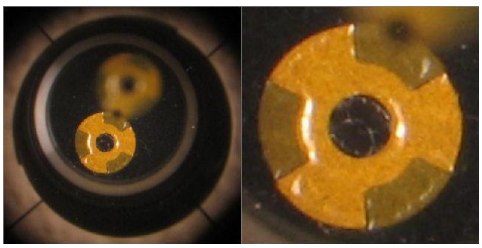
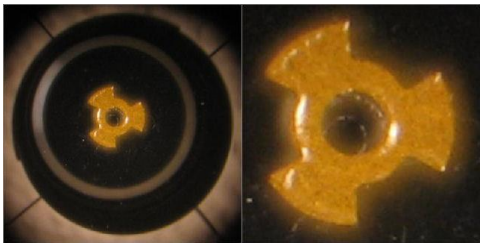
COLIMACIÓN DE TELESCOPIOS NEWTON CON HERRAMIENTAS CATSEYE

Deluxe TRIPLEPACK PRO XLKP





Traducido del inglés y editado por Jesús Navas Fernández,
miembro de la Agrupación Astronómica de Málaga Sirio.
https://www.astrosirio.org/

Málaga, a 6 de octubre de 2020.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN 3

LAS HERRAMIENTAS DE COLIMACIÓN 4

ANÁLISIS DE LA IMAGEN PROPORCIONADA POR EL AUTOCOLIMADOR 6

CRITERIOS DE UNA BUENA COLIMACIÓN DE UN TELESCOPIO NEWTON 8

TIPOS DE ERRORES DE ALINEAMIENTO AXIALES 9

RECOMENDACIONES PREVIAS 9

REQUISITOS PREVIOS 10

CENTRADO DEL SECUNDARIO CON EL TELECAT XL, AJUSTANDO EL DESCENTRADO DE LA POSICIÓN DEL SECUNDARIO 11

PROCEDIMIENTO DE COLIMACIÓN “CDP” (VIC MENARD) CON LAS HERRAMIENTAS CATSEYE . 13

PROCEDIMIENTO DE COLIMACIÓN ITERATIVO DE JASON KHADDER 17

ANEXO 1 – TOLERANCIAS AXIALES (VIC MENARD) 18

INTRODUCCIÓN

No se insistirá lo suficiente en la necesidad de una buena colimación de los telescopios para conseguir un rendimiento acorde a sus prestaciones teóricas, tanto visuales como fotográficas. Esto es especialmente habitual en los reflectores, por su mayor propensión a la descolimación que los refractores. De ahí la necesidad de contar con unas herramientas y técnicas adecuadas para realizar la colimación por parte del propio usuario de los telescopios con un elevado grado de precisión y fiabilidad, con independencia de las condiciones de turbulencia atmosférica. Son pocos los aficionados que son conscientes de que, para mantener el nivel de calidad de las imágenes que sus equipos pueden dar, se requiere una precisión en el alineado de solo una fracción de milímetro. En la actualidad, esto es cada vez más exigente, dados los diminutos fotositos y gran tamaño de sensor de las cámaras modernas o los telescopios de relaciones focales cada vez más reducidas, ya que la tolerancia al error del eje del primario aumenta con el cubo del número f/ ($f/^3$).

Desde hace años, han proliferado los colimadores láser, que tienen como ventaja fundamental su sencillez y comodidad de uso, aparte de su coste en la mayoría de los casos. Pero lamentablemente, son insuficientes para garantizar un correcto alineado de las ópticas y son propensos a descolimarse o a proporcionar márgenes de error o incertidumbre inaceptables cuando se persigue el máximo rendimiento de que es capaz el telescopio y el cielo bajo el que se utiliza. Aunque pueden ser de gran ayuda para realizar una primera aproximación y pueden servir de referencia una vez se haya colimado previamente el telescopio, no pueden constituir la única herramienta para ello.

Por eso se han desarrollado herramientas de colimación alternativas de muy alta calidad y un nivel de precisión que va mucho más allá de lo que permiten los colimadores láser habituales. Hablamos de las herramientas de colimación de **CATSEYE** (Jim Fly).

Cabe recordar que éstas, a pesar de la inestimable ayuda que proporcionan, incluido el diagnóstico de diversos defectos ópticos y mecánicos o estructurales del telescopio, no sustituyen la verificación bajo el cielo mediante test de estrella. Sin embargo, no siempre es factible poder realizar este test con ciertas garantías, por ejemplo, por el efecto de la turbulencia u otros motivos, limitación que no se tiene con estas herramientas de colimación.

El presente documento (texto e imágenes) se basa en las técnicas de colimación descritas en las siguientes páginas web, y son aptas para telescopios reflectores de tipo newton. Mi agradecimiento y reconocimiento a todas ellas.

https://www.youtube.com/watch?v=Vj12cx3tnsM

https://www.youtube.com/watch?v=8ROvNH5uwDo

https://www.catseyecollimation.com/

https://www.catseyecollimation.com/pensack.pdf

http://w1.411.telia.com/~u41105032/Acoll/Acoll.htm

El procedimiento completo descrito aquí se lleva a cabo con las herramientas de colimación de 2” que se detallan a continuación y que forman el llamado ***Deluxe TRIPLEPACK PRO XLKP***, que es específico para relaciones focales comprendidas entre f/3.5 – f/6.

https://www.catseyecollimation.com/deluxekits.html

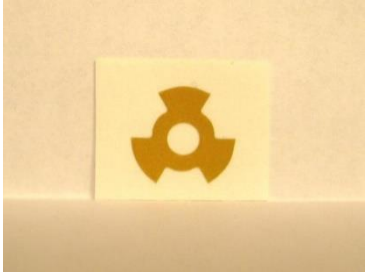
Para relaciones focales más cortas, de entre f/3 – f/5, está el mismo pack, pero en la versión ***XLSKP***. El procedimiento de colimación descrito en este manual es idéntico.

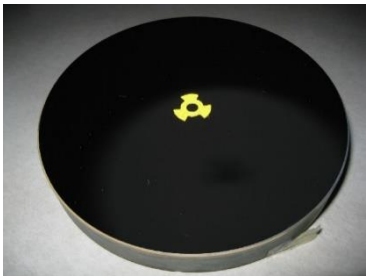
No se detallan todas las posibles técnicas, solo la llamada “*CDP”* y un método iterativo (ver más adelante). La primera es la recomendada porque es la más sencilla y parece poder aplicarse en la mayoría de las situaciones habituales. Se ha simplificado todo lo que se ha podido mientras siguiera siendo comprensible el procedimiento. Por eso, se han omitido justificaciones, demostraciones geométricas y técnicas alternativas. Quien desee profundizar en ellas, puede hacerlo en los documentos originales que se han usado aquí y en el libro de Vic Menard *New Perspectives on Collimation*.

Se recomienda leer este documento en orden por primera vez e ir solo al procedimiento si se han leído y entendido los apartados previos. No tenga prisa. Cuanto mejor comprenda lo que ve, mejor y más rápido podrá colimar. Espero que le sea de utilidad.

LAS HERRAMIENTAS DE COLIMACIÓN

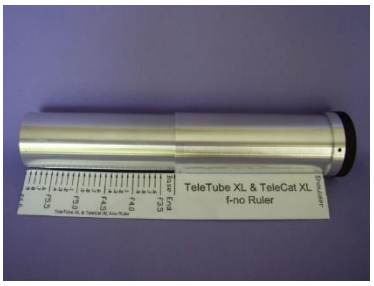
HotSpot. Es una pegatina que se coloca en el centro justo del primario con ayuda de una plantilla de acetato (bien para telescopios de hasta 15”, o bien hasta 32”), que también está disponible en CATSEYE. Tiene forma de símbolo radiactivo amarillo o blanco. Es muy reflectante, y ayuda así a poder identificar con más facilidad sus múltiples reflejos.

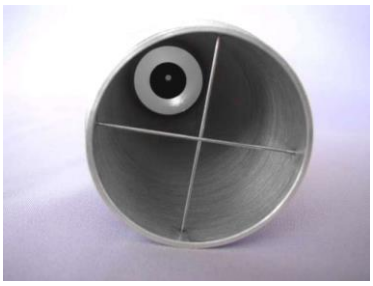




Linterna auxiliar LED. Gracias a su pinza, sirve para iluminar bien el centro del primario con el HotSpot desde la araña del secundario, lo que nos permitirá colimar sin dificultad tanto de día como de noche, en cualquier condición de iluminación.

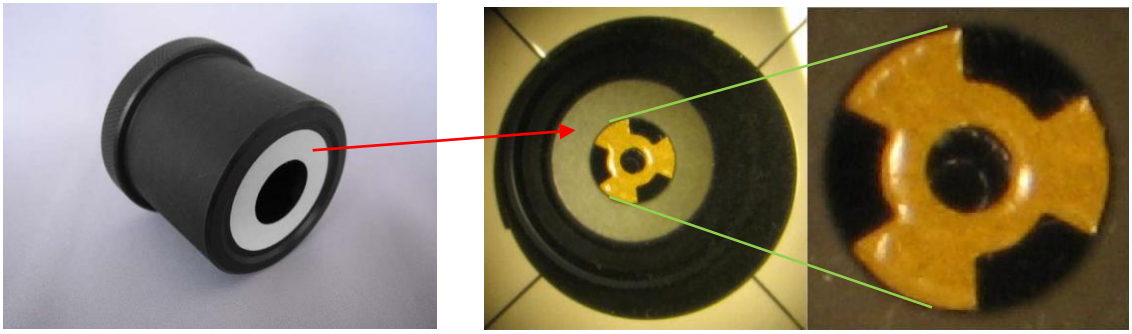
TELECAT XL. Es un tubo de visión de 2” con una cruceta en el extremo que da al interior del telescopio. A diferencia del TELETUBE XL, el TELECAT XL lleva incorporado un BLACKCAT XL (ver debajo), con lo que su función es dual, como tubo de visión y Cheshire. Ambos modelos son equivalentes a los efectos de la funcionalidad de cara al procedimiento de colimación descrito aquí. Su longitud es variable, para poder adaptarla a la relación focal del telescopio mediante un tubo interno extensible que se puede deslizar aflojando o apretando dos pequeños tornillos con cabeza Allen que están en el extremo que da al interior del telescopio. Esos tornillos no deben apretarse demasiado, o deformarán el tubo y éste no podrá introducirse en el enfocador. Tampoco deben sacarse totalmente porque se podrían perder. La llave Allen necesaria también se suministra, junto con la regla que determina su longitud según el nº f/





del telescopio, y van en el maletín. Este tubo de visión sirve para centrar adecuadamente el espejo secundario y situarlo en su posición óptima. Además, el TELECAT XL dispone de un anillo reflectante interno que permite usarlo para ajustar el primario.

