00			19.32	2.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Antares Speers Waler SWA	1.25	14.20	73	14.70			17.44	2.4
Antares Speers Waler SWA	1.25	18.00	70	13.00			21.20	3.0
Antares Speers Waler SWA	1.25	18.90	74	13.20			23.53	3.2
Antares Speers Waler SWA	1.25	24.00	67	15.00			27.05	4.0
Antares Speers Waler SWA	1.25	24.70	67	13.30			27.84	4.1
Antares Speers Waler SWA	1.25	24.70	67	13.00			27.84	4.1
Antares Speers Waler SWA	2	30.00	68	19.00			34.32	5.0
Antares Speers Waler SWA	2	30.10	68	15.70			34.44	5.0
Antares Speers Waler UWA	1.25	7.00	82	12.00			9.66	-
Antares Speers Waler UWA	1.25	7.30	82	13.00			10.07	1.2
Antares Speers Waler UWA	1.25	7.50	82	12.00			10.35	1.3
Antares Speers Waler UWA	1.25	10.00	82	18.00			13.80	1.7
Antares Speers Waler UWA	1.25	12.00	82	18.00			16.56	2.0
Antares Speers Waler UWA	1.25	14.00	82	15.00			19.32	2.3
Antares Speers Waler UWA	1.25	18.00	82	13.00			24.83	3.0
Antares Ultima Plössl	1.25	7.50	70	10.00			8.83	1.3
Antares Ultima Plössl	1.25	10.00	70	10.00			11.78	1.7
Antares Ultima Plössl	1.25	15.00	52	10.00			13.12	2.5
Antares Ultima Plössl	1.25	20.00	52	10.00			17.50	3.3
Antares Ultima Plössl	2	35.00	52	10.00			30.62	5.8
Antares W70	1.25	4.30	70	10.00			5.06	-
Antares W70	1.25	6.00	70	14.00			7.07	-
Antares W70	1.25	9.70	70	15.00			11.42	1.6
Antares W70	1.25	15.00	70	10.00			17.67	2.5
Antares W70	1.25	25.00	70	11.00			29.44	4.2
Antares W70	2	34.00	70	15.00			40.04	5.7
Antares Zoom Speers Waler 5/8 (@5mm)	1.25	4.70	89	10.70			7.04	-
Antares Zoom Speers Waler 5/8 (@8mm)	1.25	7.90	82	12.10			10.90	1.3
Antares Zoom Speers Waler 8.5/12 (@8.5mm)	1.25	8.50	89	12.00	11.15	75	12.73	1.4
Antares Zoom Speers Waler 8.5/12 (@12mm)	1.25	12.00	84	12.00	14.90	71	16.96	2.0
APM Ultra Flat	1.25	15.00	65	16.00			16.40	2.5
APM Ultra Flat	1.25	18.00	65	20.00			19.69	3.0
APM Ultra Flat	1.25	24.00	65	29.00			26.25	4.0
APM Ultra Wide	2	30.00	80	22.00	41.00	78	40.38	5.0
APM UWA Planetary	1.25	2.50	58	14.00			2.44	-
APM UWA Planetary	1.25	3.20	58	14.00			3.12	-
APM UWA Planetary	1.25	4.00	58	14.00			3.90	-
APM UWA Planetary	1.25	5.00	58	14.00			4.88	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
APM UWA Planetary	1.25	6.00	58	14.00			5.86	-
APM UWA Planetary	1.25	7.50	58	14.00			7.32	1.3
APM UWA Planetary	1.25	9.00	58	14.00			8.78	1.5
APM XWA HDC	1.25	9.00	100	13.00			15.14	1.5
APM XWA HDC	DUAL	3.50	110	15.00			6.48	-
APM XWA HDC	DUAL	4.70	110	15.00			8.70	-
APM XWA HDC	DUAL	13.00	100	13.00			21.87	2.2
APM XWA HDC	2	20.00	100	15.00			33.65	3.3
Apogee Super Abbe Orthoscopic	1.25	4.80	46	4.00			3.71	-
Apogee Super Abbe Orthoscopic	1.25	7.70	46	6.00	6.50	48	5.96	1.3
Apogee Super Abbe Orthoscopic	1.25	10.50	46	9.00			8.13	1.8
Apogee Super Abbe Orthoscopic	1.25	16.80	46	14.00			13.00	2.8
Apogee Super Abbe Orthoscopic	1.25	24.00	46	20.00	20.50	49	18.57	4.0
Apogee Widescan II	2	20.00	84	10.00			28.27	3.3
Apogee Widescan II	2	30.00	84	10.00			42.40	5.0
Astro Physics SPL Monocentric	1.25	4.00	42	5.00	2.60	37	2.83	-
Astro Physics SPL Monocentric	1.25	5.00	42	6.40	3.57	41	3.53	-
Astro Physics SPL Monocentric	1.25	6.00	42	7.90	4.37	42	4.24	-
Astro Physics SPL Monocentric	1.25	8.00	42	10.70	6.04	43	5.65	1.3
Astro Physics SPL Monocentric	1.25	10.00	42	13.70	7.65	44	7.07	1.7
Astro Physics SPL Monocentric	1.25	12.00	42	16.80	8.91	43	8.48	2.0
Astro Professional EF Flatfield	1.25	16.00	60	17.00	16.60	59	16.15	2.7
Astro Professional EF Flatfield	1.25	19.00	65	17.00	21.30	64	20.78	3.2
Astro Professional EF Flatfield	1.25	27.00	53	21.00	24.40	52	24.08	4.5
Astro Professional LER Planetary	1.25	3.00	55	20.00			2.78	-
Astro Professional LER Planetary	1.25	5.00	55	20.00			4.63	-
Astro Professional LER Planetary	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Astro Professional LER Planetary	1.25	9.00	55	20.00			8.33	1.5
Astro Professional LER Planetary	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Astro Professional LER Planetary	1.25	14.50	55	20.00			13.42	2.4
Astro Professional LER Planetary	1.25	18.00	55	20.00			16.66	3.0
Astro Professional SWA	1.25	10.00	70	10.00			11.78	1.7
Astro Professional SWA	1.25	15.00	70	13.00			17.67	2.5
Astro Professional SWA	1.25	20.00	70	16.00			23.55	3.3
Astro Professional SWA	2	26.00	70	20.00			30.62	4.3
Astro Professional SWA	2	32.00	70	24.00			37.69	5.3
Astro Professional SWA	2	38.00	70	28.00			44.75	6.3
Astro Professional UWA	1.25	4.00	82	12.00	6.00	86	5.52	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Astro Professional UWA	1.25	7.00	82	12.00	12.00	98	9.66	-
Astro Professional UWA	1.25	16.00	82	12.00	28.60	102	22.07	2.7
Astro Professional UWA	2	28.00	82	12.00	43.50	89	38.63	4.7
Astro Tech AF Series	DUAL	3.50	70	17.00			4.12	-
Astro Tech AF Series	DUAL	5.00	70	17.00			5.89	-
Astro Tech AF Series	DUAL	8.00	70	17.00			9.42	1.3
Astro Tech AF Series	DUAL	13.00	70	17.00			15.31	2.2
Astro Tech AF Series	DUAL	17.00	70	17.00			20.02	2.8
Astro Tech AF Series	2	22.00	70	17.00			25.91	3.7
Astro Tech Flat Field	1.25	8.00	60	7.00			8.08	1.3
Astro Tech Flat Field	1.25	12.00	60	11.00			12.11	2.0
Astro Tech Flat Field	1.25	16.00	60	15.00			16.15	2.7
Astro Tech Flat Field	1.25	19.00	65	12.00			20.78	3.2
Astro Tech Flat Field	1.25	27.00	53	18.00			24.08	4.5
Astro Tech High Grade Plössl	1.25	4.00	55	2.00			3.70	-
Astro Tech High Grade Plössl	1.25	6.00	55	4.00			5.55	-
Astro Tech High Grade Plössl	1.25	12.50	55	8.00			11.57	2.1
Astro Tech High Grade Plössl	1.25	17.00	55	11.00			15.73	2.8
Astro Tech High Grade Plössl	1.25	20.00	55	12.00			18.51	3.3
Astro Tech LER	1.25	3.00	55	20.00			2.78	-
Astro Tech LER	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Astro Tech LER	1.25	9.00	55	20.00			8.33	1.5
Astro Tech LER	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Astro Tech Paradigm Dual ED WA	1.25	5.00	60	13.00			5.05	-
Astro Tech Paradigm Dual ED WA	1.25	8.00	60	13.00			8.08	1.3
Astro Tech Paradigm Dual ED WA	1.25	12.00	60	13.00			12.11	2.0
Astro Tech Paradigm Dual ED WA	1.25	15.00	60	15.00			15.14	2.5
Astro Tech Paradigm Dual ED WA	1.25	18.00	60	13.00			18.17	3.0
Astro Tech Paradigm Dual ED WA	1.25	25.00	60	15.00			25.24	4.2
Astro Tech Series 6 Economy WF	1.25	8.00	60	8.00			8.08	1.3
Astro Tech Series 6 Economy WF	1.25	12.00	60	8.00			12.11	2.0
Astro Tech Series 6 Economy WF	1.25	17.00	65	13.00			18.59	2.8
Astro Tech Titan	1.25	10.00	70	7.00			11.78	1.7
Astro Tech Titan	1.25	15.00	70	7.00			17.67	2.5
Astro Tech Titan	1.25	20.00	70	11.00			23.55	3.3
Astro Tech Titan	2	26.00	70	13.00			30.62	4.3
Astro Tech Titan	2	32.00	70	17.00			37.69	5.3
Astro Tech Titan	2	38.00	70	20.00			44.75	6.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Astro Tech Titan Type II	2	30.00	68	14.00			34.32	5.0
Astro Tech Titan Type II	2	35.00	68	14.00			40.04	5.8
Astro Tech Titan Type II	2	40.00	68	14.00			45.76	6.7
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	4.00	52	6.00			3.50	-
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	6.00	52	5.00			5.25	-
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	9.00	52	6.00			7.87	1.5
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	12.00	52	8.00			10.50	2.0
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	15.00	52	13.00			13.12	2.5
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	20.00	52	20.00			17.50	3.3
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	25.00	52	22.00			21.87	4.2
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	32.00	50	20.00			26.92	5.3
Astro Tech Value Line Plössl	1.25	40.00	40	20.00			26.92	6.7
Astro Tech WF	1.25	10.00	70	7.00			11.78	1.7
Astro Tech WF	2	32.00	70	17.00			37.69	5.3
Astro Tech WF	2	38.00	70	20.00			44.75	6.3
Astrobuffet RPD	2	15.00	80	11.00			20.19	2.5
Astrobuffet RPD	2	30.00	84	22.00			42.40	5.0
Atlas Plössl	1.25	25.00	50	10.00			21.03	4.2
Atlas Plössl	1.25	26.00	50	10.00			21.87	4.3
Atlas Plössl	1.25	32.00	48	10.00			25.84	5.3
Atlas Plössl	1.25	40.00	40	10.00			26.92	6.7
Baader Classic Orthoscopic/Plössl	1.25	6.00	50	5.00	5.00	48	5.05	-
Baader Classic Orthoscopic/Plössl	1.25	10.00	50	8.00	8.70	50	8.41	1.7
Baader Classic Orthoscopic/Plössl	1.25	18.00	50	15.00	16.80	53	15.14	3.0
Baader Classic Orthoscopic/Plössl	1.25	32.00	50	21.00	26.00	47	26.92	5.3
Baader Eudiascopic	1.25	3.80	50	5.00			3.20	-
Baader Eudiascopic	1.25	5.00	50	6.00			4.21	-
Baader Eudiascopic	1.25	7.50	50	5.00			6.31	1.3
Baader Eudiascopic	1.25	10.00	50	6.00			8.41	1.7
Baader Eudiascopic	1.25	15.00	50	10.00			12.62	2.5
Baader Eudiascopic	1.25	20.00	50	13.00			16.82	3.3
Baader Eudiascopic	1.25	25.00	50	17.00			21.03	4.2
Baader Eudiascopic	1.25	30.00	50	21.00			25.24	5.0
Baader Eudiascopic	1.25	35.00	48	25.00			28.27	5.8
Baader Hyperion Aspheric SWA 68 (@DUAL)	DUAL	31.00	60	17.00	30.00	55	29.75	5.2
Baader Hyperion Aspheric SWA 68 (@2)	2	31.00	68	19.00	36.00	67	35.47	5.2
Baader Hyperion Aspheric SWA 72 (@DUAL)	DUAL	31.00	55	17.00	30.00	55	28.69	5.2
Baader Hyperion Aspheric SWA 72 (@DUAL)	DUAL	36.00	50	19.00	30.00	48	29.75	6.0

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Baader Hyperion Aspheric SWA 72 (@2")	2	31.00	72	17.00	38.00	70	37.55	5.2
Baader Hyperion Aspheric SWA 72 (@2")	2	36.00	72	19.00	45.00	72	43.61	6.0
Baader Hyperion Planetarium SWA (3.5mm @DUAL)	DUAL	3.50	68	20.00	4.20	69	4.00	-
Baader Hyperion Planetarium SWA (5mm @DUAL)	DUAL	5.00	68	20.00	5.90	68	5.72	-
Baader Hyperion Planetarium SWA (8mm @DUAL)	DUAL	8.00	68	20.00	9.50	68	9.15	1.3
Baader Hyperion Planetarium SWA (10mm @DUAL)	DUAL	10.00	68	20.00	11.90	68	11.44	1.7
Baader Hyperion Planetarium SWA (13mm @DUAL)	DUAL	13.00	68	20.00	15.40	68	14.87	2.2
Baader Hyperion Planetarium SWA (17mm @DUAL)	DUAL	17.00	68	20.00	20.30	68	19.45	2.8
Baader Hyperion Planetarium SWA (21mm @DUAL)	DUAL	21.00	68	20.00	24.90	68	24.03	3.5
Baader Hyperion Planetarium SWA (24mm @DUAL)	DUAL	24.00	68	17.00	28.50	68	27.46	4.0
Baader Hyperion Planetarium SWA (3.5mm @2")	2	21.80	68	20.00	30.00	79	24.94	3.6
Baader Hyperion Planetarium SWA (5mm @2")	2	22.50	68	20.00	30.00	76	25.74	3.8
Baader Hyperion Planetarium SWA (8mm @2")	2	21.80	68	20.00	30.00	79	24.94	3.6
Baader Hyperion Planetarium SWA (10mm @2")	2	22.40	68	20.00	30.00	77	25.63	3.7
Baader Hyperion Planetarium SWA (13mm @2")	2	22.90	68	20.00	30.00	75	26.20	3.8
Baader Hyperion Planetarium SWA (17mm @2")	2	21.80	68	20.00	30.00	79	24.94	3.6
Baader Hyperion Planetarium SWA (21mm @2")	2	32.20	68	20.00	35.00	62	36.84	5.4
Baader Hyperion Planetarium SWA (24mm @2")	2	24.00	68	17.00	28.50	68	27.46	4.0
Baader Hyperion Zoom 8/24 MARK IV (@8mm)	1.25	8.00	68	19.00			9.15	1.3
Baader Hyperion Zoom 8/24 MARK IV (@12mm)	1.25	12.00	63	18.20			12.72	2.0
Baader Hyperion Zoom 8/24 MARK IV (@16mm)	1.25	16.00	58	17.40			15.61	2.7
Baader Hyperion Zoom 8/24 MARK IV (@20mm)	1.25	20.00	53	16.00			17.83	3.3
Baader Hyperion Zoom 8/24 MARK IV (@24mm)	1.25	24.00	48	15.00			19.38	4.0
Baader Morpheus	DUAL	4.50	76	17.50	6.10	78	5.75	-
Baader Morpheus	DUAL	6.50	76	18.50	8.75	77	8.31	-
Baader Morpheus	DUAL	9.00	76	21.00	12.10	77	11.51	1.5
Baader Morpheus	DUAL	12.50	76	20.00	16.80	77	15.98	2.1
Baader Morpheus	DUAL	14.00	76	18.50	18.90	77	17.90	2.3
Baader Morpheus	DUAL	17.50	76	23.00	23.60	77	22.38	2.9
Baader Planetarium Abbe Orthoscopic	1.25	5.00	40	4.00	3.40	39	3.36	-
Baader Planetarium Abbe Orthoscopic	1.25	6.00	40	4.90	4.20	40	4.04	-
Baader Planetarium Abbe Orthoscopic	1.25	7.00	40	6.00	4.90	40	4.71	-
Baader Planetarium Abbe Orthoscopic	1.25	9.00	40	7.60	6.30	40	6.06	1.5
Baader Planetarium Abbe Orthoscopic	1.25	12.50	40	10.40	9.20	42	8.41	2.1
Baader Planetarium Abbe Orthoscopic	1.25	18.00	40	15.50	12.50	40	12.11	3.0
Baader Scopos SWA	2	30.00	70	20.00	45.00	86	35.33	5.0
Baader/Japan Eudiascopic	1.25	7.50	45	10.00			5.68	1.3
Baader/Japan Eudiascopic	1.25	10.00	45	10.00			7.57	1.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Baader/Japan Eudiascopic	1.25	15.00	45	10.00			11.36	2.5
Baader/Japan Eudiascopic	1.25	25.00	48	10.00			20.19	4.2
Baader/Japan Eudiascopic	1.25	30.00	48	10.00			24.23	5.0
Barsta Gold Line	1.25	6.00	66	14.80			6.66	-
Barsta Gold Line	1.25	9.00	66	15.00			9.99	1.5
Barsta Gold Line	1.25	15.00	66	13.00	17.00	65	16.66	2.5
Barsta Gold Line	1.25	20.00	66	18.00	23.50	67	22.21	3.3
Brandon Orthoscopic	1.25	8.00	45	10.00			6.06	1.3
Brandon Orthoscopic	1.25	12.00	45	10.00			9.09	2.0
Brandon Orthoscopic	1.25	16.00	45	10.00			12.11	2.7
Brandon Orthoscopic	1.25	24.00	45	10.00			18.17	4.0
Brandon Orthoscopic	1.25	32.00	45	10.00			24.23	5.3
Bresser 52 Plössl	1.25	6.50	52	6.50	5.40	48	5.69	-
Bresser 52 Plössl	1.25	9.50	52	7.80	8.00	48	8.31	1.6
Bresser 52 Plössl	1.25	12.50	52	7.80	10.50	48	10.94	2.1
Bresser 52 Plössl	1.25	15.00	52	12.00	13.00	50	13.12	2.5
Bresser 52 Plössl	1.25	20.00	52	15.80	18.00	52	17.50	3.3
Bresser 52 Plössl	1.25	26.00	52	18.30	21.80	48	22.75	4.3
Bresser 52 Plössl	1.25	32.00	52	26.90	26.00	47	28.00	5.3
Bresser 52 Plössl	1.25	40.00	44	28.40	25.70	37	29.61	6.7
Bresser 52 Plössl	2	56.00	52	42.50	46.60	48	48.80	9.3
Bresser 60 Plössl	1.25	5.50	60	7.00	5.80	60	5.55	-
Bresser 60 Plössl	1.25	9.00	60	6.80	9.50	60	9.09	1.5
Bresser 60 Plössl	1.25	14.00	60	10.40	14.70	60	14.13	2.3
Bresser 60 Plössl	1.25	20.00	60	14.80	20.90	60	20.19	3.3
Bresser 60 Plössl	1.25	26.00	60	19.30	27.30	60	26.25	4.3
Bresser 60 Plössl	2	32.00	60	22.20	33.60	60	32.30	5.3
Bresser 60 Plössl	2	40.00	60	28.20	42.20	60	40.38	6.7
Bresser 70 Series	1.25	10.00	70	10.00			11.78	1.7
Bresser 70 Series	1.25	15.00	70	10.00			17.67	2.5
Bresser 70 Series	1.25	20.00	70	10.00			23.55	3.3
Bresser 70 Series	2	25.00	70	20.00			29.44	4.2
Bresser 70 Series	2	30.00	70	10.00			35.33	5.0
Bresser 70 Series	2	35.00	70	20.00			41.22	5.8
BST Explorer Dual ED	1.25	5.00	60	13.00			5.05	-
BST Explorer Dual ED	1.25	8.00	60	13.00			8.08	1.3
BST Explorer Dual ED	1.25	12.00	60	13.00			12.11	2.0
BST Explorer Dual ED	1.25	15.00	60	15.00			15.14	2.5

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
BST Explorer Dual ED	1.25	18.00	60	13.00			18.17	3.0
BST Explorer Dual ED	1.25	25.00	60	15.00			25.24	4.2
BST Flat Field	1.25	8.00	60	9.50	9.60	69	8.08	1.3
BST Flat Field	1.25	12.00	60	15.00	15.20	73	12.11	2.0
BST Flat Field	1.25	16.00	60	19.00	16.50	59	16.15	2.7
BST Flat Field	1.25	19.00	65	18.50	21.20	64	20.78	3.2
BST Flat Field	1.25	27.00	53	23.00	24.40	52	24.08	4.5
BST Ultra Wide	1.25	2.50	58	16.50			2.44	-
BST Ultra Wide	1.25	3.20	58	15.80			3.12	-
BST Ultra Wide	1.25	4.00	58	16.00			3.90	-
BST Ultra Wide	1.25	4.50	58	15.00			4.39	-
BST Ultra Wide	1.25	5.00	58	15.80			4.88	-
BST Ultra Wide	1.25	6.00	58	16.30			5.86	-
BST Ultra Wide	1.25	7.00	58	16.50			6.83	-
BST Ultra Wide	1.25	8.00	58	16.00			7.81	1.3
BST Ultra Wide	1.25	9.00	58	15.80			8.78	1.5
BST Ultra Wide	1.25	15.00	58	14.30			14.64	2.5
BST Ultra Wide	1.25	20.00	58	18.00			19.52	3.3
BST Ultra Wide	1.25	25.00	58	20.00			24.40	4.2
Burgess Optical Erfle	1.25	24.00	67	18.00			27.05	4.0
Burgess Optical Erfle	2	35.00	67	18.00			39.45	5.8
Burgess Optical Planetary	1.25	6.00	60	16.00			6.06	-
Burgess Optical Symmetrical	1.25	12.50	48	12.50			10.09	2.1
Burgess Optical Symmetrical	1.25	30.00	55	18.00			27.76	5.0
Burgess Optical Symmetrical	1.25	40.00	46	20.00	28.50	41	29.75	6.7
Burgess TMB Planetary WA	1.25	2.50	60	16.00			2.52	-
Burgess TMB Planetary WA	1.25	3.20	60	16.00			3.23	-
Burgess TMB Planetary WA	1.25	4.00	60	16.00			4.04	-
Burgess TMB Planetary WA	1.25	5.00	60	16.00			5.05	-
Burgess TMB Planetary WA	1.25	6.00	60	16.00			6.06	-
Burgess TMB Planetary WA	1.25	7.00	60	16.00			7.07	-
Burgess TMB Planetary WA	1.25	8.00	60	16.00			8.08	1.3
Burgess TMB Planetary WA	1.25	9.00	60	16.00			9.09	1.5
Burgess WA	1.25	8.00	60	10.00	9.00	64	8.08	1.3
Burgess WA	1.25	12.00	60	12.00	13.00	62	12.11	2.0
Burgess WA	1.25	17.00	65	17.00	19.00	64	18.59	2.8
Burgess WA	1.25	20.00	67	20.00	21.00	60	22.55	3.3
BW UW	2	30.00	84	20.00			42.40	5.0

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
BW-Optik B-WW	2	30.00	68	20.00			34.32	5.0
BW-Optik VEB/CZJ	DUAL	12.50	90	10.00			18.93	2.1
BW-Optik VEB/CZJ	DUAL	16.40	60	10.00			16.56	2.7
BW-Optik/Zeiss SWW	2	30.00	85	20.00			42.90	5.0
BW-Optik/Zeiss SWW	2	40.00	70	20.00			47.11	6.7
Carton Plössl	1.25	8.00	50	5.00			6.73	1.3
Carton Plössl	1.25	12.00	50	8.00			10.09	2.0
Carton Plössl	1.25	15.00	50	10.00			12.62	2.5
Cave Orthostar Orthoscopic	1.25	6.60	40	5.00			4.44	-
Cave Orthostar Orthoscopic	1.25	10.00	40	8.00			6.73	1.7
Cave Orthostar Orthoscopic	1.25	16.00	40	13.00			10.77	2.7
Cave Orthostar Orthoscopic	1.25	20.00	40	16.00			13.46	3.3
Cave Orthostar Orthoscopic	1.25	26.60	40	21.00			17.90	4.4
Celestron Axiom	1.25	15.00	70	7.00			17.67	2.5
Celestron Axiom	1.25	19.00	70	10.00			22.38	3.2
Celestron Axiom	1.25	23.00	70	10.00			27.09	3.8
Celestron Axiom	2	19.00	70	10.00			22.38	3.2
Celestron Axiom	2	34.00	70	16.00			40.04	5.7
Celestron Axiom	2	40.00	70	21.00			47.11	6.7
Celestron Axiom	2	50.00	52	38.00			43.74	8.3
Celestron Axiom LX	1.25	7.00	82	13.00	10.00	82	9.66	-
Celestron Axiom LX	1.25	10.00	82	13.00	15.00	86	13.80	1.7
Celestron Axiom LX	1.25	15.00	82	13.00	21.00	80	20.69	2.5
Celestron Axiom LX	2	19.00	82	13.00	27.00	81	26.21	3.2
Celestron Axiom LX	2	23.00	82	17.00	34.00	85	31.73	3.8
Celestron Axiom LX	2	31.00	82	21.00	44.00	81	42.77	5.2
Celestron E Lux Kellner	1.25	26.00	56	20.00			24.50	4.3
Celestron E Lux Kellner	1.25	32.00	56	22.00			29.75	5.3
Celestron E Lux Kellner	2	40.00	50	22.00			33.65	6.7
Celestron E Lux Plössl	1.25	6.00	50	5.00			5.05	-
Celestron E Lux Plössl	1.25	10.00	50	7.00			8.41	1.7
Celestron E Lux Plössl	1.25	25.00	50	22.00			21.03	4.2
Celestron E Lux Plössl	1.25	40.00	43	31.00			28.94	6.7
Celestron E Lux Plössl	2	26.00	56	20.00			24.50	4.3
Celestron E Lux Plössl	2	32.00	56	20.00			30.15	5.3
Celestron E Lux Plössl	2	40.00	50	20.00			33.65	6.7
Celestron Erfle	1.25	16.00	50	9.60	16.00	57	13.46	2.7
Celestron Erfle	1.25	20.00	52	11.00	20.00	57	17.50	3.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Celestron Erfle	1.25	25.00	53	15.00	22.00	50	22.29	4.2
Celestron Erfle	1.25	28.00	53	17.00	25.00	51	24.97	4.7
Celestron Erfle	1.25	32.00	50	19.00	28.00	50	26.92	5.3
Celestron Huygens	1.25	8.00	30	5.00			4.04	1.3
Celestron Huygens	1.25	12.50	30	8.00			6.31	2.1
Celestron Huygens	1.25	12.50	40	10.00			8.41	2.1
Celestron Huygens	1.25	20.00	32	8.00			10.77	3.3
Celestron Huygens Modified	1.25	25.00	32	10.00			13.46	4.2
Celestron Kellner	1.25	6.00	42	4.80			4.24	-
Celestron Kellner	1.25	9.00	44	7.20			6.66	1.5
Celestron Kellner	1.25	12.00	40	9.60			8.08	2.0
Celestron Kellner	1.25	18.00	47	9.60			14.23	3.0
Celestron Kellner	1.25	20.00	47	15.00			15.82	3.3
Celestron Luminos UWA	1.25	7.00	82	12.00	15.00	123	9.66	-
Celestron Luminos UWA	1.25	10.00	82	12.00	17.00	97	13.80	1.7
Celestron Luminos UWA	1.25	15.00	82	17.00	26.00	99	20.69	2.5
Celestron Luminos UWA	1.25	19.00	82	20.00			26.21	3.2
Celestron Luminos UWA	2	23.00	82	20.00	37.00	92	31.73	3.8
Celestron Luminos UWA	2	31.00	82	27.00	47.00	87	42.77	5.2
Celestron Nextar	1.25	25.00	52	10.00			21.87	4.2
Celestron Nextar	1.25	32.00	52	10.00			28.00	5.3
Celestron Nextar	2	40.00	52	10.00			35.00	6.7
Celestron Omni Plössl	1.25	4.00	52	6.00			3.50	-
Celestron Omni Plössl	1.25	6.00	52	5.00			5.25	-
Celestron Omni Plössl	1.25	9.00	52	6.00			7.87	1.5
Celestron Omni Plössl	1.25	12.50	52	8.00			10.94	2.1
Celestron Omni Plössl	1.25	15.00	52	13.00			13.12	2.5
Celestron Omni Plössl	1.25	20.00	52	20.00			17.50	3.3
Celestron Omni Plössl	1.25	25.00	52	22.00			21.87	4.2
Celestron Omni Plössl	1.25	32.00	52	22.00			28.00	5.3
Celestron Omni Plössl	1.25	40.00	43	31.00			28.94	6.7
Celestron Orthoscopic	1.25	4.00	41	3.50			2.76	-
Celestron Orthoscopic	1.25	5.00	43	4.00			3.62	-
Celestron Orthoscopic	1.25	6.00	43	4.80			4.34	-
Celestron Orthoscopic	1.25	7.00	42	5.60			4.95	-
Celestron Orthoscopic	1.25	9.00	42	7.20			6.36	1.5
Celestron Orthoscopic	1.25	12.50	44	10.00			9.25	2.1
Celestron Orthoscopic	1.25	18.00	46	14.40			13.93	3.0

