

Lentes e Instrumentos Ópticos

**Técnicas Experimentais III
(Laboratorio de Óptica)
Grao en Física
Curso 2023 - 2024**

A. OBXECTIVO XERAL

Analizar e comprender o funcionamento das lentes delgadas na aproximación da Óptica Xeométrica, e dos instrumentos básicos de visión con elas construídos.

B. TAREFAS A REALIZAR**1. Determinación da distancia focal de lentes delgadas converxentes e diverxentes**

- 1.1. Medida da distancia focal dunha lente converxente mediante os métodos obxecto-imaxe, autocolimación e de Bessel descritos no apartado E.2.1
- 1.2. Medida da distancia focal dunha lente diverxente mediante o método descrito no apartado E.2.2.

2. Montaxe experimental e demostración ao profesor ou profesora do funcionamento dun ollo artificial, unha lupa, un microscopio e un telescopio.**C. CONTIDOS A INCLUIR NA MEMORIA A ENTREGAR**

1. Introducción e obxectivos da experiencia (límite unha páxina). Inclúide os datos identificativos das lentes utilizadas (códigos indicados no seu soporte).
3. Determinación da distancia focal da lente converxente (métodos obxecto-imaxe, autocolimación e Bessel: trazas de raios, táboas de datos, resultados [valor probable da focal +/- incerteza] e conclusións. Os resultados polos tres métodos son compatibles entre si? De haber diferencias relevantes, cales poden ser as causas?
5. Determinación da distancia focal da lente diverxente (traza de raios, táboa de datos, resultados [valor probable da focal +/- incerteza] e conclusións)
6. Trazas de raios para o ollo, lupa e telescopio (anexo II).
6. Contesta as preguntas que aparecen no texto desta memoria (en cursiva azulada)

D. MATERIAL DISPOÑIBLE

Fonte de luz con difusor. Obxectos planos. Tres lentes converxentes e unha lente diverxente. Un espello plano. Unha pantalla de observación. Unha cámara dixital xunto co seu obxectivo. Un ordenador. Banco óptico con diversos soportes. Comproba que tes este material e -se falta algo- ponte en contacto coa profesora ou profesor. Por favor, non movas material dos bancos ópticos veciños.

NOTA IMPORTANTE:

NUNCA TOQUEDES COS DEDOS AS SUPERFICIES ÓPTICAS DOS PRISMAS E LENTES.

Os compoñentes ópticos deben collerse polo canto ou polos seus soportes mecánicos.

E. NOTAS SOBRE O PROCEDEMENTO

E.1. Fórmula fundamental da lentes delgadas

En termos xerais chamamos 'lente' a un elemento refractivo que permite modificar a traxectoria da enerxía luminosa que incide sobre ela, conseguindo (idealmente) que a radiación emitida por un punto se concentre noutro punto. As lentes son elementos esenciais para a formación de imaxes e para a concentración de enerxía. Entendemos por 'formación de imaxe' o proceso polo cal a radiación emitida por un conxunto de puntos (que entre todos forman un obxecto) se concentra nun conxunto semellante de puntos situados noutra rexión do espazo. A formación de imaxes é un elemento clave da visión humana, pois as diversas superficies refractoras que compoñen o ollo actúan como lentes que forman na retina unha imaxe do mundo exterior. Cando por diversas razón un ollo non é quen de formar imaxes precisas dos obxectos pode corrixiarse por medio de lentes adicionais, chamadas lentes oftálmicas, en forma de gafas ou lentes de contacto. O uso de lentes oftálmicas xeneralizouse a partir do século XIII, aínda que tiveron de pasar cerca de trescentos anos antes de que o fenómeno da refracción fose descrito de xeito matematicamente aceptable, a partir dos traballos de Kepler, Descartes e Snell. A utilización das lentes como concentradoras de enerxía vén de antigo: hai quen propón que a humanidade utilizou, dende épocas relativamente tempéranas, cristais ou vidros tallados para xerar lume. Na actualidade, entre outras moitas aplicacións, utilízanse lentes para concentrar a enerxía ao soldar unha peza mediante radiación láser, eliminar tecidos en prácticas cirúrxicas de precisión ou controlar a posición de partículas de tamaño microscópico.

