

## **ÓPTICA XEOMÉTRICA. LENTES E INSTRUMENTOS**

### **1. LENTES DELGADA**

### **2. O OLLO COMO INSTRUMENTO ÓPTICO**

### **3. INSTRUMENTOS ÓPTICOS**

3.1. A lupa.

3.2. O microscopio composto.

3.3. O telescopio

## 1. LENTES DELGADAS.

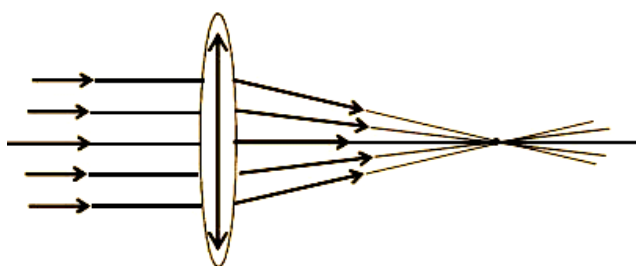
Unha lente é un sistema óptico formado por dous dioptrios co cal a luz sofre dúas refraccións (unha ao atravesar a primeira superficie e outra ao atravesar a segunda).

As superficies que forman a lente teñen o seu centro no mesmo eixo principal.

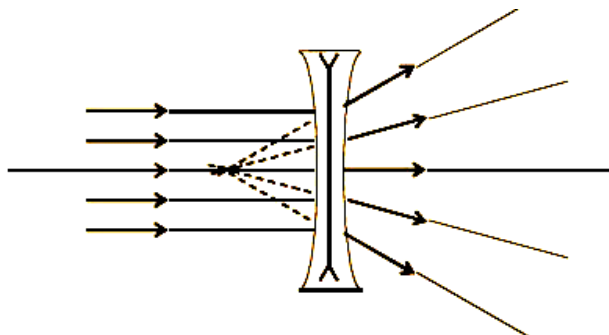
No caso particular que imos estudar, o grosor das lentes é desprezable en relación co radio de curvatura das superficies (lentes delgadas).

As lentes poden ser de dous tipos:

- Converxentes: Os raios que inciden sobre elas paralelos o eixo principal saen desviados en dirección ao eixo para formar unha imaxe real.

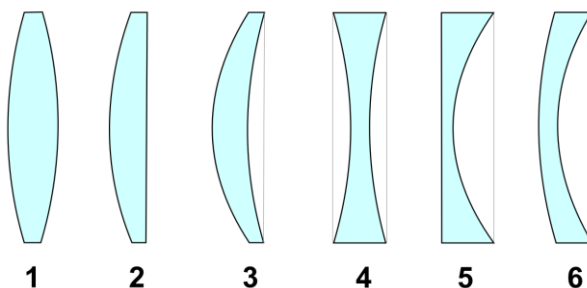


- Diverxentes: Os raios que inciden sobre elas paralelos ao eixo principal saen desviados en dirección oposta ao eixo para formar unha imaxe virtual.



Á súa vez existen distintos tipos de lentes dentro de cada grupo. As converxentes poden ser biconvexas (1), planoconvexas (2) ou de menisco converxente (3).

As lentes diverxentes poden ser bicóncavas (4), planocóncavas (5), ou de menisco diverxente (6).



Podemos observar que as lentes converxentes son máis grosas no centro que nos extremos; as diverxentes son máis delgadas no centro e máis grosas nos extremos.

Os elementos característicos dunha lente son:

- Foco imaxe:  $F'$ , é o punto no que calquera dos raios emerxentes (nas lentes converxentes) ou as súas prolongacións (nas lentes diverxentes) corta ao eixo principal.
- Distancia focal imaxe:  $f'$ , é a distancia do centro da lente o punto  $F'$ , empregando o criterio de signos a distancia focal imaxe será positiva nas lentes converxentes e negativa nas diverxentes.
- Foco obxecto:  $F$ , é o punto simétrico a  $F'$  (respecto do centro da lente) no que se cumpre que os raios (ou prolongacións destes no caso de lentes diverxentes) que pasen por el saíran) paralelos ao eixo óptico tras atravesar a lente.
- Centro óptico: É o punto de intersección da lente co eixo óptico (consideramos grosor da lente desprezable). No centro óptico as superficies dos dioptrios son paralelas co que as desviacións por refracción compénsanse de forma tal que o raio que atravesa a lente por este punto non sufrirá desviación.
- Centro de curvatura: é o das superficies que forman ambas caras.
- Raios de curvatura: son os correspondentes a cada unha das superficies que forman a lente. A cara de esquerda considérase a primeira e denotamos o seu radio  $R_1$ , sendo  $R_2$  o radio da cara da dereita.