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Celestron Orthoscopic	1.25	25.00	47	20.00			19.77	4.2
Celestron Plössl	1.25	6.30	52	5.00			5.51	-
Celestron Plössl	1.25	7.50	52	5.00			6.56	1.3
Celestron Plössl	1.25	10.00	52	7.00			8.75	1.7
Celestron Plössl	1.25	12.50	50	8.00			10.52	2.1
Celestron Plössl	1.25	17.00	52	13.00			14.87	2.8
Celestron Plössl	1.25	20.00	52	15.00			17.50	3.3
Celestron Plössl	1.25	25.00	52	10.00			21.87	4.2
Celestron Plössl	1.25	26.00	50	22.00			21.87	4.3
Celestron Plössl	1.25	32.00	46	22.00			24.77	5.3
Celestron Plössl	2	40.00	46	31.00			30.96	6.7
Celestron Plössl Kit	1.25	6.00	50	4.00			5.05	-
Celestron Plössl Kit	1.25	8.00	50	5.00			6.73	1.3
Celestron Plössl Kit	1.25	13.00	50	8.00			10.94	2.2
Celestron Plössl Kit	1.25	17.00	50	11.00			14.30	2.8
Celestron Plössl Kit	1.25	32.00	50	22.00			26.92	5.3
Celestron Ramsden F.	1.25	6.00	28	3.00			2.83	-
Celestron Ramsden SR	1.25	4.00	28	3.00			1.88	-
Celestron Silvertop Plössl	1.25	7.50	46	6.00			5.80	1.3
Celestron Silvertop Plössl	1.25	10.00	46	7.00			7.74	1.7
Celestron Silvertop Plössl	1.25	15.00	46	11.00			11.61	2.5
Celestron Silvertop Plössl	1.25	17.00	47	14.00			13.44	2.8
Celestron Silvertop Plössl	1.25	22.00	48	17.00			17.77	3.7
Celestron Silvertop Plössl	1.25	26.00	49	20.00			21.44	4.3
Celestron Silvertop Plössl	1.25	30.00	50	28.00			25.24	5.0
Celestron Silvertop Plössl	1.25	36.00	35	22.00			21.20	6.0
Celestron Silvertop Plössl	1.25	45.00	33	25.00			24.99	7.5
Celestron Silvertop Plössl	2	50.00	43	37.00			36.17	8.3
Celestron SMA	1.25	6.00	52	4.00			5.25	-
Celestron SMA	1.25	10.00	52	6.00			8.75	1.7
Celestron SMA	1.25	12.00	52	7.00			10.50	2.0
Celestron SMA	1.25	17.00	52	13.00			14.87	2.8
Celestron SMA	1.25	25.00	52	14.00			21.87	4.2
Celestron Super Ramsden	1.25	4.00	40	5.00			2.69	-
Celestron Ultima	1.25	5.00	50	4.00			4.21	-
Celestron Ultima	1.25	7.50	51	5.00			6.44	1.3
Celestron Ultima	1.25	10.00	51	9.00			8.58	1.7
Celestron Ultima	1.25	12.50	51	13.00			10.73	2.1

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Celestron Ultima	1.25	18.00	51	18.00			15.45	3.0
Celestron Ultima	1.25	24.00	51	18.00			20.59	4.0
Celestron Ultima	1.25	30.00	50	21.00			25.24	5.0
Celestron Ultima	1.25	32.00	50	20.00			26.92	5.3
Celestron Ultima	1.25	35.00	49	25.00			28.85	5.8
Celestron Ultima	1.25	42.00	36	32.00			25.44	7.0
Celestron Ultima	2	45.00	50	29.00			37.86	7.5
Celestron Ultima	2	60.00	40	32.00			40.38	10.0
Celestron Ultima	2	80.00	32	42.00			43.07	13.3
Celestron Ultima Duo	DUAL	5.00	68	20.00			5.72	-
Celestron Ultima Duo	DUAL	8.00	68	20.00			9.15	1.3
Celestron Ultima Duo	DUAL	10.00	68	20.00			11.44	1.7
Celestron Ultima Duo	DUAL	13.00	68	20.00			14.87	2.2
Celestron Ultima Duo	DUAL	17.00	68	20.00			19.45	2.8
Celestron Ultima Duo	DUAL	21.00	68	20.00			24.03	3.5
Celestron Ultima Edge	1.25	10.00	60	16.00	14.70	84	10.09	1.7
Celestron Ultima Edge	1.25	15.00	65	16.00	19.60	75	16.40	2.5
Celestron Ultima Edge	1.25	18.00	65	20.00	23.40	74	19.69	3.0
Celestron Ultima Edge	1.25	24.00	65	29.00			26.25	4.0
Celestron Ultima Edge	2	30.00	70	22.00			35.33	5.0
Celestron Ultima LX SWA	DUAL	5.00	70	16.00			5.89	-
Celestron Ultima LX SWA	DUAL	8.00	70	16.00			9.42	1.3
Celestron Ultima LX SWA	DUAL	13.00	70	16.00			15.31	2.2
Celestron Ultima LX SWA	DUAL	17.00	70	16.00			20.02	2.8
Celestron Ultima LX SWA	2	22.00	70	16.00			25.91	3.7
Celestron Ultima LX SWA	2	32.00	70	16.00			37.69	5.3
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	2.50	45	20.00			1.89	-
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	4.00	45	20.00			3.03	-
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	5.00	45	20.00			3.79	-
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	6.00	45	20.00			4.54	-
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	7.00	50	20.00			5.89	-
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	9.00	50	20.00			7.57	1.5
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	10.00	50	20.00			8.41	1.7
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	12.00	50	20.00			10.09	2.0
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	15.00	50	20.00			12.62	2.5
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	20.00	50	20.00			16.82	3.3
Celestron Vixen Lanthanum LV	1.25	25.00	50	20.00			21.03	4.2
Celestron Vixen Lanthanum LV	2	30.00	60	20.00			30.28	5.0

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Celestron Vixen Lanthanum LV	2	30.00	70	20.00			35.33	5.0
Celestron Vixen Lanthanum LV	2	50.00	45	20.00			37.86	8.3
Celestron X-Cel	1.25	2.30	55	20.00			2.13	-
Celestron X-Cel	1.25	5.00	55	20.00			4.63	-
Celestron X-Cel	1.25	8.00	55	20.00			7.40	1.3
Celestron X-Cel	1.25	10.00	55	20.00			9.25	1.7
Celestron X-Cel	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Celestron X-Cel	1.25	18.00	55	20.00			16.66	3.0
Celestron X-Cel	1.25	21.00	55	20.00			19.43	3.5
Celestron X-Cel	1.25	25.00	55	20.00			23.13	4.2
Celestron X-Cel LX	1.25	2.30	60	16.00			2.32	-
Celestron X-Cel LX	1.25	5.00	60	16.00			5.05	-
Celestron X-Cel LX	1.25	7.00	60	16.00			7.07	-
Celestron X-Cel LX	1.25	9.00	60	16.00			9.09	1.5
Celestron X-Cel LX	1.25	12.00	60	16.00			12.11	2.0
Celestron X-Cel LX	1.25	18.00	60	16.00			18.17	3.0
Celestron X-Cel LX	1.25	25.00	60	16.00			25.24	4.2
Celestron Zoom 6.5/18 Deluxe (@18mm)	1.25	18.00	39	11.00			11.81	3.0
Celestron Zoom 6.5/18 Deluxe (@6.5mm)	1.25	6.50	61	11.00			6.67	-
Celestron Zoom 8/24 LV (@24mm)	1.25	24.00	40	18.00			16.15	4.0
Celestron Zoom 8/24 LV (@8mm)	1.25	8.00	60	15.00			8.08	1.3
Ceoptics I3 Intensifier	DUAL	25.00	35	38.00			14.72	4.2
Clavé Plössl	1.25	3.00	48	2.00	2.70	52	2.42	-
Clavé Plössl	1.25	4.00	48	3.00	3.60	52	3.23	-
Clavé Plössl	1.25	5.00	48	3.00	4.40	50	4.04	-
Clavé Plössl	1.25	6.00	48	4.00	5.30	51	4.85	-
Clavé Plössl	1.25	8.00	48	5.00	7.10	51	6.46	1.3
Clavé Plössl	1.25	10.00	48	7.00	8.90	51	8.08	1.7
Clavé Plössl	1.25	12.00	48	8.00	10.70	51	9.69	2.0
Clavé Plössl	1.25	16.00	48	10.00	14.20	51	12.92	2.7
Clavé Plössl	1.25	20.00	48	13.00	17.80	51	16.15	3.3
Clavé Plössl	1.25	25.00	48	16.00	22.30	51	20.19	4.2
Clavé Plössl	1.25	30.00	48	20.00	26.80	51	24.23	5.0
Clavé Plössl	1.25	35.00	42	23.00	26.80	44	24.73	5.8
Coronado CeMax	1.25	12.00	52	9.00	10.50	50	10.50	2.0
Coronado CeMax	1.25	18.00	52	12.00	18.00	57	15.75	3.0
Coronado CeMax	1.25	25.00	47	13.00	19.50	45	19.77	4.2
Couture Ball Singlet	1.25	2.90	15	0.90			0.73	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima (4)
Couture Ball Singlet	1.25	4.40	15	1.40			1.11	-
Couture Ball Singlet	1.25	5.90	15	1.90			1.49	-
Couture Ball Singlet	1.25	7.30	15	2.40			1.84	1.2
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	4.00	42	3.00			2.83	-
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	6.00	42	5.00			4.24	-
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	9.00	45	4.00			6.81	1.5
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	12.70	45	6.00			9.62	2.1
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	16.30	65	5.00			17.83	2.7
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	18.00	40	2.00			12.11	3.0
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	18.00	45	8.00			13.63	3.0
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	30.00	45	14.00			22.71	5.0
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	50.00	30	5.00			25.24	8.3
Criterion Orthoscopic/Kellner	1.25	50.00	40	5.00			29.75	8.3
Denkmeier D21/D14	1.25	14.00	65	20.00			15.31	2.3
Denkmeier D21/D15	1.25	21.00	65	20.00			22.97	3.5
Docter UWA	1.25	12.50	84	18.00	19.20	88	17.67	2.1
Docter Widefield	1.25	16.50	60	10.00			16.66	2.8
Docter Zoom 10/25 (@10mm)	1.25	10.00	45	10.00			7.57	1.7
Docter Zoom 10/25 (@25mm)	1.25	25.00	45	10.00			18.93	4.2
EasyView	1.25	3.10	50	10.00			2.61	-
EasyView	1.25	10.00	50	10.00			8.41	1.7
Edmund Scientific Erfle	1.25	20.00	65	10.00			21.87	3.3
Edmund Scientific Orthoscopic	1.25	4.00	41	3.20	2.80	40	2.76	-
Edmund Scientific Orthoscopic	1.25	6.00	43	4.90	4.20	40	4.34	-
Edmund Scientific Orthoscopic	1.25	12.50	44	10.40	8.50	39	9.25	2.1
Edmund Scientific Orthoscopic	1.25	18.00	46	15.20	13.50	43	13.93	3.0
Edmund Scientific Orthoscopic	1.25	25.00	45	22.20	17.50	40	18.93	4.2
Edmund Scientific Plössl	1.25	8.00	60	9.50			8.08	1.3
Edmund Scientific Plössl	1.25	12.00	50	8.00			10.09	2.0
Edmund Scientific Plössl	1.25	15.00	50	10.00			12.62	2.5
Edmund Scientific Plössl	1.25	21.00	50	14.00			17.67	3.5
Edmund Scientific Plössl	1.25	28.00	50	19.00			23.55	4.7
Edmund Scientific RKE	1.25	8.00	45	8.20	6.60	47	6.06	1.3
Edmund Scientific RKE	1.25	12.00	45	10.70	9.70	46	9.09	2.0
Edmund Scientific RKE	1.25	15.00	45	13.40	11.90	45	11.36	2.5
Edmund Scientific RKE	1.25	21.00	45	18.80	17.30	47	15.90	3.5
Edmund Scientific RKE	1.25	28.00	45	24.50	23.30	48	21.20	4.7
Edmund Scientific RKE	2	32.00	68	18.00	42.00	75	36.61	5.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Explore Scientific 52 Series	1.25	3.00	52	15.00	2.70	52	2.62	-
Explore Scientific 52 Series	1.25	4.50	52	15.00	4.10	52	3.94	-
Explore Scientific 52 Series	1.25	6.50	52	15.90	5.90	52	5.69	-
Explore Scientific 52 Series	1.25	10.00	52	16.60	9.10	52	8.75	1.7
Explore Scientific 52 Series	1.25	15.00	52	16.30	15.50	59	13.12	2.5
Explore Scientific 52 Series	1.25	20.00	52	15.00	18.20	52	17.50	3.3
Explore Scientific 52 Series	1.25	25.00	52	16.40	18.20	42	21.87	4.2
Explore Scientific 52 Series	1.25	30.00	52	19.90	27.20	52	26.25	5.0
Explore Scientific 52 Series	2	40.00	52	27.10	36.30	52	35.00	6.7
Explore Scientific 62 Series	1.25	5.50	62	12.90			5.74	-
Explore Scientific 62 Series	1.25	9.00	62	12.60			9.39	1.5
Explore Scientific 62 Series	1.25	14.00	62	10.40	14.70	60	14.60	2.3
Explore Scientific 62 Series	1.25	20.00	62	14.80	20.90	60	20.86	3.3
Explore Scientific 62 Series	1.25	26.00	62	19.30	27.30	60	27.12	4.3
Explore Scientific 62 Series	2	32.00	62	22.20	33.60	60	33.38	5.3
Explore Scientific 62 Series	2	40.00	62	28.20	42.20	60	41.73	6.7
Explore Scientific 68 Series SWA	1.25	16.00	68	11.90	18.20	65	18.31	2.7
Explore Scientific 68 Series SWA	1.25	20.00	68	15.30	22.80	65	22.88	3.3
Explore Scientific 68 Series SWA	1.25	24.00	68	18.40	27.20	65	27.46	4.0
Explore Scientific 68 Series SWA	2	28.00	68	21.60	31.80	65	32.03	4.7
Explore Scientific 68 Series SWA	2	34.00	68	26.40	38.60	65	38.90	5.7
Explore Scientific 68 Series SWA	2	40.00	68	31.00	45.50	65	45.76	6.7
Explore Scientific 70 Series SWA	1.25	10.00	70	10.00			11.78	1.7
Explore Scientific 70 Series SWA	1.25	20.00	70	10.00			23.55	3.3
Explore Scientific 70 Series SWA	2	25.00	70	20.00			29.44	4.2
Explore Scientific 70 Series SWA	2	30.00	70	5.00			35.33	5.0
Explore Scientific 70 Series SWA	2	35.00	70	10.00			41.22	5.8
Explore Scientific 82 Series UWA	1.25	4.50	82	15.90	6.60	84	6.21	-
Explore Scientific 82 Series UWA	1.25	4.70	82	13.60	6.90	84	6.48	-
Explore Scientific 82 Series UWA	1.25	6.50	82	16.80	9.20	81	8.97	-
Explore Scientific 82 Series UWA	1.25	6.70	82	15.70	9.50	81	9.24	-
Explore Scientific 82 Series UWA	1.25	8.50	82	16.30	12.00	81	11.73	1.4
Explore Scientific 82 Series UWA	1.25	8.80	82	15.60	12.40	81	12.14	1.5
Explore Scientific 82 Series UWA	1.25	11.00	82	15.60	15.90	83	15.18	1.8
Explore Scientific 82 Series UWA	1.25	14.00	82	15.60	18.90	77	19.32	2.3
Explore Scientific 82 Series UWA	2	18.00	82	13.00	25.30	81	24.83	3.0
Explore Scientific 82 Series UWA	2	24.00	82	17.50	33.50	80	33.11	4.0
Explore Scientific 82 Series UWA	2	30.00	82	22.00	43.00	82	41.39	5.0

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Explore Scientific 82 Series UWA LER	1.25	4.50	82	15.90			6.21	-
Explore Scientific 82 Series UWA LER	1.25	6.50	82	16.80			8.97	-
Explore Scientific 82 Series UWA LER	1.25	8.50	82	16.30			11.73	1.4
Explore Scientific 92 Series UWA LER	2	12.00	92	19.90	19.60	94	18.57	2.0
Explore Scientific 92 Series UWA LER	2	17.00	92	22.00	27.40	92	26.31	2.8
Explore Scientific Series 100	2	5.50	100	10.50	9.60	100	9.25	-
Explore Scientific Series 100	2	9.00	100	12.50	15.70	100	15.14	1.5
Explore Scientific Series 100	2	14.00	100	14.50	24.40	100	23.55	2.3
Explore Scientific Series 100	2	20.00	100	14.50	34.80	100	33.65	3.3
Explore Scientific Series 100	2	25.00	100	14.50	41.00	94	42.06	4.2
Explore Scientific Series 100	3	30.00	100	19.00	52.20	100	50.47	5.0
Explore Scientific Series 120	2	9.00	120	12.50	15.70	100	18.17	1.5
Galland/Gailand/Galoc Ortho/Erfle/König	1.25	4.00	42	3.00			2.83	-
Galland/Gailand/Galoc Ortho/Erfle/König	1.25	7.00	42	6.00			4.95	-
Galland/Gailand/Galoc Ortho/Erfle/König	1.25	10.00	42	8.00			7.07	1.7
Galland/Gailand/Galoc Ortho/Erfle/König	1.25	16.30	65	5.00			17.83	2.7
Galland/Gailand/Galoc Ortho/Erfle/König	1.25	28.00	42	22.00			19.79	4.7
Garret Optical Orthoscopic	1.25	4.00	41	3.50			2.76	-
Garret Optical Orthoscopic	1.25	5.00	43	4.00			3.62	-
Garret Optical Orthoscopic	1.25	6.00	43	4.80			4.34	-
Garret Optical Orthoscopic	1.25	7.00	42	5.60			4.95	-
Garret Optical Orthoscopic	1.25	9.00	42	7.20			6.36	1.5
Garret Optical Orthoscopic	1.25	12.50	44	10.00			9.25	2.1
Garret Optical Orthoscopic	1.25	18.00	46	14.40			13.93	3.0
Garret Optical Orthoscopic	1.25	25.00	47	20.00			19.77	4.2
Garret Optical Plössl	1.25	10.00	52	7.00			8.75	1.7
Garret Optical Plössl	1.25	12.50	52	8.00			10.94	2.1
Garret Optical Plössl	1.25	15.00	52	13.00			13.12	2.5
Garret Optical Plössl	1.25	20.00	52	20.00			17.50	3.3
Garret Optical Plössl	1.25	25.00	52	17.00			21.87	4.2
Garret Optical Plössl	1.25	30.00	52	22.00			26.25	5.0
Garret Optical SWA	1.25	10.00	72	10.00			12.11	1.7
Garret Optical SWA	1.25	15.00	72	13.00			18.17	2.5
Garret Optical SWA	1.25	20.00	72	16.00			24.23	3.3
Garret Optical SWA	2	26.00	71	20.00			31.06	4.3
Garret Optical SWA	2	32.00	72	24.00			38.76	5.3
Garret Optical SWA	2	38.00	69	28.00			44.12	6.3
GSO Kellner	2	26.00	65	20.00			28.43	4.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima (4)
GSO Kellner	2	32.00	65	20.00			35.00	5.3
GSO Kellner	2	40.00	56	20.00			37.69	6.7
GSO Super Plössl	1.25	4.00	52	6.00			3.50	-
GSO Super Plössl	1.25	6.00	52	5.00			5.25	-
GSO Super Plössl	1.25	9.00	52	6.00			7.87	1.5
GSO Super Plössl	1.25	12.00	52	8.00			10.50	2.0
GSO Super Plössl	1.25	15.00	52	13.00			13.12	2.5
GSO Super Plössl	1.25	20.00	52	20.00			17.50	3.3
GSO Super Plössl	1.25	25.00	52	22.00			21.87	4.2
GSO Super Plössl	1.25	32.00	52	22.00			28.00	5.3
GSO Super Plössl	1.25	40.00	45	31.00			29.75	6.7
GSO SuperView	1.25	15.00	68	13.00			17.16	2.5
GSO SuperView	1.25	20.00	68	18.00			22.88	3.3
GSO SuperView	2	30.00	68	22.00			34.32	5.0
GSO SuperView	2	42.00	65	30.00			45.93	7.0
GSO SuperView	2	50.00	48	35.00			40.38	8.3
GTO Plössl	1.25	4.00	52	4.00			3.50	-
GTO Plössl	1.25	6.00	52	5.00			5.25	-
GTO Plössl	1.25	9.00	52	7.00			7.87	1.5
GTO Plössl	1.25	12.00	52	12.00			10.50	2.0
GTO Plössl	1.25	15.00	52	12.00			13.12	2.5
GTO Plössl	1.25	25.00	52	20.00			21.87	4.2
GTO Plössl	1.25	32.00	52	24.00			28.00	5.3
GTO Plössl MC	1.25	6.30	52	5.00			5.51	-
GTO Plössl MC	1.25	10.00	52	8.00			8.75	1.7
GTO Plössl MC	1.25	17.00	53	14.00			15.16	2.8
GTO Plössl MC	1.25	20.00	53	16.00			17.83	3.3
GTO Plössl MC	1.25	25.00	53	20.00			22.29	4.2
GTO Proxima	2	31.00	71	20.00			37.03	5.2
GTO Super Plössl	1.25	7.50	52	6.00			6.56	1.3
GTO Super Plössl	1.25	10.00	52	8.00			8.75	1.7
GTO Super Plössl	1.25	12.00	52	10.00			10.50	2.0
GTO Super Plössl	1.25	17.00	52	13.00			14.87	2.8
GTO Super Plössl	1.25	20.00	52	16.00			17.50	3.3
GTO Super Plössl	1.25	26.00	52	20.00			22.75	4.3
GTO Super Plössl	1.25	32.00	47	24.00			25.30	5.3
GTO Super Plössl	1.25	40.00	44	32.00			29.61	6.7
GTP Wide Field	2	32.00	65	22.00			35.00	5.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
GTP Wide Field	2	40.00	55	22.00			37.01	6.7
GTP Wide Field	2	50.00	50	22.00			42.06	8.3
High Point Plössl	1.25	4.00	52	6.00			3.50	-
High Point Plössl	1.25	6.00	52	5.00			5.25	-
High Point Plössl	1.25	9.00	52	6.00			7.87	1.5
High Point Plössl	1.25	12.00	52	8.00			10.50	2.0
High Point Plössl	1.25	15.00	52	13.00			13.12	2.5
High Point Plössl	1.25	20.00	52	20.00			17.50	3.3
High Point Plössl	1.25	25.00	52	22.00			21.87	4.2
High Point Plössl	1.25	32.00	52	20.00			28.00	5.3
High Point Plössl	1.25	40.00	45	31.00			29.75	6.7
High Point SuperView	1.25	15.00	68	13.00			17.16	2.5
High Point SuperView	1.25	20.00	68	18.00			22.88	3.3
High Point SuperView	2	30.00	68	22.00			34.32	5.0
High Point SuperView	2	42.00	58	30.00			40.99	7.0
High Point SuperView	2	50.00	48	30.00			40.38	8.3
Intes-Micro Monocentric	1.25	9.00	30	10.00			4.54	1.5
Intes-Micro Widefield	1.25	12.00	70	10.00			14.13	2.0
Kasai Astroplan	1.25	5.00	50	4.00			4.21	-
Kasai Astroplan	1.25	7.50	50	6.00			6.31	1.3
Kasai Astroplan	1.25	10.00	50	8.00			8.41	1.7
Kasai Astroplan	1.25	12.50	50	7.20			10.52	2.1
Kasai Astroplan	1.25	15.00	50	11.00			12.62	2.5
Kasai Astroplan	1.25	20.00	50	17.00			16.82	3.3
Kasai Trading Co Astroplan	1.25	5.00	50	4.30			4.21	-
Kasai Trading Co Astroplan	1.25	7.50	50	6.40			6.31	1.3
Kokusai Kohki Telescope Widescan	2	13.00	84	21.00			18.37	2.2
Kokusai Kohki Telescope Widescan	2	16.00	84	21.00			22.61	2.7
Kokusai Kohki Telescope Widescan	2	20.00	84	21.00			28.27	3.3
Kokusai Kohki Telescope Widescan	2	30.00	84	21.00			42.40	5.0
Kokusai Kohki Erfle	1.25	16.00	60	9.60			16.15	2.7
Kokusai Kohki Erfle	1.25	20.00	62	11.00			20.86	3.3
Kokusai Kohki Erfle	1.25	25.00	62	21.00			26.08	4.2
Kokusai Kohki HD-OR	1.25	4.00	41	3.50	2.60	37	2.76	-
Kokusai Kohki HD-OR	1.25	5.00	43	4.00	3.40	39	3.62	-
Kokusai Kohki HD-OR	1.25	6.00	43	4.80	4.20	40	4.34	-
Kokusai Kohki HD-OR	1.25	7.00	42	5.60	4.80	39	4.95	-
Kokusai Kohki HD-OR	1.25	9.00	42	7.20	6.30	40	6.36	1.5

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Kokusai Kohki HD-OR	1.25	12.50	44	10.00	9.20	42	9.25	2.1
Kokusai Kohki HD-OR	1.25	18.00	46	14.40	12.50	40	13.93	3.0
Kokusai Kohki HD-OR	1.25	25.00	47	20.00	17.40	40	19.77	4.2
Kokusai Kohki Kellner	1.25	6.00	41	4.80			4.14	-
Kokusai Kohki Kellner	1.25	9.00	44	7.20			6.66	1.5
Kokusai Kohki Kellner	1.25	12.00	40	9.60			8.08	2.0
Kokusai Kohki Kellner	1.25	18.00	47	9.60			14.23	3.0
Kokusai Kohki Kellner	1.25	20.00	47	15.00			15.82	3.3
Kokusai Kohki Kellner	1.25	25.00	45	16.00			18.93	4.2
Kokusai Kohki R	1.25	4.00	42	3.40			2.83	-
Kson Super Abbe Orthoscopic	1.25	4.80	46	4.20			3.71	-
Kson Super Abbe Orthoscopic	1.25	7.70	46	6.50			5.96	1.3
Kson Super Abbe Orthoscopic	1.25	10.50	46	7.20			8.13	1.8
Kson Super Abbe Orthoscopic	1.25	16.80	46	15.50			13.00	2.8
Kson Super Abbe Orthoscopic	1.25	24.00	46	20.50			18.57	4.0
L. R. Poyser	1.25	35.00	55	24.00			29.75	5.8
L. R. Poyser	DUAL	37.00	58	24.00			29.75	6.2
Leica Televid Wide Angle	1.25	11.00	50	12.00			9.25	1.8
Leica Televid Wide Angle	1.25	14.00	69	15.00			16.25	2.3
Leica Televid Wide Angle	1.25	22.00	69	19.00			25.54	3.7
Leitz Leica	DUAL	11.00	50	20.00			9.25	1.8
Leitz Leica	DUAL	14.00	65	20.00			15.31	2.3
Leitz Leica	DUAL	22.00	66	10.00			24.43	3.7
Leitz Leica / Leitz Widescan	2	30.00	88	15.00			44.42	5.0
Levenhuk ED	2	35.00	68	10.00			40.04	5.8
Levenhuk ED	2	40.00	68	10.00			45.76	6.7
Levenhuk ER20 WA	1.25	9.00	68	20.00			10.30	1.5
Levenhuk ER20 WA	1.25	12.00	68	20.00			13.73	2.0
Levenhuk ER20 WA	1.25	14.50	68	20.00			16.59	2.4
Levenhuk ER20 WA	1.25	18.00	68	20.00			20.59	3.0
Levenhuk LER	1.25	3.00	55	20.00			2.78	-
Levenhuk LER	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Lichtenknecker Optics ES Plössl	1.25	3.80	49	10.00			3.13	-
Lichtenknecker Optics ES Plössl	1.25	7.50	48	10.00			6.06	1.3
Lichtenknecker Optics ES Plössl	1.25	10.00	44	10.00			7.40	1.7
Lichtenknecker Optics ES Plössl	1.25	15.00	47	10.00			11.86	2.5
Lichtenknecker Optics ES Plössl	1.25	25.00	49	10.00			20.61	4.2
Long Perng 68 Wide Angle	1.25	3.50	68	20.00			4.00	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Long Perng 68 Wide Angle	1.25	5.00	68	20.00			5.72	-
Long Perng 68 Wide Angle	1.25	7.00	68	20.00			8.01	-
Long Perng 68 Wide Angle	1.25	9.00	68	20.00			10.30	1.5
Long Perng 68 Wide Angle	1.25	12.00	68	20.00			13.73	2.0
Long Perng 68 Wide Angle	1.25	14.50	68	20.00			16.59	2.4
Long Perng 68 Wide Angle	1.25	18.00	68	20.00			20.59	3.0
Long Perng LER	1.25	3.00	55	20.00			2.78	-
Long Perng LER	1.25	5.00	55	20.00			4.63	-
Long Perng LER	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Long Perng LER	1.25	9.00	55	20.00			8.33	1.5
Long Perng LER	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Long Perng LER	1.25	14.50	55	20.00			13.42	2.4
Long Perng LER	1.25	18.00	55	20.00			16.66	3.0
Long Perng Plössl	1.25	4.00	55	2.40			3.70	-
Long Perng Plössl	1.25	6.00	55	3.60			5.55	-
Long Perng Plössl	1.25	12.50	55	7.50			11.57	2.1
Long Perng Plössl	1.25	17.00	55	10.20			15.73	2.8
Long Perng Plössl	1.25	20.00	55	12.00			18.51	3.3
Long Perng Plössl	1.25	25.00	55	15.00			23.13	4.2
Long Perng Plössl	2	30.00	55	18.00			27.76	5.0
Long Perng Plössl	2	40.00	55	24.00			37.01	6.7
Ludes Markus Nikon	1.25	7.00	82	10.00			9.66	-
Lunt Solar Flat Field	1.25	8.00	60	10.00			8.08	1.3
Lunt Solar Flat Field	1.25	12.00	60	11.00			12.11	2.0
Lunt Solar Flat Field	1.25	16.00	60	10.00			16.15	2.7
Lunt Solar Flat Field	1.25	19.00	65	12.00			20.78	3.2
Lunt Solar Flat Field	1.25	27.00	53	18.00			24.08	4.5
Lunt XWA HDC	DUAL	3.50	110	15.00			6.48	-
Lunt XWA HDC	DUAL	4.70	110	15.00			8.70	-
Lunt XWA HDC	DUAL	9.00	100	13.00			15.14	1.5
Lunt XWA HDC	DUAL	13.00	100	13.00			21.87	2.2
Lunt XWA HDC	2	20.00	100	15.00			33.65	3.3
Masuyama	1.25	5.00	52	3.90			4.37	-
Masuyama	1.25	7.50	52	5.00			6.56	1.3
Masuyama	1.25	10.00	52	5.90			8.75	1.7
Masuyama	1.25	15.00	52	9.10			13.12	2.5
Masuyama	1.25	20.00	52	12.70			17.50	3.3
Masuyama	1.25	25.00	52	16.70			21.87	4.2