A *distancia focal* dunha lente pode definirse como a distancia que hai entre o plano principal da mesma e o plano no que forma a imaxe de obxectos que están tan lonxe dela como queiramos (o que comunmente se denominan 'obxectos situados no infinito'). É a distancia ao punto (=foco) no que converxen os raios que entran na lente paralelos ao eixo óptico. A determinación da distancia focal é de grande importancia, dado que é a magnitude que caracteriza o comportamento das lentes delgadas. Nesta experiencia determinaremos a focal de diferentes tipos de lentes utilizando técnicas sinxelas baseadas na aproximación da óptica xeométrica para lentes delgadas.

A posición dun obxecto plano e a da súa imaxe formada por unha lente delgada veñen relacionadas pola fórmula fundamental da lentes delgadas

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

onde: s é a distancia do centro da lente ao obxecto (co seu signo)
 s' é a distancia do centro da lente á imaxe (co seu signo).
 f' é distancia focal imaxe = – distancia focal obxecto (f).

Esta fórmula podemos expresala de xeito equivalente en *curvaturas* (os inversos das distancias), denotando $D=1/s$, $D'=1/s'$ e $F'=1/f'$, e obtendo:

$$D + D' = F'$$

De acordo con esta expresión a relación entre as curvaturas obxecto (D) e imaxe (D') é unha liña recta de pendente unidade que non pasa pola orixe de coordenadas. O termo independente, F' , dános a inversa da distancia focal imaxe da lente.

E.2. Determinación da distancia focal de lentes delgadas converxentes e diverxentes

E.2.1 Medida da distancia focal dunha lente converxente

Para realizar esta experiencia imos considerar tres métodos fáciles de realizar no laboratorio.

a) Método obxecto-imaxe (xa o tedes feito no apartado anterior)

diferenciar los métodos es interesante

Como se deduce da fórmula das lentes delgadas, a partir de pares de medidas de s e s' podemos calcular a distancia focal dunha lente. **Pódese realizar un axuste lineal tendo en conta a fórmula das curvaturas no apartado anterior, a focal será a inversa do termo independente da recta.** Tamén se pode estimar a focal de xeito bastante aproximado calculando f' para cada par de posicións, s , s' , e facendo logo a media. **Para obter os datos necesarios, colocade o obxecto a unha distancia dada da lente (s) e tomade $M=5$ medidas da posición da imaxe (s'). As diferentes medidas podedes tomalas quitando e poñendo a pantalla, ou mellor a lente, (tornádvos ambas persoas do equipo, se traballades en parella). A configuración de imaxe, en cada medida, será aquela na que a imaxe vos pareza máis nítida na pantalla. Repetide este proceso para outras 6 posicións do obxecto.**

→ 5 medidas por posición, 7 posicións (35 medidas)

b) Método de autocolimación

2 focal

Cando un obxecto está situado no plano focal obxecto dunha lente converxente, o conxunto de raios procedentes de cada punto do obxecto emerxen da lente paralelos. Situando un espello plano detrás da lente, perpendicular ao eixo óptico, e utilizando unha diapositiva como obxecto pode determinarse facilmente a focal da dita lente. **Como? Tomade a lo menos 10 medidas con este método, xirando de medida en medida a lente ou ben o obxecto.**

↪??

c) Método de Besse

Se situamos o obxecto e a pantalla de observación no banco óptico a certa distancia un do outro e deixámoslos fixos, podemos observar que se pode obter unha imaxe nítida do obxecto para dúas posicións distintas da lente converxente, que están separadas entre si unha distancia " e ". Se " a " é a distancia entre obxecto e pantalla verifícase a relación

$$f' = \frac{a^2 - e^2}{4a}$$

Deduce esta relación a partir da fórmula das lentes.