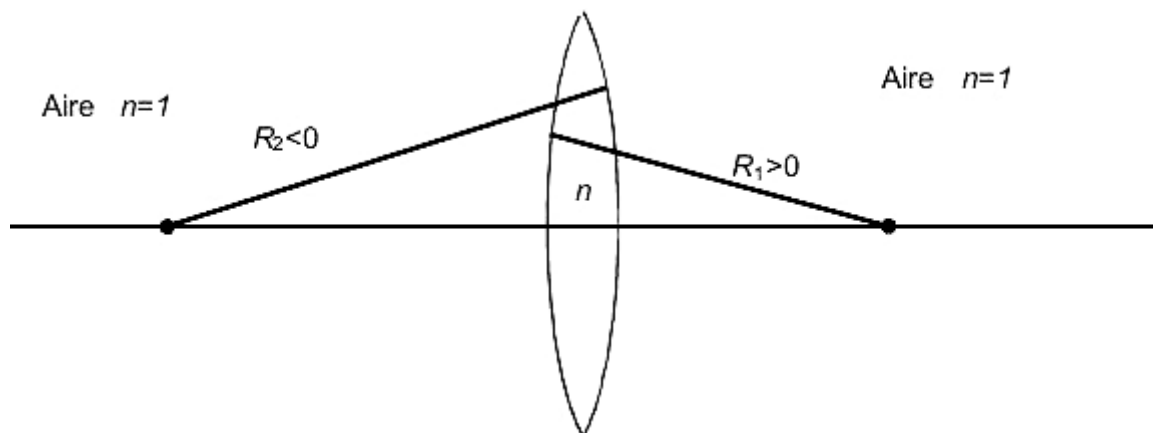
Para debuxar o **esquema da formación dunha imaxe nunha lente** hai que seguir as seguintes normas (podemos ver que son moi similares ás que xa vimos no caso dos espellos):

- Os raios que inciden na lente paralelamente ao eixe principal eixe óptico) refráctanse de tal xeito que o raio ou a súa prolongación pasa polo foco imaxe  $F'$
- O raio que atravesa a lente pasando polo centro óptico non sofre desviación.
- O raio que pase polo foco obxecto ( $F$ ) refractarase na dirección paralela ao eixo óptico.

A imaxe formada por unha lente diverxente é sempre virtual de menor tamaño e dereita. No caso das lentes converxentes formaranse imaxes reais e invertidas salvo no caso de que o obxecto se sitúe no foco da lente, dando lugar entón a imaxes virtuais dereitas e maiores que o obxecto.

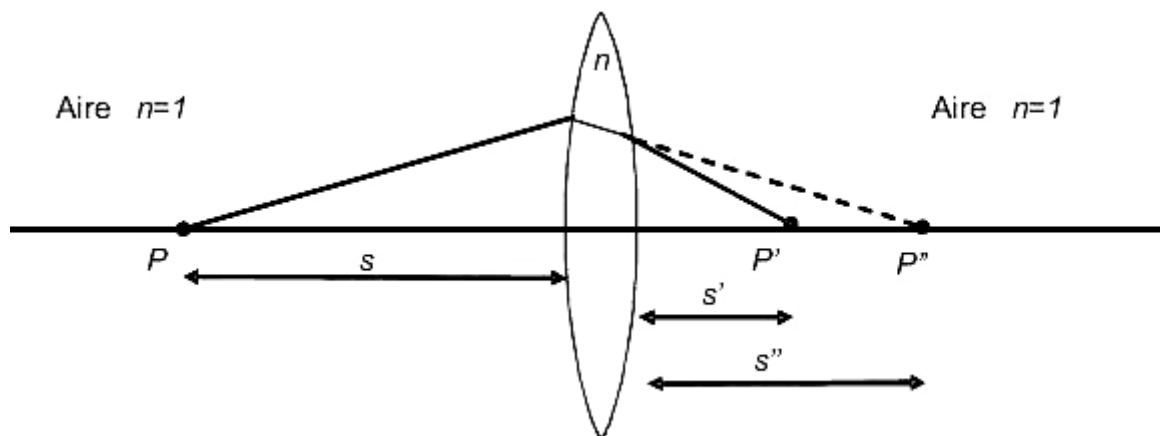
### Ecuación fundamental das lentes delgadas.