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Masuyama	1.25	30.00	52	19.20			26.25	5.0
Masuyama	2	35.00	52	23.50			30.62	5.8
Masuyama	2	45.00	50	32.50			37.86	7.5
Masuyama	2	60.00	46	46.70			46.44	10.0
Masuyama	2	80.00	34	50.30			45.76	13.3
Masuyama	3	100.00	46	34.00			74.20	16.7
Masuyama Masuyama	2	26.00	85	16.00	38.00	84	37.18	4.3
Masuyama Masuyama	2	32.00	85	20.00			45.76	5.3
Masuyama Masuyama	2	45.00	53	32.00			40.13	7.5
Masuyama Masuyama	2	50.00	53	40.00			44.59	8.3
Masuyama Masuyama	2	60.00	46	46.50			46.44	10.0
Masuyama Orthoscopic	1.25	4.00	42	3.35			2.83	-
Masuyama Orthoscopic	1.25	5.00	42	4.05			3.53	-
Masuyama Orthoscopic	1.25	6.00	42	4.91			4.24	-
Masuyama Orthoscopic	1.25	7.00	42	6.07			4.95	-
Masuyama Orthoscopic	1.25	9.00	42	7.61			6.36	1.5
Masuyama Orthoscopic	1.25	12.50	42	10.41			8.83	2.1
Masuyama Orthoscopic	1.25	18.00	42	15.21			12.72	3.0
Masuyama Orthoscopic	1.25	25.00	42	22.22			17.67	4.2
Masuyama Orthoscopic	1.25	40.00	39	34.00			26.25	6.7
Masuyama Wide 25 mm	1.25	25.00	65	14.60			27.34	4.2
Meade EWA 5000	2	9.00	100	10.00			15.14	1.5
Meade EWA 5000	2	14.00	100	10.00			23.55	2.3
Meade EWA 5000	2	20.00	100	10.00			33.65	3.3
Meade MA Astrometric	1.25	12.00	40	15.00			8.08	2.0
Meade MH	1.25	9.00	40	6.00			6.06	1.5
Meade MH	1.25	12.50	40	8.00			8.41	2.1
Meade MH	1.25	22.00	40	8.00			14.81	3.7
Meade Orthoscopic	1.25	4.00	42	3.00			2.83	-
Meade Orthoscopic	1.25	7.00	42	6.00			4.95	-
Meade Orthoscopic	1.25	10.50	42	8.00			7.42	1.8
Meade Orthoscopic	1.25	16.80	42	13.00			11.87	2.8
Meade Orthoscopic	1.25	28.00	42	22.00			19.79	4.7
Meade Orthoscopic Series II	1.25	4.00	45	3.00			3.03	-
Meade Orthoscopic Series II	1.25	6.00	45	5.00			4.54	-
Meade Orthoscopic Series II	1.25	9.00	45	7.00			6.81	1.5
Meade Orthoscopic Series II	1.25	12.50	45	10.00			9.46	2.1
Meade Orthoscopic Series II	1.25	18.00	45	14.00			13.63	3.0

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima (4)
Meade Orthoscopic Series II	1.25	25.00	45	16.00			18.93	4.2
Meade Plössl Serie 3000	1.25	5.00	50	4.40			4.21	-
Meade Plössl Serie 3000	1.25	6.70	50	5.80			5.64	-
Meade Plössl Serie 3000	1.25	9.50	50	8.30			7.99	1.6
Meade Plössl Serie 3000	1.25	16.00	50	10.00			13.46	2.7
Meade Plössl Serie 3000	1.25	25.00	50	16.00			21.03	4.2
Meade Plössl Serie 3000	1.25	40.00	44	29.00			29.61	6.7
Meade Serie 4000 QX SWA	1.25	15.00	70	10.00			17.67	2.5
Meade Serie 4000 QX SWA	1.25	20.00	70	14.00			23.55	3.3
Meade Serie 4000 QX SWA	2	26.00	70	18.00			30.62	4.3
Meade Serie 4000 QX SWA	2	30.00	70	21.00			35.33	5.0
Meade Serie 4000 QX SWA	2	36.00	70	25.00			42.40	6.0
Meade Serie 4000 Super Plössl	1.25	6.40	52	2.00			5.60	-
Meade Serie 4000 Super Plössl	1.25	9.70	52	4.00			8.49	1.6
Meade Serie 4000 Super Plössl	1.25	12.40	52	7.00			10.85	2.1
Meade Serie 4000 Super Plössl	1.25	15.00	52	9.00			13.12	2.5
Meade Serie 4000 Super Plössl	1.25	20.00	52	13.00			17.50	3.3
Meade Serie 4000 Super Plössl	1.25	26.00	52	10.00			22.75	4.3
Meade Serie 4000 Super Plössl	1.25	32.00	52	13.00			28.00	5.3
Meade Serie 4000 Super Plössl	2	40.00	44	17.00			29.61	6.7
Meade Serie 4000 Super Plössl	2	56.00	52	21.00	46.00	47	48.80	9.3
Meade Serie 4000 SWA	1.25	6.70	84	9.00			9.47	-
Meade Serie 4000 SWA	1.25	13.80	67	10.00			15.56	2.3
Meade Serie 4000 SWA	1.25	18.00	67	14.00			20.29	3.0
Meade Serie 4000 SWA	1.25	24.80	67	18.00			27.96	4.1
Meade Serie 4000 SWA	DUAL	8.80	84	10.00			12.44	1.5
Meade Serie 4000 SWA	DUAL	14.00	84	16.00			19.79	2.3
Meade Serie 4000 SWA	2	32.00	67	25.00			36.07	5.3
Meade Serie 4000 SWA	2	40.00	67	31.00			45.09	6.7
Meade Serie 4000 UWA	1.25	4.70	84	8.00			6.64	-
Meade Serie 5000 Plössl	1.25	5.50	60	7.00			5.55	-
Meade Serie 5000 Plössl	1.25	9.00	60	6.80			9.09	1.5
Meade Serie 5000 Plössl	1.25	14.00	60	10.40			14.13	2.3
Meade Serie 5000 Plössl	1.25	20.00	60	14.80			20.19	3.3
Meade Serie 5000 Plössl	1.25	26.00	60	19.30			26.25	4.3
Meade Serie 5000 Plössl	2	32.00	60	22.40			32.30	5.3
Meade Serie 5000 Plössl	2	40.00	60	28.20			40.38	6.7
Meade Serie 5000 SWA	1.25	16.00	68	11.90			18.31	2.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Meade Serie 5000 SWA	1.25	20.00	68	15.30			22.88	3.3
Meade Serie 5000 SWA	1.25	24.00	68	18.40			27.46	4.0
Meade Serie 5000 SWA	2	28.00	68	21.60			32.03	4.7
Meade Serie 5000 SWA	2	34.00	68	26.40			38.90	5.7
Meade Serie 5000 SWA	2	40.00	68	31.10			45.76	6.7
Meade Series 5000 HD-60	1.25	4.50	60	17.00			4.54	-
Meade Series 5000 HD-60	1.25	6.50	60	17.00			6.56	-
Meade Series 5000 HD-60	1.25	9.00	60	17.00			9.09	1.5
Meade Series 5000 HD-60	1.25	12.00	60	17.00			12.11	2.0
Meade Series 5000 HD-60	1.25	18.00	60	17.00			18.17	3.0
Meade Series 5000 HD-60	1.25	25.00	60	17.00			25.24	4.2
Meade Series 5000 Mega Wide	1.25	5.00	100	13.00			8.41	-
Meade Series 5000 Mega Wide	1.25	10.00	100	19.70			16.82	1.7
Meade Series 5000 Mega Wide	2	15.00	100	20.00			25.24	2.5
Meade Series 5000 Mega Wide	2	21.00	100	20.00			35.33	3.5
Meade Series 5000 PWA	1.25	4.00	82	12.00			5.52	-
Meade Series 5000 PWA	1.25	7.00	82	12.00			9.66	-
Meade Series 5000 PWA	1.25	16.00	82	12.00			22.07	2.7
Meade Series 5000 PWA	2	28.00	82	18.00			38.63	4.7
Meade Series 5000 UHD	1.25	10.00	60	16.00			10.09	1.7
Meade Series 5000 UHD	1.25	15.00	60	16.00			15.14	2.5
Meade Series 5000 UHD	1.25	18.00	65	20.00			19.69	3.0
Meade Series 5000 UHD	1.25	24.00	65	29.00			26.25	4.0
Meade Series 5000 UHD	2	30.00	70	22.00			35.33	5.0
Meade Series 5000 Ultra Wide	1.25	4.70	82	13.60			6.48	-
Meade Series 5000 Ultra Wide	1.25	5.50	82	13.20			7.59	-
Meade Series 5000 Ultra Wide	1.25	6.70	82	15.00			9.24	-
Meade Series 5000 Ultra Wide	1.25	8.80	82	15.00			12.14	1.5
Meade Series 5000 Ultra Wide	1.25	14.00	82	15.00			19.32	2.3
Meade Series 5000 Ultra Wide	1.25	18.00	82	13.00			24.83	3.0
Meade Series 5000 Ultra Wide	2	20.00	82	17.60			27.59	3.3
Meade Series 5000 Ultra Wide	2	24.00	82	17.60			33.11	4.0
Meade Series 5000 Ultra Wide	2	30.00	82	22.00			41.39	5.0
Meade Series II MA	1.25	9.00	40	5.00			6.06	1.5
Meade Series II MA	1.25	12.00	40	8.00			8.08	2.0
Meade Series II MA	1.25	25.00	40	16.00			16.82	4.2
Meade Series II MA	1.25	40.00	36	18.00			24.23	6.7
Meade Series II MA WF	1.25	40.00	40	20.00			26.92	6.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Meade SWA Plössl 4000	1.25	13.80	67	10.00			15.56	2.3
Meade SWA Plössl 4000	1.25	18.00	67	14.00			20.29	3.0
Meade SWA Plössl 4000	1.25	24.50	67	19.00			27.62	4.1
Meade SWA Plössl 4000	2	32.00	67	10.00			36.07	5.3
Meade SWA Plössl 4000	2	40.00	67	20.00			45.09	6.7
Meade UWA Plössl 4000	DUAL	4.70	84	7.00			6.64	-
Meade UWA Plössl 4000	DUAL	6.70	84	11.00			9.47	-
Meade UWA Plössl 4000	DUAL	8.80	84	16.00			12.44	1.5
Meade UWA Plössl 4000	DUAL	14.00	84	23.00			19.79	2.3
Meade Wide Field	1.25	7.00	60	4.00			7.07	-
Meade Wide Field	1.25	12.40	65	8.00			13.56	2.1
Meade Wide Field	1.25	15.50	65	10.00			16.95	2.6
Meade Wide Field	1.25	20.00	65	12.70			21.87	3.3
Meade Wide Field	2	32.00	65	20.00			35.00	5.3
Meade XWA	2	9.00	100	14.50			15.14	1.5
Meade XWA	2	14.00	100	12.50			23.55	2.3
Meade XWA	2	20.00	100	14.50			33.65	3.3
Meade Zoom LV Serie 4000 8/24 (@8mm)	1.25	8.00	55	18.00			7.40	1.3
Meade Zoom LV Serie 4000 8/24 (@24mm)	1.25	24.00	40	15.00			16.15	4.0
Nikon NAV HW	DUAL	10.00	102	16.00			17.16	1.7
Nikon NAV HW	DUAL	12.50	102	16.00	22.50	103	21.45	2.1
Nikon NAV HW	2	14.00	102	16.00			24.03	2.3
Nikon NAV HW	2	17.00	102	16.00	30.10	101	29.17	2.8
Nikon NAV SW	1.25	5.00	72	18.00			6.06	-
Nikon NAV SW	1.25	7.00	72	17.00			8.48	-
Nikon NAV SW	1.25	10.00	72	19.00			12.11	1.7
Nikon NAV SW	1.25	14.00	72	18.00			16.96	2.3
Nikon NAV SW	1.25	17.50	72	26.00			21.20	2.9
Nikon Orthoscopic	0.965	5.00	45	4.00			3.79	-
Nikon Orthoscopic	0.965	7.00	45	6.00			5.30	-
Nikon Orthoscopic	0.965	9.00	45	7.00			6.81	1.5
Nikon Orthoscopic	0.965	12.50	45	10.00			9.46	2.1
Nikon Orthoscopic	0.965	18.00	45	14.00			13.63	3.0
Nikon Orthoscopic	0.965	25.00	45	16.00			18.93	4.2
Nikon Orthoscopic	0.965	40.00	45	25.00			22.51	6.7
Olivon 50 Wide Angle	1.25	2.50	58	16.00			2.44	-
Olivon 50 Wide Angle	1.25	3.20	58	16.00			3.12	-
Olivon 50 Wide Angle	1.25	4.00	58	16.00			3.90	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Olivon 50 Wide Angle	1.25	5.00	58	16.00			4.88	-
Olivon 50 Wide Angle	1.25	6.00	58	16.00			5.86	-
Olivon 50 Wide Angle	1.25	7.00	58	16.00			6.83	-
Olivon 50 Wide Angle	1.25	8.00	58	16.00			7.81	1.3
Olivon 50 Wide Angle	1.25	9.00	58	16.00			8.78	1.5
Olivon 50 Wide Angle	1.25	15.00	58	16.00			14.64	2.5
Olivon 50 Wide Angle	1.25	20.00	58	16.00			19.52	3.3
Olivon 60 ED Wide Angle	1.25	5.00	60	13.00			5.05	-
Olivon 60 ED Wide Angle	1.25	8.00	60	13.00			8.08	1.3
Olivon 60 ED Wide Angle	1.25	13.00	60	13.00			13.12	2.2
Olivon 60 ED Wide Angle	1.25	15.00	60	13.00			15.14	2.5
Olivon 60 ED Wide Angle	1.25	18.00	60	13.00			18.17	3.0
Olivon 60 ED Wide Angle	1.25	25.00	60	15.00			25.24	4.2
Olivon 70 UWA	DUAL	3.50	70	17.00			4.12	-
Olivon 70 UWA	DUAL	5.00	70	17.00			5.89	-
Olivon 70 UWA	DUAL	8.00	70	17.00			9.42	1.3
Olivon 70 UWA	DUAL	13.00	70	17.00			15.31	2.2
Olivon 70 UWA	DUAL	17.00	70	17.00			20.02	2.8
Olivon 70 Wide Angle	2	22.00	70	20.00			25.91	3.7
Olivon 70 Wide Angle	2	22.00	70	20.00			25.91	3.7
Olivon 70 Wide Angle	2	26.00	70	20.00			30.62	4.3
Olivon 70 Wide Angle	2	32.00	70	20.00			37.69	5.3
Olivon 70 Wide Angle	2	32.00	70	24.00			37.69	5.3
Olivon 70 Wide Angle	2	38.00	70	28.00			44.75	6.3
Olivon 80 Wide Angle	1.25	15.00	80	12.00			20.19	2.5
Olivon 80 Wide Angle	1.25	22.00	80	9.00			29.61	3.7
Olivon 80 Wide Angle	2	16.00	80	18.00			21.54	2.7
Olivon 80 Wide Angle	2	20.00	80	20.00			26.92	3.3
Olivon 80 Wide Angle	2	30.00	80	22.00			40.38	5.0
Olivon Plössl	1.25	4.00	50	3.00			3.36	-
Olivon Plössl	1.25	6.30	50	4.00			5.30	-
Olivon Plössl	1.25	10.00	50	7.00			8.41	1.7
Olivon Plössl	1.25	12.50	50	9.00			10.52	2.1
Olivon Plössl	1.25	17.00	50	12.00			14.30	2.8
Olivon Plössl	1.25	20.00	50	14.00			16.82	3.3
Olivon Plössl	1.25	25.00	50	17.00			21.03	4.2
Olivon Plössl	1.25	32.00	50	22.00			26.92	5.3
Olivon Plössl	1.25	40.00	40	27.00			26.92	6.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Omcon Erfle	2	35.00	62	10.00			36.51	5.8
Omcon Erfle	2	52.00	50	10.00			43.74	8.7
Omegon Flatfield	1.25	8.00	60	9.00			8.08	1.3
Omegon Flatfield	1.25	12.00	60	9.00			12.11	2.0
Omegon Flatfield	1.25	16.00	60	9.00			16.15	2.7
Omegon Flatfield	1.25	19.00	60	9.00			19.18	3.2
Omegon Flatfield	1.25	27.00	53	9.00			24.08	4.5
Omegon Flatfield ED	1.25	5.00	60	16.00			5.05	-
Omegon Flatfield ED	1.25	8.00	60	16.00			8.08	1.3
Omegon Flatfield ED	1.25	12.00	60	16.00			12.11	2.0
Omegon Flatfield ED	1.25	15.00	60	16.00			15.14	2.5
Omegon Flatfield ED	1.25	18.00	60	16.00			18.17	3.0
Omegon Flatfield ED	1.25	25.00	60	16.00			25.24	4.2
Omegon Panorama II	1.25	5.00	100	20.00			8.41	-
Omegon Panorama II	1.25	10.00	100	20.00			16.82	1.7
Omegon Panorama II	2	15.00	100	20.00			25.24	2.5
Omegon Panorama II	2	21.00	100	20.00			35.33	3.5
OPT Plössl	1.25	4.00	45	6.00			3.03	-
OPT Plössl	1.25	6.00	52	5.00			5.25	-
OPT Plössl	1.25	9.00	52	6.00			7.87	1.5
OPT Plössl	1.25	15.00	52	13.00			13.12	2.5
OPT Plössl	1.25	20.00	52	20.00			17.50	3.3
OPT Plössl	1.25	25.00	52	20.00			21.87	4.2
OPT Plössl	1.25	32.00	52	20.00			28.00	5.3
OPT Plössl	1.25	40.00	45	31.00			29.75	6.7
OPT Superview	1.25	15.00	68	13.00			17.16	2.5
OPT Superview	1.25	20.00	68	20.00			22.88	3.3
OPT Superview	2	30.00	68	20.00			34.32	5.0
OPT Superview	2	42.00	60	20.00			42.40	7.0
OPT Superview	2	50.00	60	20.00			48.80	8.3
Orion Deep View	2	28.00	56	20.00	27.00	55	26.38	4.7
Orion Deep View	2	35.00	56	20.00	37.00	61	32.98	5.8
Orion Deep View	2	42.00	52	20.00	38.00	52	36.75	7.0
Orion Edge-On Flat-Field	1.25	16.00	60	17.00	16.60	59	16.15	2.7
Orion Edge-On Flat-Field	1.25	19.00	65	17.00	21.30	64	20.78	3.2
Orion Edge-On Flat-Field	1.25	27.00	53	21.00	24.40	52	24.08	4.5
Orion Edge-On Planetary	1.25	3.00	55	20.00	5.60	107	2.78	-
Orion Edge-On Planetary	1.25	5.00	55	20.00	8.70	100	4.63	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Orion Edge-On Planetary	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Orion Edge-On Planetary	1.25	9.00	55	20.00	11.70	74	8.33	1.5
Orion Edge-On Planetary	1.25	12.50	55	20.00	15.60	72	11.57	2.1
Orion Edge-On Planetary	1.25	14.50	55	20.00	17.00	67	13.42	2.4
Orion EF	1.25	8.00	60	10.00			8.08	1.3
Orion EF	1.25	12.00	60	15.00			12.11	2.0
Orion EF	1.25	16.00	65	18.00			17.50	2.7
Orion EF	1.25	19.00	65	18.50			20.78	3.2
Orion EF	1.25	27.00	53	23.00			24.08	4.5
Orion Epic ED II	1.25	5.00	58	13.00	8.10	93	4.88	-
Orion Epic ED II	1.25	8.00	58	13.00	11.10	79	7.81	1.3
Orion Epic ED II	1.25	12.00	60	13.00	15.30	73	12.11	2.0
Orion Epic ED II	1.25	15.00	60	13.00	18.00	69	15.14	2.5
Orion Epic ED II	1.25	18.00	60	13.00	20.20	64	18.17	3.0
Orion Epic ED II	1.25	25.00	60	13.00	25.90	59	25.24	4.2
Orion Epic ED Wide Angle	1.25	3.70	55	20.00			3.42	-
Orion Epic ED Wide Angle	1.25	5.10	55	20.00			4.72	-
Orion Epic ED Wide Angle	1.25	9.50	55	20.00			8.79	1.6
Orion Epic ED Wide Angle	1.25	12.30	55	20.00			11.38	2.1
Orion Epic ED Wide Angle	1.25	14.00	55	20.00			12.96	2.3
Orion Epic ED Wide Angle	1.25	18.00	55	20.00			16.66	3.0
Orion Epic ED Wide Angle	1.25	22.00	55	20.00			20.36	3.7
Orion Epic ED Wide Angle	1.25	25.00	55	20.00			23.13	4.2
Orion E-Series	1.25	3.60	40	5.00			2.42	-
Orion E-Series	1.25	6.30	46	8.00			4.88	-
Orion E-Series	1.25	10.00	52	10.00			8.75	1.7
Orion E-Series	1.25	20.00	52	12.00			17.50	3.3
Orion Expanse	1.25	6.00	66	14.80	8.00	76	6.66	-
Orion Expanse	1.25	9.00	66	15.00	15.00	95	9.99	1.5
Orion Expanse	1.25	15.00	66	13.00	17.00	65	16.66	2.5
Orion Expanse	1.25	20.00	66	18.00	23.50	67	22.21	3.3
Orion Explorer II	1.25	6.00	50	10.00			5.05	-
Orion Explorer II	1.25	10.00	50	10.00			8.41	1.7
Orion Explorer II	1.25	13.00	50	10.00			10.94	2.2
Orion Explorer II	1.25	17.00	50	10.00			14.30	2.8
Orion Explorer II	1.25	25.00	50	10.00			21.03	4.2
Orion Giant View 100 UWA	2	9.00	100	13.00			15.14	1.5
Orion Giant View 100 UWA	2	16.00	100	15.00			26.92	2.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Orion Highlight Plössl	1.25	6.30	52	4.10	5.00	45	5.51	-
Orion Highlight Plössl	1.25	7.50	52	4.90	5.80	44	6.56	1.3
Orion Highlight Plössl	1.25	10.00	52	6.50	8.00	46	8.75	1.7
Orion Highlight Plössl	1.25	12.50	52	8.10	10.20	47	10.94	2.1
Orion Highlight Plössl	1.25	17.00	52	11.00			14.87	2.8
Orion Highlight Plössl	1.25	20.00	52	13.00	17.10	49	17.50	3.3
Orion Highlight Plössl	1.25	25.00	52	16.90	24.10	55	21.87	4.2
Orion Highlight Plössl	1.25	32.00	52	20.00	28.60	51	28.00	5.3
Orion Highlight Plössl	1.25	40.00	43	20.00	28.50	41	28.94	6.7
Orion Lanthanum Superwide	DUAL	8.00	65	20.00			8.75	1.3
Orion Lanthanum Superwide	DUAL	13.00	65	20.00			14.22	2.2
Orion Lanthanum Superwide	DUAL	17.00	65	20.00			18.59	2.8
Orion Lanthanum Superwide	DUAL	22.00	65	20.00			24.06	3.7
Orion Lanthanum Superwide	2	42.00	65	32.00			45.93	7.0
Orion LHD Lanthanum Ultra-Wide	1.25	4.00	80	20.00			5.38	-
Orion LHD Lanthanum Ultra-Wide	1.25	6.00	80	20.00			8.08	-
Orion LHD Lanthanum Ultra-Wide	1.25	9.00	80	20.00			12.11	1.5
Orion LHD Lanthanum Ultra-Wide	2	14.00	80	20.00	30.60	125	18.84	2.3
Orion LHD Lanthanum Ultra-Wide	2	20.00	80	20.00	34.80	100	26.92	3.3
Orion Long Eye Relief	1.25	3.00	55	20.00			2.78	-
Orion Long Eye Relief	1.25	5.00	55	20.00			4.63	-
Orion Long Eye Relief	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Orion Long Eye Relief	1.25	9.00	55	20.00			8.33	1.5
Orion Long Eye Relief	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Orion Long Eye Relief	1.25	14.50	55	20.00			13.42	2.4
Orion Long Eye Relief	1.25	18.00	55	20.00			16.66	3.0
Orion LVW SWA	DUAL	17.00	65	20.00			18.59	2.8
Orion Megawiew UWA	1.25	4.00	82	12.00	7.40	106	5.52	-
Orion Megawiew UWA	1.25	7.00	82	12.00	14.00	115	9.66	-
Orion Megawiew UWA	1.25	10.50	67	13.00			11.84	1.8
Orion Megawiew UWA	1.25	16.00	82	12.00	24.00	86	22.07	2.7
Orion Megawiew UWA	1.25	16.70	70	16.00			19.67	2.8
Orion Megawiew UWA	2	28.00	82	18.00	43.10	88	38.63	4.7
Orion Optiluxe FMC Plössl	2	32.00	58	20.00			31.23	5.3
Orion Optiluxe FMC Plössl	2	40.00	62	20.00			41.73	6.7
Orion Optiluxe FMC Plössl	2	50.00	45	37.00			37.86	8.3
Orion Optiluxe König	2	32.00	58	20.00			31.23	5.3
Orion Optiluxe König	2	40.00	62	20.00			41.73	6.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Orion Optiluxe Plössl	2	50.00	45	37.00			37.86	8.3
Orion Premium 69 LER	1.25	7.00	68	20.00	26.00	213	8.01	-
Orion Q70 SWA	2	26.00	70	20.00	32.20	71	30.62	4.3
Orion Q70 SWA	2	32.00	70	24.00	40.00	72	37.69	5.3
Orion Q70 SWA	2	38.00	70	28.00	45.70	69	44.75	6.3
Orion Sirius Plössl	1.25	6.30	52	4.10	5.00	45	5.51	-
Orion Sirius Plössl	1.25	7.50	52	4.90	5.80	44	6.56	1.3
Orion Sirius Plössl	1.25	10.00	52	6.50	8.00	46	8.75	1.7
Orion Sirius Plössl	1.25	12.50	52	8.10	10.20	47	10.94	2.1
Orion Sirius Plössl	1.25	17.00	52	11.00			14.87	2.8
Orion Sirius Plössl	1.25	20.00	52	13.00	17.10	49	17.50	3.3
Orion Sirius Plössl	1.25	25.00	52	16.90	24.10	55	21.87	4.2
Orion Sirius Plössl	1.25	32.00	52	20.00	28.60	51	28.00	5.3
Orion Sirius Plössl	1.25	40.00	43	20.00	28.50	41	28.94	6.7
Orion Stratus SWA	DUAL	3.50	68	20.00	5.10	83	4.00	-
Orion Stratus SWA	DUAL	5.00	68	20.00	7.30	84	5.72	-
Orion Stratus SWA	DUAL	8.00	68	20.00	10.70	77	9.15	1.3
Orion Stratus SWA	DUAL	13.00	68	20.00	19.00	84	14.87	2.2
Orion Stratus SWA	DUAL	17.00	68	20.00	23.00	78	19.45	2.8
Orion Stratus SWA	DUAL	21.00	68	20.00	24.30	66	24.03	3.5
Orion Stratus SWA	DUAL	24.00	68	15.00	28.40	68	27.46	4.0
Orion Ultra Flat	1.25	10.00	65	16.00	14.70	84	10.94	1.7
Orion Ultra Flat	1.25	15.00	65	16.00	19.60	75	16.40	2.5
Orion Ultra Flat	2	24.00	65	29.00	30.20	72	26.25	4.0
Orion Ultrasopic	1.25	3.80	52	5.00			3.32	-
Orion Ultrasopic	1.25	5.00	52	6.00			4.37	-
Orion Ultrasopic	1.25	7.50	52	5.00	6.50	50	6.56	1.3
Orion Ultrasopic	1.25	10.00	52	6.00	8.30	48	8.75	1.7
Orion Ultrasopic	1.25	15.00	52	10.00	12.40	47	13.12	2.5
Orion Ultrasopic	1.25	20.00	52	13.00	17.40	50	17.50	3.3
Orion Ultrasopic	1.25	25.00	52	17.00	25.70	59	21.87	4.2
Orion Ultrasopic	1.25	30.00	52	21.00	26.10	50	26.25	5.0
Orion Ultrasopic	1.25	35.00	49	25.00	28.90	47	28.85	5.8
Owl Astronomy Adcanced Wide Angle	1.25	8.00	60	9.00			8.08	1.3
Owl Astronomy Adcanced Wide Angle	1.25	12.00	60	10.00			12.11	2.0
Owl Astronomy Adcanced Wide Angle	1.25	17.00	65	16.00			18.59	2.8
Owl Astronomy Adcanced Wide Angle	1.25	20.00	67	20.00			22.55	3.3
Owl Astronomy HR Planetary	1.25	2.50	58	14.00			2.44	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Owl Astronomy HR Planetary	1.25	3.20	58	14.00			3.12	-
Owl Astronomy HR Planetary	1.25	4.00	58	14.00			3.90	-
Owl Astronomy HR Planetary	1.25	5.00	58	14.00			4.88	-
Owl Astronomy HR Planetary	1.25	6.00	58	14.00			5.86	-
Owl Astronomy HR Planetary	1.25	7.50	58	14.00			7.32	1.3
Owl Astronomy HR Planetary	1.25	9.00	58	14.00			8.78	1.5
Owl Astronomy Knight Owl UWA	1.25	11.00	80	14.00			14.81	1.8
Owl Astronomy Knight Owl UWA	1.25	16.00	80	20.00			21.54	2.7
Owl Astronomy Knight Owl UWA	2	15.00	80	20.00			20.19	2.5
Owl Astronomy Knight Owl UWA	2	20.00	80	24.00			26.92	3.3
Owl Astronomy Knight Owl UWA	2	30.00	80	28.00			40.38	5.0
Owl Astronomy Super Plössl	1.25	4.00	52	3.00			3.50	-
Owl Astronomy Super Plössl	1.25	6.50	52	4.00			5.69	-
Owl Astronomy Super Plössl	1.25	10.00	52	7.00			8.75	1.7
Owl Astronomy Super Plössl	1.25	12.50	52	9.00			10.94	2.1
Owl Astronomy Super Plössl	1.25	15.00	52	10.00			13.12	2.5
Owl Astronomy Super Plössl	1.25	20.00	52	14.00			17.50	3.3
Owl Astronomy Super Plössl	1.25	25.00	52	17.00			21.87	4.2
Owl Astronomy Super Plössl	1.25	30.00	44	20.00			22.21	5.0
Owl Astronomy Super Plössl	2	40.00	44	27.00			29.61	6.7
Owl Astronomy Superwide	1.25	6.00	66	17.00			6.66	-
Owl Astronomy Superwide	1.25	9.00	66	17.00			9.99	1.5
Owl Astronomy Superwide	1.25	15.00	66	13.00			16.66	2.5
Owl Astronomy Superwide	1.25	20.00	66	16.00			22.21	3.3
Parks Golden Series	1.25	3.80	52	6.00			3.32	-
Parks Golden Series	1.25	5.00	52	8.00			4.37	-
Parks Golden Series	1.25	7.50	52	6.00			6.56	1.3
Parks Golden Series	1.25	10.00	52	8.00			8.75	1.7
Parks Golden Series	1.25	15.00	52	12.00			13.12	2.5
Parks Golden Series	1.25	20.00	52	14.00			17.50	3.3
Parks Golden Series	1.25	25.00	52	16.00			21.87	4.2
Parks Golden Series	1.25	30.00	52	24.00			26.25	5.0
Parks Golden Series	1.25	35.00	49	25.00			28.85	5.8
Parks Golden Series	2	50.00	50	30.00			42.06	8.3
Parks Silver Series	1.25	6.30	50	4.00			5.30	-
Parks Silver Series	1.25	7.50	50	5.00			6.31	1.3
Parks Silver Series	1.25	10.00	50	7.00			8.41	1.7
Parks Silver Series	1.25	12.50	50	9.00			10.52	2.1

