

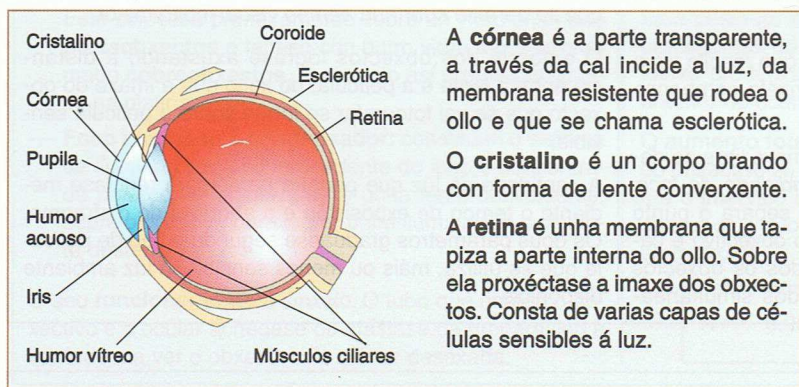
3.2. Instrumentos ópticos

As lentes e os espellos utilízanse na construción dos instrumentos ópticos. Algúns son moi coñecidos e de uso común: a cámara fotográfica, a lupa ou os prismáticos. Outros, como o microscopio ou o telescopio, teñen un indubidable interese científico.

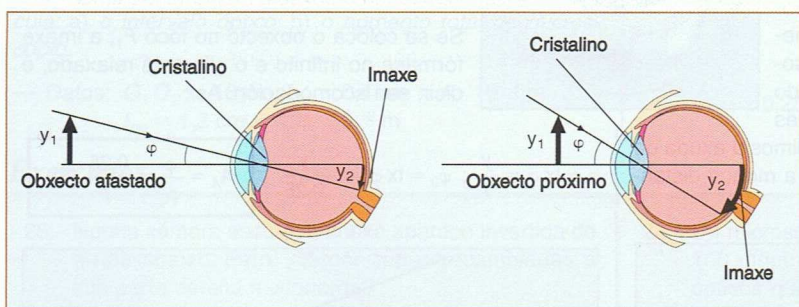
Dun xeito ou doutro, a finalidade dos instrumentos ópticos é axudar ó noso órgano da vista, o noso sistema óptico natural. Por iso, é importante coñecer cómo é e cómo funciona.

O ollo humano

A finalidade dos ollos é proporcionar imaxes *estigmáticas* e sen defectos dos obxectos. A súa forma é aproximadamente esférica, proporcionan un amplo campo de visión, uns 180° , poden cambiar rapidamente o enfoque acomodándose á visión tanto de obxectos próximos coma afastados e posúen un gran poder de resolución.



O tamaño do que vemos os obxectos queda determinado polo tamaño da imaxe, que é real e invertida, formada na retina: esa imaxe é maior cando o obxecto está máis próximo e é menor cando está máis afastado.



O noso ollo pódese considerar como un sistema óptico formado por un *dioptrio esférico*, a **córnea**, e unha *lente*, o **cristalino**. Normalmente, está enfocado ó infinito, por iso dicimos que o infinito é o **punto remoto**. Cando enfocamos un obxecto próximo, os músculos ciliares contráense e modifican a forma do cristalino facéndoo máis esférico, reducíndose a distancia focal e o raio de curvatura.

Esta capacidade de enfoque é chamada **acomodación**. Gracias a ela, o ollo humano pódese adaptar ata ver con nitidez obxectos situados a uns 25 cm de distancia, o **punto próximo** do ollo.

A cámara escura

Este instrumento, que foi a base da cámara fotográfica, coñécese desde o século XVI.

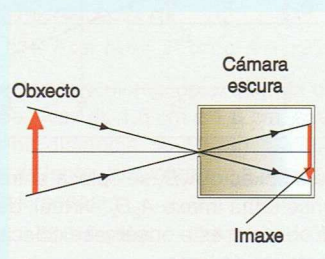
Consiste nunha caixa oca de paredes opacas, ennegrecidas no seu interior, e cun burato no centro dunha das súas caras. Os raios de luz, reflectidos nos obxectos do exterior situados ante a caixa, atravesan o orificio e forman unha imaxe invertida na parede oposta. Se se substitúe esta parede por un vidro deslustrado, pódese ver a imaxe desde o exterior.