→ responder a esta pregunta

Observade que se acercamos moito a pantalla ao obxecto non se observa a imaxe para ningunha posición da lente. **Que condición debe verificar a distancia " a " entre obxecto e pantalla para poder observar as imaxes?**

Calculade a distancia focal da lente realizando a lo menos 5 medidas utilizando 5 distancias " a ", e para cada distancia " a " obtén 3 valores de " e ".

→ Medimos 5 posiciones entre objeto y pantalla, y para cada " a " obtenemos 3 posiciones para las que la imagen también es nítida

E.2.2 Medida da distancia focal dunha lente diverxente

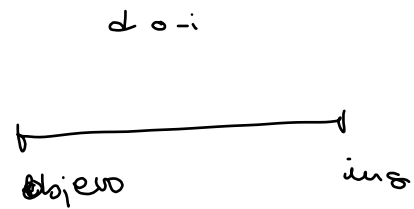
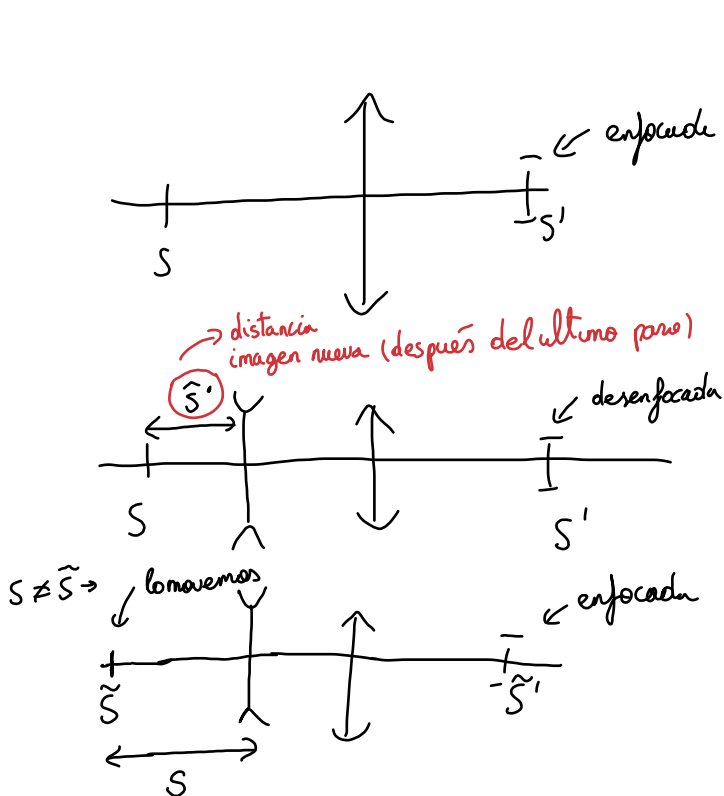
Unha lente diverxente forma imaxes virtuais dun obxecto real. As imaxes virtuais non poden recollerse sen máis nunha pantalla porque parecen estar situadas 'antes' da lente diverxente. Por iso, para calcular a focal dunha lente diverxente cómpre axudarse dunha lente converxente.

Hai varias posibilidades. Suxerimos formar primeiro unha imaxe do obxecto sobre unha pantalla coa axuda da lente converxente. Segundo, interpoñede entre obxecto e lente converxente, a lente diverxente. Anotade a distancia entre esta última e o obxecto (que corresponderá a distancia imaxe s' ! *(Por que?)* logo de realizar o último paso) e observade que xa non se ve unha imaxe nítida sobre a pantalla. Por último, desprazade o obxecto ata volver a observar na pantalla a imaxe enfocada. O obxecto atoparase agora a unha distancia s da lente diverxente, a distancia obxecto, *(Por que?)*. A partir das distancias (s e s') entre a lente diverxente e o obxecto calcúlase a distancia focal da lente. Obtén a focal da lente para 5 posicións diferentes e enfoca 3 veces para cada posición

* se puede ver a partir de las ecuaciones?