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Parks Silver Series	1.25	17.00	50	12.00			14.30	2.8
Parks Silver Series	1.25	20.00	50	14.00			16.82	3.3
Parks Silver Series	1.25	25.00	50	18.00			21.03	4.2
Parks Silver Series	1.25	32.00	50	22.00			26.92	5.3
Parks Silver Series	1.25	40.00	44	28.00			29.61	6.7
Paul Rini Erfle	2	35.00	60	17.00			35.33	5.8
Paul Rini Erfle	2	35.00	68	17.00			40.04	5.8
Paul Rini Erfle	2	38.00	64	20.00			40.92	6.3
Paul Rini Erfle	2	45.00	52	30.00			39.37	7.5
Paul Rini Modified Plössl	1.25	15.00	65	10.00			16.40	2.5
Paul Rini Modified Plössl	1.25	18.00	63	10.00			19.08	3.0
Paul Rini Modified Plössl	1.25	21.00	60	10.00			21.20	3.5
Paul Rini Modified Plössl	1.25	22.00	56	12.00			20.73	3.7
Paul Rini Modified Plössl	1.25	33.00	50	10.00			27.76	5.5
Paul Rini Modified Plössl	1.25	38.00	44	26.00			28.13	6.3
Paul Rini Modified Plössl	1.25	40.00	42	26.00			28.27	6.7
Paul Rini Modified Plössl	2	21.00	60	10.00			21.20	3.5
Paul Rini Modified Plössl	2	32.00	68	10.00			36.61	5.3
Paul Rini Modified Plössl	2	35.00	64	10.00			37.69	5.8
Paul Rini Modified Plössl	2	68.00	40	10.00			45.76	11.3
Paul Rini Modified Plössl	2	100.00	28	10.00			47.11	16.7
Paul Rini Modified Plössl/RKE	1.25	45.00	30	36.00			22.71	7.5
Paul Rini Modified Plössl/RKE	1.25	52.00	30	36.00			26.25	8.7
Paul Rini Modified Plössl/RKE	2	45.00	52	36.00			39.37	7.5
Paul Rini Modified Plössl/RKE	2	52.00	50	36.00			43.74	8.7
Paul Rini Modified Plössl/RKE	2	62.00	44	50.00			45.90	10.3
Pentax SMC Orthoscopic	0.965	5.00	42	4.00			3.53	-
Pentax SMC Orthoscopic	0.965	6.00	42	5.00			4.24	-
Pentax SMC Orthoscopic	0.965	7.00	42	6.00			4.95	-
Pentax SMC Orthoscopic	0.965	9.00	42	8.00			6.36	1.5
Pentax SMC Orthoscopic	0.965	12.00	42	10.00			8.48	2.0
Pentax SMC Orthoscopic	0.965	18.00	42	16.00			12.72	3.0
Pentax SMC Orthoscopic	0.965	25.00	45	13.00			18.93	4.2
Pentax SMC Orthoscopic	1.25	40.00	45	21.00			29.75	6.7
Pentax SMC Orthoscopic	2	60.00	42	30.00			42.40	10.0
Pentax SMC XF	1.25	8.50	60	18.00	8.80	59	8.58	1.4
Pentax SMC XF	1.25	12.00	60	18.00	12.80	61	12.11	2.0
Pentax SMC XL SWA	1.25	5.20	65	20.00			5.69	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Pentax SMC XL SWA	1.25	7.00	65	20.00			7.66	-
Pentax SMC XL SWA	1.25	10.50	65	20.00			11.48	1.8
Pentax SMC XL SWA	1.25	14.00	65	20.00			15.31	2.3
Pentax SMC XL SWA	1.25	21.00	65	20.00			22.97	3.5
Pentax SMC XL SWA	1.25	28.00	65	20.00			29.75	4.7
Pentax SMC XL SWA	2	40.00	65	20.00			43.74	6.7
Pentax SMC XW	1.25	3.50	70	20.00	4.30	70	4.12	-
Pentax SMC XW	1.25	5.00	70	20.00	6.20	71	5.89	-
Pentax SMC XW	1.25	7.00	70	20.00	8.80	72	8.24	-
Pentax SMC XW	1.25	10.00	70	20.00	12.40	71	11.78	1.7
Pentax SMC XW	1.25	14.00	70	20.00	17.60	72	16.49	2.3
Pentax SMC XW	1.25	20.00	70	20.00	24.00	69	23.55	3.3
Pentax SMC XW	2	30.00	70	20.00	36.20	69	35.33	5.0
Pentax SMC XW	2	40.00	70	20.00	46.50	67	47.11	6.7
Pentax SMC Zoom 8/24 (@24mm)	1.25	24.00	38	18.00			15.34	4.0
Pentax SMC Zoom 8/24 (@8mm)	1.25	8.00	60	15.00			8.08	1.3
Pentax XF	1.25	8.50	60	18.00	8.80	59	8.58	1.4
Pentax XF	1.25	12.00	60	18.00	12.80	61	12.11	2.0
Pentax XO	1.25	2.58	44	3.90	1.90	42	1.91	-
Pentax XO	1.25	5.10	44	3.60	3.90	44	3.78	-
Pentax XW	1.25	3.50	70	20.00	4.30	70	4.12	-
Pentax XW	1.25	5.00	70	20.00	6.20	71	5.89	-
Pentax XW	1.25	7.00	70	20.00	8.80	72	8.24	-
Pentax XW	1.25	10.00	70	20.00	12.40	71	11.78	1.7
Pentax XW	1.25	14.00	70	20.00	17.60	72	16.49	2.3
Pentax XW	1.25	20.00	70	20.00	24.00	69	23.55	3.3
Pentax XW	2	30.00	70	20.00	36.20	69	35.33	5.0
Pentax XW	2	40.00	70	20.00	46.50	67	47.11	6.7
PERL Eudiascopique	1.25	3.80	48	10.00			3.07	-
PERL Eudiascopique	1.25	5.00	48	10.00			4.04	-
PERL Eudiascopique	1.25	7.50	52	10.00			6.56	1.3
PERL Eudiascopique	1.25	10.00	52	10.00			8.75	1.7
PERL Eudiascopique	1.25	15.00	52	10.00			13.12	2.5
PERL Eudiascopique	1.25	20.00	52	10.00			17.50	3.3
PERL Eudiascopique	1.25	25.00	48	10.00			20.19	4.2
PERL Eudiascopique	1.25	30.00	48	10.00			24.23	5.0
PERL Eudiascopique	1.25	35.00	48	10.00			28.27	5.8
Plössl Genérico	1.25	6.30	50	4.00			5.30	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima (4)
Plössl Genérico	1.25	7.50	50	5.00			6.31	1.3
Plössl Genérico	1.25	10.00	50	7.00			8.41	1.7
Plössl Genérico	1.25	12.50	50	8.00			10.52	2.1
Plössl Genérico	1.25	17.00	50	11.00			14.30	2.8
Plössl Genérico	1.25	20.00	50	13.00			16.82	3.3
Plössl Genérico	1.25	26.00	50	17.00			21.87	4.3
Plössl Genérico	1.25	32.00	50	20.00			26.92	5.3
Pocono Erfle	1.25	16.00	52	10.00			14.00	2.7
Pocono Erfle	1.25	20.00	65	10.00			21.87	3.3
Pocono Erfle	1.25	25.00	65	10.00			27.34	4.2
Pocono Kellner	1.25	6.00	45	10.00			4.54	-
Pocono Kellner	1.25	9.00	45	10.00			6.81	1.5
Pocono Kellner	1.25	12.00	45	10.00			9.09	2.0
Pocono Kellner	1.25	18.00	45	10.00			13.63	3.0
Pocono Kellner	1.25	40.00	45	10.00			29.75	6.7
Pocono Orthoscopic	1.25	4.00	45	10.00			3.03	-
Pocono Orthoscopic	1.25	5.00	45	10.00			3.79	-
Pocono Orthoscopic	1.25	6.00	45	10.00			4.54	-
Pocono Orthoscopic	1.25	9.00	45	10.00			6.81	1.5
Pocono Orthoscopic	1.25	12.00	45	10.00			9.09	2.0
Pocono Orthoscopic	1.25	18.00	45	10.00			13.63	3.0
Pocono Orthoscopic	1.25	25.00	45	10.00			18.93	4.2
Pocono Orthoscopic	1.25	32.00	45	10.00			24.23	5.3
ProOptic Plössl	1.25	6.30	50	10.00			5.30	-
ProOptic Plössl	1.25	7.50	50	10.00			6.31	1.3
ProOptic Plössl	1.25	10.00	50	10.00			8.41	1.7
ProOptic Plössl	1.25	12.50	50	10.00			10.52	2.1
ProOptic Plössl	1.25	17.00	50	10.00			14.30	2.8
ProOptic Plössl	1.25	20.00	50	10.00			16.82	3.3
ProOptic Plössl	1.25	25.00	50	10.00			21.03	4.2
ProOptic Plössl	1.25	32.00	50	10.00			26.92	5.3
ProOptic Plössl	1.25	40.00	43	10.00			28.94	6.7
Rini	1.25	13.00	82	5.00			17.94	2.2
Rini	1.25	14.00	60	10.00			14.13	2.3
Rini	1.25	16.00	60	10.00			16.15	2.7
Rini	1.25	22.00	60	10.00			22.21	3.7
Rini	1.25	30.00	50	15.00			25.24	5.0
Rini	1.25	40.00	40	26.00			26.92	6.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Rini	1.25	52.00	30	36.00			26.25	8.7
Rini	2	26.00	60	10.00			26.25	4.3
Rini	2	35.00	50	10.00			29.44	5.8
Rodenstock Wide Angle	2	40.00	70	25.00			47.11	6.7
Russell Optics	1.25	6.70	70	18.00			7.89	-
Russell Optics	1.25	10.00	50	8.90			8.41	1.7
Russell Optics	1.25	12.00	43	17.90			8.68	2.0
Russell Optics	1.25	14.00	69	11.70			16.25	2.3
Russell Optics	1.25	18.00	65	10.00			19.69	3.0
Russell Optics	1.25	19.00	70	10.00			22.38	3.2
Russell Optics	1.25	21.00	49	23.50			17.31	3.5
Russell Optics	1.25	50.00	40	10.00			29.75	8.3
Russell Optics 2 Inch Series	2	7.00	60	10.00			7.07	-
Russell Optics 2 Inch Series	2	10.50	65	10.00			11.48	1.8
Russell Optics 2 Inch Series	2	12.00	70	20.00			14.13	2.0
Russell Optics 2 Inch Series	2	13.00	70	10.00			15.31	2.2
Russell Optics 2 Inch Series	2	18.00	70	10.00			21.20	3.0
Russell Optics 2 Inch Series	2	19.00	70	18.00			22.38	3.2
Russell Optics 2 Inch Series	2	50.00	50	30.00			42.06	8.3
Russell Optics 2 Inch Series	2	52.00	58	10.00			48.80	8.7
Russell Optics 2 Inch Series	2	56.00	50	30.00			47.11	9.3
Russell Optics 2 Inch Series	2	60.00	58	10.00			48.80	10.0
Russell Optics 2 Inch Series	2	65.00	35	10.00			38.28	10.8
Russell Optics 2 Inch Series	2	72.00	35	10.00			42.40	12.0
Russell Optics 2 Inch Series	2	85.00	35	10.00			48.80	14.2
Scopetronix ST Plössl	1.25	4.00	52	10.00			3.50	-
Scopetronix ST Plössl	1.25	6.00	52	10.00			5.25	-
Scopetronix ST Plössl	1.25	9.00	52	10.00			7.87	1.5
Scopetronix ST Plössl	1.25	15.00	52	10.00			13.12	2.5
Scopetronix ST Plössl	1.25	25.00	52	10.00			21.87	4.2
Scopetronix ST Plössl	1.25	40.00	44	10.00			29.61	6.7
Siebert Optics Mono Centric	1.25	10.00	30	10.00			5.05	1.7
Siebert Optics Mono Centric	1.25	12.00	30	10.00			6.06	2.0
Siebert Optics Mono Centric	1.25	14.50	30	10.00			7.32	2.4
Siebert Optics Mono Centric	1.25	17.50	30	10.00			8.83	2.9
Siebert Optics Mono Centric	1.25	20.00	30	10.00			10.09	3.3
Siebert Optics Mono Centric	1.25	24.50	30	10.00			12.37	4.1
Siebert Optics Observatory	2	34.00	70	20.00			40.04	5.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima (4)
Siebert Optics Observatory	2	36.00	70	20.00			42.40	6.0
Siebert Optics Performance Series	1.25	7.00	60	12.00			7.07	-
Siebert Optics Performance Series	1.25	9.00	60	12.00			9.09	1.5
Siebert Optics Performance Series	1.25	10.00	60	12.00			10.09	1.7
Siebert Optics Performance Series	1.25	12.50	60	12.00			12.62	2.1
Siebert Optics Performance Series	1.25	13.00	60	12.00			13.12	2.2
Siebert Optics Performance Series	1.25	15.00	60	12.00			15.14	2.5
Siebert Optics Performance Series	1.25	21.00	60	12.00			21.20	3.5
Siebert Optics Planisphere	1.25	3.00	18	1.10			0.91	-
Siebert Optics Planisphere	1.25	3.50	18	1.10			1.06	-
Siebert Optics Planisphere	1.25	4.00	18	1.50			1.21	-
Siebert Optics Planisphere	1.25	4.50	18	1.80			1.36	-
Siebert Optics Planisphere	1.25	5.00	18	1.90			1.51	-
Siebert Optics Planisphere	1.25	6.00	18	1.90			1.82	-
Siebert Optics Planisphere	1.25	6.50	18	2.40			1.97	-
Siebert Optics Planisphere	1.25	7.50	18	2.40			2.27	1.3
Siebert Optics Star Splitter	1.25	2.90	60	12.00			2.93	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	3.40	60	12.00			3.43	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	3.90	60	12.00			3.94	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	4.40	60	12.00			4.44	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	4.40	60	12.00			4.44	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	4.90	60	12.00			4.95	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	5.90	60	12.00			5.96	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	6.40	60	12.00			6.46	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	6.90	60	12.00			6.97	-
Siebert Optics Star Splitter	1.25	7.40	60	12.00			7.47	1.2
Siebert Optics Star Splitter	1.25	7.90	60	12.00			7.98	1.3
Siebert Optics Star Splitter	1.25	8.90	60	12.00			8.98	1.5
Siebert Optics Star Splitter	1.25	9.40	60	12.00			9.49	1.6
Siebert Optics Star Splitter	1.25	9.90	60	12.00			9.99	1.7
Siebert Optics Ultra	DUAL	7.00	70	20.00			8.24	-
Siebert Optics Ultra	DUAL	9.00	70	20.00			10.60	1.5
Siebert Optics Ultra	DUAL	11.00	70	20.00			12.96	1.8
Siebert Optics Ultra	DUAL	13.00	70	20.00			15.31	2.2
Siebert Optics Ultra	DUAL	15.00	70	20.00			17.67	2.5
Siebert Optics Ultra	DUAL	17.00	70	20.00			20.02	2.8
Siebert Optics Ultra	DUAL	18.00	70	20.00			21.20	3.0
Siebert Optics Ultra	DUAL	19.00	70	20.00			22.38	3.2

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Siebert Optics Ultra	DUAL	24.00	65	20.00			26.25	4.0
Siebert Optics Ultra	DUAL	27.00	60	20.00			27.26	4.5
Siebert Optics Ultra	DUAL	28.00	58	20.00			27.32	4.7
Siebert Telescope Optics	1.25	12.50	65	10.00			13.67	2.1
Siebert Telescope Optics	1.25	18.00	65	10.00			19.69	3.0
Siebert Telescope Optics	1.25	21.00	80	10.00			28.27	3.5
Siebert Telescope Optics	1.25	29.00	50	25.00			24.40	4.8
Siebert Telescope Optics	2	32.00	67	25.00			36.07	5.3
Siebert Telescope Optics	2	35.00	65	25.00			38.28	5.8
Siebert Telescope Optics	2	45.00	62	25.00			46.94	7.5
Siebert Telescope Optics	3	45.00	65	25.00			49.21	7.5
Sky Watcher Aero ED	2	30.00	68	16.70			34.32	5.0
Sky Watcher Aero ED	2	35.00	68	17.50			40.04	5.8
Sky Watcher Aero ED	2	40.00	68	20.00			45.76	6.7
Sky Watcher Cross Hair Reticle	1.25	12.50	40	15.00			8.41	2.1
Sky Watcher Extra Flat	1.25	16.00	60	17.00			16.15	2.7
Sky Watcher Extra Flat	1.25	19.00	65	19.00			20.78	3.2
Sky Watcher Extra Flat	1.25	27.00	53	23.00			24.08	4.5
Sky Watcher Kellner	1.25	6.30	50	5.50			5.30	-
Sky Watcher Kellner	1.25	10.00	50	8.70			8.41	1.7
Sky Watcher Kellner	1.25	12.50	50	10.90			10.52	2.1
Sky Watcher Kellner	1.25	17.00	50	14.80			14.30	2.8
Sky Watcher Kellner	1.25	25.00	50	21.80			21.03	4.2
Sky Watcher LE	1.25	5.00	50	20.00			4.21	-
Sky Watcher LE	1.25	9.00	50	20.00			7.57	1.5
Sky Watcher LE	1.25	15.00	50	20.00			12.62	2.5
Sky Watcher LE	1.25	20.00	50	20.00			16.82	3.3
Sky Watcher LE	1.25	25.00	50	20.00			21.03	4.2
Sky Watcher LET / LER	1.25	2.00	45	20.00			1.51	-
Sky Watcher LET / LER	1.25	5.00	45	20.00			3.79	-
Sky Watcher LET / LER	1.25	9.00	50	20.00			7.57	1.5
Sky Watcher LET / LER	1.25	15.00	50	20.00			12.62	2.5
Sky Watcher LET / LER	1.25	20.00	50	20.00			16.82	3.3
Sky Watcher LET / LER	1.25	25.00	50	20.00			21.03	4.2
Sky Watcher LET / LER	2	28.00	56	20.00			26.38	4.7
Sky Watcher LET / LER	2	35.00	56	20.00			32.98	5.8
Sky Watcher LET / LER	2	42.00	52	20.00			36.75	7.0
Sky Watcher Myriad	DUAL	3.50	110	15.00	10.50	172	6.48	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Sky Watcher Myriad	DUAL	5.00	110	15.00	13.00	149	9.25	-
Sky Watcher Myriad	DUAL	9.00	100	13.00	15.70	100	15.14	1.5
Sky Watcher Myriad	2	20.00	100	15.00	37.00	106	33.65	3.3
Sky Watcher Nirvana	1.25	4.00	82	12.00			5.52	-
Sky Watcher Nirvana	1.25	7.00	82	12.00			9.66	-
Sky Watcher Nirvana	1.25	16.00	82	12.00			22.07	2.7
Sky Watcher Nirvana	2	28.00	82	18.00			38.63	4.7
Sky Watcher Panaview	2	26.00	70	20.00			30.62	4.3
Sky Watcher Panaview	2	32.00	70	24.00			37.69	5.3
Sky Watcher Panaview	2	38.00	70	28.00			44.75	6.3
Sky Watcher Planetary	1.25	2.50	58	16.00			2.44	-
Sky Watcher Planetary	1.25	4.00	58	16.00			3.90	-
Sky Watcher Planetary	1.25	5.00	58	16.00			4.88	-
Sky Watcher Planetary	1.25	6.00	58	16.00			5.86	-
Sky Watcher Planetary	1.25	7.00	58	16.00			6.83	-
Sky Watcher Planetary	1.25	9.00	58	16.00			8.78	1.5
Sky Watcher Plössl	1.25	6.30	50	4.00			5.30	-
Sky Watcher Plössl	1.25	7.50	50	5.00			6.31	1.3
Sky Watcher Plössl	1.25	10.00	50	7.00			8.41	1.7
Sky Watcher Plössl	1.25	12.50	50	8.00			10.52	2.1
Sky Watcher Plössl	1.25	17.00	50	11.00			14.30	2.8
Sky Watcher Plössl	1.25	20.00	50	13.00			16.82	3.3
Sky Watcher Plössl	1.25	26.00	50	17.00			21.87	4.3
Sky Watcher Plössl	1.25	32.00	50	20.00			26.92	5.3
Sky Watcher Plössl	2	40.00	52	20.00			35.00	6.7
Sky Watcher Plössl Multi-Coated	1.25	6.30	50	10.00			5.30	-
Sky Watcher Plössl Multi-Coated	1.25	7.50	50	10.00			6.31	1.3
Sky Watcher Plössl Multi-Coated	1.25	10.00	50	10.00			8.41	1.7
Sky Watcher Plössl Multi-Coated	1.25	12.50	50	10.00			10.52	2.1
Sky Watcher Plössl Multi-Coated	1.25	17.00	50	10.00			14.30	2.8
Sky Watcher Plössl Multi-Coated	1.25	20.00	50	10.00			16.82	3.3
Sky Watcher Plössl Multi-Coated	1.25	25.00	50	10.00			21.03	4.2
Sky Watcher Sky Panorama	1.25	7.00	82	14.00			9.66	-
Sky Watcher Sky Panorama	1.25	15.00	82	14.00			20.69	2.5
Sky Watcher Sky Panorama	2	23.00	82	14.00			31.73	3.8
Sky Watcher Super MA	1.25	3.60	40	2.00			2.42	-
Sky Watcher Super MA	1.25	4.00	50	3.00			3.36	-
Sky Watcher Super MA	1.25	10.00	52	6.00			8.75	1.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Sky Watcher Super MA	1.25	20.00	52	12.00			17.50	3.3
Sky Watcher Super MA	1.25	25.00	50	15.00			21.03	4.2
Sky Watcher Super PL	1.25	6.30	52	4.00			5.51	-
Sky Watcher Super PL	1.25	7.50	52	5.00			6.56	1.3
Sky Watcher Super PL	1.25	10.00	52	7.00			8.75	1.7
Sky Watcher Super PL	1.25	12.50	52	9.00			10.94	2.1
Sky Watcher Super PL	1.25	17.00	52	12.00			14.87	2.8
Sky Watcher Super PL	1.25	20.00	52	14.00			17.50	3.3
Sky Watcher Super PL	1.25	26.00	52	18.00			22.75	4.3
Sky Watcher Super PL	1.25	32.00	52	22.00			28.00	5.3
Sky Watcher Super PL	2	40.00	44	27.00			29.61	6.7
Sky Watcher Super Wide	DUAL	3.50	70	20.60			4.12	-
Sky Watcher Super Wide	DUAL	5.00	70	20.60			5.89	-
Sky Watcher Super Wide	DUAL	8.00	70	20.60			9.42	1.3
Sky Watcher Super Wide	DUAL	13.00	70	20.60			15.31	2.2
Sky Watcher Super Wide	DUAL	17.00	70	20.60			20.02	2.8
Sky Watcher Super Wide	2	22.00	70	20.60			25.91	3.7
Sky Watcher Super Wide	2	32.00	70	20.60			37.69	5.3
Sky Watcher UWA	1.25	6.00	66	14.80	8.00	76	6.66	-
Sky Watcher UWA	1.25	9.00	66	15.00	15.00	95	9.99	1.5
Sky Watcher UWA	1.25	15.00	66	13.00	17.00	65	16.66	2.5
Sky Watcher UWA	1.25	20.00	66	18.00	23.50	67	22.21	3.3
Sky Watcher UWA	2	15.00	80	20.00			20.19	2.5
Sky Watcher UWA	2	20.00	80	20.00			26.92	3.3
Sky Watcher UWA	2	30.00	80	20.00			40.38	5.0
Sky Watcher Zoom 8/24 (@8mm)	1.25	8.00	60	18.00			8.08	1.3
Sky Watcher Zoom 8/24 (@24mm)	1.25	24.00	40	15.00			16.15	4.0
SkyStar Plössl	1.25	5.00	46	10.00			3.87	-
SkyStar Plössl	1.25	6.00	50	10.00			5.05	-
SkyStar Plössl	1.25	10.00	50	10.00			8.41	1.7
SkyStar Plössl	1.25	20.00	46	10.00			15.48	3.3
Smart Astronomy Extra Flat Field	1.25	16.00	60	17.00			16.15	2.7
Smart Astronomy Extra Flat Field	1.25	19.00	65	19.00			20.78	3.2
Smart Astronomy Extra Flat Field	1.25	27.00	53	23.00			24.08	4.5
Smart Astronomy Solar System LER	1.25	3.00	55	20.00			2.78	-
Smart Astronomy Solar System LER	1.25	5.00	55	20.00			4.63	-
Smart Astronomy Solar System LER	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Smart Astronomy Solar System LER	1.25	9.00	55	20.00			8.33	1.5

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima (4)
Smart Astronomy Solar System LER	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Smart Astronomy Solar System LER	1.25	14.50	55	20.00			13.42	2.4
Smart Astronomy Solar System LER	1.25	18.00	55	20.00			16.66	3.0
Smart Astronomy Sterling Plössl	1.25	4.00	55	2.40			3.70	-
Smart Astronomy Sterling Plössl	1.25	6.00	55	3.60			5.55	-
Smart Astronomy Sterling Plössl	1.25	12.50	55	7.50			11.57	2.1
Smart Astronomy Sterling Plössl	1.25	17.00	55	10.20			15.73	2.8
Smart Astronomy Sterling Plössl	1.25	20.00	55	12.00			18.51	3.3
Smart Astronomy Sterling Plössl	1.25	25.00	55	15.00			23.13	4.2
Smart Astronomy Sterling Plössl	1.25	30.00	55	18.00			27.76	5.0
Smart Astronomy Sterling Plössl	1.25	40.00	55	24.00			29.75	6.7
StellarVue Optimus	DUAL	3.60	110	15.00			6.66	-
StellarVue Optimus	DUAL	4.70	110	15.00			8.70	-
StellarVue Optimus	DUAL	9.00	100	15.00			15.14	1.5
StellarVue Optimus	2	20.00	100	15.00			33.65	3.3
StellarVue Planetary	1.25	2.90	53	20.00			2.59	-
StellarVue Planetary	1.25	4.90	53	20.00			4.37	-
StellarVue Planetary	1.25	6.10	53	20.00			5.44	-
StellarVue Plössl	1.25	9.00	52	6.00	7.50	48	7.87	1.5
StellarVue Plössl	1.25	25.00	52	22.00	21.50	49	21.87	4.2
StellarVue Ultra Wide	1.25	4.00	82	12.00	7.50	107	5.52	-
StellarVue Ultra Wide	1.25	8.00	82	12.00	13.60	97	11.04	1.3
StellarVue Ultra Wide	1.25	15.00	82	12.00	25.00	95	20.69	2.5
Sterling Plössl	1.25	4.00	55	2.40			3.70	-
Sterling Plössl	1.25	6.00	55	3.60			5.55	-
Sterling Plössl	1.25	12.50	55	7.50			11.57	2.1
Sterling Plössl	1.25	17.00	55	10.20			15.73	2.8
Sterling Plössl	1.25	20.00	55	12.00			18.51	3.3
Sterling Plössl	1.25	25.00	55	15.00			23.13	4.2
Sterling Plössl	2	30.00	55	18.00			27.76	5.0
Sterling Plössl	2	40.00	55	24.00			37.01	6.7
Surplus Shed Erfle	2	26.00	60	20.00			26.25	4.3
Surplus Shed Erfle	2	38.00	60	16.00			38.36	6.3
Surplus Shed Wollensak	2	10.00	60	11.00			10.09	1.7
Surplus Shed Wollensak	2	12.50	55	10.00			11.57	2.1
Surplus Shed Wollensak	2	30.00	80	22.00			40.38	5.0
Surplus Shed Wollensak	2	48.00	55	20.00			44.42	8.0
Surplus Shed Wollensak	2	51.00	60	35.00			48.80	8.5