BLACKCAT XL. Es un tubo de visión Cheshire dotado de un anillo reflectante en el extremo opuesto a su mirilla. Ese anillo es perpendicular a la línea de visión (el eje del enfocador) y sirve, junto con el HotSpot de referencia del primario, para ajustar la inclinación del primario. Se consigue cuando se ve el relejo del HotSpot encajado y perfectamente centrado concéntricamente en el reflejo del anillo reflectante. Para ello, hay que ajustar los tornillos de colimación del primario. El TELECAT XL, al incorporar un BLACKCAT XL en su interior, se puede emplear del mismo modo para esta función de evaluar la inclinación del primario.



INFINITY XLKP. Es un autocolimador. Consiste en un tubo abierto por un extremo y con un par de mirillas en el otro, una de ellas centrada y otra descentrada. Hay un espejo redondo y plano en la parte interna, por detrás de las mirillas, con la parte espejada orientada hacia el interior del telescopio. El espejo está perforado para poder ver a través de las mirillas.

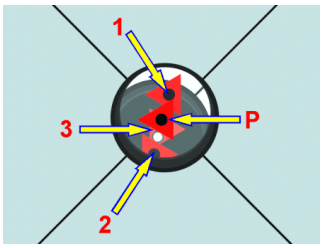
Esta herramienta opera sobre el principio de que dos espejos (el primario y el autocolimador) enfrentados perfectamente uno al otro, reflejarán indefinidamente una imagen entre ambos, y que si el ángulo que forman ambos espejos es exactamente 90° (es decir, cuando están colimados), las imágenes “fantasma” reflejadas se fundirán en una sola. Cada reflejo sucesivo de la imagen, se invierte. Y cuando las múltiples imágenes de esos reflejos se unen y solapan a medida que ajustamos los tornillos del secundario, forman una imagen combinada con la forma de un anillo perfecto, que incluso debería desaparecer en el punto de completa convergencia. Por eso se llama autocolimador. Para poder identificar correctamente estos reflejos, se explica cómo identificar cada uno en el siguiente apartado.

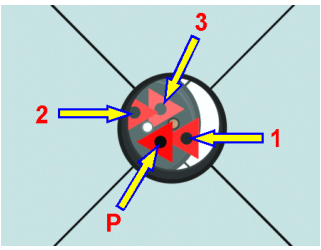
El INFINITY XLKP se usa para ajustar la inclinación y rotación del espejo diagonal (secundario), con la ayuda del HotSpot.

ANÁLISIS DE LA IMAGEN PROPORCIONADA POR EL AUTOCOLIMADOR

Una vez efectuada una primera colimación aproximada con la herramienta que prefiera (podrían ser el TELECAT, el BLACKCAT o incluso un colimador láser), al observar por el autocolimador INFINITY XLKP, se pueden observar hasta cuatro reflejos del HotSpot de distinto brillo y orientación.

Reflejo	Brillo	Nitidez	Imagen invertida respecto a P
P	Máxima	Máxima	No
1	Intermedia	Intermedia	No
2	Intermedia	Intermedia	Sí
3	Mínima	Mínima	Sí





Estas simulaciones con triángulos en lugar del HotSpot muestran dos posibles representaciones de los reflejos observados a través de la mirilla centrada del autocolimador cuando falta poco para la colimación perfecta. Ésta última se consigue cuando todos los reflejos se encuentran centrados y apilados.

El reflejo **P** es el reflejo "primario" o "primera" reflexión y es la imagen directa reflejada del HotSpot central vía el espejo diagonal secundario después de un recorrido de una longitud focal del telescopio (1 F). El reflejo **P** es el que es visible "sin" el autocolimador y por ello es el más brillante y nítido, mientras que las imágenes **1**, **2** y **3** son reflejos de **P**.

El reflejo **1** se genera a partir del reflejo **P** después de un reflejo adicional desde el autocolimador, a través del espejo secundario, que se reflejará desde el primario y de vuelta a través del secundario hacia el ojo. Por tanto, recorre un total de tres veces la longitud focal del telescopio, y gracias a ello, su sensibilidad al error del eje del primario es 4X y al error del eje del enfocador es 2X.

El reflejo **2** (invertido respecto a **P** y a **1**) se genera a partir de la respuesta de imagen 'real' del espejo primario (parabólico) en su centro de curvatura (el centro de curvatura del primario está a dos distancias focales de distancia del primario, 2 F) del reflejo puntual que ve en el espejo del autocolimador (a una distancia focal del primario, 1 F). El truco aquí es que el autocolimador refleja (o 'pliega') la imagen real de nuevo en la superficie primaria donde luego se ve por el ojo a través del reflejo en el secundario (al igual que el reflejo **P**): es un total de 5 pases distancia focal (5 F) desde el origen.

La sensibilidad del reflejo **2** a los errores del eje primario y del eje del enfocador es 4X cada uno. La distancia total entre los reflejos **1** y **2** es la suma vectorial de los errores axiales del espejo primario y del enfocador. Cuando se ha eliminado el otro error axial, esta distancia es 8X el error axial del espejo primario o 6X el error axial del enfocador.

El reflejo **3** (invertido) es un reflejo del reflejo **2** siguiendo un camino como el del reflejo **1** (generado a partir del reflejo **P**) para un total de siete veces la distancia focal (7 F) desde el punto original hasta el ojo. Cuando se ve el reflejo **3**, que es el más débil y borroso, la distancia de **P** a **3** representa una sensibilidad al error del eje del enfocador de 2X independientemente del error del eje primario.

Es esta sensibilidad unilateral al error axial del enfocador lo que nos permite usar esta reflexión para 'poner a cero' el eje del enfocador con el protocolo 'Espejo primario cuidadosamente descolimado' (CDP) de Vic Menard, dejando el error axial del espejo primario, aumentado 8X, visualizado como la distancia entre los reflejos **1** y **2**. De ahí la enorme precisión de este sistema.

La distancia y dirección entre los reflejos **2** y **3** siempre es igual a la observada entre **P** y **1** y entre los dos reflejos de la pupila del autocolimador. Así, estos dos 'pares' de reflexión puntual siempre estarán dispuestos con sus centros formando dos líneas paralelas separadas que también son paralelas a los reflejos de la pupila del autocolimador.

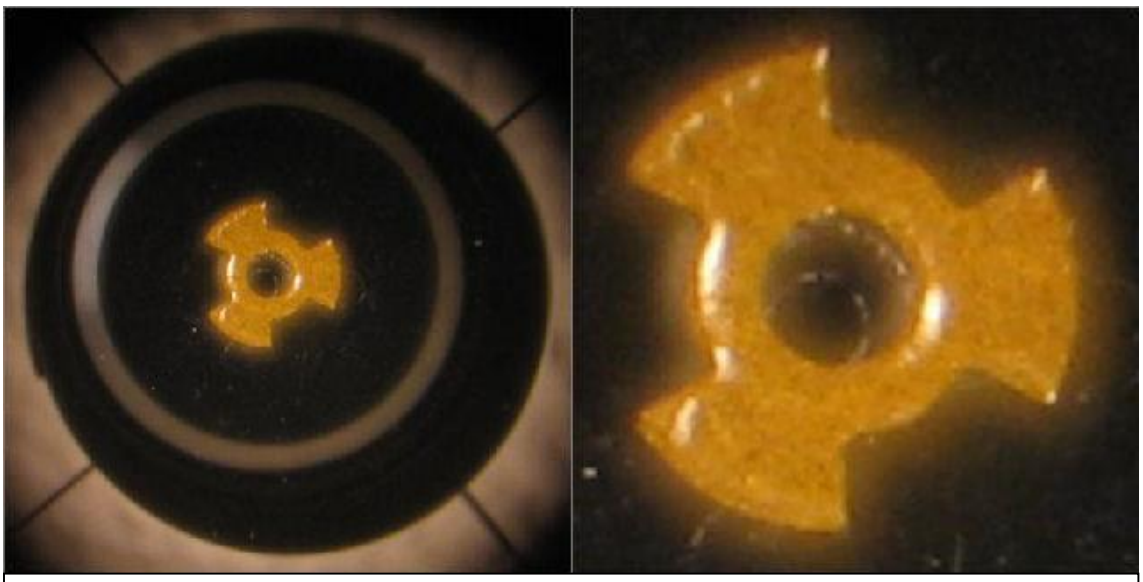


Imagen de los múltiples reflejos del HotSpot vistos desde la mirilla centrada del autocolimador cuando se consigue la colimación perfecta. A la derecha, detalle de la superposición. Como se ve, todos los reflejos se han fundido en uno.

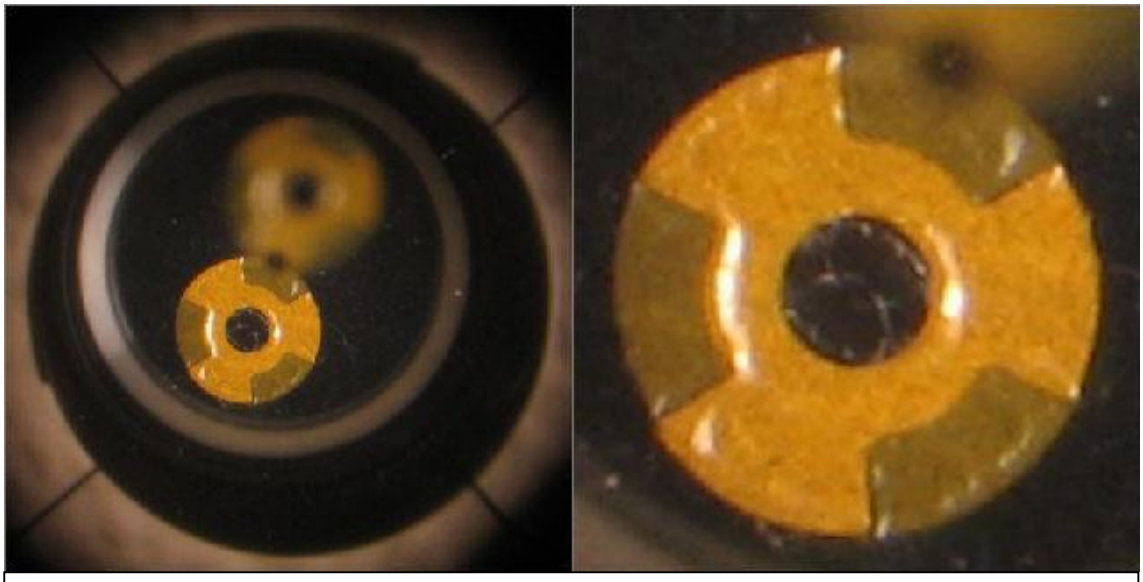


Imagen de los múltiples reflejos del HotSpot vistos desde la mirilla descentrada del autocolimador cuando se consigue la colimación perfecta. A la derecha, detalle de la superposición. Los reflejos **P** y **3** se solapan perfectamente, al igual que **1** y **2**.