↳ Estas preguntas son interesantes

3 medidas para 5 posiciones diferentes

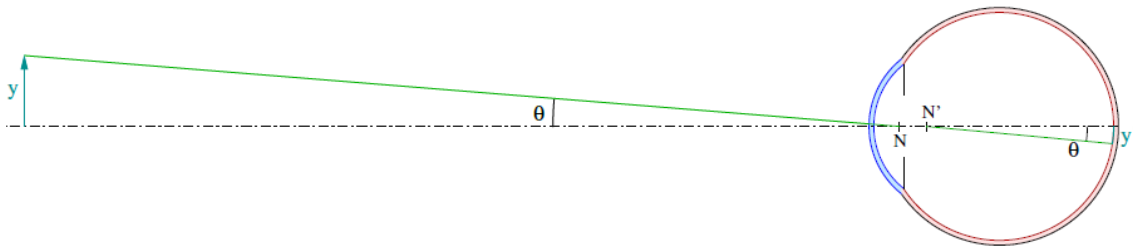


$$\Rightarrow f' = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s}$$

E.3. Montaxe experimental e demostración ao profesor ou profesora do funcionamento dun ollo artificial, unha lupa, un microscopio e un telescopio.

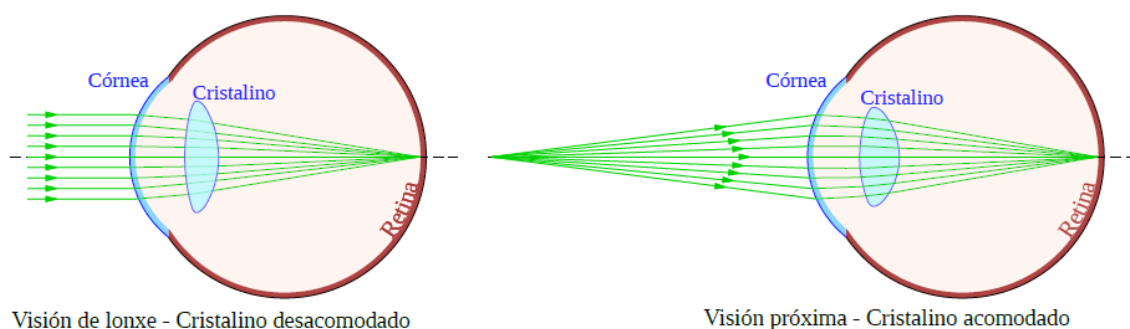
1. Construción dun ollo artificial

O ollo humano ten unha lonxitude fixa, polo que a distancia entre a lente (formada pola córnea e máis o cristalino) e a pantalla de observación (retina) é unha constante. Se a focal do ollo tamén fose constante, o ollo só podería formar imaxes nítidas de obxectos que estivesen a unha distancia dada, prefixada, que se podería calcular utilizando a fórmula das lentes que xa coñecemos. Os obxectos situados alén e aquén desa distancia veríanse desenfocados.



(imaxe: Ramón Flores)

Porén, o ollo humano ten a posibilidade de variar a distancia focal da súa lente, mediante músculos que actúan sobre o cristalino. Así é posible enfocar obxectos a distancias diversas aínda que a lonxitude do ollo non varíe. Este proceso denomínase 'acomodación'. A acomodación ten un límite, que depende en gran parte da idade da persoa: un rapaz pequeno pode variar (diminuír) a focal do cristalino de forma notable, o que lle permite observar nitidamente tanto obxectos que están moi afastados (cristalino coa maior focal) como outros que están a só uns 10 cm do seu ollo (cristalino coa menor focal), mentres que unha persoa maior pode ter unha capacidade de acomodación case nula, co que só observará nitidamente obxectos situados a unha distancia fixa. O punto máis preto do ollo no que podemos poñer un obxecto e seguir véndoo con nitidez é o que se denomina '*punto próximo*' e obviamente tamén varía coa idade.