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Svbony SWA 72 Series	2	34.00	72	24.00	40.00	67	41.19	5.7
Takahashi Abbe Orthoscopic	0.965	2.80	40	4.00			1.88	-
Takahashi Abbe Orthoscopic	0.965	4.00	40	6.00			2.69	-
Takahashi Abbe Orthoscopic	0.965	5.00	40	4.00			3.36	-
Takahashi Abbe Orthoscopic	0.965	7.00	40	6.00			4.71	-
Takahashi Abbe Orthoscopic	0.965	9.00	40	7.00			6.06	1.5
Takahashi Abbe Orthoscopic	0.965	18.00	40	15.00			12.11	3.0
Takahashi Abbe Orthoscopic	0.965	25.00	40	22.00			16.82	4.2
Takahashi LE	1.25	2.80	42	5.80			1.98	-
Takahashi LE	1.25	3.60	40	7.50			2.42	-
Takahashi LE	1.25	5.00	52	10.00			4.37	-
Takahashi LE	1.25	7.50	52	10.00			6.56	1.3
Takahashi LE	1.25	10.00	52	6.20			8.75	1.7
Takahashi LE	1.25	12.50	52	9.00	11.00	50	10.94	2.1
Takahashi LE	1.25	18.00	52	13.00	16.00	51	15.75	3.0
Takahashi LE	1.25	24.00	52	17.00	22.00	53	21.00	4.0
Takahashi LE	1.25	25.00	52	20.00			21.87	4.2
Takahashi LE	1.25	30.00	52	20.00	27.00	52	26.25	5.0
Takahashi LE	2	50.00	50	40.00	43.00	49	42.06	8.3
Takahashi LER ED	1.25	2.80	42	5.80	7.50	153	1.98	-
Takahashi LER ED	1.25	3.60	40	7.50	7.50	119	2.42	-
Takahashi LER ED	1.25	5.00	52	10.00	8.10	93	4.37	-
Takahashi LER ED	1.25	7.50	52	10.00	8.40	64	6.56	1.3
Takahashi LER ED	1.25	10.00	52	10.00			8.75	1.7
Takahashi LER ED	1.25	12.50	52	9.00	11.00	50	10.94	2.1
Takahashi LER ED	1.25	18.00	52	13.00	16.00	51	15.75	3.0
Takahashi LER ED	1.25	24.00	52	17.00	25.10	60	21.00	4.0
Takahashi LER ED	1.25	30.00	52	20.00	29.00	55	26.25	5.0
Takahashi Ultra Wide	1.25	3.30	90	12.00			5.00	-
Takahashi Ultra Wide	1.25	5.70	90	12.00			8.63	-
Takahashi Ultra Wide	1.25	7.00	90	12.00			10.60	-
Takahashi Ultra Wide	1.25	10.00	90	12.00			15.14	1.7
TAL Super Plössl	1.25	6.30	45	6.00			4.77	-
TAL Super Plössl	1.25	7.50	45	6.00			5.68	1.3
TAL Super Plössl	1.25	10.00	45	7.50			7.57	1.7
TAL Super Plössl	1.25	12.50	45	10.00			9.46	2.1
TAL Super Plössl	1.25	17.00	45	11.00			12.87	2.8
TAL Super Plössl	1.25	20.00	45	14.00			15.14	3.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
TAL Super Plössl	1.25	25.00	45	18.70			18.93	4.2
TAL Super Plössl	1.25	32.00	45	22.00			24.23	5.3
TAL Super Plössl	1.25	40.00	45	32.00			29.75	6.7
TAL Super Plössl	2	24.00	80	10.00			32.30	4.0
TAL SWA	1.25	10.00	65	6.50			10.94	1.7
TAL SWA	1.25	15.00	65	9.80			16.40	2.5
TAL SWA	1.25	20.00	65	13.00			21.87	3.3
TAL UWA	1.25	15.00	80	7.30			20.19	2.5
TAL UWA	2	20.00	80	9.80			26.92	3.3
TAL UWA	2	24.00	80	11.60			32.30	4.0
TAL UWA	2	25.00	80	12.20			33.65	4.2
Tele Vue Apollo	DUAL	11.00	85	18.00	16.20	84	15.73	1.8
Tele Vue DeLite	1.25	3.00	62	20.00	3.20	61	3.13	-
Tele Vue DeLite	1.25	4.00	62	20.00	4.30	62	4.17	-
Tele Vue DeLite	1.25	5.00	62	20.00	5.30	61	5.22	-
Tele Vue DeLite	1.25	7.00	62	20.00	7.50	61	7.30	-
Tele Vue DeLite	1.25	9.00	62	20.00	9.60	61	9.39	1.5
Tele Vue DeLite	1.25	11.00	62	20.00	11.70	61	11.47	1.8
Tele Vue DeLite	1.25	13.00	62	20.00	13.80	61	13.56	2.2
Tele Vue DeLite	1.25	15.00	62	20.00	16.00	61	15.65	2.5
Tele Vue DeLite	1.25	18.20	62	20.00	19.10	60	18.99	3.0
Tele Vue Delos SWA	1.25	3.50	72	20.00	4.40	72	4.24	-
Tele Vue Delos SWA	1.25	4.50	72	20.00	5.60	71	5.45	-
Tele Vue Delos SWA	1.25	6.00	72	20.00	7.60	73	7.27	-
Tele Vue Delos SWA	1.25	8.00	72	20.00	9.90	71	9.69	1.3
Tele Vue Delos SWA	1.25	10.00	72	20.00	12.70	73	12.11	1.7
Tele Vue Delos SWA	1.25	12.00	72	20.00	15.00	72	14.54	2.0
Tele Vue Delos SWA	1.25	14.00	72	20.00	17.30	71	16.96	2.3
Tele Vue Delos SWA	1.25	17.30	72	20.00	21.20	70	20.96	2.9
Tele Vue Ethos SX	DUAL	3.70	110	15.00	7.04	109	6.85	-
Tele Vue Ethos SX	DUAL	4.70	110	15.00	8.94	109	8.70	-
Tele Vue Ethos UWA	DUAL	6.00	100	15.00	10.40	99	10.09	-
Tele Vue Ethos UWA	DUAL	8.00	100	15.00	13.90	100	13.46	1.3
Tele Vue Ethos UWA	DUAL	10.00	100	15.00	17.70	101	16.82	1.7
Tele Vue Ethos UWA	DUAL	13.00	100	15.00	22.30	98	21.87	2.2
Tele Vue Ethos UWA	2	17.00	100	15.00	29.60	100	28.60	2.8
Tele Vue Ethos UWA	2	21.00	100	15.00	36.20	99	35.33	3.5
Tele Vue Nagler T1 UWA	1.25	4.80	82	7.00	6.60	79	6.62	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Tele Vue Nagler T1 UWA	1.25	7.00	82	10.00	9.40	77	9.66	-
Tele Vue Nagler T1 UWA	DUAL	9.00	82	12.00	12.30	78	12.42	1.5
Tele Vue Nagler T1 UWA	DUAL	11.00	82	15.00	14.90	78	15.18	1.8
Tele Vue Nagler T1 UWA	DUAL	13.00	82	18.00	17.80	78	17.94	2.2
Tele Vue Nagler T2 UWA	DUAL	12.00	82	11.00	16.40	78	16.56	2.0
Tele Vue Nagler T2 UWA	DUAL	16.00	82	10.00	21.90	78	22.07	2.7
Tele Vue Nagler T2 UWA	2	20.00	82	12.00	27.40	78	27.59	3.3
Tele Vue Nagler T4 UWA	DUAL	12.00	82	17.00	17.10	82	16.56	2.0
Tele Vue Nagler T4 UWA	2	17.00	82	17.00	24.30	82	23.45	2.8
Tele Vue Nagler T4 UWA	2	22.00	82	19.00	31.10	81	30.35	3.7
Tele Vue Nagler T5 UWA	1.25	16.00	82	10.00	22.10	79	22.07	2.7
Tele Vue Nagler T5 UWA	2	20.00	82	12.00	27.40	78	27.59	3.3
Tele Vue Nagler T5 UWA	2	26.00	82	16.00	35.00	77	35.87	4.3
Tele Vue Nagler T5 UWA	2	31.00	82	19.00	42.00	78	42.77	5.2
Tele Vue Nagler T6 UWA	1.25	2.50	82	12.00	3.40	78	3.45	-
Tele Vue Nagler T6 UWA	1.25	3.50	82	12.00	4.80	79	4.83	-
Tele Vue Nagler T6 UWA	1.25	5.00	82	12.00	7.00	80	6.90	-
Tele Vue Nagler T6 UWA	1.25	7.00	82	12.00	9.70	79	9.66	-
Tele Vue Nagler T6 UWA	1.25	9.00	82	12.00	12.40	79	12.42	1.5
Tele Vue Nagler T6 UWA	1.25	11.00	82	12.00	14.90	78	15.18	1.8
Tele Vue Nagler T6 UWA	1.25	12.00	82	17.00	17.10	82	16.56	2.0
Tele Vue Nagler T6 UWA	1.25	13.00	82	11.00	17.60	78	17.94	2.2
Tele Vue Nagler Zoom 2/4 (@2mm)	1.25	2.00	50	10.00	1.70	49	1.68	-
Tele Vue Nagler Zoom 2/4 (@3mm)	1.25	3.00	50	10.00			2.52	-
Tele Vue Nagler Zoom 2/4 (@4mm)	1.25	4.00	50	10.00	3.30	47	3.36	-
Tele Vue Nagler Zoom 3/6 (@3mm)	1.25	3.00	52	10.00	2.60	50	2.62	-
Tele Vue Nagler Zoom 3/6 (@4mm)	1.25	4.00	52	10.00			3.50	-
Tele Vue Nagler Zoom 3/6 (@5mm)	1.25	5.00	52	10.00			4.37	-
Tele Vue Nagler Zoom 3/6 (@6mm)	1.25	6.00	52	10.00	5.10	49	5.25	-
Tele Vue Nagler Zoom 8/24 (@24mm)	1.25	24.00	40	15.00	16.70	40	16.15	4.0
Tele Vue Nagler Zoom 8/24 (@8mm)	1.25	8.00	55	15.00	7.60	54	7.40	1.3
Tele Vue Panoptic SWA	1.25	15.00	68	10.00	17.10	65	17.16	2.5
Tele Vue Panoptic SWA	1.25	19.00	68	13.00	21.30	64	21.74	3.2
Tele Vue Panoptic SWA	1.25	24.00	68	15.00	27.00	64	27.46	4.0
Tele Vue Panoptic SWA	DUAL	22.00	68	15.00	25.00	65	25.17	3.7
Tele Vue Panoptic SWA	2	27.00	68	19.00	30.50	65	30.89	4.5
Tele Vue Panoptic SWA	2	35.00	68	24.00	38.70	63	40.04	5.8
Tele Vue Panoptic SWA	2	41.00	68	27.00	46.00	64	46.91	6.8

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	7.40	50	5.00	6.20	48	6.23	1.2
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	8.00	50	6.00	6.50	47	6.73	1.3
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	10.50	50	7.00	8.70	47	8.83	1.8
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	11.00	50	8.00	9.10	47	9.25	1.8
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	13.00	50	9.00	10.90	48	10.94	2.2
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	15.00	50	10.00	12.60	48	12.62	2.5
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	17.00	50	12.00	14.30	48	14.30	2.8
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	20.00	50	14.00	17.10	49	16.82	3.3
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	21.00	50	14.00	18.10	49	17.67	3.5
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	25.00	50	17.00	21.20	49	21.03	4.2
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	25.00	50	17.00	21.10	48	21.03	4.2
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	26.00	50	18.00	21.10	46	21.87	4.3
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	32.00	50	22.00	27.00	48	26.92	5.3
<i>Tele Vue Plössl</i>	1.25	40.00	43	28.00	27.00	39	28.94	6.7
<i>Tele Vue Plössl</i>	2	55.00	50	38.00	46.00	48	46.27	9.2
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	3.00	62	20.00	3.30	63	3.13	-
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	4.00	62	20.00	4.20	60	4.17	-
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	5.00	62	20.00	5.30	61	5.22	-
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	6.00	62	20.00	6.30	60	6.26	-
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	8.00	62	20.00	8.30	59	8.35	1.3
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	10.00	62	20.00	10.50	60	10.43	1.7
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	12.00	62	20.00	12.60	60	12.52	2.0
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	14.00	62	20.00	14.40	59	14.60	2.3
<i>Tele Vue Radian Wide Angle</i>	1.25	18.00	60	20.00	18.30	58	18.17	3.0
<i>Tele Vue Wide Field / Wide Angle</i>	1.25	15.00	65	9.00	15.40	59	16.40	2.5
<i>Tele Vue Wide Field / Wide Angle</i>	1.25	19.00	65	11.00	19.60	59	20.78	3.2
<i>Tele Vue Wide Field / Wide Angle</i>	1.25	24.00	65	14.00	24.70	59	26.25	4.0
<i>Tele Vue Wide Field / Wide Angle</i>	2	32.00	65	19.00	33.00	59	35.00	5.3
<i>Tele Vue Wide Field / Wide Angle</i>	2	40.00	65	23.00	41.20	59	43.74	6.7
<i>Telescope Service Abbe Orthoscopic</i>	1.25	4.80	46	4.20			3.71	-
<i>Telescope Service Abbe Orthoscopic</i>	1.25	7.70	46	6.50			5.96	1.3
<i>Telescope Service Abbe Orthoscopic</i>	1.25	10.50	46	7.20			8.13	1.8
<i>Telescope Service Abbe Orthoscopic</i>	1.25	16.80	46	15.50			13.00	2.8
<i>Telescope Service Abbe Orthoscopic</i>	1.25	24.00	46	20.50			18.57	4.0
<i>Telescope Service Edge-On Flat Field</i>	1.25	8.00	60	9.00			8.08	1.3
<i>Telescope Service Edge-On Flat Field</i>	1.25	12.00	60	12.00			12.11	2.0
<i>Telescope Service Edge-On Flat Field</i>	1.25	16.00	60	17.00			16.15	2.7
<i>Telescope Service Edge-On Flat Field</i>	1.25	19.00	65	17.00			20.78	3.2

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Telescope Service Edge-On Flat Field	1.25	27.00	53	21.00			24.08	4.5
Telescope Service Expanse ED	DUAL	3.50	70	20.00			4.12	-
Telescope Service Expanse ED	DUAL	5.00	70	20.00			5.89	-
Telescope Service Expanse ED	DUAL	8.00	70	20.00			9.42	1.3
Telescope Service Expanse ED	DUAL	13.00	70	20.00			15.31	2.2
Telescope Service Expanse ED	DUAL	17.00	70	20.00			20.02	2.8
Telescope Service Expanse ED	DUAL	22.00	70	20.00			25.91	3.7
Telescope Service Expanse NED Flat Field	1.25	5.00	60	16.00			5.05	-
Telescope Service Expanse NED Flat Field	1.25	8.00	60	16.00			8.08	1.3
Telescope Service Expanse NED Flat Field	1.25	12.00	60	16.00			12.11	2.0
Telescope Service Expanse NED Flat Field	1.25	15.00	60	16.00			15.14	2.5
Telescope Service Expanse NED Flat Field	1.25	18.00	60	16.00			18.17	3.0
Telescope Service Expanse NED Flat Field	1.25	25.00	60	16.00			25.24	4.2
Telescope Service Optics ED	1.25	3.20	60	16.00			3.23	-
Telescope Service Optics ED	1.25	5.00	60	16.00			5.05	-
Telescope Service Optics ED	1.25	8.00	60	16.00			8.08	1.3
Telescope Service Optics ED	1.25	12.00	60	16.00			12.11	2.0
Telescope Service Optics ED	1.25	15.00	60	16.00			15.14	2.5
Telescope Service Optics ED	1.25	18.00	60	16.00			18.17	3.0
Telescope Service Optics ED	1.25	25.00	60	16.00			25.24	4.2
Telescope Service Optics Paragon (@2")	2	30.00	69	16.70			34.83	5.0
Telescope Service Optics Paragon (@2")	2	35.00	69	17.50			40.63	5.8
Telescope Service Optics Paragon (@2")	2	40.00	69	20.00			46.44	6.7
Telescope Service Optics SWA	1.25	5.00	100	16.00			8.41	-
Telescope Service Optics SWA	1.25	10.00	100	16.00			16.82	1.7
Telescope Service Optics SWA	2	15.00	100	16.00			25.24	2.5
Telescope Service Optics SWA	2	21.00	100	16.00			35.33	3.5
Telescope Service Optics UWA (66)	1.25	6.00	66	14.80			6.66	-
Telescope Service Optics UWA (66)	1.25	9.00	66	15.00			9.99	1.5
Telescope Service Optics UWA (66)	1.25	15.00	66	15.00			16.66	2.5
Telescope Service Optics UWA (66)	1.25	20.00	66	15.00			22.21	3.3
Telescope Service Optics UWA (82)	1.25	4.00	82	12.00			5.52	-
Telescope Service Optics UWA (82)	1.25	7.00	82	12.00			9.66	-
Telescope Service Optics UWA (82)	1.25	16.00	82	12.00			22.07	2.7
Telescope Service Optics WA	1.25	8.00	70	9.00	11.00	79	9.42	1.3
Telescope Service Optics WA	1.25	12.00	60	10.00	13.00	62	12.11	2.0
Telescope Service Optics WA	1.25	17.00	70	15.00	20.00	67	20.02	2.8
Telescope Service Optics WA	1.25	20.00	70	17.00	25.00	72	23.55	3.3

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS₀ (3) <i>[mm]</i>	F_{mínima} (4)
Telescope Service Optics XWA	DUAL	3.50	110	15.00	10.50	172	6.48	-
Telescope Service Optics XWA	DUAL	5.00	110	15.00	13.00	149	9.25	-
Telescope Service Optics XWA	DUAL	9.00	100	15.00	15.70	100	15.14	1.5
Telescope Service Parangon ED	1.25	3.80	50	20.00			3.20	-
Telescope Service Parangon ED	1.25	5.20	50	20.00			4.37	-
Telescope Service Parangon ED	1.25	7.50	50	20.00			6.31	1.3
Telescope Service Parangon ED	1.25	9.50	50	20.00			7.99	1.6
Telescope Service Parangon ED	1.25	12.50	50	20.00			10.52	2.1
Telescope Service Parangon ED	1.25	14.00	50	20.00			11.78	2.3
Telescope Service Parangon ED	1.25	18.00	50	20.00			15.14	3.0
Telescope Service Parangon ED	1.25	21.00	50	20.00			17.67	3.5
Telescope Service Parangon ED	1.25	25.00	50	20.00			21.03	4.2
Telescope Service Planetary HR	1.25	2.50	60	16.00			2.52	-
Telescope Service Planetary HR	1.25	3.20	60	16.00			3.23	-
Telescope Service Planetary HR	1.25	4.00	60	16.00			4.04	-
Telescope Service Planetary HR	1.25	5.00	60	16.00			5.05	-
Telescope Service Planetary HR	1.25	6.00	60	16.00			6.06	-
Telescope Service Planetary HR	1.25	7.00	60	16.00			7.07	-
Telescope Service Planetary HR	1.25	8.00	60	16.00			8.08	1.3
Telescope Service Planetary HR	1.25	9.00	60	16.00			9.09	1.5
Telescope Service Planetary HR	1.25	15.00	60	16.00			15.14	2.5
Telescope Service Planetary HR	1.25	20.00	60	16.00			20.19	3.3
Telescope Service Planetary HR	1.25	25.00	60	16.00			25.24	4.2
Telescope Service Plössl	1.25	4.00	50	2.70			3.36	-
Telescope Service Plössl	1.25	6.50	50	4.40			5.47	-
Telescope Service Plössl	1.25	10.00	50	6.80			8.41	1.7
Telescope Service Plössl	1.25	12.50	50	8.50			10.52	2.1
Telescope Service Plössl	1.25	17.00	50	11.60			14.30	2.8
Telescope Service Plössl	1.25	20.00	50	13.60			16.82	3.3
Telescope Service Plössl	1.25	25.00	50	17.00			21.03	4.2
Telescope Service Plössl	1.25	30.00	50	20.40			25.24	5.0
Telescope Service Plössl	1.25	32.00	50	21.80			26.92	5.3
Telescope Service Plössl	1.25	40.00	46	27.20			29.75	6.7
Telescope Service RK	2	26.00	65	18.00			28.43	4.3
Telescope Service RK	2	32.00	65	30.00			35.00	5.3
Telescope Service RK	2	40.00	56	30.00			37.69	6.7
Telescope Service Super Plössl	1.25	4.00	52	2.70			3.50	-
Telescope Service Super Plössl	1.25	6.00	52	4.10			5.25	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Telescope Service Super Plössl	1.25	9.00	52	6.10			7.87	1.5
Telescope Service Super Plössl	1.25	12.00	52	8.20			10.50	2.0
Telescope Service Super Plössl	1.25	15.00	52	10.20			13.12	2.5
Telescope Service Super Plössl	1.25	20.00	52	13.60			17.50	3.3
Telescope Service Super Plössl	1.25	25.00	52	17.00			21.87	4.2
Telescope Service Super Plössl	1.25	32.00	52	21.80			28.00	5.3
Telescope Service Super Plössl	1.25	40.00	46	27.20			29.75	6.7
Telescope Service SWM	1.25	6.00	66	14.80			6.66	-
Telescope Service SWM	1.25	6.00	66	17.00			6.66	-
Telescope Service SWM	1.25	9.00	66	14.80			9.99	1.5
Telescope Service SWM	1.25	9.00	66	17.00			9.99	1.5
Telescope Service SWM	1.25	15.00	66	13.00			16.66	2.5
Telescope Service SWM	1.25	15.00	66	13.00			16.66	2.5
Telescope Service SWM	1.25	20.00	66	18.00			22.21	3.3
Telescope Service SWM	1.25	20.00	66	16.00			22.21	3.3
Telescope Service WA	2	26.00	70	13.00			30.62	4.3
Telescope Service WA	2	30.00	68	15.00			34.32	5.0
Telescope Service WA	2	32.00	67	16.00			36.07	5.3
Telescope Service WA	2	38.00	70	18.00			44.75	6.3
Telescope Service WA	2	42.00	60	20.00			42.40	7.0
Telescope Service WA	2	50.00	55	22.00			46.27	8.3
TMB 100	DUAL	9.00	100	12.00			15.14	1.5
TMB 100	2	16.00	100	12.00			26.92	2.7
TMB Aspheric Orthoscopic	1.25	25.00	54	20.00	24.00	55	22.71	4.2
TMB Burgess Planetary	1.25	4.00	60	16.00			4.04	-
TMB Burgess Planetary	1.25	8.00	60	16.00			8.08	1.3
TMB Paragon UWA	2	30.00	69	16.00			34.83	5.0
TMB Paragon UWA	2	40.00	69	16.00			46.44	6.7
TMB Paragon	2	30.00	69	16.00	36.00	69	34.83	5.0
TMB Paragon	2	40.00	69	16.00	46.00	66	46.44	6.7
TMB Planetary II Wide Angle	1.25	2.50	58	14.00			2.44	-
TMB Planetary II Wide Angle	1.25	3.20	58	12.00			3.12	-
TMB Planetary II Wide Angle	1.25	4.00	58	12.00			3.90	-
TMB Planetary II Wide Angle	1.25	5.00	58	12.00			4.88	-
TMB Planetary II Wide Angle	1.25	6.00	58	12.00			5.86	-
TMB Planetary II Wide Angle	1.25	7.00	58	12.00			6.83	-
TMB Planetary II Wide Angle	1.25	8.00	58	14.00			7.81	1.3
TMB Planetary II Wide Angle	1.25	9.00	58	12.00			8.78	1.5

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
TMB Supermonocentric	1.25	4.00	30	3.40	2.20	32	2.02	-
TMB Supermonocentric	1.25	5.00	30	4.30	2.70	31	2.52	-
TMB Supermonocentric	1.25	6.00	30	5.10	3.30	32	3.03	-
TMB Supermonocentric	1.25	7.00	30	6.00			3.53	-
TMB Supermonocentric	1.25	8.00	30	6.80	4.30	31	4.04	1.3
TMB Supermonocentric	1.25	9.00	30	7.70			4.54	1.5
TMB Supermonocentric	1.25	10.00	30	8.50	5.30	30	5.05	1.7
TMB Supermonocentric	1.25	12.00	30	10.20			6.06	2.0
TMB Supermonocentric	1.25	14.00	30	11.90			7.07	2.3
TMB Supermonocentric	1.25	16.00	30	16.60			8.08	2.7
TMB Supermonocentric	1.25	25.00	55	20.00	24.00	55	23.13	4.2
Unitron	0.965	30.00	88	10.00			22.51	5.0
Unitron Kellner/Ortho/Symmetrical Achromat	0.965	4.00	42	3.00			2.83	-
Unitron Kellner/Ortho/Symmetrical Achromat	0.965	6.00	42	5.00			4.24	-
Unitron Kellner/Ortho/Symmetrical Achromat	0.965	7.00	42	6.00			4.95	-
Unitron Kellner/Ortho/Symmetrical Achromat	0.965	9.00	45	6.00			6.81	1.5
Unitron Kellner/Ortho/Symmetrical Achromat	0.965	12.50	45	6.00			9.46	2.1
Unitron Kellner/Ortho/Symmetrical Achromat	0.965	18.00	45	8.00			13.63	3.0
Unitron Kellner/Ortho/Symmetrical Achromat	0.965	25.00	40	4.00			16.82	4.2
Unitron Kellner/Ortho/Symmetrical Achromat	1.25	40.00	45	26.00			29.75	6.7
University Optics 70	1.25	10.00	70	10.00			11.78	1.7
University Optics 70	1.25	15.00	70	13.00			17.67	2.5
University Optics 70	1.25	20.00	70	16.00			23.55	3.3
University Optics 70	2	26.00	70	20.00			30.62	4.3
University Optics 70	2	32.00	70	24.00			37.69	5.3
University Optics 70	2	38.00	70	28.00			44.75	6.3
University Optics 80	1.25	7.00	82	12.00			9.66	-
University Optics 80	1.25	11.00	80	9.00			14.81	1.8
University Optics 80	1.25	16.00	80	9.00			21.54	2.7
University Optics 80	1.25	16.00	82	12.00			22.07	2.7
University Optics Abbe HD Orthoscopic	1.25	5.00	43	4.00			3.62	-
University Optics Abbe HD Orthoscopic	1.25	6.00	43	4.80			4.34	-
University Optics Abbe HD Orthoscopic	1.25	7.00	42	5.60			4.95	-
University Optics Abbe HD Orthoscopic	1.25	9.00	42	7.20			6.36	1.5
University Optics Abbe HD Orthoscopic	1.25	12.50	44	10.00			9.25	2.1
University Optics Abbe HD Orthoscopic	1.25	18.00	46	14.40			13.93	3.0
University Optics Abbe Volcano Orthoscopic	1.25	4.00	41	3.50	3.40	49	2.76	-
University Optics Abbe Volcano Orthoscopic	1.25	5.00	43	4.00	4.00	46	3.62	-

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
University Optics Abbe Volcano Orthoscopic	1.25	6.00	43	4.80	4.90	47	4.34	-
University Optics Abbe Volcano Orthoscopic	1.25	7.00	42	5.60	6.10	50	4.95	-
University Optics Abbe Volcano Orthoscopic	1.25	9.00	42	7.20	7.60	48	6.36	1.5
University Optics Abbe Volcano Orthoscopic	1.25	12.50	44	10.00	10.40	48	9.25	2.1
University Optics Abbe Volcano Orthoscopic	1.25	18.00	46	14.40	15.20	48	13.93	3.0
University Optics Abbe Volcano Orthoscopic	1.25	25.00	47	20.00	22.20	51	19.77	4.2
University Optics König	1.25	6.50	60	8.00			6.56	-
University Optics König	1.25	8.00	60	8.00			8.08	1.3
University Optics König	1.25	12.00	60	8.00			12.11	2.0
University Optics König	1.25	16.00	68	9.00			18.31	2.7
University Optics König	1.25	24.00	60	10.00			24.23	4.0
University Optics König	1.25	32.00	52	10.00			28.00	5.3
University Optics König	2	32.00	60	10.00			32.30	5.3
University Optics König	2	40.00	60	10.00			40.38	6.7
University Optics König Erfle	1.25	16.00	65	16.00			17.50	2.7
University Optics König Erfle	1.25	20.00	65	16.00			21.87	3.3
University Optics König Erfle	1.25	25.00	60	16.00			25.24	4.2
University Optics König Plössl	1.25	12.00	60	10.00			12.11	2.0
University Optics König Plössl	1.25	14.00	65	10.00			15.31	2.3
University Optics König Plössl	1.25	16.00	65	10.00			17.50	2.7
University Optics König Plössl	1.25	24.00	60	10.00			24.23	4.0
University Optics König Plössl	1.25	32.00	52	10.00			28.00	5.3
University Optics König Plössl	2	32.00	45	10.00			24.23	5.3
University Optics König Plössl	2	55.00	50	10.00			46.27	9.2
University optics MK 70 König	2	25.00	70	10.00	29.00	66	29.44	4.2
University optics MK 70 König	2	40.00	70	10.00	45.00	64	47.11	6.7
University optics MK 80 König	2	32.00	80	20.00	46.00	82	43.07	5.3
University Optics Orthoscopic Planetary Series	1.25	9.00	42	7.20			6.36	1.5
University Optics Orthoscopic Planetary Series	1.25	12.50	44	10.00			9.25	2.1
University Optics Orthoscopic Planetary Series	1.25	18.00	46	14.40			13.93	3.0
University Optics Super Abbe Orthoscopic	1.25	4.80	46	4.00			3.71	-
University Optics Super Abbe Orthoscopic	1.25	7.70	46	6.00			5.96	1.3
University Optics Super Abbe Orthoscopic	1.25	10.50	46	9.00			8.13	1.8
University Optics Super Abbe Orthoscopic	1.25	16.80	46	14.00			13.00	2.8
University Optics Super Abbe Orthoscopic	1.25	24.00	46	20.00			18.57	4.0
University Optics Widescan II / III	2	20.00	80	20.00			26.92	3.3
University Optics Widescan II / III	2	30.00	80	22.00			40.38	5.0
University Optics Zebra König	1.25	24.00	60	10.00			24.23	4.0

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
University Optics Zebra König	1.25	32.00	52	17.00			28.00	5.3
University Optics Zebra König	2	32.00	60	20.00			32.30	5.3
University Optics Zebra König	2	40.00	60	20.00			40.38	6.7
Vernonscope Brandon	1.25	4.00	40	3.00			2.69	-
Vernonscope Brandon	1.25	6.00	40	5.00	4.40	42	4.04	-
Vernonscope Brandon	1.25	8.00	42	6.00	6.00	43	5.65	1.3
Vernonscope Brandon	1.25	12.00	42	9.00	8.90	42	8.48	2.0
Vernonscope Brandon	1.25	16.00	42	12.00	12.00	43	11.31	2.7
Vernonscope Brandon	1.25	24.00	53	18.00	22.00	53	21.40	4.0
Vernonscope Brandon	1.25	32.00	48	24.00	25.00	45	25.84	5.3
Vernonscope Brandon	2	48.00	46	36.00	37.00	44	37.15	8.0
Vixen AV	2	30.00	70	20.00			35.33	5.0
Vixen Erfle	2	32.00	60	10.00			32.30	5.3
Vixen HR	1.25	1.60	42	10.00			1.13	-
Vixen HR	1.25	2.00	42	10.00			1.41	-
Vixen HR	1.25	2.40	42	10.00			1.70	-
Vixen Kellner	1.25	4.00	50	30.60			3.36	-
Vixen Kellner	1.25	25.00	45	16.50			18.93	4.2
Vixen Kellner	2	60.00	40	10.00			40.38	10.0
Vixen Lanthanum LV	1.25	2.50	45	20.00			1.89	-
Vixen Lanthanum LV	1.25	4.00	45	20.00			3.03	-
Vixen Lanthanum LV	1.25	5.00	45	20.00			3.79	-
Vixen Lanthanum LV	1.25	6.00	45	20.00			4.54	-
Vixen Lanthanum LV	1.25	7.00	45	20.00			5.30	-
Vixen Lanthanum LV	1.25	9.00	50	20.00			7.57	1.5
Vixen Lanthanum LV	1.25	10.00	50	20.00			8.41	1.7
Vixen Lanthanum LV	1.25	12.00	50	20.00			10.09	2.0
Vixen Lanthanum LV	1.25	15.00	50	20.00			12.62	2.5
Vixen Lanthanum LV	1.25	20.00	50	20.00			16.82	3.3
Vixen Lanthanum LV	1.25	25.00	50	20.00			21.03	4.2
Vixen Lanthanum LV	1.25	40.00	42	20.00			28.27	6.7
Vixen Lanthanum LV	2	30.00	55	20.00			27.76	5.0
Vixen Lanthanum LV	2	50.00	45	22.00			37.86	8.3
Vixen Lanthanum LVW UWA	DUAL	3.50	65	20.00			3.83	-
Vixen Lanthanum LVW UWA	DUAL	5.00	65	20.00			5.47	-
Vixen Lanthanum LVW UWA	DUAL	8.00	65	20.00			8.75	1.3
Vixen Lanthanum LVW UWA	DUAL	13.00	65	20.00			14.22	2.2
Vixen Lanthanum LVW UWA	DUAL	17.00	65	20.00			18.59	2.8