Consideremos unha lente formada por unha combinación de dous dioptrios, coma na figura na que vemos unha lente biconvexa.



No primeiro dioptrio pasamos de aire ( $n=1$ ) a un medio de índice de refracción  $n$ , tendo un radio de curvatura de dioptrio  $R_1 > 0$ . No segundo dioptrio pasamos dun medio de índice de refracción  $n$  ao aire ( $n=1$ ), tendo o dioptrio  $R_2 < 0$ .

Sabendo que a ecuación fundamental do dioptrio esférico é:  $\frac{n_2}{s'} - \frac{n_1}{s} = \frac{n_2 - n_1}{R}$



No primeiro dioptrio a imaxe formarase en  $P''$  a unha distancia  $s''$ , a ecuación do dioptrio queda:

$$\frac{n}{s''} - \frac{1}{s} = \frac{n-1}{R_1}.$$

No segundo dioptrio a distancia do obxecto é  $s''$ , xa que imaxe do primeiro dioptrio é o obxecto do segundo, quedando a ecuación:

$$\frac{1}{s'} - \frac{n}{s''} = \frac{1-n}{R_2}$$

A suma de ambas expresións lévanos a chamada ecuación fundamental das lentes delgadas.

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n-1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

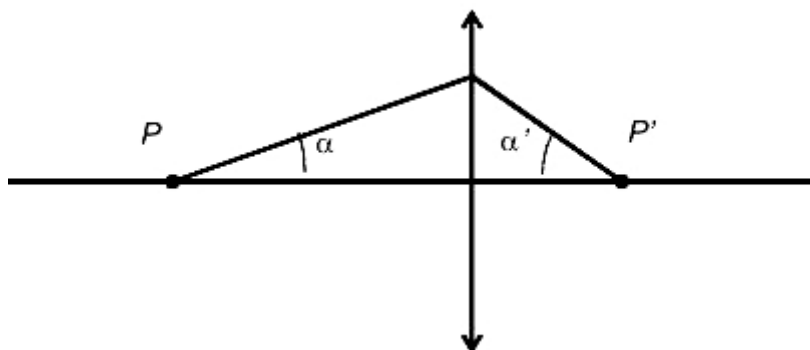
Para determinar a posición do foco das lentes seguiremos un razoamento igual ao seguido no caso dos dioptrios:

$$s = -\infty \Rightarrow s' = f' \Rightarrow \frac{1}{f'} - \frac{1}{-\infty} = (n-1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{f'} = (n-1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

O aumento lateral é o cociente entre os tamaños da imaxe e o obxecto:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n_1 s'}{n_2 s}; \text{ como } n_1 = n_2 \text{ obtemos: } \beta = \frac{s'}{s}.$$

O aumento angular é o cociente entre os ángulos que forma o raio co eixo óptico despois e antes de pasar pola lente.



*Potencia dunha lente.*

Defínese coma á inversa da distancia focal imaxe medida en metros. Polo tanto nas lentes converxentes será positiva e nas diverxentes negativa.