Conforme o burato se fai máis pequeno, o cono de raios incidente é máis estreito e a imaxe está mellor definida.

Cunha cámara escura, utilizando unha placa sensible á luz, é posible obter unha fotografía sen necesidade de usar lente obxectiva, aínda que o tempo de exposición debe ser bastante prolongado, xa que a cantidade de luz que chega á abertura é pouca.

Constrúe unha cámara escura cunha caixa de zapatos.

- Recorta unha das caras pequenas da caixa deixando 1 cm de marxe e, no seu lugar, encola unha folla de papel de envolver que quede ben tensa.
- Na cara oposta, pega unha folla de papel negro e fai un burato no seu centro cun alfinete.
- Forra todo o interior da caixa con papel negro e sela a tapa con cinta adhesiva para que non entre a luz.
- Nun cuarto a escuras coloca a caixa fronte a unha candeia acesa e poderás ver sobre o papel de envolver a imaxe invertida desta.
- Despraza a caixa respecto á candeia e observa o efecto.



A cámara fotográfica



Os elementos esenciais da cámara fotográfica son:

- **Corpo:** é en esencia unha cámara escura. Na súa parte posterior colócase unha placa ou película fotográfica sensible á luz onde se forma a imaxe real e invertida do obxecto, que queda impresionada nela mediante un proceso fotoquímico.
- **Obxectivo:** é un sistema converxente que recolle a luz reflectida polos obxectos. O máis sinxelo componse dunha única lente converxente.

Un bo obxectivo debe producir unha imaxe libre de defectos e dispoñer dunha gran *profundidade de foco*. Esta defínese como a distancia que separa o punto máis próximo do máis afastado que o obxectivo é capaz de enfocar ó mesmo tempo. Todos os obxectos dentro deste campo quedan enfocados simultanea-

mente na película, é dicir, a súa imaxe fórmase sobre a película fotográfica.

- **Visor:** permítelle ó usuario encadrar a imaxe que despois ten que quedar impresionada na película.
- **Obturador:** é o dispositivo que fai posible controlar o tempo de entrada da luz ata a película ou *tempo de exposición*.
- **Diafragma:** está formado por un anel de laminiñas metálicas superpostas e permite regular o diámetro efectivo do obxectivo e, polo tanto, a cantidade de luz que chega á película.
- **Disparador:** ó accionalo, tomamos unha fotografía. Abre o obturador durante un tempo determinado para que a luz poida impresionar a película.

O **funcionamento** da cámara é semellante ó do ollo humano. O obxectivo equivale ó noso cristalino e a película sensible equivale á retina. Pero a cámara fotográfica ten un grande *ángulo de abertura*, moito máis amplo có ollo, o que lle permite cubrir un *campo visual* moito maior.

O enfoque dos obxectos lógrase axustando a distancia entre a lente e a película, de xeito que a imaxe do obxecto que se vai fotografar se forme sobre a película sensible.

A cantidade de luz que penetra na cámara regúlase mediante o tempo de exposición e a abertura do diafragma. Os dous parámetros gradúanse segundo o tipo de película que se utiliza, máis ou menos sensible, a luz ambiente dispoñible...

A lupa ou microscopio simple

A lupa, *microscopio simple* ou *lente de aumento* consiste nunha **lente converxente** que permite ver os obxectos con máis tamaño có natural.

Se queremos observar con detalle un obxecto de pequeno tamaño, adoitamos achegalo ó ollo para que sexa maior a imaxe sobre a retina. Sen embargo, a existencia do punto próximo limita as nosas posibilidades de ver o obxecto con nitidez. Por iso acudimos á axuda da lupa: esta permítenos colocar o obxecto a menos distancia có punto próximo.

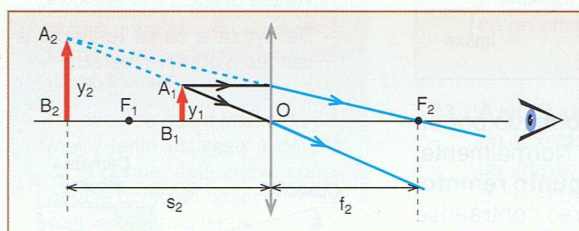


O **aumento angular** ou **poder amplificador** da lupa é a relación entre o ángulo visual φ cando se observa un obxecto con lupa e o ángulo visual φ_0 cando se observa sen lupa colocando o obxecto no punto próximo.