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima (4)
Vixen Lanthanum LVW UWA	DUAL	22.00	65	20.00			24.06	3.7
Vixen Lanthanum LVW UWA	2	30.00	65	20.00			32.81	5.0
Vixen Lanthanum LVW UWA	2	42.00	65	20.00			45.93	7.0
Vixen Lanthanum Superwide	DUAL	5.00	65	20.00			5.47	-
Vixen NLV	1.25	3.50	45	20.00			2.65	-
Vixen NLV	1.25	4.00	45	20.00			3.03	-
Vixen NLV	1.25	5.00	45	20.00			3.79	-
Vixen NLV	1.25	6.00	45	20.00			4.54	-
Vixen NLV	1.25	9.00	50	20.00			7.57	1.5
Vixen NLV	1.25	10.00	50	20.00			8.41	1.7
Vixen NLV	1.25	12.00	50	20.00			10.09	2.0
Vixen NLV	1.25	15.00	50	20.00			12.62	2.5
Vixen NLV	1.25	20.00	50	20.00			16.82	3.3
Vixen NLV	1.25	25.00	50	20.00			21.03	4.2
Vixen NLV	1.25	40.00	42	32.00			28.27	6.7
Vixen NLV	2	50.00	42	38.00			35.33	8.3
Vixen NPL	1.25	4.00	50	2.30			3.36	-
Vixen NPL	1.25	6.00	50	3.00			5.05	-
Vixen NPL	1.25	8.00	50	4.50			6.73	1.3
Vixen NPL	1.25	10.00	50	6.50			8.41	1.7
Vixen NPL	1.25	15.00	50	11.00			12.62	2.5
Vixen NPL	1.25	20.00	50	15.00			16.82	3.3
Vixen NPL	1.25	25.00	50	19.50			21.03	4.2
Vixen NPL	1.25	30.00	50	24.00			25.24	5.0
Vixen NPL	1.25	40.00	40	36.00			26.92	6.7
Vixen Plössl	1.25	5.00	40	10.00			3.36	-
Vixen Plössl	1.25	7.50	46	10.00			5.80	1.3
Vixen Plössl	1.25	10.00	46	10.00			7.74	1.7
Vixen Plössl	1.25	15.00	47	10.00			11.86	2.5
Vixen Plössl	1.25	17.00	47	10.00			13.44	2.8
Vixen Plössl	1.25	22.00	47	10.00			17.40	3.7
Vixen Plössl	1.25	26.00	48	10.00			21.00	4.3
Vixen Plössl	1.25	45.00	31	10.00			23.47	7.5
Vixen SLV	1.25	2.50	50	20.00			2.10	-
Vixen SLV	1.25	4.00	50	20.00			3.36	-
Vixen SLV	1.25	5.00	50	20.00			4.21	-
Vixen SLV	1.25	6.00	50	20.00			5.05	-
Vixen SLV	1.25	9.00	50	20.00			7.57	1.5

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Vixen SLV	1.25	10.00	50	20.00			8.41	1.7
Vixen SLV	1.25	12.00	50	20.00			10.09	2.0
Vixen SLV	1.25	15.00	50	20.00			12.62	2.5
Vixen SLV	1.25	20.00	50	20.00			16.82	3.3
Vixen SLV	1.25	25.00	50	20.00			21.03	4.2
Vixen SSW	1.25	3.50	83	13.00			4.89	-
Vixen SSW	1.25	5.00	83	13.00			6.98	-
Vixen SSW	1.25	7.00	83	13.00			9.78	-
Vixen SSW	1.25	10.00	83	13.00			13.96	1.7
Vixen SSW	1.25	14.00	83	13.00			19.55	2.3
Williams Optics SPL Planetary	1.25	3.00	55	20.00			2.78	-
Williams Optics SPL Planetary	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Williams Optics SPL Planetary	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Williams Optics SWAN	1.25	9.00	72	12.00	13.00	83	10.90	1.5
Williams Optics SWAN	1.25	15.00	72	14.00	19.00	73	18.17	2.5
Williams Optics SWAN	1.25	20.00	72	17.00	26.00	74	24.23	3.3
Williams Optics SWAN	2	25.00	72	21.00	33.00	76	30.28	4.2
Williams Optics SWAN	2	33.00	72	25.00	41.00	71	39.98	5.5
Williams Optics SWAN	2	40.00	72	28.00	46.00	66	48.46	6.7
Williams Optics UWAN	1.25	4.00	82	12.00	6.00	86	5.52	-
Williams Optics UWAN	1.25	7.00	82	12.00	12.00	98	9.66	-
Williams Optics UWAN	1.25	16.00	82	12.00	28.60	102	22.07	2.7
Williams Optics UWAN	2	28.00	82	18.00	43.50	89	38.63	4.7
Williams Optics WA 66	1.25	20.00	66	10.00			22.21	3.3
Williams Optics XWA	DUAL	3.50	110	15.00			6.48	-
Williams Optics XWA	DUAL	5.00	110	15.00			9.25	-
Williams Optics XWA	2	9.00	101	15.00			15.29	1.5
Williams Optics XWA	2	20.00	100	15.00			33.65	3.3
Zeiss Abbe Ortho	1.25	4.00	45	2.00	3.30	47	3.03	-
Zeiss Abbe Ortho	1.25	6.00	45	3.70	5.00	48	4.54	-
Zeiss Abbe Ortho	1.25	10.00	45	5.00	8.30	48	7.57	1.7
Zeiss Abbe Ortho	1.25	16.00	45	4.00	13.20	47	12.11	2.7
Zeiss Abbe Ortho	1.25	25.00	45	5.00	20.70	47	18.93	4.2
Zeiss Abbe Ortho	1.25	34.00	40	5.00	24.30	41	22.88	5.7
Zeiss Abbe Orthoscopic	1.25	4.00	45	5.00			3.03	-
Zeiss Abbe Orthoscopic	1.25	6.00	45	7.00			4.54	-
Zeiss Abbe Orthoscopic	1.25	10.00	45	7.00			7.57	1.7
Zeiss Abbe Orthoscopic	1.25	16.00	45	13.00			12.11	2.7

Descripción del ocular <i>[Ordenados por marca y modelo]</i>	Barril <i>[pulgadas]</i>	Focal <i>[mm]</i>	AFOV <i>[grados]</i>	Eye relief <i>[mm]</i>	FS (1) <i>[mm]</i>	AFOV (2) <i>[grados]</i>	FS_o (3) <i>[mm]</i>	F_m mínima <i>(4)</i>
Zeiss Abbe Orthoscopic	1.25	25.00	45	19.00			18.93	4.2
Zeiss Abbe Orthoscopic	1.25	34.00	40	27.00			22.88	5.7
Zeiss Abbe Orthoscopic (Zeiss/TMB Ortho Aspheric)	1.25	25.00	54	20.00			22.71	4.2
Zeiss CZJ Orthoscopic	0.965	4.00	40	3.00			2.69	-
Zeiss CZJ Orthoscopic	0.965	6.00	40	5.00			4.04	-
Zeiss CZJ Orthoscopic	0.965	7.00	40	6.00			4.71	-
Zeiss CZJ Orthoscopic	0.965	10.00	40	8.00			6.73	1.7
Zeiss CZJ Orthoscopic	0.965	12.50	40	10.00			8.41	2.1
Zeiss CZJ Orthoscopic	0.965	16.00	40	13.00			10.77	2.7
Zeiss CZJ Orthoscopic	0.965	25.00	40	20.00			16.82	4.2
Zeiss CZJ Orthoscopic	0.965	40.00	40	32.00			22.51	6.7
Zeiss Diascopic	2	12.50	69	20.00			14.51	2.1
Zeiss Diascopic	2	16.70	69	20.00			19.39	2.8
Zeiss ZAO I	1.25	4.00	45	4.00	3.30	47	3.03	-
Zeiss ZAO I	1.25	6.00	45	4.00	5.00	48	4.54	-
Zeiss ZAO I	1.25	10.00	45	8.00	8.30	48	7.57	1.7
Zeiss ZAO I	1.25	16.00	45	13.00	13.20	47	12.11	2.7
Zeiss ZAO I	1.25	25.00	45	20.00	20.70	47	18.93	4.2
Zeiss ZAO I	1.25	34.00	40	27.00	24.30	41	22.88	5.7
Zeiss ZAO II	1.25	4.00	43	4.00			2.89	-
Zeiss ZAO II	1.25	6.00	43	5.00			4.34	-
Zeiss ZAO II	1.25	10.00	43	8.00			7.23	1.7
Zeiss ZAO II	1.25	16.00	43	13.00			11.58	2.7
Zeiss/Celestron Abbe Plössl	1.25	4.00	45	10.00			3.03	-
Zeiss/Celestron Abbe Plössl	1.25	6.00	45	10.00			4.54	-
Zhumell Z Series Planetary	1.25	3.00	55	20.00			2.78	-
Zhumell Z Series Planetary	1.25	5.00	55	20.00			4.63	-
Zhumell Z Series Planetary	1.25	6.00	55	20.00			5.55	-
Zhumell Z Series Planetary	1.25	9.00	55	20.00			8.33	1.5
Zhumell Z Series Planetary	1.25	12.50	55	20.00			11.57	2.1
Zhumell Z Series Planetary	1.25	14.50	55	20.00			13.42	2.4
Zhumell Z Series Planetary	1.25	16.00	55	16.00			14.81	2.7
Zhumell Z Series Planetary	1.25	18.00	55	20.00			16.66	3.0
Zhumell Z100	DUAL	9.00	100	16.00			15.14	1.5
Zhumell Z100	2	16.00	100	16.00			26.92	2.7

Calculadora de oculares (Manual de uso)

Acceso a la calculadora de oculares:

Para acceder se debe ingresar la siguiente URL en el navegador: <https://www.ocucalc.online> (§60)

Compatibilidad con diferentes navegadores (browsers):

Se debe tener en cuenta que esta aplicación requiere que se permita la ejecución de código javascript y, dependiendo del navegador (browser), es posible que sea necesario habilitar la apertura de ventanas emergentes (Pop-Ups) y/o las cookies temporales o propias de cada sesión (per session cookies).

Para verificarlo se provee de un link de prueba que abrirá una nueva ventana donde debería aparecer la fecha y hora actual, seguida del número π (Pi) con 6 decimales y los primeros 20 términos de la Sucesión de Fibonacci. Si ambas condiciones anteriores se cumplen, no debería haber ningún problema en el uso de la aplicación, salvo condiciones propias de cada navegador en particular o de alguna configuración especial de barras de herramientas o el antivirus.

Hasta el momento el sistema ha sido testeado con los siguientes navegadores:

- 1) Android Browser,
- 2) Dolphin
- 3) Google Chrome,
- 4) Internet (Android de Samsung),
- 5) Microsoft Edge (Chromium),
- 6) Microsoft Edge (Legacy),
- 7) Microsoft Internet Explorer,
- 8) Mozilla Firefox,
- 9) Opera,
- 10) Safari,
- 11) Vivaldi

El listado corresponde a las versiones más recientes o las últimas disponibles en el caso del Microsoft Edge Legacy y Microsoft Internet Explorer. La última verificación fue realizada en 2023.

Formato numérico:

Si bien se trata de respetar la configuración regional de cada máquina, a veces depende de una negociación entre el navegador y el servidor donde está alojada la aplicación. Para ello aparecerá en la parte superior de la planilla principal una leyenda que indica la forma en que se deben interpretar los separadores decimales (punto o coma), “**Formato numérico: [NNN] (s) [dd]**”, donde **[NNN]** representa la parte entera, **(s)** representa al separador decimal que se debería utilizar para la planilla y **[dd]** la parte decimal (por razones de compatibilidad también se ha anulado la opción del uso de separadores de miles).

Se debe tener en cuenta que, dependiendo del navegador que se utilice, es posible que al guardar la información en la base de datos o al recuperarla, se eliminen los acentos y otros caracteres especiales.

Opciones de registro:

Para utilizar el sistema se puede optar por alguna de las siguientes alternativas:

- a) Ingresar como invitado haciendo clic en “Acceso anónimo”
- b) Registrarse como un nuevo usuario. Para ello sólo es necesario marcar la casilla “Nuevo Usuario”, ingresar un nombre usuario y repetir dos veces la clave de ingreso en “Cambiar clave de acceso” (no se solicitarán otros datos).

La única razón para el registro es que el sistema permite guardar en la base de datos los oculares y telescopios de cada usuario para facilitar futuras consultas. Por tal razón es necesario identificar a que usuario pertenecen los diferentes registros.

Base de Datos del Usuario (usuarios registrados):

Cada vez que se guarde la información en la base de datos, se guardará automáticamente el último telescopio utilizado para los cálculos bajo el nombre “[Último telescopio utilizado con fecha: AAAA.MM.DD hh:mm:ss]”

Adicionalmente es posible exportar la consulta a formato HTML puro, texto plano o Excel. Es importante destacar que, para el último caso se exportan los valores y no fórmulas, por lo que se trata de planillas estáticas. Si se desea una planilla dinámica se puede descargar la que figura en la página principal.

Dado que no se solicita una dirección de correo electrónico, no se dispone de una opción de recuperación de clave, por lo que se recomienda guardar un backup de la base. Para ello se puede exportar en texto plano o simplemente copiar lo que aparece abajo en el “Área de recuperación”. Para restaurar la base de datos sólo hay que copiar la imagen guardada en el “Área de recuperación” y hacer clic en “Restaurar”. El formato de cada línea es el que se indica en el archivo.

Si bien no se recomienda alterar el archivo de backup, si se lo edita el hay que tener en cuenta que no se deben utilizar separadores decimales (punto o coma decimal), ya que los dos últimos dígitos de cada campo representan la parte decimal (por ejemplo, para representar la distancia focal de un ocular de 12.5 mm se debe ingresar FFFFF=01250).

Otra consideración a tener en cuenta es que la operación de restauración afecta tanto la tabla de oculares, como a la de telescopios (si sólo se ingresan oculares, la tabla de telescopios quedará vacía). Por último, no es necesario eliminar las líneas que no formen parte expresa del backup, ya que serán ignoradas todas aquellas que no comiencen con:

BAK_O: (Oculares)

BAK_T: (Telescopios).

Esta facilidad puede ser utilizada por aquellos usuarios que no deseen registrarse, pero sí poder restaurar la información de una sesión anterior. Para ello simplemente deben copiar el contenido del “Área de recuperación” y restaurarlo al inicio de cada sesión.

Ejemplos de formato para el archivo de recuperación:

Telescopio:

BAK_T: **AAAAAAARRRRFFFFMMMEEEEEDDD**NOMBRE/ID (Ejemplo: BAK_T: 001300007000350025005000**APO**Altair 130EDT)

AAAAAA	Apertura	130.00 mm	0013000
RRRR	Relación focal (F#)	7.00	0700
FFFF	Enfocador / Field stop	3.5"	0350
MMMM	Factor de magnificación	2.50x	0250
EEEE	Edad del observador	50 años	05000
DDD	Diseño óptico:	Refractor apocromático	APO
ACR	Refractor Acromático		
APO	Refractor Apocromático		
GEN	Refractor Genérico		
NEW	Reflector Newtoniano		
CDK	Corrected Dall-Kirkham / Dall-Kirkham		
MAK	Maksutov-Cassegrain / Maksutov-Newton		
RCT	Ritchey-Chrétien		
SCT	Schmidt-Cassegrain / Schmidt-Newton		
OTR	Otro diseño (por omisión)		

NOMBRE/ID Identificación del equipo Altair EDT 130 mm F7 **Altair EDT 130 mm F7**

Ocular:

BAK_O: FFFFFAAAAAEEEEENOMBRE/ID (Ejemplo: BAK_O: 016000820001000DTele Vue Nagler Type 2)

FFFFF	Distancia focal	16.00 mm	01600
AAAAA	FOV aparente (AFOV)	82.00 °	08200
EEEEE	Eye relief	10.00 mm	01000
B	Tipo de barril:	Dual (1.25" y 2.00")	D
	1	1.25 pulgadas (por omisión)	
	2	2 pulgadas	
	D	Dual (1.25" y 2.00")	
NOMBRE/ID	Identificación del ocular	Tele Vue Nagler Type 2	Tele Vue Nagler Type 2

Pantalla de inicio de sesión:

Sección	Nombre del campo	Tipo de campo	Descripción del campo
Datos del usuario	Usuario	Texto	Nombre identificador del usuario, sólo se admiten caracteres alfanuméricos no acentuados y los caracteres: Espacio ! # \$ &) (* + , - . / : ; > < = ?] [^ _ ` } { ~ @ (no se hace distinción entre mayúsculas y minúsculas, "case insensitive").
Datos del usuario	Clave	Texto	Clave de acceso del usuario, sólo se admiten caracteres alfanuméricos no acentuados y los caracteres: Espacio ! # \$ &) (* + , - . / : ; > < = ?] [^ _ ` } { ~ @ (tener en cuenta que se hace distinción entre mayúsculas y minúsculas, "case sensitive").
Datos del usuario	Nuevo Usuario	Si/No	Marcar esta casilla si desea registrarse como nuevo usuario con posibilidad de almacenar equipamiento.
Cambiar clave de acceso	Nueva Clave	Texto	Nueva clave de acceso del usuario, sólo se admiten caracteres alfanuméricos no acentuados y los caracteres: Espacio ! # \$ &) (* + , - . / : ; > < = ?] [^ _ ` } { ~ @ (tener en cuenta que se hace distinción entre mayúsculas y minúsculas, "case sensitive").
Cambiar clave de acceso	Repetir Clave	Texto	Repetición la nueva clave de acceso que se ha ingresado en la casilla anterior, ambas deberán ser idénticas.
Cambiar clave de acceso	Cambiar Clave	Si/No	Marcar esta casilla si se desea cambiar la clave de usuario, esto habilitará los campos de cambio de clave.
General	Ingresar	Botón	Ingresar a la aplicación como usuario registrado con el nombre de usuario y clave indicados arriba.
General	Acceso anónimo	Botón	Ingresar a la aplicación como usuario anónimo con funcionalidad limitada.
General	Refrescar	Botón	Restaurar los valores al inicio de la sesión.



Las filas resaltadas en la tabla representan comandos (botones) u opciones de procesamiento (Si/No)

Pantalla principal - Parámetros generales (encabezado):

Apertura [mm]	130.00	Límite de Sparrow [segundos de arco]	0.82	Límite de Dawes [segundos de arco]	0.89
Distancia Focal [mm]	910.00	Límite de Rayleigh [segundos de arco]	1.06	Airy Disk [segundos de arco]	2.13
Relación Focal	7.00	Mínimo objeto resoluble en la Luna [km]	3.97	Mínimo objeto resoluble en el Sol [km]	1544.31
Field stop del focusar [pulgadas]	2.00	FOV máxima (MFOV) [grados]	3° 11' 55"	FOV máxima (MFOV) [minutos de arco]	191.91
Edad del observador [años]		Pupila adoptada [mm]	6.00	Generancia de captación de luz	469.44
Declinación (δ) [en grados]	0	Magnitud Límite	13.07	Cota máxima de magnificación (resolución ideal)	325.00
Resolución adoptada [segundos de arco]	1.06	Magnificación para la resolución adoptada	325.00	Magnificación para la máxima resolución alcanzable	325.00
Diseño óptico	Refractor Apocromático	Factor de magnificación adoptado	2.50	Coefficiente de Magnificación/Reducción (z)	2.00
Aplicar condiciones especiales		Pupila de salida en modo diurno	<input type="checkbox"/>	Aplicar la Regla de Whittaker	<input type="checkbox"/>

Sección de la planilla	Nombre del campo (*)	Tipo de campo	Descripción del campo
Encabezado	 Apertura [mm]	Numérico	Diámetro en milímetros de la lente o espejo principal (primario).
Encabezado	 Distancia Focal [mm]	Numérico	Distancia focal del telescopio en milímetros. Este valor equivale a la Relación Focal multiplicado por la apertura (alternativo a la Relación Focal).
Encabezado	 Relación Focal	Numérico	(F) Cociente entre la distancia focal y la apertura, ambos en las mismas unidades (alternativo a la Distancia Focal).
Encabezado	 Field Stop o focuser [pulgadas]	Numérico	Diámetro del enfocador (focuser) en pulgadas (el baffle en el caso de algunos catadióptricos).
Encabezado	 Edad del observador [años]	Numérico	Edad del observador expresada en años, se la utiliza para determinar el diámetro de la pupila (si se ingresa un valor para la "Pupila adoptada" se estimará la edad correspondiente a dicho valor).
Encabezado	 Modo diurno	Si/No	Marcar para tomar en cuenta la contracción de la pupila del observador durante el día.
Encabezado	 Pupila adoptada [mm]	Numérico	Especificación de la pupila del observador (alternativo a la edad del observador).
Encabezado	 Declinación [grados]	Numérico	Valor absoluto de la declinación de la estrella en grados, por defecto de tomará cero grados. Este parámetro se utiliza para evaluar el tiempo de tránsito de una estrella.
Encabezado	 Resolución adoptada [arcsec]	Numérico	En segundos de arco. Utilizado para ponderar los efectos de la resolución en la capacidad de magnificación. Por lo general, esta cota se encuentra por debajo de la correspondiente a la máxima magnificación para una resolución ideal. Los valores posibles son entre el Límite de Rayleigh y 10 segundos de arco, cualquier valor fuera de ese rango será acotado.
Encabezado	 Magnificación para la resolución adoptada	Numérico	Permite obtener la resolución para lograr esa magnificación. Es decir, al ingresar algún valor en este campo se determinará la resolución para ese valor. Los valores posibles están entre el correspondiente a una resolución de 10 segundos de arco y el Límite de Rayleigh, todo valor fuera de ese rango será acotado.
Encabezado	 Diseño óptico	Lista	Se utiliza para determinar la máxima magnificación (Apertura \times Factor de magnificación).
Encabezado	 Regla de Whittaker	Si/No	Se aplicará la Regla de Whittaker (Factor de magnificación = 1).
Encabezado	 Factor de magnificación adoptado	Numérico	Se utiliza para determinar la máxima magnificación (Apertura \times Factor de magnificación), si se desea se puede seleccionar un valor diferente del Factor de magnificación recomendado.
Encabezado	 Coeficiente de Magnificación / Reducción	Numérico	Coeficiente de magnificación (mayor que uno barlow y menos que uno reductor focal).

(*) Diferenciación de los símbolos de colores en las celdas en la calculadora de oculares:

 valor Campos editables (entrada de datos).

 valor Campo editable "seleccionado" para la entrada de datos.

General de oculares y parámetros de diseño del ocular:

Rango de oculares utilizables con base en los siguientes criterios:																
Cota máxima de magnificación (325 X)		Mayor ocular utilizable: 2.8 mm, sin restricciones respecto al AFOV														
Máxima magnificación para 0.50 arcsec		Mayor ocular utilizable: 2.8 mm, sin restricciones respecto al AFOV														
Máxima magnificación para 1.06 arcsec		Mayor ocular utilizable: 2.8 mm, sin restricciones respecto al AFOV														
Máxima focal para una pupila de 6.0 mm		Mayor ocular utilizable: 42.0 mm, con un AFOV inferior a 59.3°														
HFOV con oculares de 2" y 1.25"		Para 2": 3° 11' 55" (191.9 arcmin) - Para 1.25": 1° 39' 57" (119.9 arcmin)														
Focal [mm] / AFOV [°] para TFOV=195.0°		42mm/70°, 36mm/80°, 32mm/90°, 29mm/100°, 24mm/120° (oculares de 2")														
AFOV adoptado (Opcional)		Máxima focal con un ocular de 2.0" para un TFOV máximo (191.0°)														
Parámetros de diseño del ocular		Parámetros del ocular										Parámetros con un barril de: 2.00"				
B O R R A R	Lista de oculares disponibles (Marca - Modelo)	Tipo de Barril	Distancia Focal	FOV Aparente	Eye Relief	Máximo FOV	Eye Relief Efectivo	Pupila de Salida	Aumentos Efectivos	FOV Efectivo	Tiempo de Tránsito (1)	Eye Relief Efectivo	Pupila de Salida	Aumentos Efectivos	FOV Efectivo	Tiempo de Tránsito (1)
		[Pulgadas]	[mm]	[Grados]	[mm]	[arcmin]	[mm]	[mm]	[x]	[FOV (arcmin)]	[seg-sec]	[mm]	[mm]	[x]	[FOV (arcmin)]	[seg-sec]
<input type="checkbox"/>	Arctaris Sports Water	1.25	14.0	82.0	12.0	119.9	12.3	2.0	85	75.7	00:05:02	12.1	1.0	130	37.8	00:02:31
<input type="checkbox"/>	Arctaris Sports Water	1.25	24.7	67.0	13.0	119.9	13.7	5.5	37	109.1	00:07:15	13.3	1.8	74	54.6	00:03:36
<input type="checkbox"/>	Arctaris W70	1.25	4.3	70.0	15.0	119.9	15.0	0.6	212	19.8	00:01:19	15.0	0.3	423	9.9	00:00:40
<input type="checkbox"/>	Astro-Sub Paradigm Dual ED	1.25	25.0	60.0	15.0	119.9	15.7	3.8	36	96.9	00:06:35	15.3	1.8	73	49.5	00:03:17
<input type="checkbox"/>	Bader Hyperion Planetarium	DUAL	3.3	66.0	20.0	119.9	20.0	0.3	260	15.7	00:01:03	20.0	0.3	520	7.8	00:00:31
<input type="checkbox"/>	Bader Hyperion Planetarium	DUAL	8.0	66.0	20.0	119.9	20.1	1.1	114	35.9	00:02:23	20.0	0.6	238	17.0	00:01:12
<input type="checkbox"/>	Bader Hyperion Planetarium (*)	DUAL	24.0	66.0	20.0	119.9	20.7	3.4	38	107.6	00:07:09	20.3	1.7	76	53.8	00:03:25
<input type="checkbox"/>	Bax** "Planetarium"	1.25	6.0	85.0	22.0	119.9	22.0	0.9	152	21.8	00:01:27	22.0	0.4	303	18.9	00:00:43
<input type="checkbox"/>	Bax** "Planetarium"	1.25	12.0	60.0	20.0	119.9	20.2	1.7	76	96.6	00:02:38	20.1	0.9	152	19.9	00:01:19
<input type="checkbox"/>	Bax** "Planetarium"	1.25	18.0	50.0	20.0	119.9	20.4	2.6	51	55.3	00:03:57	20.2	1.3	101	25.7	00:01:58
<input type="checkbox"/>	Bax** "Planetarium"	DUAL	8.0	65.0	20.0	119.9	20.1	1.1	114	34.3	00:02:17	20.0	0.6	238	17.3	00:01:08
<input type="checkbox"/>	Bax** "Planetarium"	DUAL	22.0	65.0	22.0	119.9	22.5	3.1	41	94.3	00:06:16	22.3	1.6	83	47.1	00:03:08
<input type="checkbox"/>	William Optics SPL	1.25	6.0	85.0	22.0	119.9	22.0	0.9	152	21.8	00:01:27	22.0	0.4	303	18.9	00:00:43
		1.25														
		1.25														
		1.25														
		1.25														
Líneas en blanco para agregar oculares adicionales																

Sección de la planilla	Nombre del campo (*)	Tipo de campo	Descripción del campo
Rango de oculares utilizables con base en diferentes criterios	AFOV Adoptado (Opcional)	Numérico	Focales máximas del ocular para lograr el máximo TFOV. Si se especifica este campo se determinará cual es la máxima focal posible para lograr el máximo TFOV para el AFOV ingresado. Si se deja en blanco se presentarán una serie de valores posibles de Focal [mm] y AFOV [°].
General de Oculares	Haciendo clic sobre el título de cada columna se puede ordenar la misma de forma ascendente o descendente (con el segundo clic). Para evitar inconvenientes con las versiones de Javascript de cada navegador, el ordenamiento se realiza en el servidor.		
Parámetros de diseño del ocular	Borrar	Selección	Elimina el ocular seleccionado.
Parámetros de diseño del ocular	Oculares disponibles	Texto	Descripción o identificación del ocular.
Parámetros de diseño del ocular	Tipo de Barril [pulgadas]	Lista	Tipo de barril del ocular, puede ser de 0.965, 1.25, 2 o dual (1.25/2).
Parámetros de diseño del ocular	Distancia Focal [mm]	Numérico	Distancia focal del ocular expresado en milímetros.
Parámetros de diseño del ocular	FOV Aparente [Grados]	Numérico	AFOV: Campo Aparente, representa el diámetro angular (medido en grados) del círculo de visión por el cual se ve a través de un ocular.
Parámetros de diseño del ocular	Eye Relief [mm]	Numérico	Distancia entre el plano del ocular y el punto en el que se forma la pupila de salida (la distancia entre el ocular y el ojo del observador).

Las filas resaltadas en la tabla representan comandos (botones) u opciones de procesamiento (Si/No)

(*) Diferenciación de los símbolos de colores en las celdas en la calculadora de oculares:

 valor Campos editables (entrada de datos).

 valor Campo editable "seleccionado" para la entrada de datos.

En el caso en que algún valor aparezca en **azul** (generalmente un comentario) o en **rojo** (valor fuera del rango aceptable), se puede obtener mayor información posicionando el cursor sobre el valor en cuestión.

Selección de telescopio:

Borrar / Seleccionar	Telescopio	Apertura [mm]	Relación Focal	Field Stop [pulgadas]	Diseño Óptico	Factor adoptado	Edad [años]
<input checked="" type="checkbox"/>	[Último telescopio utilizado - Fecha: 2021/02/23 22:03]	130.00	7.00	2.00	Reflector Apocromático	2.50	
<input type="checkbox"/>	[APO] Unist Optics 130EDT (130mm F7)	130.00	7.00	2.00	Reflector Apocromático	2.50	
<input type="checkbox"/>	[APO] William Optics ZenthrStar 66SD (66mm F5.9)	66.00	5.90	2.00	Reflector Apocromático	2.50	
<input type="checkbox"/>	[GEN] Celestron PowerSeeker (70mm F13)	70.00	13.00	1.25	Reflector Genérico	2.00	
<input type="checkbox"/>	[MAK] Sky-Watcher SK180MaksSP (180mm F15)	180.00	15.00	1.88	Hakulov-Cassegrain	2.40	
<input type="checkbox"/>	[RGT] GSO (Guan Sheng (Ipsca)) HCS (200mm F9)	200.00	9.00	2.00	Ritchey-Chrétien	2.25	
<input type="checkbox"/>	[SCT] Celestron C6-A Starbright XLT (130mm F10)	152.40	10.00	1.00	Schmidt-Cassegrain	2.25	
Líneas en blanco para agregar telescopios adicionales					Otro diseño		

Nombre del campo (*)	Tipo de campo	Descripción del campo
Borrar	Selección	Elimina el telescopio seleccionado.
Seleccionar	Selección	Toma los datos del telescopio seleccionado.
Telescopio	Texto	Descripción o identificación del telescopio.
Apertura [mm]	Numérico	Diámetro en milímetros de la lente o espejo principal (primario).
Relación Focal	Numérico	(F) Cociente entre la distancia focal y la apertura, ambos en las mismas unidades.
Field Stop [pulgadas]	Numérico	Diámetro del enfocador (focuser) en pulgadas (el baffle en el caso de algunos catadióptricos).
Diseño Óptico	Lista	Se utiliza para determinar la máxima magnificación (Apertura x Factor de magnificación).
Factor adoptado	Numérico	Se utiliza para determinar la máxima magnificación (Apertura x Factor de magnificación), si se desea se puede seleccionar un valor diferente.
Edad [años]	Numérico	Edad del observador expresada en años, se la utiliza para determinar el diámetro de la pupila. Si no se indica ningún valor se adoptará la correspondiente a una pupila de 6mm.