CRITERIOS DE UNA BUENA COLIMACIÓN DE UN TELESCOPIO NEWTON

1. *La posición del secundario debería estar visualmente centrada, vista desde el enfocador.*

Asegura la intercepción simétrica del cono de luz por el secundario para facilitar la proyección uniforme del contraste y brillo al ocular o al sensor de la cámara (especialmente crítico para fotografía).

Esto se consigue con el tubo de visión TELECAT XL antes de procedimiento de alineamiento axial.

Inserte el BLACKCAT XL en el enfocador y ajuste el mando del enfoque hasta que tanto el borde del reflejo del primario como el borde del secundario queden tan juntos como sea posible.

Esto asegura que el borde del reflejo del espejo primario sea concéntrico al borde del espejo secundario.

2. *El plano focal del primario debería ser paralelo al del ocular o la superficie del sensor.*

Asegura una distorsión o emborronamiento mínimos a medida que nos alejamos del centro del campo de visión.

Especialmente crítico al usar un corrector de coma o en fotografía.

Inserte el autocolimador INFINITY XLKP y evalúe el apilado perfecto de los reflejos **P** y **2** desde la pupila descentrada.

Mide la inclinación entre el plano focal del espejo primario y el plano focal del ocular o la superficie del sensor.

3. *El punto focal del primario debería coincidir con el del ocular o con el centro del sensor.*

De los tres criterios de colimación, este es el más crítico para conseguir imágenes agradables. Ejemplo: un error de alineado de solo 0.6 mm in a f/5 telescopio puede degradar notablemente la imagen.

Inserte el BLACKCAT XL y evalúe el alineamiento de los reflejos **P** y del **anillo reflectante**.

Mide el desplazamiento entre el punto focal del primario y el punto focal del ocular o el centro del sensor de la cámara.

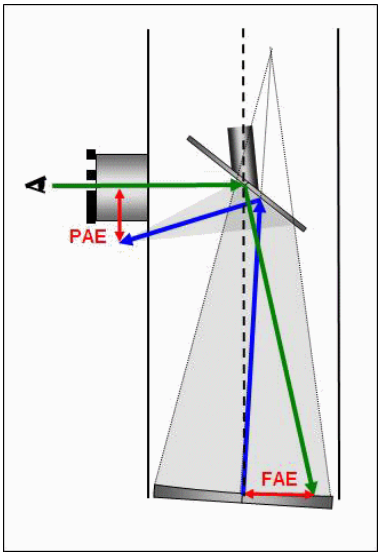
Todas esas premisas para una buena colimación de un newton pueden evaluarse fácilmente empleando solo las herramientas pasivas BLACKCAT XL e INFINITY XLKP.

TIPOS DE ERRORES DE ALINEAMIENTO AXIALES

Hay dos tipos de errores de alineamiento axiales (de dirección de los ejes):

1. FAE (Focuser Axial Error), o error axial del enfocador es la distancia entre el punto del centro del espejo primario y la intersección del eje del eje del enfocador con el primario, tras haber sido reflejado por el secundario. Si esa distancia es cero, el eje del enfocador apunta perfectamente al centro del primario, que es lo que se persigue.

2. PAE (Primary Axial Error), o error axial del primario es la distancia entre el punto focal del espejo primario y en centro del campo de visión del ocular o del sensor, determinado por el eje del enfocador, tras haber sido reflejado por el secundario. Cuando esa distancia es cero, el espejo primario apunta perfectamente al centro del campo de visión. Ese es la meta.



Eliminar ambos errores de alineado es el principal objetivo de la colimación “axial”, o de los ejes. Se trata de conseguir que tanto el eje del enfocador como el del primario coincidan.

Normalmente, el error axial del enfocador (FAE) se elimina primero ajustando el espejo secundario. Después, el error axial del primario (PAE) se elimina ajustando el espejo primario.

RECOMENDACIONES PREVIAS

A. No tenga como referencia la posición de las patas de la araña que sostiene al espejo secundario. Su posición y presencia son irrelevantes como indicador de colimación. Ignórelas.

B. Cuando el secundario está posicionado adecuadamente, su sombra estará típicamente desplazada hacia el espejo primario, resultando una presentación descentrada, que es normal. Ignórela.

REQUISITOS PREVIOS

Comprobar que el eje del enfocador está razonablemente perpendicular al tubo del telescopio. El espejo primario debería estar razonablemente centrado en el tubo del telescopio con su celda, y el Hotspot perfectamente situado en el centro del primario. Además, el espejo primario debe estar suelto en su celda, ésta tener sus triángulos móviles y con cierta soltura y las pestañas de sujeción que evitan un posible volcado no deben tocarlo. Esto evitará deformaciones y tensiones del espejo que conduzcan a problemas de astigmatismo u "óptica pinchada" cuando usemos el telescopio.

El secundario también debe haberse colocado a la distancia correcta del enfocador, teniendo en cuenta el descentrado necesario para que pueda verse centrado y circular desde el enfocador. Esa distancia debe ser mayor desde el enfocador al secundario que desde el secundario a la parte opuesta del tubo del telescopio. El descentrado adecuado del secundario depende del tamaño del secundario y el nº f/ del espejo primario, y puede consultarse en la tabla siguiente (en pulgadas; para milímetros, multiplicar por 25,4). Esta parte del posicionado del secundario debe realizarse usando una regla para medir las distancias y ajustando las patas de la araña que lo sostienen. La distancia del secundario al tubo a ambos lados del enfocador es la misma.