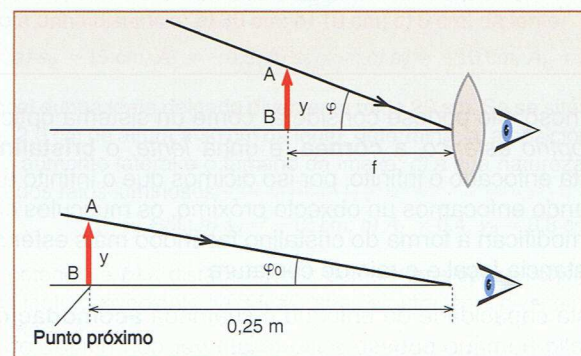
Se se coloca o obxecto no foco F_1 , a imaxe fórmase no infinito e o ollo está relaxado, é dicir, sen acomodación. Así:

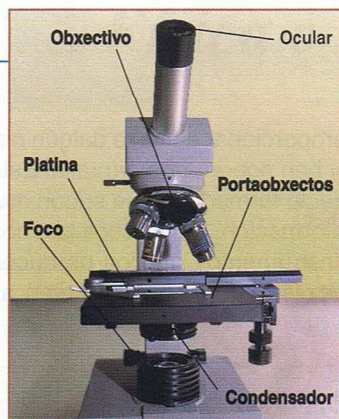
$$\varphi \approx \tan \varphi = \frac{y}{f}; \quad \varphi_0 \approx \tan \varphi_0 = \frac{y}{0,25}$$

$$A_A = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{0,25}{f} \text{ (SI)}$$



Se o obxecto A_1B_1 se coloca entre o foco F_1 e a lente, obtense unha imaxe A_2B_2 , virtual, dereita e de máis tamaño có obxecto; este obsérvase colocando o ollo preto da cara posterior da lente.





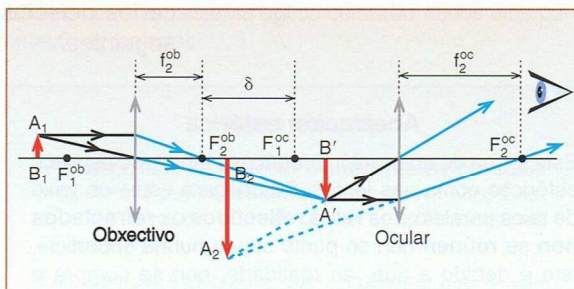
Microscopio composto

O *microscopio composto*, ou simplemente *microscopio*, serve para observar obxectos próximos cun aumento considerablemente maior có proporcionado pola lupa. Esta constituído principalmente por:

- **Obxectivo:** é o sistema de lentes máis próximo ó obxecto que se vai observar.
- **Ocular:** é o sistema de lentes a través do que observamos a imaxe ampliada do obxecto.
- **Platina:** superficie que serve de soporte ó obxecto. Este colócase primeiramente sobre un vidro chamado **portaobxectos** e tápase con outro vidro moi fino chamado **cobreobxectos**. O obxecto así preparado sitúase na platina.
- **Foco luminoso e condensador:** constitúen o sistema de iluminación. A luz procedente do foco é concentrada polo condensador, que é unha lente converxente, sobre o obxecto, para lograr unha iluminación suficiente deste.

O seu **funcionamento** é sinxelo. O tubo que contén o obxectivo e o ocular achégase ou afástase da preparación a vontade ata ver o obxecto coa nitidez desexada.

O obxecto A_1B_1 colócase a unha distancia do obxectivo algo maior cá focal, producíndose unha imaxe $A'B'$ real, invertida e ampliada entre o ocular e o seu foco anterior. O ocular, que actúa como unha lupa, observa esta imaxe e produce outra, A_2B_2 , virtual, invertida e aínda máis ampliada.



Para observar a imaxe sen acomodación do ollo, os raios procedentes do ocular deben saír paralelos, para o que a imaxe producida polo obxectivo se debe formar no foco anterior do ocular.