(imaxe: Ramón Flores)

O tamaño dun obxecto visto polo ollo depende do ángulo subtendido por dito obxecto, sendo o tamaño imaxe formada na retina directamente proporcional á tanxente deste ángulo. Polo tanto podemos definir o aumento visual (β) dun instrumento como o cociente entre as tanxentes dos ángulos baixo os cales se ve un obxecto con e sen instrumento, ou, o que é o mesmo, o cociente entre os tamaños das imaxes retinianas correspondentes.

Para os instrumentos destinados a observar obxectos próximos ao ollo o aumento

depende das condicións de observación, sendo necesario fixalas. Normalmente, tómasse como distancia de observación dun obxecto sen instrumento ou *punto próximo*. Para unha persoa adulta de visión normal o punto próximo atópase a unha distancia duns 25 cm. máis ou menos.

Podemos construír un 'ollo artificial' utilizando un obxectivo é unha cámara dixital. Aínda que este ollo pode enfocar obxectos a distancias diferentes, **imos mantelo enfocado a unha distancia fixa d_0 de 40 cm** (medida dende o centro do soporte da cámara). Para isto, **situamos un obxecto plano** a distancia d_0 e **axustamos o obxectivo** (xirando o pequeno tirador situado sobre o mesmo) ata que a imaxe apareza nítida na pantalla do ordenador. Bloqueamos o tirador, e a partir dese momento podemos quitar ou mover o obxecto, interpor unha lupa entre el e o ollo, etc, pero a lonxitude do ollo (dada polo seu enfoque) **debe permanecer constante ao longo de toda a experiencia**. Antes de continuar, **facede o trazado de raios para localizar a posición da retina no ollo** da Figura 1 no anexo 2. Como se indica nas figuras, e por simplicidade, nos trazados de raios considere simplemente o ollo como composto dunha lente delgada converxente e unha pantalla.

↶ Entender isto, paso a paso

2. Uso dunha lupa e análise cualitativa dos seus aumentos en función da distancia lupa-ollo

Unha lupa non é máis que unha lente converxente que, situada preto do ollo, permite observar un obxecto próximo obtendo na retina unha imaxe de maior tamaño que a que se obtería sen usar ese instrumento. Para iso o obxecto debe situarse a unha distancia da lupa menor que a súa distancia focal, de xeito que esta dea unha imaxe virtual e aumentada do obxecto, e situada no punto próximo do ollo. Esta imaxe virtual é á súa vez un obxecto para o ollo, que forma unha imaxe do mesmo na retina. Antes de continuar, e para ver como se produce esta imaxe virtual, fai o trazado de raios da Figura 2 do Anexo 2.

Se situamos a lupa a unha distancia d do ollo (que, recordemos, ten o seu punto próximo a unha distancia d_0), e o obxecto está a unha distancia a da lupa, de xeito que a imaxe final na retina estea ben enfocada, os aumentos β , experimental e teórico, virán dados por:

$$\beta_{(\text{experimental})} = \frac{(\text{tamaño imaxe na retina con lupa})}{(\text{tamaño imaxe na retina sen lupa})}$$

$$\beta_{(\text{teórico})} = 1 - \frac{d_0 - d}{f'}$$

queremos que β sea mínimo: ocorre cando $s' \rightarrow 0$

$$\text{Tenemos que } \frac{1}{f'} = \frac{1}{s'} - \frac{1}{a} \rightarrow \beta = \frac{a \cdot s'}{a - s'}$$

onde f' é a distancia focal da lente usada como lupa, e d_0 e d teñen o seu signo correspondente (ambos negativos).

Poderías explicar por que o brillante investigador Sherlock Holmes acercaba o seu ollo á lupa tanto como podía e situaba esta moi preto do obxecto que quería observar?