Newtonian Diagonal Mirror Offset Calculation
Jim Fly (CATSEYE™) Collimation

Diagonal	Primary f/no:																									
Size	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0
1.80	0.129	0.125	0.122	0.118	0.115	0.113	0.110	0.107	0.105	0.102	0.100	0.098	0.096	0.094	0.092	0.090	0.088	0.087	0.085	0.083	0.082	0.080	0.079	0.078	0.076	0.075
1.85	0.132	0.128	0.125	0.122	0.119	0.116	0.113	0.110	0.108	0.105	0.103	0.101	0.098	0.096	0.094	0.093	0.091	0.089	0.087	0.086	0.084	0.083	0.081	0.080	0.078	0.077
1.90	0.136	0.132	0.128	0.125	0.122	0.119	0.116	0.113	0.110	0.108	0.106	0.103	0.101	0.099	0.097	0.095	0.093	0.091	0.090	0.088	0.086	0.085	0.083	0.082	0.081	0.079
1.95	0.139	0.135	0.132	0.128	0.125	0.122	0.119	0.116	0.113	0.111	0.108	0.106	0.104	0.102	0.099	0.098	0.096	0.094	0.092	0.090	0.089	0.087	0.086	0.084	0.083	0.081
2.00	0.143	0.139	0.135	0.132	0.128	0.125	0.122	0.119	0.116	0.114	0.111	0.109	0.106	0.104	0.102	0.100	0.098	0.096	0.094	0.093	0.091	0.089	0.088	0.086	0.085	0.083
2.05	0.146	0.142	0.139	0.135	0.131	0.128	0.125	0.122	0.119	0.116	0.114	0.111	0.109	0.107	0.105	0.103	0.100	0.099	0.097	0.095	0.093	0.092	0.090	0.088	0.087	0.085
2.10	0.150	0.146	0.142	0.138	0.135	0.131	0.128	0.125	0.122	0.119	0.117	0.114	0.112	0.109	0.107	0.105	0.103	0.101	0.099	0.097	0.095	0.094	0.092	0.091	0.089	0.087
2.15	0.154	0.149	0.145	0.141	0.138	0.134	0.131	0.128	0.125	0.122	0.119	0.117	0.114	0.112	0.110	0.108	0.105	0.103	0.101	0.100	0.098	0.096	0.094	0.093	0.091	0.090
2.20	0.157	0.153	0.149	0.145	0.141	0.138	0.134	0.131	0.128	0.125	0.122	0.120	0.117	0.115	0.112	0.110	0.108	0.106	0.104	0.102	0.100	0.098	0.096	0.095	0.093	0.092
2.25	0.161	0.156	0.152	0.148	0.144	0.141	0.137	0.134	0.131	0.128	0.125	0.122	0.120	0.117	0.115	0.113	0.110	0.108	0.106	0.104	0.102	0.100	0.099	0.097	0.095	0.094
2.30	0.164	0.160	0.155	0.151	0.147	0.144	0.140	0.137	0.134	0.131	0.128	0.125	0.122	0.120	0.117	0.115	0.113	0.111	0.108	0.106	0.105	0.103	0.101	0.099	0.097	0.096
2.35	0.168	0.163	0.159	0.155	0.151	0.147	0.143	0.140	0.137	0.134	0.131	0.128	0.125	0.122	0.120	0.118	0.115	0.113	0.111	0.109	0.107	0.105	0.103	0.101	0.100	0.098
2.40	0.171	0.167	0.162	0.158	0.154	0.150	0.146	0.143	0.140	0.136	0.133	0.130	0.128	0.125	0.122	0.120	0.118	0.115	0.113	0.111	0.109	0.107	0.105	0.103	0.102	0.100
2.45	0.175	0.170	0.166	0.161	0.157	0.153	0.149	0.146	0.142	0.139	0.136	0.133	0.130	0.128	0.125	0.123	0.120	0.118	0.116	0.113	0.111	0.109	0.107	0.106	0.104	0.102
2.50	0.179	0.174	0.169	0.164	0.160	0.156	0.152	0.149	0.145	0.142	0.139	0.136	0.133	0.130	0.128	0.125	0.123	0.120	0.118	0.116	0.114	0.112	0.110	0.108	0.106	0.104
2.55	0.182	0.177	0.172	0.168	0.163	0.159	0.155	0.152	0.148	0.145	0.142	0.139	0.136	0.133	0.130	0.128	0.125	0.123	0.120	0.118	0.116	0.114	0.112	0.110	0.108	0.106
2.60	0.186	0.181	0.176	0.171	0.167	0.163	0.159	0.155	0.151	0.148	0.144	0.141	0.138	0.135	0.133	0.130	0.127	0.125	0.123	0.120	0.118	0.116	0.114	0.112	0.110	0.108
2.65	0.189	0.184	0.179	0.174	0.170	0.166	0.162	0.158	0.154	0.151	0.147	0.144	0.141	0.138	0.135	0.133	0.130	0.127	0.125	0.123	0.120	0.118	0.116	0.114	0.112	0.110
2.70	0.193	0.188	0.182	0.178	0.173	0.169	0.165	0.161	0.157	0.153	0.150	0.147	0.144	0.141	0.138	0.135	0.132	0.130	0.127	0.125	0.123	0.121	0.118	0.116	0.114	0.112
2.75	0.196	0.191	0.186	0.181	0.176	0.172	0.168	0.164	0.160	0.156	0.153	0.149	0.146	0.143	0.140	0.138	0.135	0.132	0.130	0.127	0.125	0.123	0.121	0.119	0.117	0.115
2.80	0.200	0.194	0.189	0.184	0.179	0.175	0.171	0.167	0.163	0.159	0.156	0.152	0.149	0.146	0.143	0.140	0.137	0.135	0.132	0.130	0.127	0.125	0.123	0.121	0.119	0.117
2.85	0.204	0.198	0.193	0.187	0.183	0.178	0.174	0.170	0.166	0.162	0.158	0.155	0.152	0.148	0.145	0.143	0.140	0.137	0.134	0.132	0.130	0.127	0.125	0.123	0.121	0.119
2.90	0.207	0.201	0.196	0.191	0.186	0.181	0.177	0.173	0.169	0.165	0.161	0.158	0.154	0.151	0.148	0.145	0.142	0.139	0.137	0.134	0.132	0.129	0.127	0.125	0.123	0.121
2.95	0.211	0.205	0.199	0.194	0.189	0.184	0.180	0.176	0.172	0.168	0.164	0.160	0.157	0.154	0.151	0.148	0.145	0.142	0.139	0.137	0.134	0.132	0.129	0.127	0.125	0.123
3.00	0.214	0.208	0.203	0.197	0.192	0.188	0.183	0.179	0.174	0.170	0.167	0.163	0.160	0.156	0.153	0.150	0.147	0.144	0.142	0.139	0.136	0.134	0.132	0.129	0.127	0.125
3.05	0.218	0.212	0.206	0.201	0.196	0.191	0.186	0.182	0.177	0.173	0.169	0.166	0.162	0.159	0.156	0.153	0.150	0.147	0.144	0.141	0.139	0.136	0.134	0.131	0.129	0.127
3.10	0.221	0.215	0.209	0.204	0.199	0.194	0.189	0.185	0.180	0.176	0.172	0.168	0.165	0.161	0.158	0.155	0.152	0.149	0.146	0.144	0.141	0.138	0.136	0.134	0.131	0.129
3.15	0.225	0.219	0.213	0.207	0.202	0.197	0.192	0.188	0.183	0.179	0.175	0.171	0.168	0.164	0.161	0.158	0.154	0.151	0.149	0.146	0.143	0.141	0.138	0.136	0.133	0.131
3.20	0.229	0.222	0.216	0.211	0.205	0.200	0.195	0.190	0.186	0.182	0.178	0.174	0.170	0.167	0.163	0.160	0.157	0.154	0.151	0.148	0.145	0.143	0.140	0.138	0.136	0.133
3.25	0.232	0.226	0.220	0.214	0.208	0.203	0.198	0.193	0.189	0.185	0.181	0.177	0.173	0.169	0.166	0.163	0.159	0.156	0.153	0.150	0.148	0.145	0.143	0.140	0.138	0.135
3.30	0.236	0.229	0.223	0.217	0.212	0.206	0.201	0.196	0.192	0.188	0.183	0.179	0.176	0.172	0.168	0.165	0.162	0.159	0.156	0.153	0.150	0.147	0.145	0.142	0.140	0.137
3.35	0.239	0.233	0.226	0.220	0.215	0.209	0.204	0.199	0.195	0.190	0.186	0.182	0.178	0.174	0.171	0.168	0.164	0.161	0.158	0.155	0.152	0.150	0.147	0.144	0.142	0.140
3.40	0.243	0.236	0.230	0.224	0.218	0.213	0.207	0.202	0.198	0.193	0.189	0.185	0.181	0.177	0.173	0.170	0.167	0.163	0.160	0.157	0.155	0.152	0.149	0.147	0.144	0.142
3.45	0.246	0.240	0.233	0.227	0.221	0.216	0.210	0.205	0.201	0.196	0.192	0.188	0.184	0.180	0.176	0.173	0.169	0.166	0.163	0.160	0.157	0.154	0.151	0.149	0.146	0.144
3.50	0.250	0.243	0.236	0.230	0.224	0.219	0.213	0.208	0.203	0.199	0.194	0.190	0.186	0.182	0.179	0.175	0.172	0.168	0.165	0.162	0.159	0.156	0.154	0.151	0.148	0.146
3.55	0.254	0.247	0.240	0.234	0.228	0.222	0.216	0.211	0.206	0.202	0.197	0.193	0.189	0.185	0.181	0.178	0.174	0.171	0.167	0.164	0.161	0.158	0.156	0.153	0.150	0.148
3.60	0.257	0.250	0.243	0.237	0.231	0.225	0.220	0.214	0.209	0.205	0.200	0.196	0.191	0.188	0.184	0.180	0.176	0.173	0.170	0.167	0.164	0.161	0.158	0.155	0.153	0.150
3.65	0.261	0.253	0.247	0.240	0.234	0.228	0.223	0.217	0.212	0.207	0.203	0.198	0.194	0.190	0.186	0.183	0.179	0.175	0.172	0.169	0.166	0.163	0.160	0.157	0.155	0.152
3.70	0.264	0.257	0.250	0.243	0.237	0.231	0.226	0.220	0.215	0.210	0.206	0.201	0.197	0.193	0.189	0.185	0.181	0.178	0.175	0.171	0.168	0.165	0.162	0.159	0.157	0.154
3.75	0.268	0.260	0.253	0.247	0.240	0.234	0.229	0.223	0.218	0.213	0.208	0.204	0.199	0.195	0.191	0.188	0.184	0.180	0.177	0.174	0.170	0.167	0.164	0.162	0.159	0.156
3.80	0.271	0.264	0.257	0.250	0.244	0.238	0.232	0.226	0.221	0.216	0.211	0.207	0.202	0.198	0.194	0.190	0.186	0.183	0.179	0.176	0.173	0.170	0.167	0.164	0.161	0.158
3.85	0.275	0.267	0.260	0.253	0.247	0.241	0.235	0.229	0.224	0.219	0.214	0.209	0.205	0.201	0.196	0.193	0.189	0.185	0.182	0.178	0.175	0.172	0.169	0.166	0.163	0.160
3.90	0.279	0.271	0.264	0.257	0.250	0.244	0.238	0.232	0.227	0.222	0.217	0.212	0.207	0.203	0.199	0.195	0.191	0.188	0.184	0.181	0.177	0.174	0.171	0.168	0.165	0.162
3.95	0.282	0.274	0.267	0.260	0.253	0.247	0.241	0.235	0.230	0.224	0.219	0.215	0.210	0.206	0.202	0.198	0.194	0.190	0.186	0.183	0.180	0.176	0.173	0.170	0.167	0.165
4.00	0.286	0.278	0.270	0.263	0.256	0.250	0.244	0.238	0.233	0.227	0.222	0.217	0.213	0.208	0.204	0.200	0.196	0.192	0.189	0.185	0.182	0.179	0.175	0.172	0.169	0.167
4.05	0.289	0.281	0.274	0.266	0.260	0.253	0.247	0.241	0.235	0.230	0.225	0.220	0.215	0.211	0.207	0.203	0.199	0.195	0.191	0.188	0.184	0.181	0.178	0.175	0.172	0.169
4.10	0.293	0.285	0.277	0.270	0.263	0.256	0.250	0.244	0.238	0.233	0.228	0.223	0.218	0.214	0.209	0.205	0.201	0.197	0.193	0.190	0.186	0.183	0.180	0.177	0.174	0.171
4.15	0.296	0.288	0.280	0.273	0.266	0.259	0.253	0.247	0.241	0.236	0.231	0.226	0.221	0.216	0.212	0.208	0.203	0.200	0.196	0.192	0.189	0.185	0.182	0.179	0.176	0.173
4.20	0.300	0.292	0.284	0.276	0.269	0.263	0.256	0.250	0.244	0.239	0.233	0.228	0.223	0.219	0.214	0.210	0.206	0.202	0.198	0.194	0.191	0.187	0.184	0.181	0.178	0.175
4.25	0.304	0.295	0.287	0.280	0.272	0.266	0.259	0.253	0.247	0.241	0.236	0.231	0.226	0.221	0.217	0.213	0.208	0.204	0.200	0.197	0.193	0.190	0.186	0.183	0.180	0.177
4.30	0.307	0.299	0.291	0.283	0.276	0.269	0.262	0.256	0.250	0.244	0.239	0.234	0.229	0.224	0.219	0.215	0.211	0.207	0.203	0.199	0.195	0.192	0.189	0.185	0.182	0.179
4.35	0.311	0.302	0.294	0.286	0.279	0.272	0.265	0.259	0.253	0.247	0.242	0.236	0.231	0.227	0.222	0.218	0.213	0.209	0.205	0.201	0.198	0.194	0.191	0.187	0.184	0.181
4.40	0.314	0.306	0.297	0.289	0.282	0.275	0.268	0.262	0.256	0.250	0.244	0.239	0.234	0.229	0.224	0.220	0.216	0.212	0.208	0.204	0.200	0.196	0.193	0.190	0.186	0.183
4.45	0.318	0.309	0.301	0.293	0.285	0.278	0.271	0.265	0.259	0.253	0.247	0.242	0.237	0.232	0.227	0.223	0.218	0.214	0.210	0.206	0.202	0.199	0.195	0.192	0.189	0.185
4.50	0.321	0.313	0.304	0.296	0.288	0.281	0.274	0.268	0.262	0.256	0.250	0.245	0.239	0.234	0.230	0.225	0.221	0.216	0.212	0.208	0.205	0.201	0.197	0.194	0.191	0.187
4.55	0.325	0.316	0.307	0.299	0.292	0.284	0.277	0.271	0.265	0.259	0.253	0.247	0.242	0.237	0.232	0.228	0.223	0.219	0.215	0.211	0.207	0.203	0.200	0.196	0.193	0.190
4.60	0.329	0.319	0.311	0.303	0.295	0.288	0.280	0.274	0.267	0.261	0.256	0.250	0.245	0.240	0.235	0.230	0.225	0.221	0.217	0.213	0.209	0.205	0.202	0.198	0.195	0.192
4.65	0.332	0.323	0.314	0.306	0.298	0.291	0.284	0.277	0.270	0.264	0.258	0.253	0.247	0.242	0.237	0.233	0.228	0.224	0.219	0.215	0.211	0.208	0.204	0.200	0.197	0.194
4.70	0.336	0.326	0.318	0.309	0.301	0.294	0.287	0.280	0.273	0.267	0.261	0.255	0.250	0.245	0.240	0.235	0.230	0.226	0.222	0.218	0.214	0.210	0.206	0.203	0.199	0.196
4.75	0.339	0.330	0.321	0.313	0.304	0.297	0.290	0.283	0.276	0.270	0.264	0.258	0.253	0.247	0.242	0.238	0.233	0.228	0.224	0.220	0.216	0.212	0.208	0.205	0.201	0.198
4.80	0.343	0.333	0.324	0.316	0.308	0.300	0.293	0.286	0.279	0.273	0.267	0.261	0.255	0.250	0.245	0.240	0.235	0.231	0.226	0.222	0.218	0.214	0.211	0.207	0.203	0.200
4.85	0.346	0.337	0.328	0.319	0.311	0.303	0.296	0.289	0.282	0.276	0.269	0.264	0.258	0.253	0.247	0.243	0.238	0.233	0.229	0.225	0.220	0.217	0.213	0.209	0.206	0.202
4.90	0.350	0.340	0.331	0.322	0.314	0.306	0.299	0.292	0.285	0.278	0.272	0.266	0.261	0.255	0.250	0.245	0.240	0.236	0.231	0.227	0.223	0.219	0.215	0.211	0.208	0.204
4.95	0.354	0.344	0.334	0.326	0.317	0.309	0.302	0.295	0.288	0.281	0.275	0.269	0.263	0.258	0.253	0.248	0.243	0.238	0.233	0.229	0.225	0.221	0.217	0.213	0.210	0.206
5.00	0.357	0.347	0.338	0.329	0.321	0.313	0.305	0.298	0.291	0.284	0.278	0.272	0.266	0.260	0.255	0.250	0.245	0.240	0.236	0.231	0.227	0.223	0.219	0.216	0.212	0.208