O **aumento total A** é igual ó produto do aumento lateral do obxectivo A_L polo aumento angular do ocular A_A , onde δ é o intervalo óptico, distancia entre o foco posterior do obxectivo e o foco anterior do ocular (todas as distancias en metros):

$$A = -0,25 \delta \cdot \frac{1}{f_2^{ob}} \cdot \frac{1}{f_2^{oc}} = -0,25 \delta \cdot P_{ob} \cdot P_{oc}$$

Exemplo 4

As distancias focais do obxectivo e o ocular dun microscopio son, respectivamente, 0,4 cm e 1,2 cm, e a separación entre os centros ópticos das dúas lentes mide 18 cm. Calcula: a) o intervalo óptico; b) o aumento total do microscopio.

- Datos: $O_1O_2 = 18 \text{ cm}$; $f_{ob} = 0,4 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 $f_{oc} = 1,2 \text{ cm} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

- a) Intervalo óptico: $\delta = 18 \text{ cm} - (0,4 + 1,2) \text{ cm} = 16,4 \text{ cm}$
 b) Obtemos o aumento total a partir da expresión:

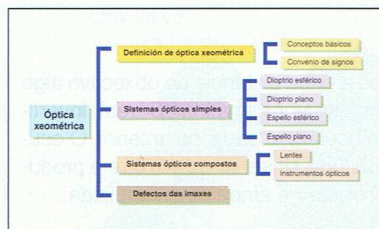
$$A = -0,25 \delta \cdot \frac{1}{f_2^{ob}} \cdot \frac{1}{f_2^{oc}}$$

$$A = -0,25 \cdot 0,164 \cdot \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-2}} = -854,2$$

Exercicios

25. Nunha cámara escura, a imaxe aparece invertida de arriba abaixo. Pero, ¿tamén ten intercambiadas a súa parte dereita e esquerda?
26. Un estudante de Bioloxía utiliza unha lupa para examinar un insecto. Se a lupa ten unha distancia focal de 0,1 m, ¿cal é o seu aumento angular cando o insecto se coloca no foco?
- Sol.: $A_A = 2,5$
27. A distancia focal dunha lupa mide 10 cm. Calcula: a) a qué distancia da lupa se debe situar un obxecto de 2 mm de altura para que a imaxe se forme a 25 cm ante a lupa; b) o tamaño da imaxe.
- Sol.: a) $s_1 = -7,14 \text{ cm}$; b) $y_2 = 7 \text{ mm}$

28. Un microscopio ten un obxectivo cunha potencia de 100 dioptrías, un ocular de 50 dioptrías e centros ópticos que distan 24 cm. Calcula: a) as distancias focais do obxectivo e o ocular; b) o intervalo óptico; c) o aumento total do microscopio.
- Sol.: a) $f_2^{ob} = 1 \text{ cm}$, $f_2^{oc} = 2 \text{ cm}$; b) $\delta = 21 \text{ cm}$; c) $A = -262,5$
29. O obxectivo e o ocular dun microscopio, que ten distancias focais respectivas de 1,6 cm e 1,8 cm, están separados por unha distancia de 19 cm. Calcula: a) a potencia de cada lente; b) o intervalo óptico; c) o aumento total do microscopio.
- Sol.: a) $P_{ob} = 62,5$, $P_{oc} = 55,6$ dioptrías; b) 15,6 cm; c) -135,5
30. Redacta un informe acerca da técnica empregada para o revelado das fotografías.



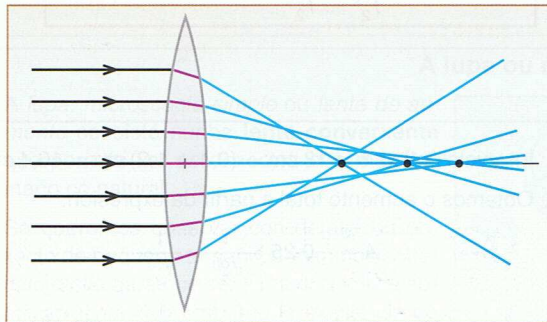
4. Defectos das imaxes

A finalidade dos instrumentos ópticos é proporcionar a imaxe dalgún obxecto ben sobre a retina dos nosos ollos, ben sobre unha pantalla. Esta imaxe debería reproducir fielmente o obxecto formado, o que supón que o instrumento non introduce ningunha deformación. Na práctica isto non ocorre así e, por distintos motivos, os instrumentos ópticos producen certos defectos ou **aberracións** nas imaxes. Algunhas destas son as seguintes.