Las filas resaltadas en la tabla representan comandos (botones) u opciones de procesamiento (Si/No)

(*) Diferenciación de los símbolos de colores en las celdas en la calculadora de oculares:

valor Campos editables (entrada de datos).

valor Campo editable "seleccionado" para la entrada de datos.

Comandos – opciones de procesamiento:



Botón	Descripción del campo
Guardar	Almacena en la base de datos todos los valores actuales.
Exportar	Genera un HTML estático (sin las fórmulas), que puede ser llevado a texto plano o Excel.
Descargar	Genera un HTML dinámico (con las fórmulas), a continuación se verán las diferentes opciones
Ayuda	Permite descargar este documento.
Refrescar	Restaura los valores de inicio, cualquier cambio que se haya hecho será descartado.
Cerrar	Cierra la calculadora de oculares sin guardar ningún cambio.

Exportación de datos – Planillas estáticas (sin fórmulas):

Luego de hacer clic en el botón “Exportar” en la Pantalla Principal, se genera un HTML de la calculadora de oculares (sin las fórmulas), una vez en esa pantalla es posible exportar el contenido de la misma a texto plano o Excel:

Identificación del campo	Tipo de campo	Descripción del campo
	Botón	Permite exportar el contenido de la planilla a Texto Plano. Al final se incluye también una copia de los datos con el formato adecuado para el backup de la información.
	Botón	Permite exportar el contenido de la planilla a Excel. Se debe tener en cuenta que se exportan los valores no las fórmulas, por lo que se trata de planillas estáticas. Si se desea una planilla Excel dinámica se puede descargar la que figura al pie.

Área de carga y/o restauración:



Nombre del campo	Tipo de campo	Descripción del campo
Área de restauración	Texto	Se utiliza indistintamente para recuperar (restore) o generar el respaldo (backup) de la información del usuario.
Borrar	Botón	Elimina el texto presente en el Área de restauración.
Actuales	Botón	Carga el texto correspondiente a la información actual en el Área de restauración.
Restaurar	Botón	Carga en la base de datos el contenido del área de restauración. Esto permite recuperar la información de un backup previamente realizado (exportado o elaborado por el usuario). Cabe destacar que esta es la única forma en la que un usuario no registrado puede recuperar la información de una sesión anterior.

 Las filas resaltadas en la tabla representan comandos (botones) u opciones de procesamiento (Si/No)

Opciones de descarga de HTML dinámicos (con fórmulas) que no requieren conexión a Internet:

1) HTML con un único telescopio y un ocular:

Se cuenta con una versión reducida que, a excepción de que sólo permite ingresar los datos de un telescopio y un ocular, permite realizar los mismos cálculos que la calculadora de oculares. Esta opción puede ser descargada y ejecutada desde el mismo equipo con cualquier navegador.

La misma está disponible en: <https://www.ocucalc.online/calculadora.zip>

Si se desea definir los valores inicio basta con editar el archivo "Default.js". En dicho archivo aparecen una serie de constantes las que permiten establecer los valores por defecto para el telescopio y el ocular, para ello se pueden modificar sólo los **valores numéricos resaltados** que aparecen entre el signo "=" y el ";".

Telescopio_Apertura = 130 ;	Apertura en milímetros. Sólo admite valores entre 25 y 10000 mm
Telescopio_RelacionFocal = 7 ;	Relación Focal (adimensional), Apertura/Focal. Sólo admite valores entre 1.2 y 64
Telescopio_Enfocador = 2 ;	Enfocador en pulgadas. Sólo admite valores entre 0.5 y 10 pulgadas
Telescopio_PupilaObservador = 6 ;	Pupila del Observador en milímetros. Sólo se admiten valores entre 1 y 10 mm
Telescopio_Optica = 2 ;	Diseño óptico: 1 = Refractor acromático 2 = Refractor apocromático 3 = Refractor Genérico (sin corrección cromática) 4 = Reflector Newtoniano 5 = Dall-Kirkham / Corrected Dall-Kirkham (recientemente agregado) 6 = Maksutov-Cassegrain / Maksutov-Newton 7 = Ritchey-Chrétien 8 = Schmidt-Cassegrain / Schmidt-Newton 9 = Telescopio genérico
Ocular_Focal = 16 ;	Focal del Ocular en milímetros. Sólo admite valores entre 1 y 130 mm
Ocular_AFOV = 82 ;	AFOV del Ocular en grados. Sólo admite valores entre 1° y 120°
Ocular_EyeRelief = 10 ;	Eye Relief en milímetros. Sólo admite valores entre 0.1 y 200 mm
Ocular_Barril = 4 ;	Barril del Ocular: 1 = Ocular de 0.965" 2 = Ocular de 1.25" 3 = Ocular Dual (1.25/2") 4 = Ocular de 2.00"

Para evitar tener que verificar que separador decimal está utilizando, se recomienda ingresar el valor sin el separador decimal indicando que se encuentra dividido por 10, 100 o lo que corresponda. Por ejemplo, en lugar de 123,45 o 123.45, se puede ingresar 12345/100 (esto sólo es válido para los valores por defecto listados arriba).

Schmidt-Cassegrain F10.0 de 132 mm y focal de 1.35" + Ocular de 1.25" con 32.0 mm de focal y 50° de AFOV (Opcional: Barlow 2.0x)														
Apertura [mm]	132.40	Límite de Sparrow [arcsec]	0.70	Límite de Dawes [arcsec]	0.76									
Distancia Focal [mm]	1524.00	Límite de Rayleigh [arcsec]	0.91	Airy Disk [arcsec]	1.82									
Relacion Focal	10.00	Objeto resoluble en la Luna [km]	3.38	Objeto resoluble en el Sol [km]	1317.33									
Field stop del focuser ["]	1.00	FOV máximo (MFOV) [grados]	1° 00' 44"	FOV máximo (MFOV) [arcmin]	60.73									
Edad del observador [años]	52.50	Pupila adoptada [mm]	6.00	Sanación de captación de luz	645.16									
Declinación (1) [en grados]	0	Magnitud Límite	13.41	Cota de magnificación	342.90									
Resolución adoptada [arcsec]	1.05	Magnificación para 1.05 arcsec	243.78	Magnificación para 0.5 arcsec	342.90									
Diseño óptico	Schmidt-Cassegrain	Factor de magnificación adoptado	3.25	Magnificación/Reducción (1)	2.00									
Aplicar condiciones especiales		Pupila de salida en modo diurno	<input type="checkbox"/>	Aplicar la Regla de Whittaker	<input type="checkbox"/>									
Rango de oculares utilizables con base en los siguientes criterios:														
Cota máxima de magnificación (343 x)	Menor ocular utilizable: 4.4 mm, sin restricciones respecto al AFOV													
Máxima magnificación para 0.50 arcsec	Menor ocular utilizable: 4.4 mm, sin restricciones respecto al AFOV													
Máxima magnificación para 1.05 arcsec	Menor ocular utilizable: 5.2 mm, sin restricciones respecto al AFOV													
Máxima magnificación para una pupila de 6.0 mm	Mayor ocular utilizable: 60.0 mm, con un AFOV inferior a 26.7° (limitado por el Field Stop del telescopio)													
MFOV con cualquier ocular	1° 00' 44" (60.7 arcmin)													
Focal [mm] / AFOV [°] para TFOV=60.7	33mm/40°, 34mm/45°, 31mm/50°, 28mm/55°, 26mm/60°, 24mm/65°, 22mm/70°, 19mm/80°, 17mm/90°, 15mm/100°, 13mm/120° (oculares de 1.25")													
AFOV adoptado (Opcional)	Máxima focal con un ocular de 1.2" para un TFOV de 60.7°													
Nota: Suponer la pupila de salida puede originar errores de "Stacking" (la diferencia de los refractores en caso caso sólo se permite luz)														
Parámetros de diseño del ocular (7)			Parámetros del ocular			Parámetros con un Barlow de: 2.00x (2)								
Barril (B) [pulgadas]	Focal [mm]	AFOV [Grados]	ER (Eye Relief) [mm]	MFOV [arcmin]	ER (Efectiva) [mm]	PS (Pupila de Salida) [mm]	Aumento [x]	TFOV [arcmin]	Tránsito DEC+0° [Minutos]	ER (Efectiva) [mm]	PS (Pupila de Salida) [mm]	Aumento [x]	TFOV [arcmin]	Tránsito DEC+0° [Minutos]
1.25	32.0	50.0	20.0	60.7 (61° 00.7°)	30.7	3.2	46	63.0 (63° 03.0°)	00:04:13	20.3	1.0	95	31.3	00:02:06
Información adicional acerca del ocular:														
AFOV (FOV aparente del ocular): 50.0° (valor especificado) - Field Stop del ocular: 26.9 mm (valor estimado)														
Si bien el telescopio está diseñado para oculares de 1.25 pulgadas, al tener un Field Stop mayor a ese valor, es posible que los resultados para ciertos minutos no sean correctos. Esto se debe a que el valor de AFOV especificado por el fabricante para el ocular es el que se utilizará en equipos con un Field Stop mayor o igual al del ocular. Si esto es el caso, los valores de máxima distancia a las limitaciones por TFOV pueden no ser adecuados. En otras palabras, habrá una reducción en el AFOV del ocular que se trasladará en el TFOV, pero con cierto efecto. El cual será mayor cuanto mayor sea la reducción del Field Stop del ocular (por lo general, esta es la condición más frecuente). El MFOV que se muestra es el correspondiente al Field Stop del telescopio.														
Información adicional acerca del ocular ingresado														
Si bien se ha supuesto que supera el MFOV (60.7 minutos de arco), eso sólo sería válido si el AFOV del ocular no se reduce al reducirse su Field Stop, el cual ahora quedará limitado por el del telescopio (dato que incluye el diámetro del barril del ocular es mayor al Field Stop del telescopio). En otras palabras, se podría producir whiffles. Sin embargo, el Field Stop estimado para el ocular (26.9 mm) no resulta mayor al del telescopio (26.9 mm), por lo que es posible que el AFOV especificado por el fabricante (50.0°) no sea exactamente ese. Por ejemplo, para el Field Stop estimado, el AFOV equivalente sería 48.2° y en ese caso el TFOV sería de 60.7 minutos de arco y no superarían el MFOV (60.7 minutos de arco).														
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> OCULARC Configurar </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> Calculadora de Oculares - Versión 1.18 - Copyright 2013-2021, Sr. Alejandro C. Barón Fórmula Número: (www)44 </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Desarrollado por: Sivanovic, Software de Diseño de Telescopios, Redes de Redes y Seguridad Computacional Calcular </div>														

2) HTML con más de un ocular y/o telescopio:

Adicionalmente se pueden descargar versiones con la base de datos completa de los oculares y telescopios almacenados por el usuario (botón “Descargar” en la calculadora de oculares).



Para ello se cuenta con dos opciones principales, descargarla con formato de planilla (1) o con formato compacto (2) y (3), por ejemplo, para tabletas. En los todos los casos se presentan todos los oculares que han sido almacenados (LISTADO DE OCULARES), así como también todos los telescopios (LISTADO DE TELESCOPIOS), siempre y cuando se tenga más de un telescopio almacenado en la base de datos del usuario. Para el caso del formato compacto se cuenta con las alternativas (2) y (3) donde las listas de oculares y/o telescopios permiten el desplazamiento vertical. Adicionalmente, se puede elegir la cantidad de filas y su alto para adaptar el formulario a cada pantalla, adicionalmente se tiene la opción de definir un offset a la ventana desplazable para aumentarla o decrementarla en caso de que el navegador no resuelva la última línea (esto último es simplemente cosmético). Siempre será posible ordenar las columnas del listado de oculares haciendo clic en el título de cada una de ellas (ORDENAR POR CARACTERÍSTICAS DEL OCULAR), ya sea en orden ascendente o descendente (luego de un segundo clic).

Para descargar la opción deseada simplemente hay que hacer clic en el botón “Descargar” correspondiente a cada opción y guardar el HTML en alguna carpeta local.

Calculadora de Oculares
Base de datos de oculares y telescopios | Reporte generado con fecha: 2021.02.18

Formato sugerido: (NNN) - (dd)

Área de restauración - Este campo se utiliza para recuperar (restore) o guardar (backup) la información del usuario (para bajar o subir información a este campo se puede utilizar 'Copiar y Pegar')

Información general para el uso de esta opción: Tener en cuenta que la operación de restauración:

Apertura (mm): 130.00 Límite de Sparrow (segundos de arco): 0.62 Límite de Dawes (segundos de arco): 0.89
 Distancia focal (mm): 810.00 Límite de Rayleigh (segundos de arco): 1.08 Anv. DSR (segundos de arco): 2.11
 Relación focal: 7.00 Mínima objeto resuelto en la Luna (arc): 3.87 Mínima objeto resuelto en el Sol (arc): 1244.32
 Field stop del fuser (milímetros): 2.00 FOV máxima (HFOV) (grados): 3° 11' 15" FOV máxima (HFOV) (minutos de arco): 181.81
 Edad del observador (años): Pupila adaptada (mm): 6.00 Ganancia de captación de luz: 468.44
 Declinación (°) (en grados): 0 Magnitud Límite: 13.07 Cota máxima de magnificación (resolución ideal): 325.00
 Resolución adoptada (segundos de arco): 1.94 Magnificación para 1:36 arcos: 325.00 Magnificación para la máxima resolución alcanzable: 325.00
 Diseño óptico (APO) R = Factor de magnificación adoptado: 2.50 Coeficiente de Magnificación/Reducción (°): 2.00
 Aplicar condiciones especiales: Pupila de salida en modo diurno: Aplicar la Regla de Whitaker:

Rango de oculares utilizables en base a los siguientes criterios:

Cota máxima de magnificación (325 x): Menor ocular utilizable: 2.8 mm, sin restricciones respecto al AFOV.
 Máxima magnificación para 6.25 arcos: Menor ocular utilizable: 2.8 mm, sin restricciones respecto al AFOV.
 Máxima magnificación para 1.00 arco: Menor ocular utilizable: 2.8 mm, sin restricciones respecto al AFOV.
 Máxima focal para una pupila de 6.0 mm: Mayor ocular utilizable: 42.0 mm, con un AFOV inferior a 60°.
 HFOV con ocular de 2" y 1.25": Para 2": 2° 11' 54.6" (182 arcos) - Para 1.25": 1° 58' 56.8" (118.44 arcos)
 Focal (mm) / AFOV (°) para HFOV a 192": 43mm/70°, 30mm/80°, 22mm/90°, 24mm/100°, 24mm/120° (oculares de 2")
 AFOV adoptado (Opcional): Máxima focal con un ocular de 2.00" para un HFOV de 192":

Lista de oculares disponibles

Orden	Marca	Modelo	Tip. de Baril	Distancia Focal	FOV	Eye Relief	Máxima ZOV	Eye Relief	Pupila de Salida	Aumento Efectivo	FOV	Tiempo de Tercera	Eye Relief	Pupila de Salida	Aumentos Efectivos	FOV	Tiempo Tercera	
1	Antares	Spears	Wale	1.25	14.0	82.8	12.8	119.0	12.2	2.4	85.8	73.7	00:03:03	12.1	1.8	138.0	37.8	00:03:11
2	Antares	Spears	Wale	1.25	24.7	67.8	13.0	119.9	13.7	3.5	96.8	89.1	00:07:15	13.5	1.8	73.2	54.6	00:03:18
3	Antares	WFO		1.25	4.3	70.8	15.0	119.0	19.0	8.8	211.6	18.8	00:01:19	15.0	6.3	423.5	9.8	00:03:48
4	Astro-Tech	Paralight	Dual ED	1.25	25.0	60.8	15.0	119.0	15.7	3.8	26.4	98.4	00:00:31	15.3	1.8	72.8	48.5	00:03:17
5	Baader	Hyperton	Planetrarium	DUAL	3.5	88.0	20.0	119.0	20.0	8.7	260.0	15.7	00:01:03	20.0	6.3	179.8	7.8	00:02:21
6	Baader	Hyperton		PT		88.0		119.0	20.1	15.8	155.8	15.8		20.0	6.3	179.8	7.8	00:02:21
7	Edmund	Optics	LV	1.25	12.0		20.0	119.0		3.7	75.6	44.8	00:02:38	20.0	6.3	151.7	59.0	00:01:19
8	Vixen	Lanthanum	LV	1.25	18.0	50.8	20.0	119.0	20.4	2.8	50.6	59.3	00:03:57	20.2	3.3	101.1	29.7	00:01:58
9	Vixen	Lanthanum	LVW	DUAL	8.0	65.8	20.0	119.0	20.1	1.1	112.8	34.3	00:02:17	20.0	6.8	227.5	17.1	00:01:58
10	Vixen	Lanthanum	LVW	DUAL	22.0	65.8	22.0	119.0	22.5	3.1	91.4	94.3	00:00:16	22.3	1.8	62.7	47.1	00:03:08
11	William	Optics	SR	1.25	6.0	55.8	22.8	119.0	22.0	8.9	191.7	23.8	00:01:37	22.0	6.4	303.3	18.8	00:00:42

LISTADO DE OCULARES

Telescopio	Apertura (mm)	Relación Focal	Field Stop (milímetros)	Diseño óptico	Factor de magnificación
[APO] United Optics 130ED1 (130mm F7)	130.00	7.00	2.00	Reflector Apocrosónico	2.50
[APO] William Optics ZenithStar 60SD (60mm F5.6)	60.00	5.50	2.00	Reflector Apocrosónico	2.50
[ACT] Sky-Watcher BK130HACSF (130mm F11)	130.00	11.00	1.00	Reflector-Cassegrain	2.40
[ACT] B&W Guan Shang Optical BCB (200mm F9)	200.00	9.00	2.00	Reflector-Cassegrain	2.25
[REF] Celestron PowerSeeker (70mm F10)	70.00	11.00	1.25	Reflector Genérico	2.00
[SCT] Celestron C6.4 StarBright WLT (150mm F10)	152.40	10.00	1.00	Schmidt-Cassegrain	2.25

LISTADO DE TELESCOPIOS

Calculadora de Oculares - Versión 5.10 - Copyright© 2011-2021, Ing. Alejandro C. Barón - Desarrollado por Simoesoc. Software de Gestión de Calidad, Pedro Fernández y Seguridad

La primera opción (1), sólo es recomendada si no se tiene más de 100 o 200 oculares + telescopios. Por ejemplo, en el caso de la base de datos de 951 oculares y 44 telescopios, si bien las tres alternativas tardan bastante tiempo en cargar y en reaccionar a los cambios, la primera es mucho más lenta.

Alternativa con los oculares y telescopios del usuario:

Refractor apocromático F7.0 de 130 mm + Ocular de 1.25" de 14.0 mm y 82° (Barlow 2.0 x)

Apertura [mm]	130.00	Límite de Sparrow [arcsec]	0.82	Límite de Dawes [arcsec]	0.89
Distancia Focal [mm]	910.00	Límite de Rayleigh [arcsec]	1.06	Airy Disk [arcsec]	2.13
Relación Focal	7.00	Objeto resoluble en la Luna [km]	3.97	Objeto resoluble en el Sol [km]	1544.31
Field stop del focuser ["]	3.00	FOV máximo (MFOV) [grados]	2° 11' 55"	FOV máximo (MFOV) [arcmin]	191.91
Edad del observador [años]	52.50	Pupila adoptada [mm]	6.00	Ganancia de captación de luz	469.44
Destinatario [1] [en grados]	0	Magnitud Límite	13.07	Cota de magnificación	325.00
Resolución adoptada [arcsec]	1.06	Magnificación para 1.06 arcsec	325.00	Magnificación para 0.5 arcsec	325.00
Diseño óptico [APO]	▼	Factor de magnificación adoptado	2.50	Magnificación/Reducción [2]	2.00
Aplicar condiciones especiales		Pupila de salida en modo diurno	<input type="checkbox"/>	Aplicar la Regla de Whittaker	<input type="checkbox"/>

Rango de oculares utilizables en base a los siguientes criterios:

- Cota máxima de magnificación (325 x)
- Máxima magnificación para 0.50 arcsec
- Máxima magnificación para 1.06 arcsec
- Máxima focal para una pupila de 6.0 mm
- MFOV con oculares de 2" y 1.25"
- Focal [mm] / AFOV ["] para TFOV = 192°
- AFOV adoptado (Opcional)

Máxima focal con un ocular de 2.00" para un TFOV externo (192°)

Nota: El telescopio se encuentra dentro de los parámetros normales.

Información adicional del ocular seleccionado

(1) Parámetros de diseño del ocular					Parámetros del ocular					Parámetros con un barlow de: 2.0 x				
Barlow (B) [pujales]	Focal [mm]	AFOV [grados]	ER (Eye Relief) [mm]	MFOV [arcmin]	ER (efectivo) [mm]	PS (Pupila de Salida) [mm]	Aumento (efectivo) [x]	TFOV [arcmin]	Tránsito DEC=0° [horas:min]	ER (efectivo) [mm]	PS (Pupila de Salida) [mm]	Aumento (efectivo) [x]	TFOV [arcmin]	Tránsito DEC=0° [horas:min]
1.25 ▼	14.00	82.00	12.00	119.94 (03° 00')	12.22	2.00	63.00	75.89 (01° 18')	00:05:02	12.11	6.00	130.00	37.85	00:02:11

Ordenar por características del ocular

Barlow (B) [pujales]	Focal [mm]	AFOV [grados]	ER (Eye Relief) [mm]	MFOV [arcmin]	ER (efectivo) [mm]	PS (Pupila de Salida) [mm]	Aumento (efectivo) [x]	TFOV [arcmin]	Tránsito DEC=0° [horas:min]
1.25	14.0	82.0	12.0	119.94	12.22	2.00	63.00	75.89	00:05:02
1.25	24.7	67.0	13.0	119.9	13.0	3.5	36.8	109.1	00:07:15
1.25	4.3	70.0	15.0	119.9	15.0	0.8	211.8	19.8	00:01:19
1.25	25.0	60.0	15.0	119.9	15.0	3.6	36.4	98.9	00:08:35
DUAL	3.5	80.0	20.0	119.9	20.0	0.5	260.0	15.7	00:01:03
DUAL	88.0	20.0	1.1	113.8	35.9				00:02:23
2.00	21.8	68.0	20.0	113.8	35.9				00:02:23
DUAL	24.0	68.0	20.0	113.8	35.9				00:02:23
2.00	34.0	68.0	20.0	113.8	35.9				00:02:23
2.00	30.0	70.0	20.0	113.8	35.9				00:02:11

Telescopios disponibles (7):

- CELESTRON PowerSeeker (70mm F13)
- UNITAR OPTICA 130EDT (130mm F7)
- CELESTRON Optics (70mm F10)
- CELESTRON Optics (90mm F9)
- CELESTRON Optics (100mm F8)
- CELESTRON Optics (130mm F7)
- CELESTRON Optics (150mm F6)

OCUCALC Configuración

Calculadora de Oculares Versión: 1.16 - Copyright © 2011-2021, Ing. Alejandro S. Bardi
Desarrollada en Buenos Aires, República de Chile. Nota: Incluye y requiere Internet.

Formato número: [MM] [SS]

Alternativa con los oculares y el telescopio por defecto (el último utilizado y guardado):

Refractor apocromático F7.0 de 130 mm + Ocular de 2.00" de 18.0 mm y 82° (Barlow 2.0 x)

Apertura [mm]	130.00	Límite de Sparrow [arcsec]	0.82	Límite de Dawes [arcsec]	0.89
Distancia Focal [mm]	910.00	Límite de Rayleigh [arcsec]	1.06	Airy Disk [arcsec]	2.13
Relación Focal	7.00	Objeto resoluble en la Luna [km]	3.97	Objeto resoluble en el Sol [km]	1544.31
Field stop del focuser ["]	3.00	FOV máximo (MFOV) [grados]	2° 11' 55"	FOV máximo (MFOV) [arcmin]	191.91
Edad del observador [años]	52.50	Pupila adoptada [mm]	6.00	Ganancia de captación de luz	469.44
Destinatario [1] [en grados]	0	Magnitud Límite	13.07	Cota de magnificación	325.00
Resolución adoptada [arcsec]	1.06	Magnificación para 1.06 arcsec	325.00	Magnificación para 0.5 arcsec	325.00
Diseño óptico [APO]	▼	Factor de magnificación adoptado	2.50	Magnificación/Reducción [2]	2.00
Aplicar condiciones especiales		Pupila de salida en modo diurno	<input type="checkbox"/>	Aplicar la Regla de Whittaker	<input type="checkbox"/>

Rango de oculares utilizables en base a los siguientes criterios:

- Cota máxima de magnificación (325 x)
- Máxima magnificación para 0.50 arcsec
- Máxima magnificación para 1.06 arcsec
- Máxima focal para una pupila de 6.0 mm
- MFOV con oculares de 2" y 1.25"
- Focal [mm] / AFOV ["] para TFOV = 192°
- AFOV adoptado (Opcional)

Máxima focal con un ocular de 2.00" para un TFOV externo (192°)

Nota: El telescopio se encuentra dentro de los parámetros normales.

Información adicional del ocular seleccionado

(1) Parámetros de diseño del ocular					Parámetros del ocular					Parámetros con un barlow de: 2.0 x				
Barlow (B) [pujales]	Focal [mm]	AFOV [grados]	ER (Eye Relief) [mm]	MFOV [arcmin]	ER (efectivo) [mm]	PS (Pupila de Salida) [mm]	Aumento (efectivo) [x]	TFOV [arcmin]	Tránsito DEC=0° [horas:min]	ER (efectivo) [mm]	PS (Pupila de Salida) [mm]	Aumento (efectivo) [x]	TFOV [arcmin]	Tránsito DEC=0° [horas:min]
2.00 ▼	18.00	82.00	13.00	191.91 (03° 12')	13.26	2.57	50.58	97.32 (01° 37')	00:06:26	13.18	1.29	181.13	48.66	00:03:14

Ordenar por características del ocular

Barlow (B) [pujales]	Focal [mm]	AFOV [grados]	ER (Eye Relief) [mm]	MFOV [arcmin]	ER (efectivo) [mm]	PS (Pupila de Salida) [mm]	Aumento (efectivo) [x]	TFOV [arcmin]	Tránsito DEC=0° [horas:min]
1.25	14.0	82.0	12.0	119.94	12.22	2.00	63.00	75.89	00:05:02
1.25	24.7	67.0	13.0	119.9	13.0	3.5	36.8	109.1	00:07:15
1.25	4.3	70.0	15.0	119.9	15.0	0.8	211.8	19.8	00:01:19
1.25	25.0	60.0	15.0	119.9	15.0	3.6	36.4	98.9	00:08:35
DUAL	3.5	80.0	20.0	119.9	20.0	0.5	260.0	15.7	00:01:03
DUAL	88.0	20.0	1.1	113.8	35.9				00:02:23
2.00	21.8	68.0	20.0	113.8	35.9				00:02:23
DUAL	24.0	68.0	20.0	113.8	35.9				00:02:23
2.00	34.0	68.0	20.0	113.8	35.9				00:02:23
2.00	30.0	70.0	20.0	113.8	35.9				00:02:11

Telescopios disponibles (8):

- CELESTRON PowerSeeker (70mm F13)
- UNITAR OPTICA 130EDT (130mm F7)
- CELESTRON Optics (70mm F10)
- CELESTRON Optics (90mm F9)
- CELESTRON Optics (100mm F8)
- CELESTRON Optics (130mm F7)
- CELESTRON Optics (150mm F6)
- CELESTRON Optics (180mm F5)

OCUCALC Configuración

Calculadora de Oculares Versión: 1.16 - Copyright © 2011-2021, Ing. Alejandro S. Bardi
Desarrollada en Buenos Aires, República de Chile. Nota: Incluye y requiere Internet.

Formato número: [MM] [SS]

En el caso de las dos últimas (2) y (3), el telescopio es seleccionado a partir del último utilizado y el ocular es seleccionado mediante un algoritmo que busca maximizar el campo y la magnificación. También es posible cambiar esos parámetros editando el HTML, para ello se deben seguir las mismas pautas que en el caso de “Calculadora.zip”.

Tanto en el caso de las opciones compactas (2) y (3) como en el de “Calculadora.zip”, se ha incorporado recientemente información adicional acerca del ocular y su respuesta. La única diferencia es que mientras en el HTML de “Calculadora.zip” esa información se presenta mediante un cuadro de texto, en los otros casos es necesario hacer clic en el símbolo (i) que aparece a la derecha del título “Parámetros de diseño del ocular”. Por lo que es posible modificar los siguientes campos del telescopio:

Apertura	Diámetro en milímetros de la celda o espejo primario.
Distancia Focal	Distancia focal del telescopio en milímetros.
Relación Focal	Relación focal (F), el cociente entre la distancia focal y la apertura, ambos en las mismas unidades (alternativo a la Distancia Focal).
Field Stop del focuser	Diámetro del enfocador (focuser) en pulgadas (el baffle en el caso de algunos catadióptricos).
Edad del observador	Edad del observador expresada en años, se la utiliza para determinar el diámetro de la pupila (si se ingresa un valor para la “Pupila adoptada” se estimará la edad correspondiente a ese valor).
Modo diurno	Marcar para tomar en cuenta la contracción de la pupila del observador durante el día.
Pupila adoptada	Especificación de la pupila del observador en milímetros (alternativo a la edad del observador).
Declinación	Valor absoluto de la declinación de la estrella en grados, por defecto de tomará cero grados. Este parámetro se utiliza para evaluar el tiempo de tránsito de una estrella.
Resolución adoptada	En segundos de arco. Utilizado para ponderar los efectos de la resolución en la capacidad de magnificación. Por lo general, esta cota se encuentra por debajo de la correspondiente a la máxima magnificación para una resolución ideal. Los valores posibles son entre el Límite de Rayleigh y 10 segundos de arco. Cualquier valor fuera de ese rango será acotado.
Magnificación para la resolución adoptada	Permite obtener la resolución para lograr esa magnificación. Es decir, al ingresar algún valor en este campo se determinará la resolución para ese valor. Los valores posibles están entre el correspondiente a una resolución de 10 segundos de arco y el Límite de Rayleigh. Todo valor fuera de ese rango será acotado.
Diseño óptico (lista)	Se utiliza para determinar la máxima magnificación (Apertura \times Factor de magnificación).
Regla de Whittaker	Se aplicará la Regla de Whittaker (Factor de magnificación = 1).
Factor de magnificación adoptado	Se utiliza para determinar la máxima magnificación (Apertura \times Factor de magnificación), si se desea se puede seleccionar un valor diferente del Factor de magnificación recomendado.
Coeficiente de magnificación	Coeficiente de magnificación (mayor que uno en el caso de un barlow y menor que uno en el de un reductor focal).