CENTRADO DEL SECUNDARIO CON EL TELECAT XL, AJUSTANDO EL DESCENTRADO DE LA POSICIÓN DEL SECUNDARIO

Antes de la colimación propiamente dicha, hay que asegurarse de que el secundario queda perfectamente centrado, visto desde el enfocador. Para ello emplearemos el tubo de visión TELECAT XL. Salvo que se indique lo contrario, también valdría el TELETUBE XL.

F/NO:	TUBE LENGTH (in.)
3.5	5.407
3.6	5.582
3.7	5.758
3.8	5.934
3.9	6.110
4.0	6.286
4.1	6.462
4.2	6.638
4.3	6.814
4.4	6.990
4.5	7.166
4.6	7.341
4.7	7.517
4.8	7.693
4.9	7.869
5.0	8.045
5.1	8.221
5.2	8.397
5.3	8.573
5.4	8.749
5.5	8.925
5.6	9.100
5.7	9.276
5.8	9.452
5.9	9.628
6.0	9.804

1. Ajuste su longitud según la relación focal del telescopio (nº f/), usando la regla y la llave Allen suministradas. Su longitud total viene dada por la tabla de la derecha, en pulgadas (multiplicar por 25,4 para mm).

2. Para ayudar a distinguir el borde real del soporte del espejo secundario, coloque un trozo de papel blanco o de un color intenso[1] contra la pared del tubo opuesta al enfocador. Además, cuando sea práctico, cubra o retire el primario para eliminar reflexiones que pudieran confundir durante el procedimiento.

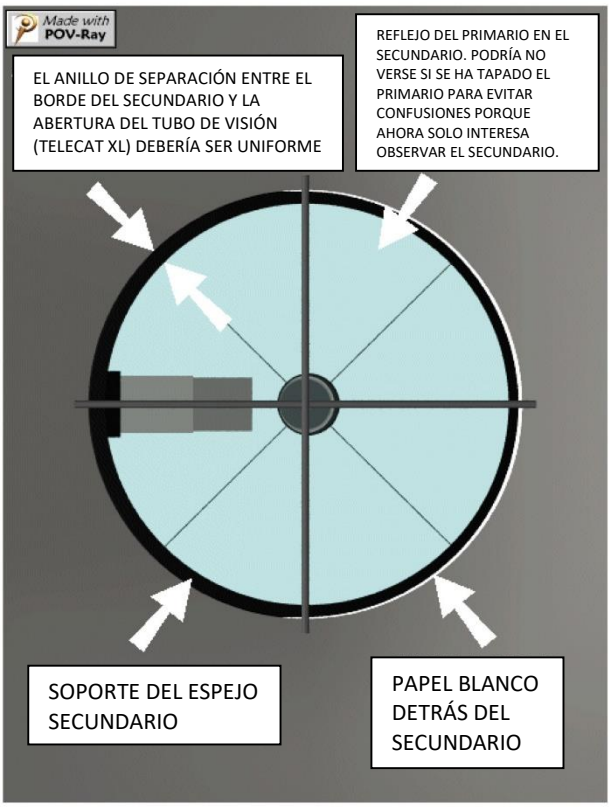
3. (Opcional) Ponga a cero los tornillos del secundario. Esto le dará una orientación para un buen punto de partida. Para ello, desatornille los tres tornillos de colimación del secundario todo lo que pueda sin que se salgan, hasta que ya no toquen la base del soporte del secundario. A continuación, atornille todo lo que pueda (sin forzar) el tornillo central de sujeción del secundario. Apriete los tornillos de colimación solo lo justo para que toquen el soporte del secundario. Ahora, el espejo secundario está "cuadrado" en su soporte. Pero necesitamos que tenga cierto juego para que se pueda colimar y situar en su posición adecuada. Desatornille el tornillo central unos pocos milímetros, dejando mucho margen antes de que se llegue a soltar el secundario. A continuación, atornille un tornillo de colimación cualquiera contando las vueltas que da hasta que casi toque la base del soporte del secundario y atornille los otros dos el mismo número de vueltas. Apriete nuevamente el tornillo de sujeción central hasta que el secundario esté firme en su posición. Así, el espejo secundario mantiene su "cuadratura" respecto a su base.

4. Afloje ligeramente el perno o tornillo central que soporta el espejo secundario sin que éste se suelte. Mientras mira a través del enfocador vacío, gire la diagonal/soporte en el soporte de la araña hasta que el contorno proyectado del secundario/soporte aparezca circular. Afloje/apriete las tuercas posicionales para ajustar su posición a lo largo del eje del primario hasta que el contorno secundario esté razonablemente centrado visto desde del enfocador.

[1] N. T.: Usar un color intenso para este papel de fondo, por ejemplo, verde o rosa fuerte, ayuda enormemente a quien tiene poca experiencia a distinguir e identificar bien cada uno de los círculos y anillos que verá cuando mire desde el enfocador a través del TELECAT XL.

5. Con la rueda de enfoque, extienda al máximo el enfocador e introduzca completamente el TELECAT XL dentro del enfocador, con el hombro del tubo de visión contra el borde del enfocador. En el caso de un escenario donde el espejo primario sea más pequeño o la relación focal más elevada, el tubo extendido para el nº f/ correcto podría a veces “golpear” al espejo secundario cuando esté completamente insertado en el enfocador, incluso cuando éste se halle en su posición más extendida. En este caso, es mejor sacar todo el TELECAT XL del enfocador hasta que se aprecie todo el contorno del espejo secundario, en vez de acortar el TELECAT XL.

6. Mientras mira a través del TELECAT XL, enfoque poco a poco con el enfocador hasta que pueda apreciar un hueco o espacio con forma de fino anillo entre el final del TELECAT XL y el espejo secundario. Si el espejo secundario está significativamente sobredimensionado, podría ser necesario tirar ligeramente del TELECAT XL hacia atrás para lograr el espacio deseado.



7. Ajuste con cuidado la rotación y la posición en el eje del primario (acercando o alejando) del espejo secundario o su soporte con respecto al TELECAT XL hasta que observe que el 'espacio' circular de separación entre el secundario y el borde del TELECAT XLsea uniforme en todo su perímetro. Accione el enfocador ligeramente hacia dentro y fuera, y vuelva a evaluar varias veces para asegurar el centrado simétrico del espejo secundario.

8. A veces, el espejo secundario también podría aparecer sesgado en una dirección del eje transversal (arriba/abajo). Para corregir esta situación, a veces es necesario cambiar el conjunto de la araña para facilitar el centrado del secundario, aflojando/apretando los pernos de montaje de la araña en el tubo del telescopio. Si esto no es posible, puede necesitar una ligera inclinación del enfocador con cuñas o tornillos de nivelación del enfocador. La ilustración de la derecha muestra la vista del secundario correctamente centrado.

9. Cuando el espejo secundario esté simétricamente centrado, bloquee cuidadosamente el secundario o su soporte en su posición apretando el tornillo central de montaje del secundario y realice una verificación de la posición final con TELECAT XL. A veces, al bloquear el secundario cambiará ligeramente su posición, por lo que es posible que tenga que repetir los ajustes y apretarlos un par de veces para hacerlo bien.