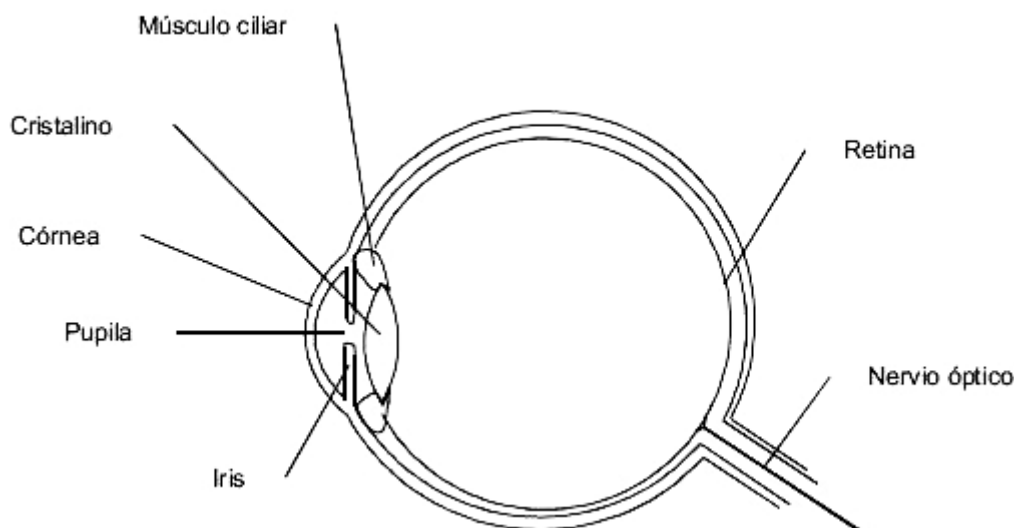
A súa unidade no sistema internacional é  $m^{-1}$  a chamada dioptría, e a magnitude represéntase pola letra P.

$$P = \frac{1}{f'}$$

Cando temos varias lentes aliñadas a potencia do conxunto obtense coma a suma das potencias individuais de cada lente:  $P_{total} = P_1 + P_2 + \dots$

## 2. O OLLO COMO INSTRUMENTO ÓPTICO.

A función do ollo é obter unha imaxe real sobre uns detectores sensibles á luz. É un sistema formado por un dioptrio esférico (a cornea) a través do cal incide a luz e unha lente (o cristalino) que fai o papel de lente converxente.

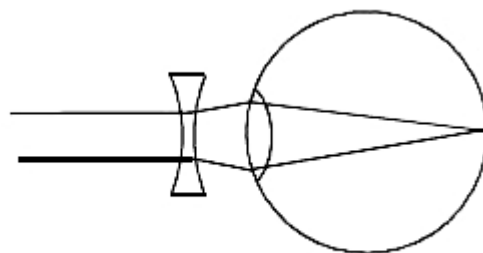
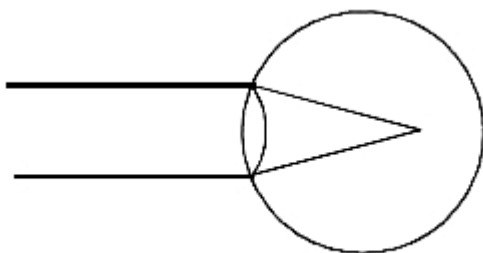


- Córnea: Membrana transparente que permite o paso da luz.
- Íris: Diafragma que regula a cantidade de luz que entra no ollo.
- Cristalino: Masa transparente con forma de lente converxente e que separa o humor acuoso (líquido transparente) e o humor vítreo ambos de índice de refracción parecido á auga. Os músculos ciliares permiten variar a distancia focal desta lente para poder enfocar obxectos que se atopen a diferentes distancias (esta variación denomínase acomodación).
- Retina: É unha membrana de fibras nerviosas, prolongación do nervio óptico e que se encarga de transmitir as imaxes ao cerebro.