Aberración esférica

Esta forma de aberración prodúcese tanto nos espellos esféricos coma nas lentes. Se chega a estes un feixe de raios paralelos, os **raios reflectidos** ou **refractados** non se **reúnen** nun só punto senón nunha superficie. Isto é debido a que, en realidade, non se cumpre a aproximación paraxial. Ás zonas afastadas do eixe correspóndelles unha distancia focal menor cás zonas próximas a el. É dicir, os *raios paraxiais* correspóndelles un foco e os *raios marginais*, outro. Só para raios incidentes moi próximos, a imaxe coincide, a efectos prácticos, nun só punto.

Pódese eliminar esta aberración de varias formas, como son: engadir un diafragma que reduza o diámetro do sistema óptico, combinar debidamente varias lentes ou modificar a superficie do espello ou da lente utilizando superficies parabólicas en lugar de superficies esféricas.

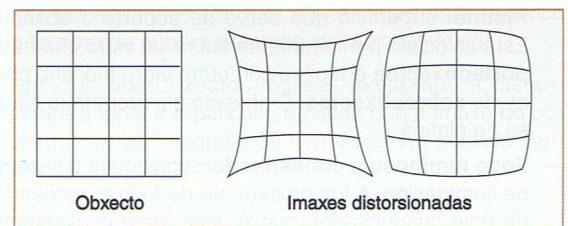


Astigmatismo

Consiste en que os **raios** que coinciden nun espello ou nunha lente con **grande inclinación** respecto ó eixe non **producen** unha imaxe puntual senón **dúas imaxes** consistentes en dúas liñas perpendiculares entre si separadas por certa distancia; esta é tanto maior canto máis grande é a inclinación dos raios incidentes. Un sistema deste tipo é un *sistema astigmático*.

Distorsión

Esta deformación débese a que o **aumento lateral** da lente **non é constante**, senón que varía coa distancia do punto obxecto ó eixe. Como resultado, por exemplo, dúas rectas paralelas dan unha imaxe formada por dúas curvas.



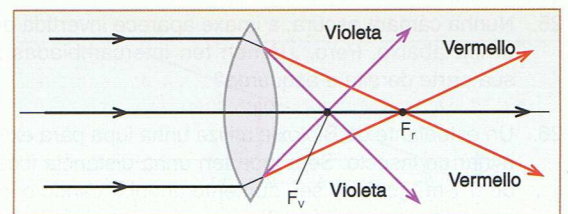
Aberración cromática

Débese a que o **índice de refracción** é **diferente** para as **distintas lonxitudes de onda** da luz. Por iso, ó iluminar con luz branca un obxecto, cada cor experimenta unha desviación distinta ó refractarse nas lentes.

Ás cores de lonxitude de onda curta, como o violeta, correspóndelles menos distancia focal ca ás que teñen lonxitude de onda maior, como o vermello.

O resultado é que se obtén unha serie de imaxes diferentes na súa posición e en tamaño aparecendo os bordos das imaxes coloreados e mal definidos.

Redúcese esta aberración combinando lentes con vidros de distinto índice de refracción; obtéñense así as *lentes acromáticas*.



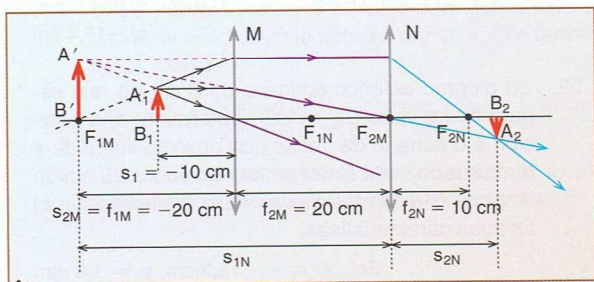
Exercicios

31. Explica: a) por qué motivo un espello non pode dar lugar á aberración cromática e cómo se corrixe esta; b) en qué consiste a distorsión.
32. Nun espello esférico prodúcese aberración esférica. Representa a dirección dos raios nun espello cóncavo cando se produce esta aberración.

Resolución de ejercicios e problemas

A

A distancia focal dunha lente biconvexa M é de 20 cm. Sábese que un obxecto A_1B_1 colocado a 10 cm da lente sobre o eixe óptico produciu unha imaxe $A'B'$, virtual, dereita, situada xustamente sobre o foco da lente. Se colocamos unha segunda lente N, de distancia focal 10 cm, sobre o foco situado á dereita da primeira lente, calcula a posición da imaxe final A_2B_2 formada.