PROCEDIMIENTO DE COLIMACIÓN “CDP” (VIC MENARD) CON LAS HERRAMIENTAS CATSEYE

Gracias al diseño de las herramientas de colimación y a la linterna, la colimación puede realizarse tanto de día como de noche.

Cuando use el autocolimador INFINITY XLKP, ajustará el espejo primario – secundario - primario.

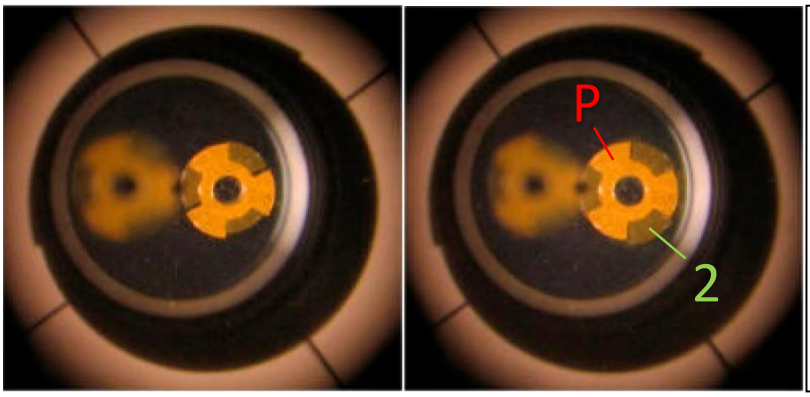
Cuando use el BLACKCAT XL, ajustará solo el espejo primario y servirá para comprobar los resultados.

Pasos previos

A. Una vez colocado el HotSpot justo en el centro del espejo primario, rote el primario hasta que las tres pestañas del HotSpot apunten directamente a los tres tornillos de colimación del espejo primario. Este paso no es crítico, pero facilita la colimación.
B. Emplee la linterna LED roja CATSEYE con clip para iluminar el centro del primario (HotSpot) colocándola con cuidado con su pinza en la parte externa de una de las patas de la araña, todo lo cerca del secundario que se pueda. Esto hará que la imagen del HotSpot y sus reflejos sean más fáciles de ver. Use las dos manos para evitar que pueda caer accidentalmente dentro del tubo o sobre el primario.
C. Para favorecer la repetitividad durante todo el proceso, cada vez que use el autocolimador INFINITY XLKP en una sesión de colimación, insértelo el en el enfocador con la misma orientación sin apretar ninguno de los tornillos de fijación del portaoculares, o apretando solo uno de ellos lo mínimo posible, justo lo necesario para sostenerlo. La posición de la pupila descentrada puede ser una buena referencia, por ejemplo, hacia abajo.

Procedimiento

1. Coloque el enfocador aproximadamente a la mitad de su recorrido y coloque el XLKP. Los reflejos del HotSpot que se ven, deberían ser del mismo tamaño si se está observando justo desde el plano focal. Si no es así, ajuste el enfoque hasta que lo sean.

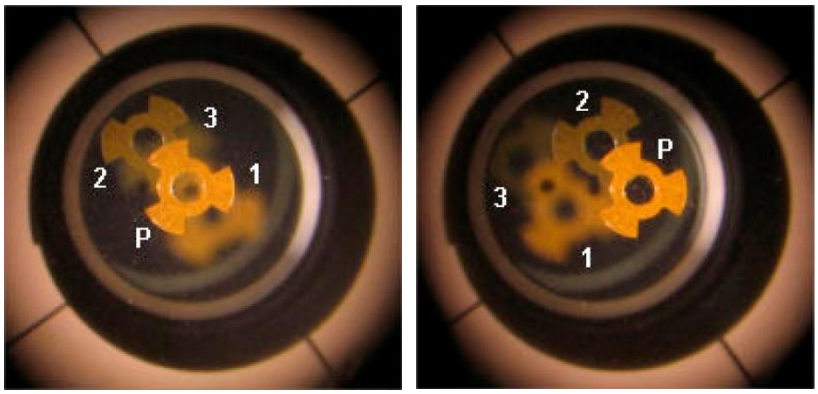


Desde la mirilla descentrada del XLKP, si el reflejo **P** se ve mayor que el reflejo **2** (izquierda), es que el espejo está más lejos de la longitud focal. Si **P** se ve menor que **2** (derecha), el espejo está situado más cerca. En las imágenes, el telescopio muestra ya una colimación bastante buena.

2. Centre el secundario y haga que su forma sea redonda y concéntrica, visto desde el enfocador, para completar una colimación aproximada. Para eso, puede usar el método que prefiera,

aunque se recomienda que emplee el tubo de visión TELECAT XL y siga las instrucciones dadas anteriormente.

3. Inserte el INFINITY XLKP y observe por la pupila central. Verá un revoltijo de reflejos del HotSpot (hasta 4). Podría ver menos reflejos si miras por la pupila descentrada. Los reflejos son: **P** (el más brillante y nítido), **1** (orientado como **P**, pero más difuso y borroso), **2** (es el reflejo invertido más brillante y nítido) y **3** (es el reflejo invertido más tenue y borroso). El objetivo será tener visible por la pupila central solo a **P**, y un disco perfecto por la pupila descentrada.



A la izquierda, vista de los reflejos desde la pupila central del XLKP, estando el telescopio ligeramente descolimado.

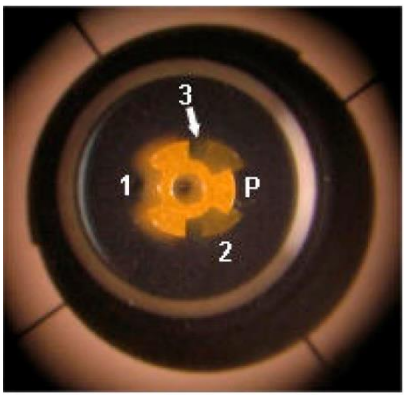
A la derecha, igual, pero observando desde la pupila descentrada.

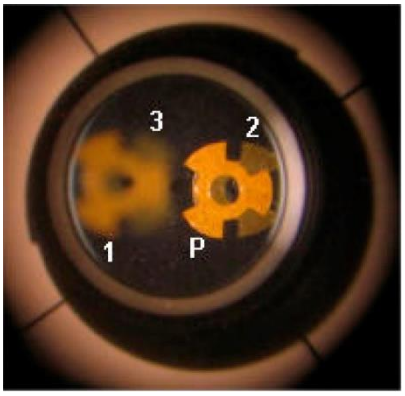
4. Quite el XLKP e introduzca el BLACKCAT. La vista del BLACKCAT indica una gran descolimación: el reflejo del HotSpot no está centrado ni concéntrico al reflejo del anillo reflectante del BLACKCAT. Para corregir este descentrado, vamos a emplear una técnica llamada CDP (Carefully De-collimated Primary, o Primario Cuidadosamente Descolimado, de Vic Menard), que alinea el espejo secundario.

Vista desde el Cheshire BLACKCAT XL, que confirma la descolimación del primario.

5. Vuelva a colocar el XLKP y mire por la pupila central. Identifique el reflejo principal del HotSpot (el más brillante), llamado **P**. Mueva el reflejo **P** más cerca del borde ajustando el primario, pero no tanto como para que se desvanezca el reflejo **3**. Estamos descolimando ligera e

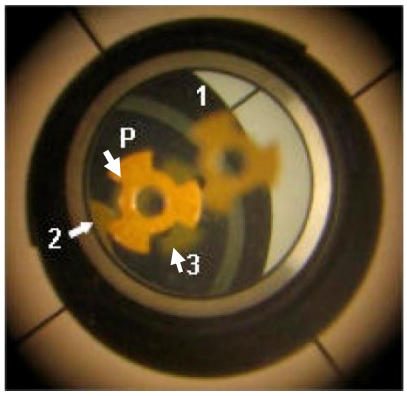
intencionadamente el espejo primario para que los reflejos **1** y **2** estén lo suficientemente separados como para ver claramente **P** y **3**.

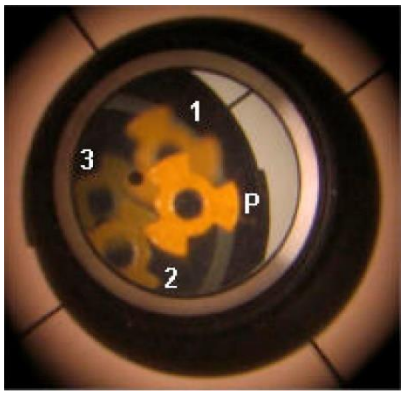




Primera evaluación de la imagen. A la izquierda, vista de los reflejos desde la pupila central del XLKP.

A la derecha, igual, pero observando desde la pupila descentrada.

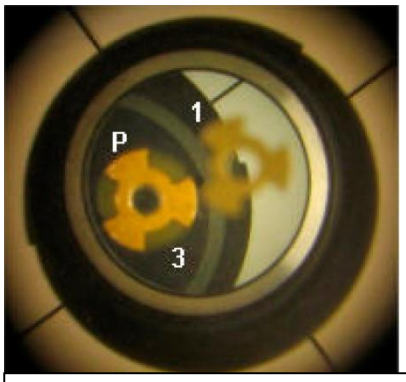


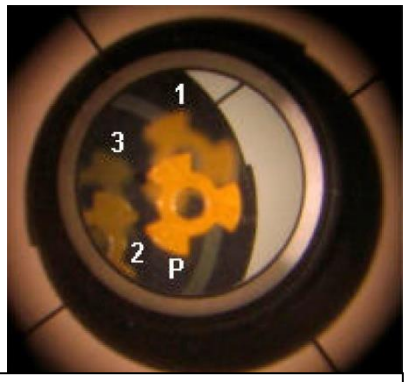


Se descolima cuidadosa e intencionadamente el telescopio, de modo que puedan verse claramente **P** y **3** desde la pupila central.

Izquierda, desde la pupila central del XLKP. A la derecha, desde la pupila descentrada.