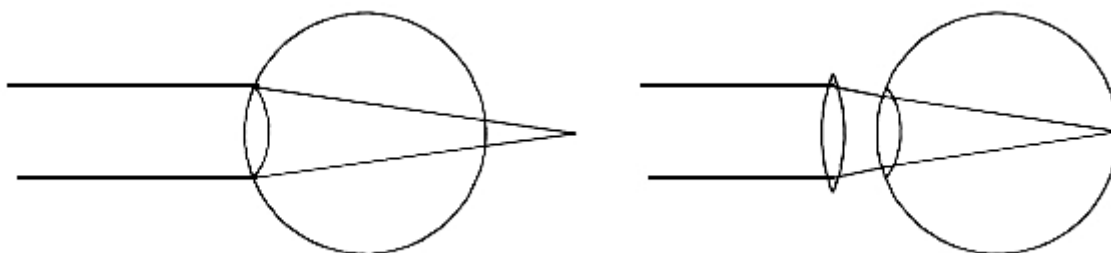
O punto próximo (ou distancia mínima a que podemos enfocar un obxecto está ao redor dos 25 cm para un ollo san. O punto remoto é a máxima distancia á que unha persoa pode distinguir un obxecto de forma nítida.

Diversos defectos da visión non permiten formar imaxes nítidas na retina, os máis habituais son:

Miopía: Consiste na incapacidade de enfocar obxectos distantes, xa que a imaxe fórmase diante da retina, corríxese con lentes diverxentes.



Hipermetropía: Consiste na incapacidade de enfocar obxectos próximos debido a que imaxe fórmase detrás da retina, corríxese con lentes converxentes.



Presbicia: Consiste na perda de elasticidade do cristalino co que se perde capacidade de acomodación, tradúcese no aloxamento do punto próximo o que dificulta a visión de obxectos próximos, corríxese con lentes converxentes.

Astigmatismo: É unha deformación da córnea, ten como síntomas ver os obxectos puntuais coma liñas curtas, pódese corrixir con lentes cilíndricas.

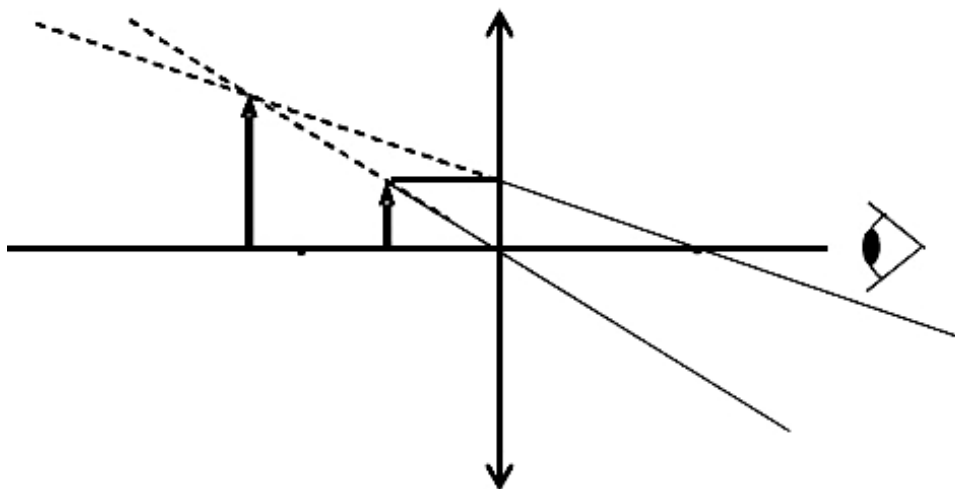
### 3. INSTRUMENTOS ÓPTICOS.

Son sistemas ópticos formados por lentes e espellos. A súa finalidade é axudarnos a ver mellor os obxectos. Podemos facer unha clasificación dos mesmos atendendo á función que realizan, así poderíamos clasificalos en instrumentos de proxección (ex: cámara fotográfica, proxector...) instrumentos de aumento (ex: lupa, microscopio..) ou achegamento (ex: telescopio, prismáticos...).

A modo de exemplo, neste tema centrarémonos no estudio da lupa (ou microscopio simple) e do microscopio composto.