En la opción (2), si el telescopio se encuentra en la lista, al hacer clic sobre el mismo pasará sus parámetros (apertura, relación focal, field stop, diseño óptico y pupila adoptada

En el caso de "Calculadora.zip", así como en las opciones (2) y (3), también es posible ingresar los parámetros de un ocular:

Diámetro del barril del ocular (lista)	Los valores posibles serán: 0.965", 1.25", 2" o DUAL (1.25" / 2"), este último será tratado como un ocular de 1.25" (ya que su Field Stop no puede ser mayor a 1.25"). Aunque existen algunos diseños en los que es posible desacoplar el barril de 1.25" quedando como oculares de 2" nativos (tal es el caso de los Baader Hyperion Planetarium, aunque en realidad, salvo los de 24 mm, en estos oculares la focal cambia al desacoplar ese adaptador, que en realidad es un barlow).
Distancia focal	Distancia focal del ocular en milímetros.
FOV aparente	AFOV. Diámetro angular del campo de visión en grados (especificado por el fabricante).
Eye relief (opcional)	En milímetros. Distancia entre el plano del ocular y el punto en el que se forma la pupila de salida (la distancia entre el ocular y el ojo del observador).

En las opciones (2) y (3), si el ocular se encuentra en la lista, al hacer clic sobre el mismo pasará sus parámetros.

Cualquiera de las opciones antes mencionadas requiere que previamente se hayan almacenado los oculares y telescopios (o telescopio) en la base de datos de la calculadora de oculares.

En el caso de que no se cuente con información almacenada en la base de datos sólo sería posible descargar alguna de las ya precargadas:

- Planilla completa de oculares y telescopios usuales: https://www.ocucalc.online/Listado_Completo.zip
- Planilla con los oculares y telescopios de referencia: <https://www.ocucalc.online/Equipamiento.zip>

Alternativamente es posible realizar una consulta rápida desde la página de inicio del sitio de la Calculadora de Oculares (<https://www.ocucalc.online>):

Parámetros de un equipo: Marcar para ordenar por tipo / denominación

Telescopio:	Refractor acromático	90 mm (3.5")	F10.0	o completar:	
Diseño óptico	Refractor Acromático	Utilizado para determinar la máxima magnificación			
Apertura	90.00	mm	(25.4 mm = 1 pulgada)		
Relación Focal	10.00	Focal/Apertura (ambos en las mismas unidades)			
Enfocador	1.25	pulgadas	En pulgadas, por omisión se asumirá 2 pulgadas		
Ocular:	Orion Stratus-SWA	DUAL	17.0	68°	o completar:
Barril	1.25/2" (duales)	Los duales (1.25/2") equivalen a los 1.25" en cuanto a MFOV.			
Focal del ocular	17.00	mm	Especificado por el fabricante		
FOV Aparente	68.00	°	Especificado por el fabricante (en grados)		
Eye Relief	20.00	mm	Especificado por el fabricante (por omisión se tomará 10 mm)		



Para la consulta hacer clic en la figura del telescopio

Para lo cual basta con seleccionar el telescopio y el ocular desde la listas desplegables (ordenadas por características o denominación (fabricante y/o modelo).

En caso de que el telescopio o el ocular no se encuentren incluidos en los listados, basta con ingresar los parámetros básicos:

Telescopio: Diseño óptico, Apertura, Relación Focal y el diámetro del Enfocador o el Field Stop.

Ocular: Diámetro del barril, Focal, AFOV y, opcionalmente el Eye Relief

Luego de completar todos los campos antes mencionados, basta con hacer clic sobre la imagen del telescopio:

Bibliografía, material recomendado y sitios referenciados

El material que se ha utilizado para este manual se refiere principalmente a temas de óptica geométrica, óptica física, telescopios, oculares, filtros y, en menor medida, astrofísica, astrofotografía y astronomía aplicada. Sin embargo, también se ha incluido material adicional a título de referencia. Tal es el caso de los textos de astrofotografía, manuales de observación, atlas celestes y textos divulgación científica, los cuales se encuentran ordenados por tema. Al final de cada referencia bibliográfica se ha incluido un identificador que hace referencia al perfil recomendado para abordar el material:

- [S] Nivel superior: Perfil terciario o universitario preferentemente en óptica, ciencias exactas o ingeniería. Requiere de cierto conocimiento específico en matemática (cálculo diferencial e integral en una o más variables, álgebra lineal, trigonometría esférica, cálculo tensorial, variable compleja, etc.)
- [M] Nivel medio: Nivel educativo medio, bachiller o equivalente. Salvo nociones básicas de trigonometría, en general no se requiere de mayor conocimiento matemático.
- [G] Nivel general: En principio no requiere de ningún perfil en específico.

Muchos de estos libros están disponibles en Google Books para ser consultados de forma total o parcial (acceso a algunas de sus páginas), otros pueden ser consultados o descargados desde varias bibliotecas virtuales disponibles en internet, por ejemplo: *Academia.edu* (<https://www.academia.edu>), *Internet Archive* (<https://archive.org>), *Google books* (<https://books.google.com>) y *Cornell University* (<https://arxiv.org>).

Bibliografía consultada:

1. *A survey of refractive systems for astronomical telescopes* - Roger Ceragioli
Publicado en formato html, actualmente ya no se encuentra disponible (2006) [G]
2. *Amateur astronomer's handbook - 4th Edition* - J. B. Sidgwick
Enslow Publishers (1980) [G]
3. *Amateur telescope making* - Stephen F. Tonkin (Ed.)
Springer (1999) [G]
4. *Amateur telescope making advanced (Book 1)* - Albert G. Ingalls et al
Munn & Co. (1937) [G]
5. *Amateur telescope making advanced (Book 2)* - Albert G. Ingalls et al
Scientific American Inc. (1952) [G]
6. *Astronomical optics - 2nd edition* - Daniel J. Schroeder
Academic Press Inc. Ltd. (2000) [S]
7. *Astronomical seeing conditions as determined by turbulence modelling and optical measurement* - Marisa Nickola
University of Pretoria (2012) [G]
8. *Astronomy, a handbook* - Günter D. Roth et al
Springer (1975) [S]
9. *Basic optics for the astronomical sciences* - James B. Breckinridge
SPIE Press (2012) [S]
10. *Choosing and using a dobsonian telescope* - Neil English
Springer (2011) [G]
11. *Choosing and using a refracting telescope* - Neil English
Springer (2011) [G]
12. *Choosing and using astronomical eyepieces* - William Paolini
Springer (2013) [G]

13. *El telescopio del aficionado. Cómo se construye* - Jean Texereau
Willmann-Bell Inc. (1957) [G]
14. *Encyclopedia of modern optics - 2nd edition - Volumes 1 to 5* - Robert D. Guenther et al
Elsevier Academic Press (2018) [S]
15. *Estrellas y matemática* - Jaime García
Ediciones Kaicron (2012) [S]
16. *Fundamental astronomy - 5th edition* - Hannu Karttunen, Pekka Kröger, Heikki Oja, et al
Springer (2007) [S]
17. *Fundamental astronomy - 6th edition* - Hannu Karttunen, Pekka Kröger, Heikki Oja, et al
Springer (2017) [S]
18. *Fundamentals of atmospheric and adaptive optics* - Paul Hickson
University of British Columbia (2008) [G]
19. *Fundamentos de astrofísica* - Jorge Zuluaga
Universidad de Antioquia (2007) [M]
20. *Geometrical and instrumental optics* - Daniel Malacara et al
Academic Press Inc. Ltd. (1988) [S]
21. *Handbook of optical design* - Daniel Malacara y Zacarías Malacara
CRC Press (2013) [S]
22. *Handbook of optical systems - Volumes 1, 2, 3,4 y 5* - Herbert Gross et al
WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. (2005 - 2012) [S]
23. *Handbook of optics - Volumes 1, 2, 3 y 4, 2nd edition* - Michael Bass et al
McGraw-Hill (1995) [S]
24. *Handbook of optics - Volume 1, 2 y 3, 3rd edition* - Michael Bass et al
McGraw-Hill (2010) [S]
25. *Handbook of practical astronomy* - Günter D. Roth et al
Springer (2009) [S]
26. *How to make a telescope* - Jean Texereau
Willmann-Bell Inc. (1957) [G]
27. *Integrated optomechanical analysis - 1st edition* - Keith B. Doyle et al
Spie Press (2002) [S]
28. *Integrated optomechanical analysis - 2nd edition* - Keith B. Doyle et al
Spie Press (2012) [S]
29. *Introducción a la astrofísica* - Jorge Zuluaga
Universidad de Antioquia (1997) [M]
30. *Las herramientas del astrónomo* - Gerhard M. Miczaika y William M. Sinton
Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA) (1967) [G]
31. *Light - 1st Edition* - R. W. Ditchburn
Blackie and Son Ltd. (1958) [S]
32. *Light - 2nd Edition* - R. W. Ditchburn
Blackie and Son Ltd. (1963) [S]
33. *Light - Volume 1* - R. W. Ditchburn
Academic Press Inc. Ltd. (1976) [S]
34. *Light - Volume 2* - R. W. Ditchburn
Blackie and Son Ltd. (1963) [S]

35. *Making & enjoying telescopes* - Robert Miller and Kenneth Wilson
Sterling Publishing Co. Inc. (1995) [G]
36. *Making your own telescope* - Allyn J. Thompson
Dover Publications Inc. (1973) [G]
37. *Óptica - 3ra edición* - Eugene Hetch
Addison Wesley (2000) [S]
38. *Óptica* - Robert William Ditchburn
Editorial Reverté S.A. (1982) [S]
39. *Óptica - Tomo I* - G. S. Landsberg
MIR (1983) [M]
40. *Óptica básica* - Daniel Malacara
Fondo de Cultura Económica (2015) [S]
41. *Óptica de Fourier* - Claudio Iemmi
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA (2017) [S]
42. *Optical shop testing* - Daniel Malacara et al
John Wiley & Sons Inc. (2007) [S]
43. *Optical turbulence characterization for ground-based astronomy* - Susanna Hagelin
Uppsala Universitet (2010) [G]
44. *Optics - 2nd edition* - Sir Francis Graham Smith F.R.S., J. H. Thomson et al
John Wiley & Sons Inc. (1971) [S]
45. *Optics - 5th edition* - Eugene Hecht
Pearson Education (2017) [S]
46. *Optics, light and lasers* - Dieter Meschede
WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (2007) [S]
47. *Reflecting telescope optics I* - Raymond N. Wilson
Springer (2007) [G]
48. *Reflecting telescope optics II* - Raymond N. Wilson
Springer (2001) [G]
49. *Standard handbook for telescope making* - N. E. Howard
Thomas Y. Crowell Company (1959) [M]
50. *Star testing astronomical telescopes. A manual for optical evaluation and adjustment* - Harold R. Suiter
Willmann-Bell Inc. (2001) [G]
51. *Telescope Optics Complete manual for amateur astronomers* - Harrie G. J. Rutten y Martin A.M. van Venrooij
Willmann-Bell Inc. (1988) [G]
52. *Telescopes* - Gerard P. Kuiper and Barbara M. Middlehurst
The University of Chicago Press (1962) [M]
53. *Telescopes and techniques an introduction to practical astronomy* - C. R. Kitchin
Springer (1995) [G]
54. *Telescopios y estrellas* - Daniel Malacara
Fondo de Cultura Económica (1995) [G]
55. *The adjustment and testing of telescope objectives* - Dennis H. Taylor - Sir Howard Grubb.
Parsons & Co. (1946) [G]
56. *The amateur telescope* - F. A. Ellison
R. Carswell & Son Ltd. (1920) [G]

57. *The design and construction of large optical telescopes* - Pierre Y. Bely
Springer (2003) [G]
58. *The dobsonian telescope* - David Kriege y Richard Berry
Willmann-Bell Inc. (1997) [G]
59. *The principles of astronomical telescope design* - Jingquan Cheng
Springer (2009) [S]

Material adicional y de consulta:

Óptica, telescopios, oculares y filtros:

60. *A history of optics from Greek antiquity to the nineteenth century* - Olivier Darrigol
Oxford University Press (2012) [G]
61. *Advanced amateur astronomy* - Gerald North
Cambridge University Press (1990) [M]
62. *Care of astronomical telescopes and accessories* - M. Barlow Pepin
Springer (2005) [G]
63. *Choosing and using astronomical filters* - Martin Griffiths
Springer (2015) [G]
64. *Classic telescopes* - Neil English
Springer (2013) [G]
65. *Classical and modern optics* - Daniel A. Steck
Department of Physics, University of Oregon (2020) [S]
66. *Evolution of the astronomical eyepiece* - E. J. Hysom y C.J.R. Lord
Brayebrook Observatory (1996) [G]
67. *Fundamentals of optics* - Francis A. Jenkins y Harvey E. White
Fundamentals of optics - McGraw-Hill (2001) [M]
68. *Fundamentos de óptica* - Francis A. Jenkins y Harvey E. White
Aguilar S.A. (1964) [M]
69. *Geometric, physical, and visual optics* - Michael Keating
Butterworth-Heinemann (2002) [M]
70. *Introduction to modern optics* - Grant R. Fowles
Dover Publications Inc. (1975) [S]
71. *Introduction to optics* - 3th edition - Frank L. Pedrotti y Leno S. Pedrotti
Pearson Education (2006) [S]
72. *La construction du télescope d'amateur* - Ile Édition - Jean Texereau
Société Astronomique de France (1961) [G]
73. *Practical optics* - Naftaly Menn
Elsevier Academic Press (2004) [M]

Astrofotografía y matemática aplicada:

74. *A practical guide to CCD astronomy* - Patrick Martinez and Alain Klotz
Cambridge University Press (2000) [G]
75. *Astrofotografía. Manual de técnicas del amateur* - Patrick Martínez
Ediciones Omega S.A. (1999) [G]
76. *Astrofotografía con cámaras réflex digitales* - Michael A. Covington
Ediciones Akal S.A (2007) [G]

77. *Astrophotography - 2nd edition - Barry Gordon*
Willmann-Bell Inc. (1985) [M]
78. *Astronomical image and data - Jean-Luc Starck y Fionn Murtagh*
Springer (2006) [S]
79. *Blind deconvolution - Simon Haykin et al*
Prentice-Hall International Inc. (1994) [S]
80. *Blind image deconvolution, Subhasis Chaudhuri, Rajbabu Velmurugan y Renu Rameshan*
Springer (2014) [S]
81. *Blind image deconvolution - Theory and applications - Patrizio Campisi, Karen Egiazarian et al*
CRC Press (2007) [S]
82. *Digital image processing - 3rd edition - Rafael C. González y Richard E. Woods*
Pearson Education (2008) [S]
83. *Digital image processing - Rafael C. González y Richard E. Woods*
Pearson Education (2018) [S]
84. *Digital image processing - Wilhelm Burger y Mark J. Burge*
Springer (2016) [S]
85. *Digital SLR Astrophotography - Michael A. Covington*
Cambridge University Press (2007) [G]
86. *Electronic imaging in astronomy - Ian S. McLean*
Springer (2008) [G]
87. *Handbook of CCD astronomy - Steve B. Howell*
Cambridge University Press (2006) [G]
88. *Observaciones astronómicas con webcam y CCD - Juan Carlos Casado y Miquel Serra-Ricart*
Instituto de Astrofísica de Canarias (2003) [G]
89. *Optical imaging and photography - Ulrich Teubner y Hans Josef Brückner*
Walter de Gruyter GmbH (2019) [S]
90. *Practical machine learning and image processing - Himanshu Singh*
Apress (2019) [M]
91. *The astrophotography manual. A practical and scientific approach to deep space imaging - Chris Woodhouse*
Focal Press (2016) [G]
92. *The handbook of astronomical image processing - Richard Barry y James Burnell*
Willmann-Bell Inc. (2005) [M]

Manuales de observación, divulgación y atlas celestes:

93. *A simple guide to telescopes, spotting scopes and binoculars - Bill Corbett*
Watson-Guptill Publications (2002) [G]
94. *Astronomy - Jay M. Pasachoff*
Pearson (2009) [G]
95. *Astronomy - Sir Patrick Moore et al*
Oldbourne Book Co. Ltd. (1961) [G]
96. *Astronomy day handbook - 7th edition - David H. Levy - Astronomical League*
Sky & Telescope (2017) [G]
97. *Astronomy encyclopedia - Sir Patrick Moore et al*
Philip's (2002) [G]
98. *Astronomy now - Jay M. Pasachoff*
W. B. Saunders Company (1978) [G]

99. *Atlas celeste. Guía práctica para observaciones de campo. Ambos hemisferios* - Constantino Baikouzis
Gnomon (2009) [G]
100. *Binocular astronomy* - Stephen Tonkin
Springer (2007) [G]
101. *Contemporary astronomy* - Jay M. Pasachoff
W. B. Saunders Company (1977) [G]
102. *Curso de astronomía general* - P. I. Bakulin et al
MIR (1987) [G]
103. *Exótico cielo profundo* - Rodolfo Ferraiuolo y Enzo De Bernardini
Maizal Ediciones (2015) [G]
104. *Galileo's glassworks* - Eileen Reeves
Harvard University Press (2008) [G]
105. *Galileo, the telescope, and the science of optics in the sixteenth century* - Sven Dupre
Universiteit Gent (2002) [G]
106. *Guide to the night sky* - David h. Levy
Cambridge University Press (2001) [G]
107. *Guía de campo de las estrellas y los planetas de los Hemisferios Norte y Sur* - Jay M. Pasachoff
Ediciones Omega S.A. (2002) [G]
108. *Guide to the night sky* - David h. Levy
Cambridge University Press (2001) [G]
109. *How to use a computerized telescope* - Michael A. Covington
Cambridge University Press (2002) [G]
110. *How to use an astronomical telescope* - James Muirden
Linden Press - Simon & Schuster (1985) [G]
111. *Manual de astronomía* - Armando Zandanel
Ediciones Kaicron (2011) [G]
112. *Observar el Cielo* - David H. Levy
Editorial Planeta (2005) [G]
113. *Southern sky guide* - Wil Tirion
Cambridge University Press (2008) [G]
114. *Stargazing astronomy without a telescope* - Sir Patrick Moore
Cambridge University Press (2001) [G]
115. *Telescopes* - Lionel Bender
Aladdin Books Ltd. (1991) [G]
116. *The history of the telescope* - Henry C. King
Dover Publications Inc. (1995) [G]
117. *The practical astronomer* - Thomas Dick
Seeley, Burnside And Seeley (1845) [G]
118. *The telescope - A short history* - Richard Dunn
National Maritime Museum (2009) [G]
119. *To measure the sky. An introduction to observational astronomy* - Frederick R. Chromey
Cambridge University Press (2010) [G]
120. *Visual Astronomy of the deep sky* - Roger N. Clark
Cambridge University Press (1990) [G]

Referencias bibliográficas

Si bien los enlaces a sitios de terceras partes son verificados periódicamente, es habitual que muchas universidades o editoriales reorganicen sus servidores por lo que pueden no estar disponibles en el momento de la consulta. Si no se logra acceder a algún vínculo en particular, se recomienda buscar en Internet por el título y/o el autor.

- §1 Weather Office, Environment Canada, Government of Canada
<http://www.weather.gc.ca/>
Seeing forecast for astronomical purposes
http://www.weather.gc.ca/astro/seeing_e.html
- §2 On super-resolution in astronomical imaging - K. G. Puschmann and F. Kneer
<https://publications.goettingen-research-online.de/bitstream/2/42601/2/aa2320-04.pdf>
- §3 Handbook of optics - Volume 2 (2nd edition), Chapter 32 - Transfer function techniques, Glenn D. Boreman
[https://cdn.preterhuman.net/texts/science_and_technology/physics/Optics/Handbook of Optics second edition vol. 2 - Bass M.pdf](https://cdn.preterhuman.net/texts/science_and_technology/physics/Optics/Handbook_of_Optics_second_edition_vol.2_-_Bass_M.pdf)
- §4 Óptica de Fourier, Claudio Lemmi, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, 2017
https://materias.df.uba.ar/fouriera2017c1/files/2012/07/CURSO-FOURIER_173.pdf
- §5 The Fourier transform and its applications, Brad Osgood, Stanford University
<https://see.stanford.edu/materials/lsoftaee261/book-fall-07.pdf>
- §6 How to Read MTF Charts
<https://photographylife.com/how-to-read-mtf-charts>
- §7 Notes on amateur telescope optics, Telescope central obstruction: size criteria
http://www.telescope-optics.net/telescope_central_obstruction.htm
- §8 Notes on amateur telescope optics, The effects of aperture obstruction
<http://www.telescope-optics.net/obstruction.htm>
- §9 What are the effects of obstruction? - Thierry Legault
<http://www.astrophoto.fr/obstruction.html>
- §10 Basic wavefront aberration theory for optical metrology, James C. Wyant, University of Arizona
https://wp.optics.arizona.edu/jcwyant/wp-content/uploads/sites/13/2016/08/03-BasicAberrations_and_Optical_Testing.pdf
- §11 Choosing and using a refracting telescope, Chapter II, Neil English, 2011
http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9781441964021-c1.pdf
- §12 The principles of astronomical telescope design, Chapter 2 Mirror design for optical telescopes, J. Cheng
http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9780387887906-c2.pdf
- §13 Notes on amateur telescope optics, Strehl Ratio
<http://www.telescope-optics.net/Strehl.htm>
- §14 Foro de Cloudy Nights, Strehl determination of eight APOs
<http://www.cloudynights.com/topic/260830-strehl-determination-of-eight-apos/#entry3310979>
- §15 Depth of focus, Rodger W. Gordon & Chris Lord
<http://www.brayebrookobservatory.org/BrayObsWebSite/HOMEPAGE/forum/depthoffocus.pdf>
- §16 The Earth's atmosphere: seeing, background, absorption & scattering, Prof. S. C. Trager, 2018
<http://www.astro.rug.nl/~sctrager/teaching/OA/Atmosphere.pdf>
- §17 Astronomical optics and astronomical seeing (optical turbulence) - Part 1: The nature of turbulence
<http://handprint.com/ASTRO/seeing1.html>
- §18 Astronomical optics and Astronomical seeing (optical turbulence) - Part 2: Seeing measurement methods
<http://handprint.com/ASTRO/seeing2.html>

- §19 *Optical Turbulence Characterization for Ground-Based Astronomy*, Susanna Hagelin, Uppsala Universitet
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:359217/FULLTEXT01.pdf>
- §20 *The RASC Calgary Centre - Atmospheric seeing*
<http://calgary.rasc.ca/seeing.htm>
- §21 *Astronomía Observacional, La Atmósfera Terrestre*, G. L. Baume, 2013
https://www.fcaglp.unlp.edu.ar/uploads/docs/astronomia_observacional.pdf
- §22 *Astrosurf - Mejora de la relación señal a ruido, seeing y resolución*
http://www.astrosurf.com/cometas-obs/II_Jornada/Calibracion/seeingresolucion.html
- §23 *EQAlign, Manual de usuario*
<http://eqalign.sourceforge.net/index-en.html>
- §24 *Astronomical seeing conditions as determined by turbulence modelling and optical measurement*
<https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/28328/Complete.pdf?sequence=6>
- §25 *Astronomical optics and astronomical seeing. Seeing measurement methods, Angular diameter of star image*
<http://handprint.com/ASTRO/seeing2.html#CCD>
- §26 *Metodología para cálculo de seeing*, Roberto Schöngarth, Observatorio Centroamericano de Suyapa
<http://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/609>
- §27 *Laser guide star available for adaptive optics*, W. M. Keck Observatory
http://keckobservatory.org/laser_guide_star_available_for_adaptive_optics/
- §28 *Max-Planck-Gesellschaft (Instituto)*
<http://www.mpg.de>
- §29 *LBT Collaboration, Sharper than Hubble, Large Binocular Telescope achieves major breakthrough*
<http://www.mpg.de/618842/pressRelease20100615>
- §30 *Fundamentos de astrofísica*, Jorge I. Zuluaga, 2007
<https://www.scribd.com/document/41856428/FundamentosAstrofisicaZuluaga-Completo>
- §31 *Adaptive optics, an overview of GMT Adaptive Optics (Giant Magellan Telescope)*
<https://dokumen.tips/documents/9-adaptive-optics-2014-5-30-the-corrected-field-can-be-increased-with-multi-conjugate.html>
- §32 *Adaptive optics on large telescopes*
<http://www.mpia.de/AO/INSTRUMENTS/FPRAKT/AOonLargeTelescopes.pdf>
- §33 *Architecture and performance of astronomical adaptive optics systems*, Jet Propulsion Laboratory, NASA
<https://trs.jpl.nasa.gov/bitstream/handle/2014/9686/02-1841.pdf>
- §34 *Fundamentals of atmospheric and adaptive optics*, Paul Hickson, University of British Columbia, 2008
<http://www.aeos.ulg.ac.be/upload/ao.pdf>
- §35 *Carlos Di Nallo, Alfacentauri astrofotografía*
<http://carlosdn-alfacentauri.blogspot.com.ar/>
- §36 *Notes on amateur telescope optics, Telescope eyepiece, Eyepiece functions*
<https://www.telescope-optics.net/eyepiece1.htm>
- §37 *Astronomical optics - Part 5: Eyepiece Designs*
<https://www.handprint.com/ASTRO/ae5.html>
- §38 *Handbook of optics - Volume 2 (2nd edition), Chapter 2 - Afocal systems*, William B. Wetherell
http://www.photonics.intec.ugent.be/education/IVPV/res_handbook/v2ch02.pdf
- §39 *How to adjust the focal length? - Barlow lens projection - Astrophotography by Thierry Legault*
<http://www.astrophoto.fr/focal.html>
- §40 *Formulae for astrophotography - Effective focal length from barlow projection - AstroPix - Jerry Lodriguss*
<https://www.astropix.com/html/astrophotography/astrophotography-formulae.html>

- §41 *Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Spherical)*
<http://www.handprint.com/ASTRO/ae4.html#Spherical>
- §42 *Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Coma)*
<http://www.handprint.com/ASTRO/ae4.html#coma>
- §43 *CDGM, China (fluorita artificial para objetivos)*
http://www.cdgmgd.com/?language=zh_US
- §44 *Hoya, Japón (fluorita artificial para objetivos)*
<http://www.hyoaoptics.com>
- §45 *Ohara, Japón (fluorita artificial para objetivos)*
<http://www.oharacorp.com/fpl.html>
- §46 *Schott, Alemania (fluorita artificial para objetivos)*
<https://www.schott.com/shop/advanced-optics/en/>
- §47 *LZOS, Rusia (fluorita artificial para objetivos)*
<http://lzos.ru/>
- §48 *Refractive index*
<http://refractiveindex.info>
- §49 *Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Chromatic)*
<http://handprint.com/ASTRO/ae4.html#chromatic>
- §50 *Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Astigmatism)*
<http://handprint.com/ASTRO/ae4.html#astigmatism>
- §51 *Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Curvature)*
<http://handprint.com/ASTRO/ae4.html#curvature>
- §52 *Astronomical optics - Part 4: Optical aberrations (Distorsion)*
<http://handprint.com/ASTRO/ae4.html#distortion>
- §53 *Aberrator 3.0, Cor Berrevoets, Ritthem, Netherland, 2002*
<http://aberrator.astronomy.net/>
- §54 *Técnicas en el procesamiento digital de imágenes - Una constante exploración de nuevos campos con PixIn-sight - Jordi Gallego - V Seminario de Astrofotografía Digital de Cielo Profundo - Madrid, 31 de Octubre 2009*
http://astrosurf.com/jordigallego/articles/Pixinsight_avanzado_JGallego.pdf
- §55 *Stacked images of the crater Copernicus before and after deconvolution using the Lucy Richardson method. No other processing has been applied - Wikipedia*
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Deconvolution_of_an_astronomical_image.png
- §56 *Image Processing Toolbox - Image Filtering - Basic Image Filtering - 2-D adaptive noise-removal filtering*
<https://www.mathworks.com/help/images/ref/wiener2.html>
- §57 *Explore Scientific (sitio del fabricante)*
<https://explorescientificusa.com/collections/eyepiece>
Información adicional:
https://www.cloudynights.com/index.php?app=core&module=attach§ion=attach&attach_id=1090335
- §58 *Tele Vue (sitio del fabricante)*
https://www.televue.com/engine/TV3b_page.asp?id=214&plain=TRUE#.Ur2gIOxm4y4
- §59 *Baader Planetarium (sitio del fabricante)*
<https://www.baader-planetarium.com/en/accessories/optical-accessories/eyepieces.html>
- §60 *Sitio web de la calculadora de oculares*
<https://www.ocucalc.online>

Contacto

Por consultas o sugerencias referidas al presente documento o la calculadora de oculares se puede utilizar el siguiente link: <https://www.ocucalc.online/consultas.asp>, o bien por correo electrónico a: info@ocucalc.online o abarelli@gmail.com

MANUAL DE LA CALCULADORA DE OCULARES (ELEMENTOS DE ÓPTICA E INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS)

Copyright 2011-2024 - Ing. Alejandro C. Barelli

El presente documento no recomienda ningún equipamiento ni posee finalidad comercial y está destinado exclusivamente al astrónomo amateur. Salvo el material que sea propiedad intelectual de terceras partes, el restante contenido podrá ser utilizado exclusivamente sin fines comerciales y en sitios relacionados con la astronomía amateur, para lo cual será condición necesaria y suficiente citar la fuente, incluyendo la URL de este sitio web (<https://www.ocucalc.online>) y el nombre del autor. El material que se detalla a continuación, es propiedad de sus respectivos autores, los cuales mantienen su copyright original: Figura 1, 2, 7 y 14: (las 5 imágenes) Copyright 2011-2024 by Weather Office, Environment Canada, Government of Canada – Figura 3: Publié par Astrosurf (Portail d'Astronomie des Astronomes Amateurs) Copyright 1997-2024 par Esteban Reina Lorenz – Figura 4: Copyright 2005-2024 by W. M. Keck Observatory – Figura 5: Copyright 2003-2024 by LBT Collaboration, Max-Planck-Gesellschaft, München, Deutschland – Figura 6: Copyright 2012-2024 por Carlos Di Nallo – Figuras 8 a 13: Copyright 2012-2024 by Bruce MacEvoy – Figura 15 Copyright 2009-2024 por Jordi Gallego – Figura 16 Copyright 2012-2024 by Stub Mandrel – Figura 17 Copyright 1994-2024 by The MathWorks, Inc. – Los sitios de terceras partes son responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores y/o responsables. –

Estado	Responsable	Revisión	Fecha	Formato	Repositorio de la última versión disponible
EN REVISIÓN	Alejandro C. Barelli	CO.101	2024.08.19	Carta 215.9 × 279.4	https://www.ocucalc.online/ayuda.htm