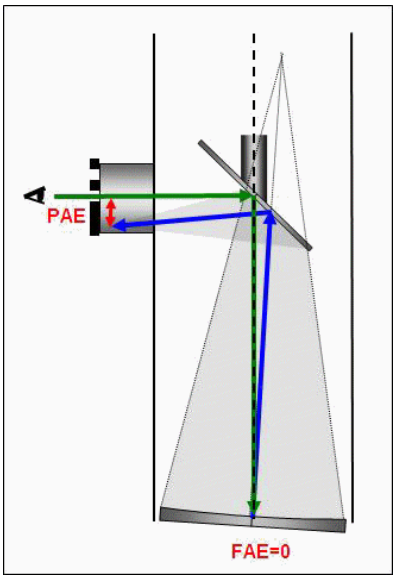
6. Localice el reflejo **3**. El reflejo **3** es el reflejo invertido más cercano a **P**, y está más desenfocado y es más tenue que **P**. Apile los reflejos **P** y **3** ajustando los tornillos del espejo secundario[2]. Las pestañas de los reflejos **P** y **3** deben encajar perfectamente, sin dejar huecos, hasta formar en total un disco perfecto en el que se aprecian ambos reflejos. En ese momento, se ha completado la CDP y el espejo secundario está alineado ahora. Se ha eliminado el error axial del enfocador (FAE).





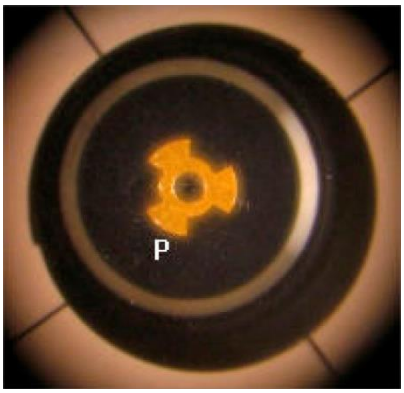
Usando los tornillos de colimación del secundario (o los del enfocador, si los tiene), se apilan **P** y **3** vistos desde la pupila central del XLKP.

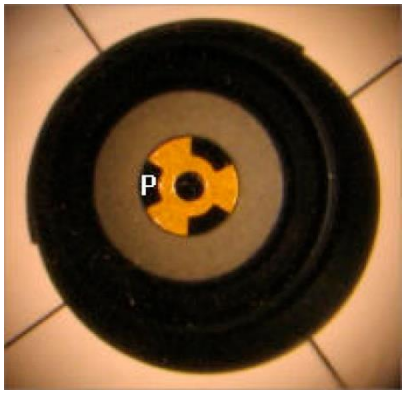
Izquierda, desde la pupila central del XLKP. A la derecha, desde la pupila descentrada.



[2] N. T.: Si el enfocador lo permite, también se podría realizar este ajuste ajustando la inclinación del propio enfocador, lo cual tiene la ventaja de influir menos en el error del eje del primario, aunque posteriormente podría ser necesario recentrar el secundario con el TELECAT XL.

7. El siguiente paso es alinear el espejo primario. Para ello, mirando por la pupila central del XLKP, ajuste los tornillos del primario hasta apilar todos los reflejos en uno solo central. En ese momento, el fondo se oscurecerá y no se verán (o casi) las pestañas superpuestas a los huecos del reflejo más brillante, **P**. Otra técnica alternativa para lo mismo consiste en sustituir el autocolimador XLKP por el BLACKCAT XL y ajustar los tornillos del primario hasta que **P** esté perfectamente centrado en el anillo reflectante del Cheshire BLACKCAT XL.



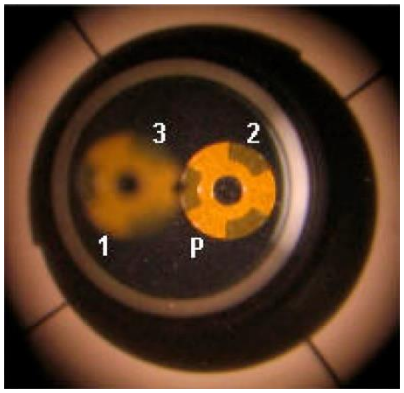


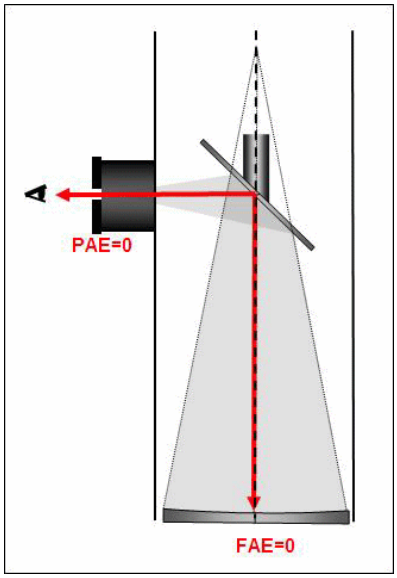
Izquierda, desde la pupila central del XLKP, todos los reflejos se encuentran apilados perfectamente, viéndose solo **P**.

Derecha, desde el BLACKCAT, se ve el HotSpot perfectamente centrado.

8. Si el procedimiento se ha seguido correctamente, los reflejos **P** y **2** se encontrarán apiladas perfectamente vistas desde la pupila descentrada del XLKP. Se ha eliminado el error axial del primario (PAE). Si no es así, ajustar el secundario nuevamente si es necesario.

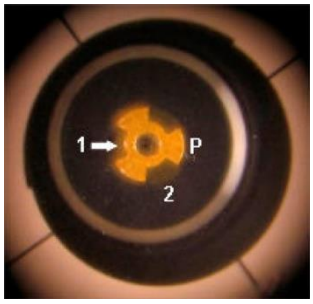
Desde la pupila descentrada del XLKP, el reflejo **P** y **2** forman un disco perfecto.

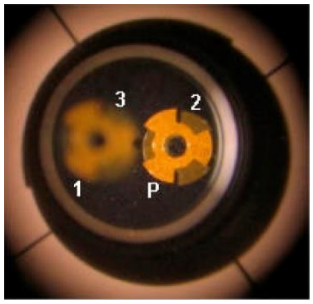




9. Y el BLACKCAT también mostrará un buen alineamiento (HotSpot centrado y concéntrico en el anillo reflectante del BLACKCAT), como se muestra en el paso 7. Si no es así, ajustar nuevamente el primario si es necesario.

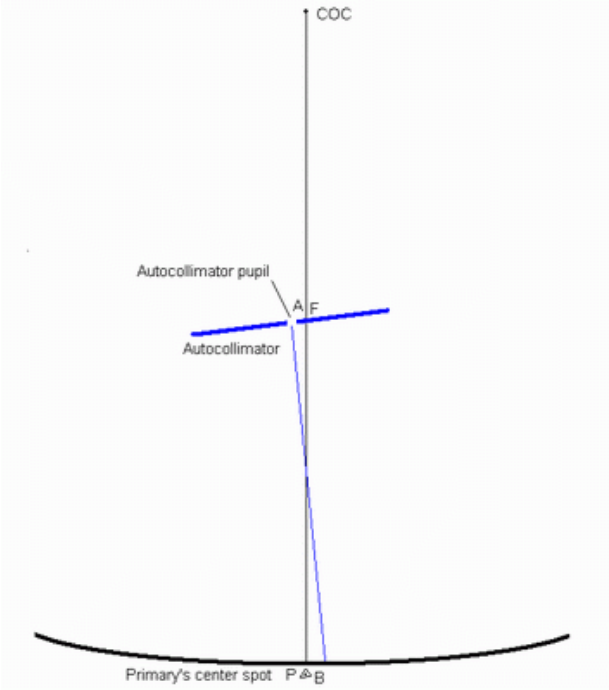
10. Podría darse el caso de que persistan algunos errores de solapamiento residuales. En ese caso, hay que reiterar los pasos 6 y 7 hasta que se consiga que desaparezcan.





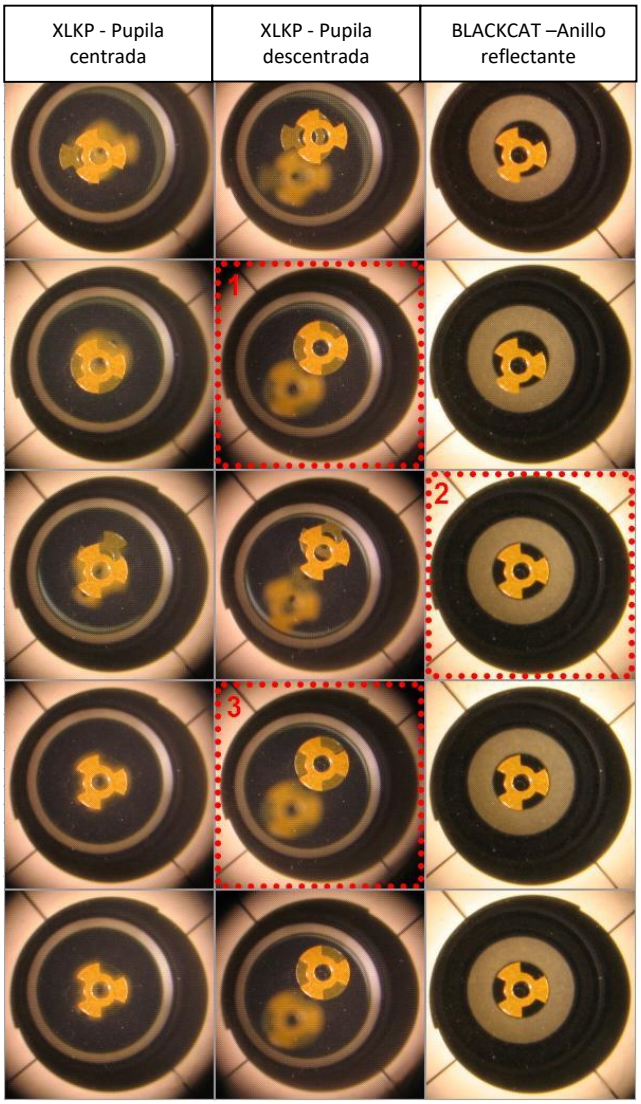
Errores de solapamiento residuales, y por tanto de alineamiento, que se observan desde la pupila central (izquierda) y descentrada (derecha) del XLKP. Es necesario repetir el proceso.