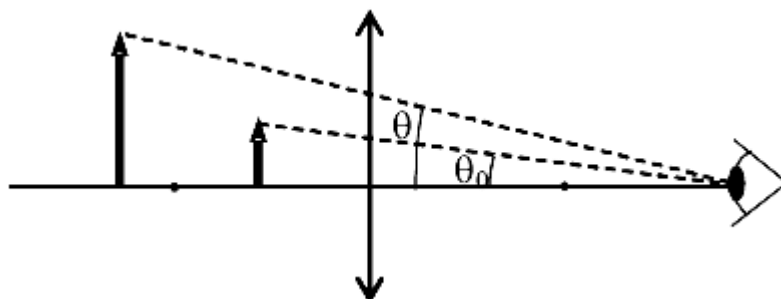
#### 3.1. A lupa.

Consiste nunha lente converxente e permite ver os obxectos de maior tamaño do que son en realidade. Coma xa vimos na parte das lentes o obxecto deberá estar situado entre o foco e a lente para poder obter unha imaxe virtual. Se colocamos o obxecto no foco a imaxe formarase no infinito co cal o ollo non terá que acomodarse.



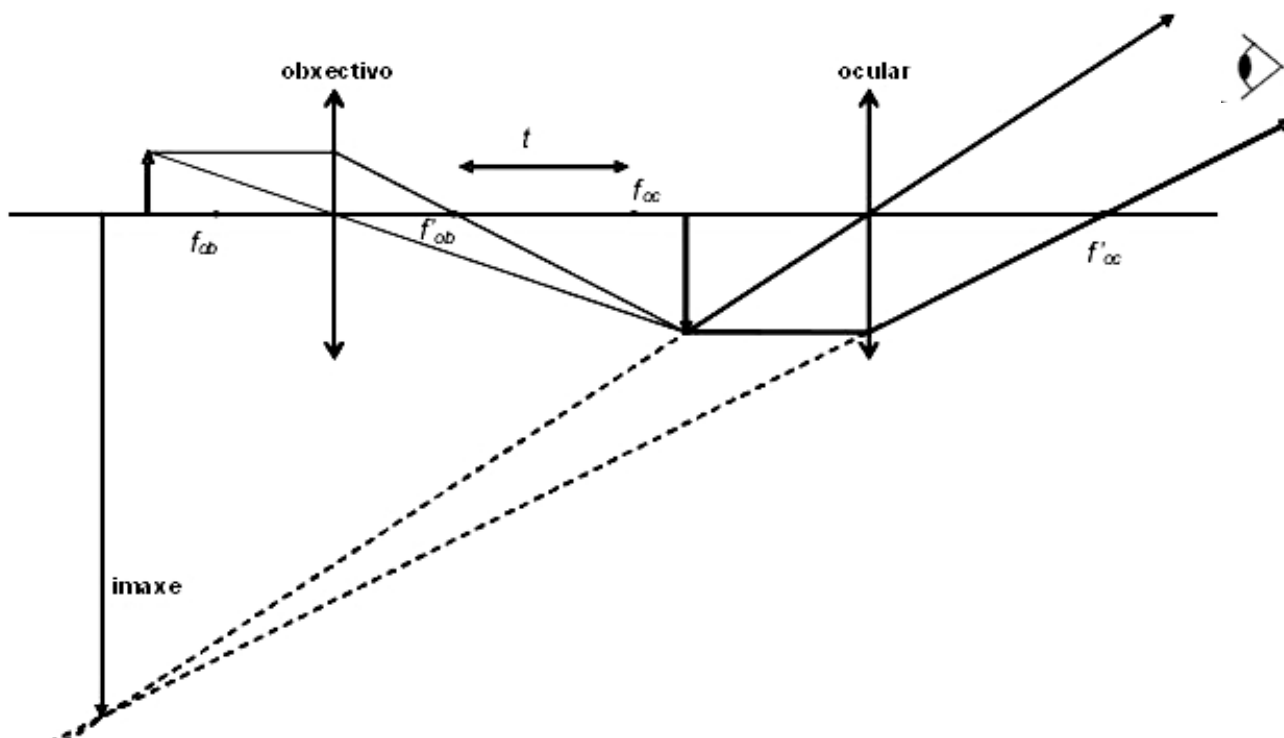
O aumento angular dunha lupa depende do punto onde coloquemos o obxecto, se queremos definir o aumento lateral ou poder amplificador da lupa, con independencia da distancia e do observador, teremos que colocar o obxecto no foco e supoñer que o observador un punto próximo de 25 cm, quedando definido o aumento lateral como:

$A = \frac{0,25}{f}$  (en unidades do S.I.) e que se denomina aumento comercial, aínda que non é o máximo aumento que podemos obter ca lupa.