— A imaxe producida pola primeira lente, M, convértese en obxecto para a segunda, N. Pídese a posición desta imaxe final.

— A figura amosa as dúas lentes, a marcha dos raios luminosos e os datos do problema cos seus signos correspondentes. Dela podemos deducir o valor da distancia do obxecto $A'B'$ respecto da segunda lente.

$$s_{1N} = -(|f_{1M}| + f_{2M}) ; s_{1N} = -(20 + 20) \text{ cm} = -40 \text{ cm}$$

— Obtemos a posición da imaxe final a partir da ecuación da distancia focal da segunda lente en función das distancias obxecto e imaxe:

$$\frac{1}{f_{2N}} = \frac{1}{s_{2N}} - \frac{1}{s_{1N}} ; \frac{1}{s_{2N}} = \frac{1}{f_{2N}} + \frac{1}{s_{1N}}$$

$$s_{2N} = \frac{1}{\frac{1}{f_{2N}} + \frac{1}{s_{1N}}} ; s_{2N} = \frac{1}{\frac{1}{10 \text{ cm}} + \frac{1}{-40 \text{ cm}}} = 13,3 \text{ cm}$$

33. Un obxecto colócase dereito ante un sistema óptico formado por dúas lentes converxentes iguais aliñadas e colocadas cada unha no foco da outra. Determina a marcha dos raios se se sitúa o obxecto a unha distancia da primeira lente superior á súa distancia focal e indica as características da imaxe final resultante.

34. Dúas lentes converxentes, de distancias focais 10 cm e 20 cm, están aliñadas a 20 cm unha da outra. Se se sitúa un obxecto 15 cm á esquerda da primeira lente, determina: a) a posición da imaxe final; b) o aumento total do sistema; c) as características da imaxe final obtida.

Sol.: a) 6,7 cm; b) -1,3

B

Un ollo miope ten o punto remoto a 16,7 cm e o punto próximo a 10 cm. Calcula: a) a potencia das lentes que necesita para ver claramente un obxecto situado no infinito; b) a posición do seu punto próximo cando use estas lentes.

— Datos: $s_{\text{remoto}} = -16,7 \text{ cm}$; $s_{\text{próximo}} = -10 \text{ cm}$

a) Para poder ver obxectos afastados, a lente debe achegalos ata o punto remoto do ollo miope. Polo tanto, a imaxe respecto á lente dun obxecto no infinito débese formar a unha distancia $s_2 = -16,7 \text{ cm}$.

Calculamos a distancia focal da lente a partir destes valores das distancias obxecto e imaxe:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} ; \frac{1}{f_2} = \frac{1}{-16,7 \text{ cm}} - \frac{1}{-\infty}$$

Así, a distancia focal da lente é: $f_2 = -16,7 \text{ cm}$

Determinamos a potencia como a inversa da distancia focal imaxe:

$$P = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{-0,167 \text{ m}} = -6 \text{ dioptrías}$$

Necesita unhas lentes diverxentes de -6 dioptrías.

b) Coñecida a distancia focal, podemos calcular a posición do punto próximo do ollo cando use a lente. Esta posición será aquela para a que se forme a imaxe sobre o punto próximo do ollo sen a lente, $s_2 = -10 \text{ cm}$:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} ; \frac{1}{s_1} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{f_2}$$

$$s_1 = \frac{1}{\frac{1}{s_2} - \frac{1}{f_2}} ; s_1 = \frac{1}{\frac{1}{-10 \text{ cm}} - \frac{1}{-16,7 \text{ cm}}} = -25 \text{ cm}$$

O punto próximo estará a 25 cm do ollo.

35. Unha persoa de vista miope ten o seu punto remoto a 15 cm. Determina: a) a clase de lentes que debe usar; b) a súa distancia focal; c) a súa potencia.

Sol.: b) $f_2 = -15 \text{ cm}$; c) $P = -6,7 \text{ dioptrías}$

36. Un présbita ten o seu punto próximo a 50 cm do ollo. Determina: a) o tipo de lentes que necesita para poder ler a unha distancia de 25 cm; b) a súa potencia.

Sol.: b) $P = 2 \text{ dioptrías}$