PROCEDIMIENTO DE COLIMACIÓN ITERATIVO DE JASON KHADDER



Esta serie de imágenes de Jason Khadder, ilustra algunos pasos iterativos en la colimación, usando el autocolimador XLKP y también el BLACKCAT (equivalente al Cheshire) y el marcador del punto central HotSpot. Es útil cuando no es posible distinguir el reflejo **3** y, por tanto, no se puede aplicar la técnica CDP explicada anteriormente. Puede partir del punto 4 del procedimiento anterior. La ilustración de la derecha es de Nils Olof Carlin. En las fotos del HotSpot de abajo a la derecha, puede ver lo siguiente:

- Columna de la izquierda: vista a través de la pupila centrada del XLKP.
- Columna central: vista a través de la pupila descentrada del XLKP. La separación entre los miembros de cada par es 4A+4B (A es el error de colimación del primario, es decir, la distancia por la que el eje del primario no coincide con la pupila del autocolimador. B, el error de posición del autocolimador, es decir, del enfocador, respecto del centro del primario).
- Columna de la derecha: vista a través del BLACKCAT. El descentrado de la marca respecto del anillo blanco es el doble del error de colimación A del primario.



1. PASO 1 (fila # 1): use cualquier medio y herramienta para colimar que no sea el autocolimador. En las fotos de la fila superior, se partió intencionadamente de una configuración de colimación relativamente mala.
2. PASO 2 (fila # 2): inserte el **XLKP** y luego **ajuste el espejo secundario** para apilar los reflejos **P + 2** a través de la pupila desplazada.
3. PASO 3 (fila # 3): inserte el **BLACKCAT** y luego **ajuste el espejo primario** para alinear los reflejos **P + anillo**.
4. PASO 4 (fila #4): vuelva a insertar el **XLKP** y luego **ajuste el espejo secundario** para apilar los reflejos **P + 2** una vez más.
5. PASO 5 (fila #4): vuelva a insertar **BLACKCAT** y **evalúe**. Si está contento con la vista de Cheshire, entonces ya está.
6. PASO 6 (fila # 5): Opcional: si no está satisfecho con la vista del Cheshire, puede volver a **repetir** una vez más. Tenga en cuenta que las diferencias entre las filas 5 y 6 fotos son muy sutiles.

Puede notar que, en las últimas dos filas, los errores de colimación son tan pequeños que todas las reflexiones, excepto **P**, han desaparecido, como se ve a través de la pupila centrada (columna izquierda).

ANEXO 1 – TOLERANCIAS AXIALES (VIC MENARD)[3]

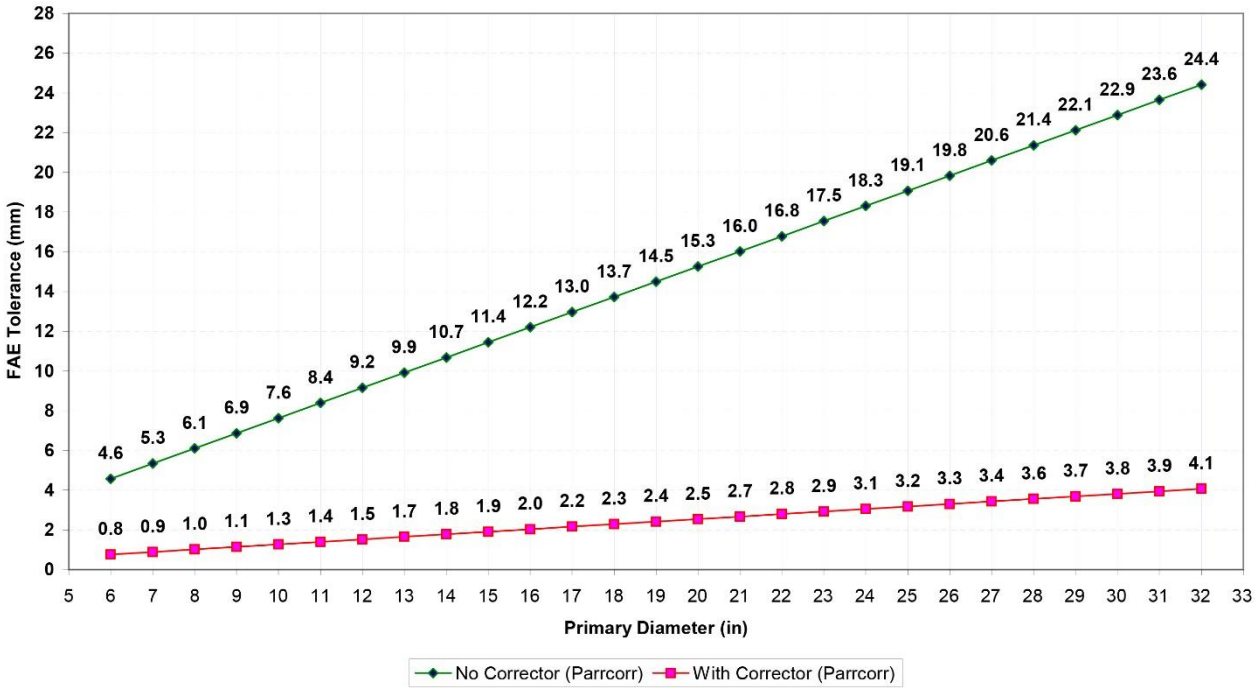
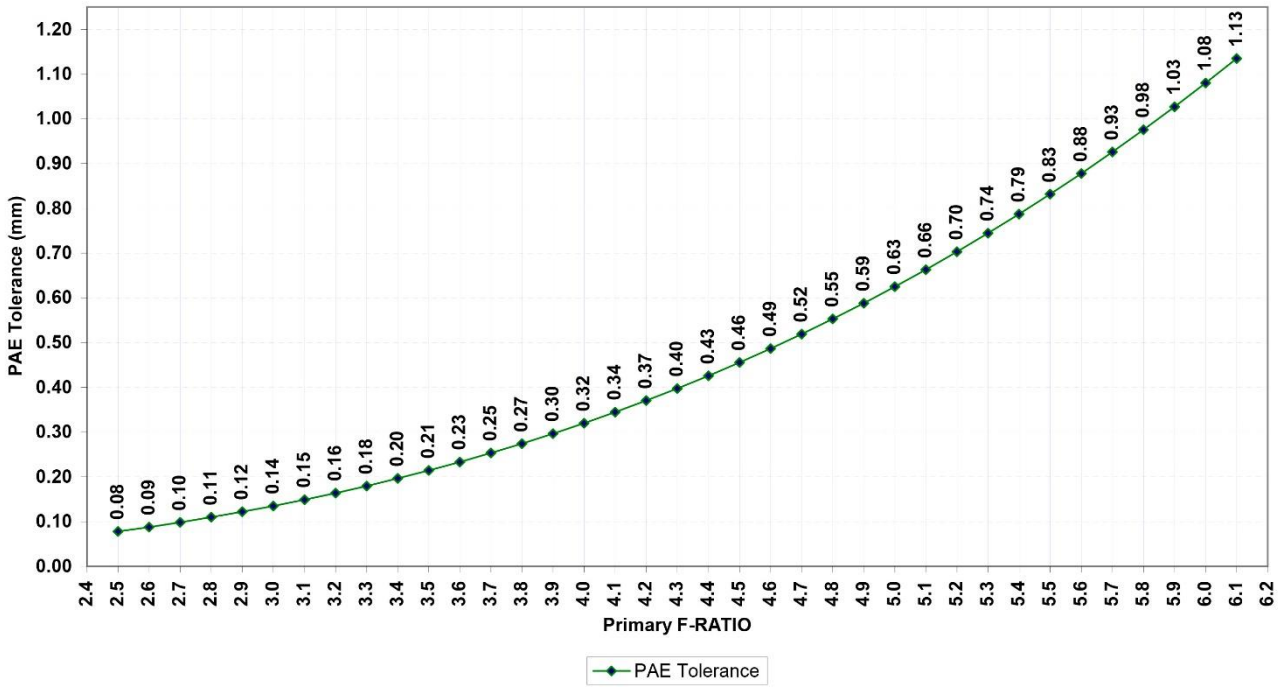
Un error axial de espejo primario (PAE) descentra el campo libre de coma (en relación con el diafragma de campo del ocular o detector de imagen). El PAE se mide como la diferencia lineal entre el eje del espejo primario y el centro del diafragma del campo del ocular (o del detector de imagen) en el plano focal. La tolerancia PAE se basa en el análisis de Edgar Everhart (Técnicas avanzadas de fabricación de telescopios, volumen 1, Óptica) del diámetro del campo libre de coma (0,022 mm veces la relación focal al cubo) y la sugerencia de Nils Olof Carlin de usar 1/4 (aumentos 'moderados') a 1/6 (aumentos 'planetarios' más altos) del diámetro del campo libre de coma como tolerancias razonables. Redondeando la tolerancia a 0.005 mm veces la relación focal al cubo, convenientemente coincide con la constante para la tolerancia corregida por coma del FAE descrita a continuación.

Un error axial del enfocador (FAE) inclina el diafragma de campo del ocular (o detector de imagen) en relación con el plano focal. El resultado es un error de enfoque. El FAE se mide como la diferencia lineal entre el eje del enfocador (o más específicamente, el eje del ocular) y el centro del espejo primario. Para mantener el defecto de la imagen aportado por FAE por debajo del coma residual en el campo de visión, la tolerancia FAE para un telescopio newtoniano sin corrector de coma es aproximadamente 1/30 (3 por ciento) del diámetro del espejo primario. Ya que hay 6 veces menos coma cuando se usa un ParaCorr, la tolerancia FAE debe reducirse en un factor de seis, o 0.005 veces el diámetro del espejo primario cuando se usa un corrector de coma.

Teniendo en cuenta que muchos entusiastas de Newton compran ópticas con Strehls más altos en la búsqueda del máximo rendimiento, no hay razón para que estas tolerancias se consideren límite cuando se puede obtener más precisión fácilmente.

[3] N. T.: Dadas las mayores exigencias de los detectores modernos, las tolerancias reales podrían ser incluso menores. Así que habría que tomar las que aquí se presentan como una referencia de límite superior. En cualquier caso, este nivel de precisión no se puede conseguir con los colimadores láser, muy en especial en el caso del error axial del primario.

Focuser Axial Error Tolerance (FAET)
FAET (mm) = 25.4 x 0.03 (0.005 w/Parcorr) X Primary Mirror Diameter (in)
(Vic Menard)



Primary Axial Error Tolerance (PAET)
PAET (mm) = 0.005 x (f-ratio)^3
(Vic Menard)