### 3.2. O microscopio composto.

A súa finalidade é ver obxectos moi pequenos e moi próximos. Está constituído por dúas lentes converxentes, a que está máis próxima ao obxecto denomínase obxectivo e a máis próxima ao ollo ocular.



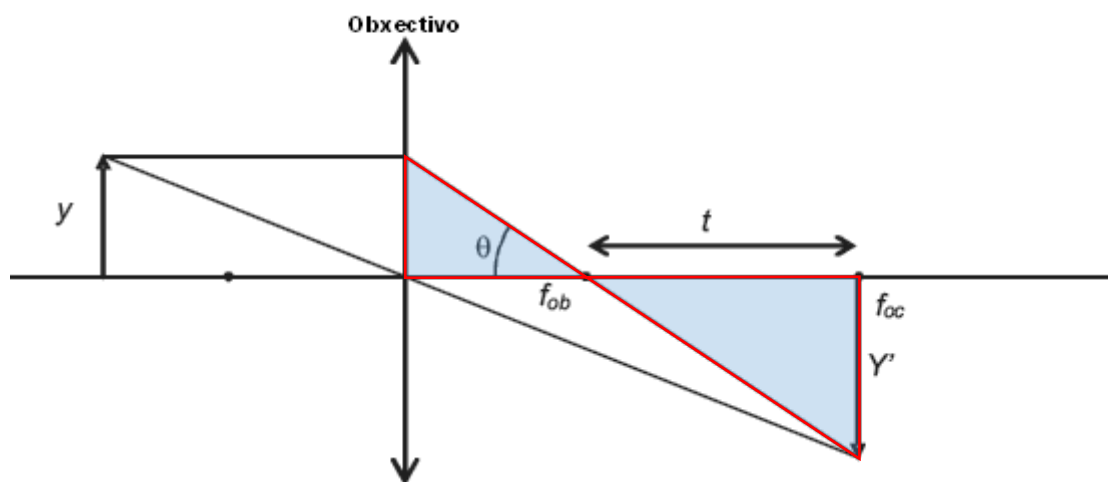
A distancia entre o foco imaxe do obxectivo e o foco obxecto do ocular denomínase lonxitude óptica do microscopio ( $t$ ).



O obxecto colócase diante do obxectivo, proporcionando este unha imaxe real, invertida e de maior tamaño que o obxecto, imaxe que será o obxecto do ocular e que está situada dentro da distancia focal deste.

O ocular actúa coma unha lupa co cal o resultado final é unha imaxe virtual, invertida e bastante maior que o obxecto.

Se queremos coñecer o aumento do obxectivo debemos fixarnos na seguinte figura, observando os dous triángulos sombreados:



Como  $A = \frac{y'}{y} \Rightarrow A = -\frac{t}{f_{ob}}$ , onde  $t$  é a lonxitude óptica do microscopio (distancia -medida en centímetros- entre o foco imaxe do obxectivo e o foco obxecto do ocular).

Para calcular o aumento dispoñemos un sistema no que a imaxe formada polo obxectivo estea no foco obxecto do ocular, desta forma o aumento do microscopio mídese coma o produto dos aumentos laterais do obxectivo  $\left(A = -\frac{t}{f_{ob}}\right)$  polo aumento do ocular  $\left(A = \frac{25}{f_{oc}}\right)$ , quedando a