Usa unha das lentes dispoñibles como lupa e demostra o seu funcionamento co ollo artificial. **Determina os aumentos indicados mais arriba e discute os resultados obtidos.**

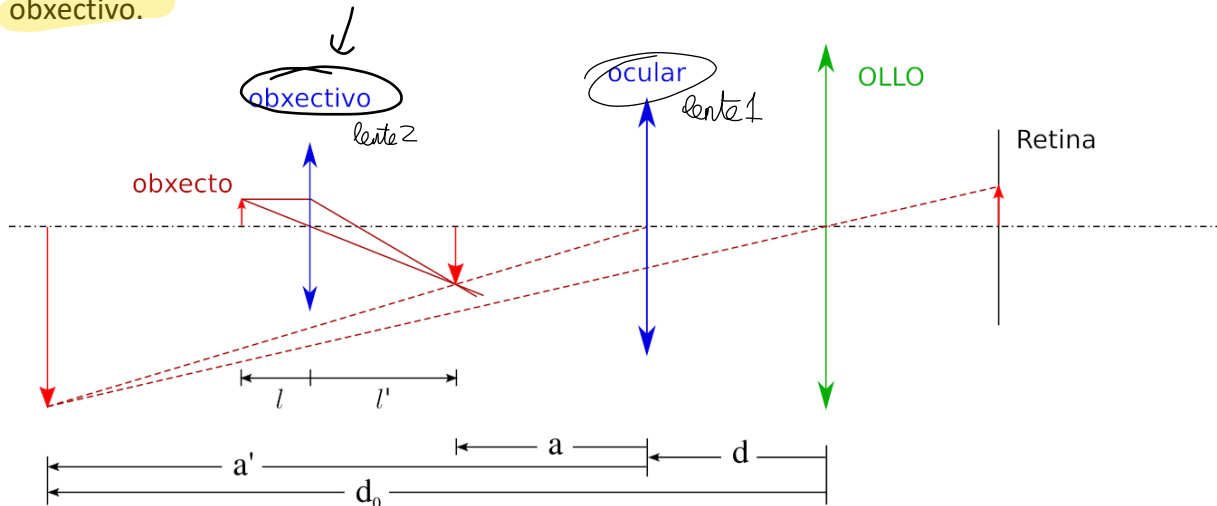
⇒ 5 distancias con 3 medidos para cada una

↪ podemos hacer varias medidas

3. Construción dun microscopio e análise cualitativa dos seus aumentos en función da distancia entre obxectivo e ocular

Un microscopio é un instrumento composto basicamente de dúas lentes. A primeira delas, chamada obxectivo, **forma unha imaxe real e aumentada do obxecto a observar**. A segunda lente, chamada ocular, actúa como unha lupa coa que observamos a imaxe dada polo obxectivo.

obxectivo.



(imaxe: Carlos Montero)

O aumento total do microscopio é o produto dos aumentos do obxectivo e do ocular. Se denominamos l á distancia entre o obxecto e o obxectivo e l' á distancia entre o obxectivo e a imaxe que produce (tanto l como l' teñen o signo que lles corresponda), e usando para o ocular a mesma notación que no caso da lupa, os aumentos β , experimental e teórico, do microscopio son:

$$\beta_{(\text{experimental})} = \frac{(\text{tamaño imaxe na retina con microscopio})}{(\text{tamaño imaxe na retina sen lupa})}$$

$$\beta_{(\text{teórico})} = \frac{1}{l} \left(1 - \frac{d_0 - d}{f'} \right)$$

$l \equiv$ distancia obxectivo (lente 2) y obxecto

$l' \equiv$ distancia obxectivo/imaxe

$$\frac{1}{f'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{s'}$$

s negativa

Recoméndase usar como obxectivo a lente de menor focal e como ocular a de maior (por que?).

Constrúe un microscopio coas lentes dispoñibles e demostra o seu funcionamento usando o ollo artificial. *Determina os aumentos indicados mais arriba e discute os resultados obtidos.*

4. Construción dun telescopio e observación cualitativa de obxectos distantes

Un telescopio é un instrumento deseñado para observar obxectos afastados, aumentando o ángulo baixo o cal se ven os mesmos. Está composto basicamente por dúas lentes, o obxectivo (neste caso a lente de maior focal) e o ocular, separados unha distancia igual á suma das súas focais.

Para comprender por que un telescopio aumenta o tamaño angular dos obxectos afastados, completa o trazado de raios da Figura 3 do Anexo 2. Constrúe posteriormente un telescopio con dúas das lentes das que dispós e comproba visualmente o seu funcionamento.