expresión: 
$$A_{ang} = -\frac{t \cdot 25}{f_{ob} \cdot f_{oc}}.$$

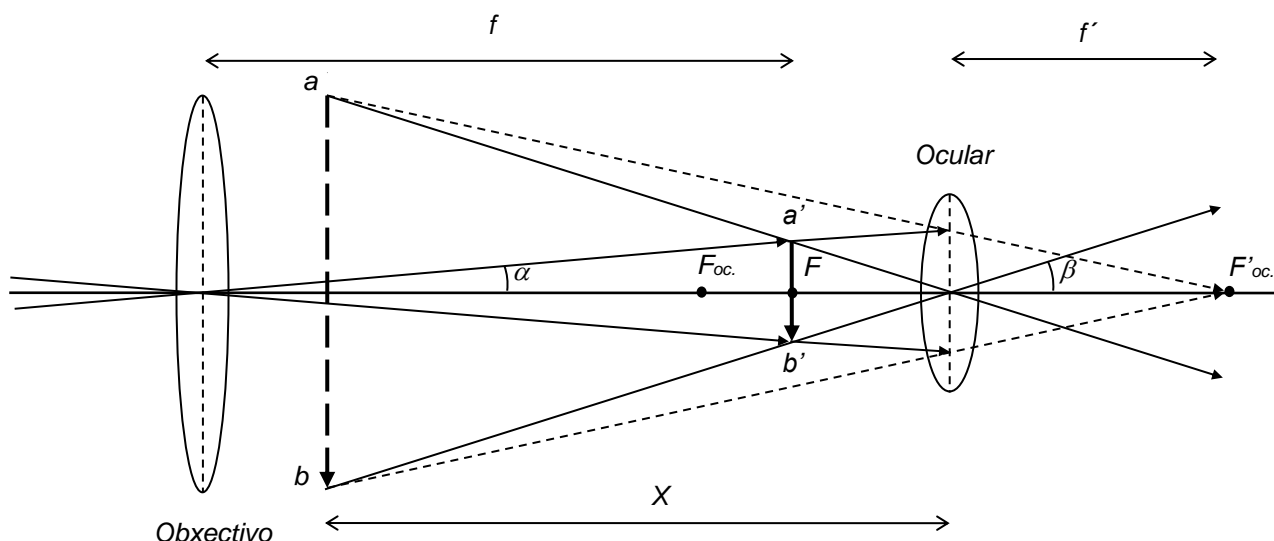
### 3.3. O telescopio

Utilízase para observar obxectos moi distantes. Existen distintos tipos, aínda que nos centraremos no telescopio de refracción. O obxectivo, ver figura, é unha lente converxente de distancia focal  $f$  moi grande (poden ser varios metros). Como o obxecto AB está moi lonxe, a súa imaxe estará situada no foco da lente.

Como ocular se utiliza outra lente converxente pero de distancia focal  $f'$  moito máis pequena. Se coloca de xeito que a imaxe formada na primeira lente estea entre  $F_{oc}$  e o ocular e a imaxe final estea en X.

Para enfocar movemos o ocular. O aumento producido por este instrumento é de tipo angular (é evidente que o obxecto é sempre maior que a imaxe), definido como o cociente entre o ángulo  $\beta$  subtendido pola imaxe e o ángulo  $\alpha$  subtendido polo obxecto:

$$M = \beta / \alpha$$



A causa da proximidade da imaxe, o ángulo  $\beta$  é moito maior que  $\alpha$ , sendo isto o que crea a sensación de aumento. De acordo coa a figura e tendo en conta que os ángulos son pequenos obtemos que:

$$M = \beta / \alpha = ab / a'b' = -f / f'$$

onde consideramos que a distancia da imaxe  $a'b'$  ao ocular é practicamente  $-f'$  e que a distancia  $ab$  ao ocular é practicamente  $f$ .

Podemos apreciar que o aumento angular será tanto maior canto máis grande sexa a distancia focal do obxectivo e menor sexa a do ocular. Aínda así, a principal característica dun telescopio astronómico é a capacidade de recoller luz (obxectos moi distantes) que depende do tamaño do obxectivo (canto maior é o obxectivo máis luz recollemos e maior é a luminosidade). Isto dificulta moito a construción deste tipo de telescopios e tanto os oculares como os obxectivos acostuman a consistir en sistemas de varias lentes.

Outro tipo de telescopio moi utilizado e o reflector. Utiliza como obxectivo un espello cóncavo en lugar dunha lente e simplifica moito a súa construción facendo que o seu peso sexa moito menor que unha lente de calidade óptica similar.