↳ Distinguir entre telescopio/microscopio

→ diferenzas cuantitativas e cualitativas

ANEXO 1**Regras básicas para a traza de raios a través de lentes delgadas en aproximación paraxial**

1. Cada punto dun obxecto emite raios en todas as direccións, os cales se propagan en liña recta nun medio homoxéneo.
2. A imaxe dun punto fórmase onde se cortan os raios que proceden del, unha vez atravesada a lente. Admitindo que a lente forma unha imaxe "estigmática" (é dicir, que a imaxe dun punto é outro punto), para saber a posición da mesma chega con calcular onde se cortan dous raios calquera.
3. Se os raios converxen logo de atravesar a lente, forman unha imaxe real no punto en que se cortan. Se os raios diverxen, a imaxe virtual fórmase onde se cortan as súas prolongacións cara atrás.
4. Sendo a lente delgada, o raio sae da mesma no mesmo lugar polo que entra.
5. Cambios de dirección ao atravesar unha lente:

- Calquera raio que pase (el ou a súa prolongación) polo punto focal obxecto da lente, sae desta paralelo ao eixo óptico.
- Calquera raio que entre na lente paralelo ao eixo óptico sae da mesma pasando (el ou a súa prolongación) polo punto focal imaxe
- Calquera raio (ou a súa prolongación) que pase polo centro da lente non se desvía ao atravesala.



Anotar

ANEXO 2

Figura 1. Traza os raios desde a punta do obxecto para calcular a posición na que debería estar a retina deste **ollo simulado**:

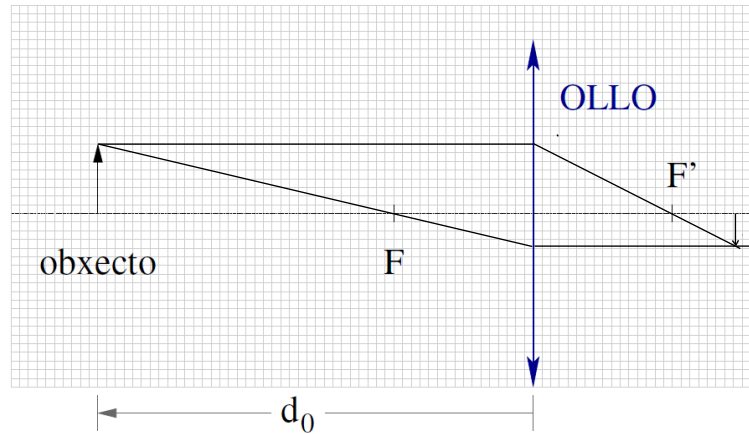


Figura 2. Traza os raios para calcular onde está a imaxe producida pola **lupa**:

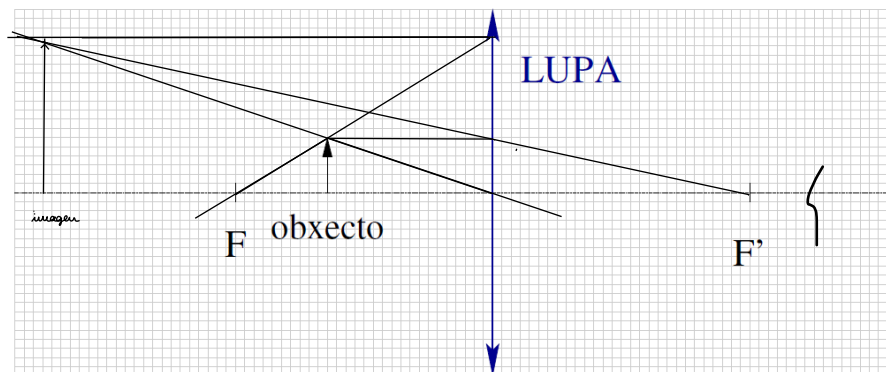


Figura 3. Fai a traza raios para este **telescopio**:

