



## TEMA 5.- LA LUPA (MICROSCOPIO SIMPLE)

- **Introducción.**
- **Aumento visual.**
- **Distancia de visión equivalente.**
- **Potencia equivalente.**
- **Valores normalizados del aumento visual.**
- **Campo visual.**
- **Profundidad de enfoque.**
- **Luminosidad.**
- **Poder separador.**

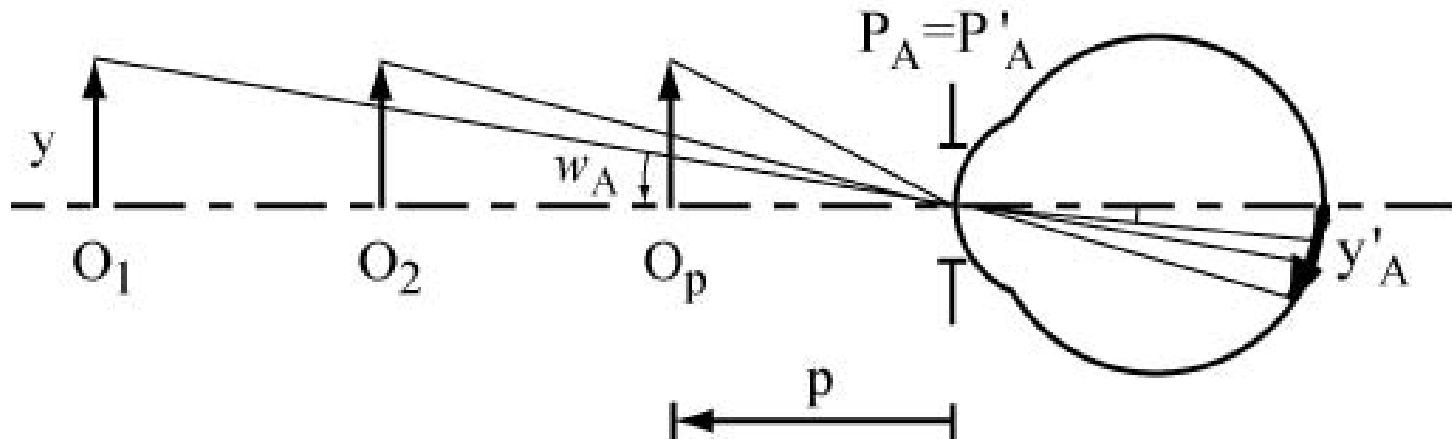
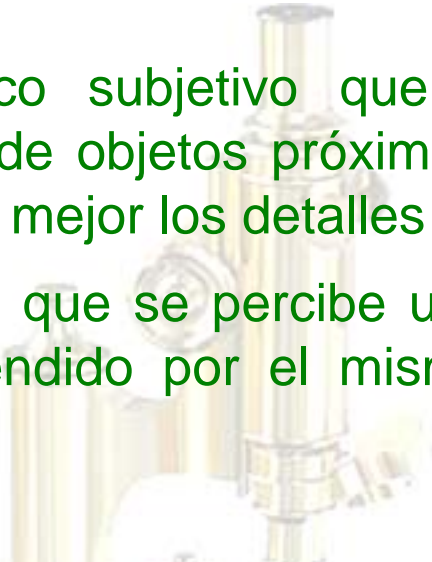


# LA LUPA

## 5.1.- Introducción

Instrumento óptico subjetivo que proporciona al ojo una imagen aumentada de objetos próximos de tamaño reducido, lo que permite apreciar mejor los detalles que los constituyen.

El tamaño con el que se percibe un objeto está determinado por el ángulo subtendido por el mismo desde el centro de la pupila del ojo.



¿Basta con acercar el objeto?



que podemos medir a topografía mediante una experiencia con el ojo de un paciente (o bien, en el laboratorio).

Para realizar la medición, en ambos casos, se comienza por situar el objeto delante de la lente, aproximadamente a una distancia igual a  $1.7 f$ . A continuación se desplaza el objeto lentamente hacia la lente hasta alcanzar la primera posición en que se observa nitidamente la imagen, anotando entonces la distancia de la lente al objeto. A partir de esta posición, se continúa desplazando el objeto hacia la lente, hasta alcanzar la última posición en que se observa nitidamente la imagen, anotando también en este caso la distancia de la lente al objeto. La diferencia entre las dos lecturas anotadas proporciona la profundidad de enfoque.

Cada observador ha de realizar estas medidas para cada lente. Se sugiere y se cuenta desplazando el objeto en sentido contrario. Esta experiencia puede ser del tipo control, en primera aproximación, la utilidad de mediciones de cada observador. Si para algunos configuraciones no se puede medir la profundidad de enfoque, se debería realizar los casos que permitan una buena.

### 1.1.2 Método del aumento visual y del campo visual

Se define el aumento visual de una lente,  $V$ , como el aumento entre el tamaño angular aparente,  $\alpha'$ , de la imagen proporcionada por la lente al ojo, y el tamaño angular,  $\alpha_0$ , que tendría el objeto si estuviera situado a 250 mm del observador. Se puede demostrar que

$$V = \frac{\alpha'}{\alpha_0} = \frac{250}{f - 250} \approx 1 + \frac{250}{f} \quad (1.3)$$

En la Eq. (1.3)  $\alpha_0 = 250$  representa la distancia desde el tercer vértice de la lente hasta el plano objeto.

Un segundo parámetro de gran importancia a la hora de caracterizar un instrumento óptico es el denominado campo visual, que se define como la posición del plano objeto que se ve desde el instrumento. Para el caso concreto de la lente, el término del campo visual de funcionamiento medio vale

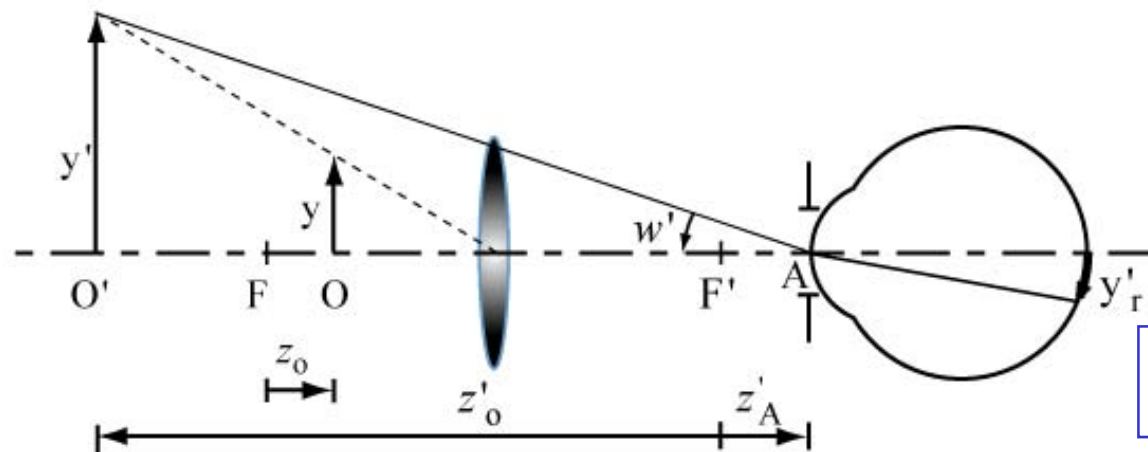
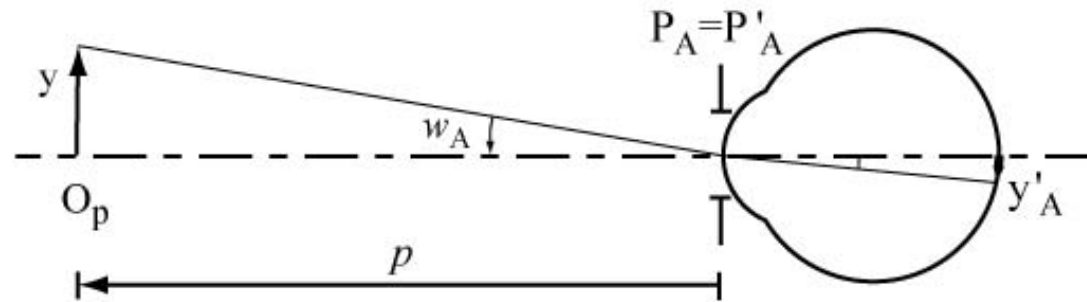
$$\omega = 1.75 \frac{D}{f} \quad (1.4)$$

Se propone dos métodos de medida. El que describimos cuando directo e indirecto y el otro de indirecto e indirecto. Las experiencias propuestas para la medida por el método directo han sido diseñadas considerando que el ojo del observador se encuentra en el centro. Por ello, se recomienda que los estudiantes que pudieran una topografía realizar una experiencia con el ojo debidamente compensado (o bien, con un ojo normal).

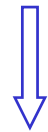
### 1.1.2.1 Método del aumento visual y del campo visual por el método directo

El método directo permite medir el aumento visual de la lente mediante una observación directa. Para ello, se coloca la lente en posición,  $\alpha'$  y como se muestra en la Fig. 1.3, la lente de focal  $f = 250$  mm en el plano de objeto y el objeto en el plano  $\alpha_0 = 0$ . A continuación, el observador mira un ojo a 250 mm de la lente. Igualmente, sobre la imagen de la lente se coloca una segunda lente del objeto como se muestra en la figura adjunta (como Fig. 1.4). Con esta configuración se puede comparar directamente el tamaño angular del objeto cuando, estando situado a 250 mm, se mira directamente, con el tamaño angular de la imagen proporcionada por la lente. Dado que por definición una lente simple ingresa todos los rayos en el centro de la pupila de entrada del ojo, es necesario que esta medición se realice con el diámetro de la pupila normal. En estas condiciones el aumento entre ambos tamaños se proporciona directamente el valor del aumento visual. La imagen que se observa al mirar con esta experiencia es similar a la que se muestra en la Fig. 1.4.

La solución más simple consiste en situar una lente convergente entre el objeto y el ojo.



$$w' > w_A$$



$$y'_r > y'_A$$

que padezcan miopía o hipermetropía realicen esta experiencia con el ojo sin compensar (es decir, sin gafas).

Para realizar la medición, en ambos casos, se comienza por situar el objeto delante de la lupa, aproximadamente a una distancia igual a  $1/5 f'$ . A continuación se desplaza el objeto lentamente hacia la lupa hasta alcanzar la primera posición en que se observe nitidamente la imagen, anotando entonces la distancia de la lupa al objeto. A partir de esta posición, se continúa desplazando el objeto hacia la lupa, hasta alcanzar la última posición en que se observe nitidamente la imagen, anotando también en este caso la distancia de la lupa al objeto. La diferencia entre los dos valores anotados proporciona la profundidad de enfoque.

Cada observador ha de realizar cuatro medidas para cada lupa: la segunda y la cuarta desplazando el objeto en sentido contrario. Esta experiencia puede ser útil para estudiar, en primera aproximación, la amplitud de acomodación de cada observador. En esta experiencia no se puede medir la profundidad de enfoque, ya que dicha medida se realiza que provocan este hecho.

### 1.3.2 Medida del aumento visual y del campo visual

Se define el aumento visual de un objeto,  $\Gamma$ , como el cociente entre el tamaño angular aparente,  $\omega'$ , de la imagen proporcionada por la lupa al ojo, y el tamaño angular,  $\omega$ , que tendría el objeto si estuviese situado a  $250 \text{ mm}$  del observador. Se puede demostrar que

$$\Gamma = \frac{250}{f'} \quad \text{si } z_0 = 0. \quad (1.3)$$

representa la distancia desde el foco objeto de la lupa hasta el plano objeto. En la Ec. (1.3)  $z_0 = \overline{FO}$  representa la distancia desde el foco objeto de la lupa hasta el plano objeto. Un segundo parámetro de gran importancia a la hora de caracterizar un instrumento óptico es el denominado campo visual, que se define como la porción del plano objeto que es visible a través del instrumento. Para el caso concreto de la lupa, el diámetro del campo visual de iluminación media vale

$$(1.4)$$

Se proponen dos métodos de medida. El que denominamos método directo o subjetivo y el método indirecto u objetivo. Las experiencias propuestas para la medida por el método directo han sido diseñadas considerando que el ojo del observador es emétrope. Por ello, se recomienda que los estudiantes que padezcan una ametropía realicen estas experiencias con el ojo debidamente compensado (es decir, con las gafas puestas).

### 1.3.2.1 Medida del aumento visual y del campo visual por el método directo

El método directo permite medir el aumento visual de la lupa mediante una observación directa. Para ello se coloca el objeto en un banco de óptica y se sitúa en el plano objeto de la lupa, a una distancia igual a  $250 \text{ mm}$  del observador. A continuación, el observador sitúa su ojo a  $250 \text{ mm}$  de la lupa. Seguidamente, sobre la montura de la lupa se coloca una réplica del objeto consistente en la regla milimetrada (véase Fig. 1.4). Con esta configuración es posible comparar simultáneamente el tamaño angular del objeto cuando, estando situado a  $250 \text{ mm}$ , se ve directamente, con el tamaño angular de la imagen proporcionada por la lupa. Dado que por definición estos tamaños angulares tienen su origen en el centro de la pupila de entrada del ojo, es necesario que esta medición se realice con el diáfragma iris lo más cerrado posible. En estas condiciones el cociente entre ambos tamaños nos proporciona directamente el valor del aumento visual. La imagen que se observa al realizar esta experiencia es similar a la que se muestra en la Fig. 1.4.

### Práctica nº 1: La lupa

que padezcan miopía o hipermetropía realicen esta experiencia con el ojo sin compensar (es decir, sin gafas).

Para realizar la medición, en ambos casos, se comienza por situar el objeto delante de la lupa, aproximadamente a una distancia igual a  $1/5 f'$ . A continuación se desplaza el objeto lentamente hacia la lupa hasta alcanzar la primera posición en que se observe nitidamente la imagen, anotando entonces la distancia de la lupa al objeto. A partir de esta posición, se continúa desplazando el objeto hacia la lupa, hasta alcanzar la última posición en que se observe nitidamente la imagen, anotando también en este caso la distancia de la lupa al objeto. La diferencia entre los dos valores anotados proporciona la profundidad de enfoque.

Cada observador ha de realizar cuatro medidas para cada lupa—la segunda y la cuarta desplazando el objeto en sentido contrario. Esta experiencia puede ser útil para evaluar, en primera aproximación, la amplitud de acomodación de cada observador. Si para alguna configuración no se puede medir la profundidad de enfoque, se deberán analizar las causas que provocan este hecho.

### 1.3.2 Medida del aumento visual y del campo visual

Se define el aumento visual de una lupa,  $\Gamma$ , como el cociente entre el tamaño angular aparente,  $\omega'$ , de la imagen proporcionada por la lupa al ojo, y el tamaño angular,  $\omega$ , que tendría el objeto si estuviese situado a  $250 \text{ mm}$  del observador. Se puede demostrar que

$$\Gamma = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} = \frac{250 f'}{f'^2 + z_0 z'_A} \Rightarrow \Gamma = \frac{250}{f'} \quad \text{si } z_0 = 0. \quad (1.3)$$

En la Ec. (1.3)  $z_0 = \overline{FO}$  representa la distancia desde el foco objeto de la lupa hasta el plano objeto.

Un segundo parámetro de gran importancia a la hora de caracterizar un instrumento óptico es el denominado campo visual, que se define como la porción del plano objeto que es visible a través del instrumento. Para el caso concreto de la lupa, el diámetro del campo visual de iluminación media vale

$$2\rho_m = f' + \frac{z_0 z'_A}{f'} \cdot \frac{\phi}{f' + z'_A}. \quad (1.4)$$

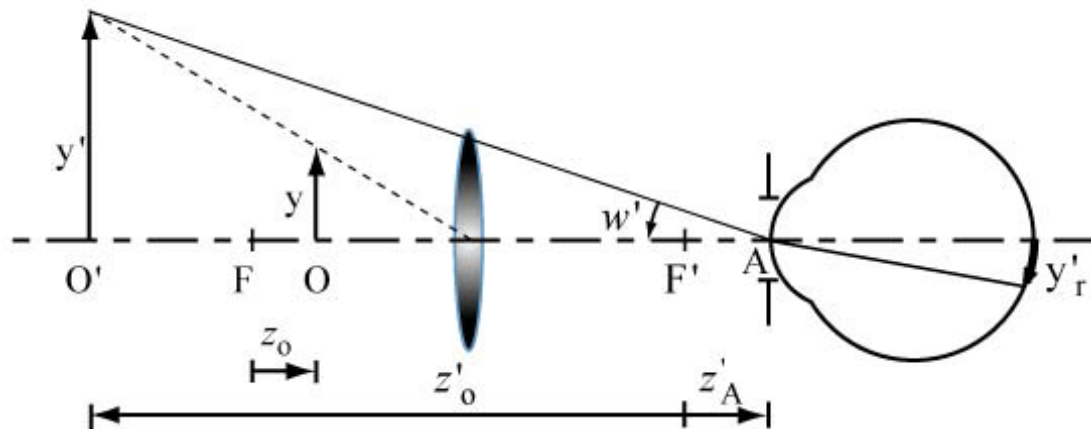
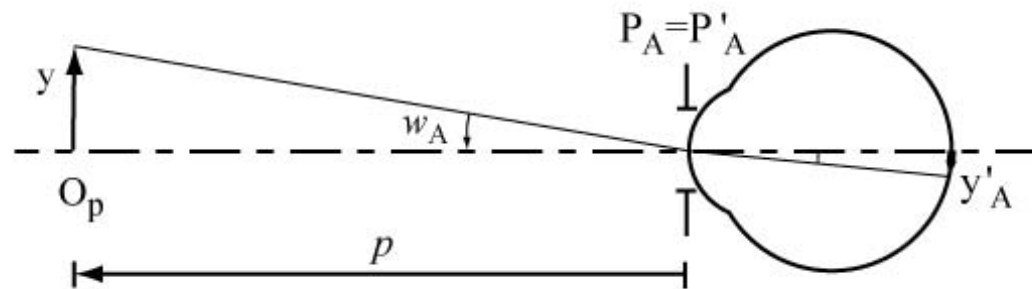
Se proponen dos métodos de medida. El que denominamos método directo o subjetivo y el método indirecto u objetivo. Las experiencias propuestas para la medida por el método directo han sido diseñadas considerando que el ojo del observador es emétrope. Por ello, se recomienda que los estudiantes que padezcan una ametropía realicen estas experiencias con el ojo debidamente compensado (es decir, con las gafas puestas).

### 1.3.2.1 Medida del aumento visual y del campo visual por el método directo

El método directo permite medir el aumento visual de la lupa mediante una observación directa. Para ello, en primer lugar se coloca, tal y como se muestra en la Fig. 1.3, la lupa de focal  $f' = 100 \text{ mm}$  en el banco de óptica y el objeto en el plano  $z_0 = 0$ . A continuación, el observador sitúa su ojo a  $250 \text{ mm}$  de la lupa. Seguidamente, sobre la montura de la lupa se coloca una réplica del objeto consistente en la regla milimetrada (véase Fig. 1.4). Con esta configuración es posible comparar simultáneamente el tamaño angular del objeto cuando, estando situado a  $250 \text{ mm}$ , es visto directamente, con el tamaño angular de la imagen proporcionada por la lupa. Dado que por definición estos tamaños angulares tienen su origen en el centro de la pupila de entrada del ojo, es necesario que esta medición se realice con el diáfragma iris lo más cerrado posible. En estas condiciones el cociente entre ambos tamaños nos proporciona directamente el valor del aumento visual. La imagen que se observa al realizar esta experiencia es similar a la que se muestra en la Fig. 1.4.

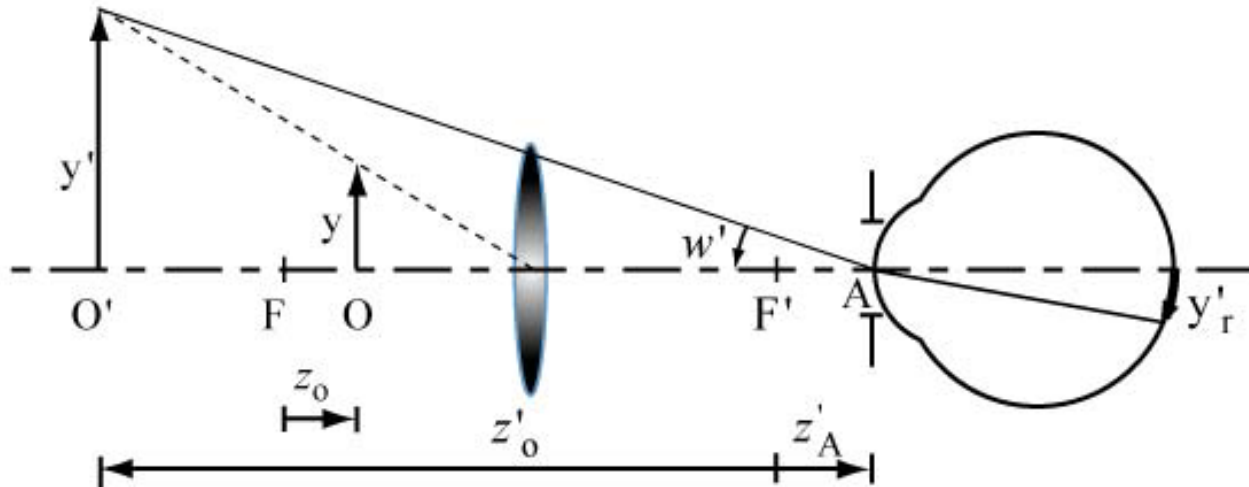
## 5.2.- Aumento visual

Se define el aumento visual de la lupa como el cociente entre el tamaño angular aparente,  $w'$ , de la imagen y el tamaño angular,  $w_A$ , que tendría el objeto en el caso de estar situado en el punto próximo del observador.



**Aumento  
visual**

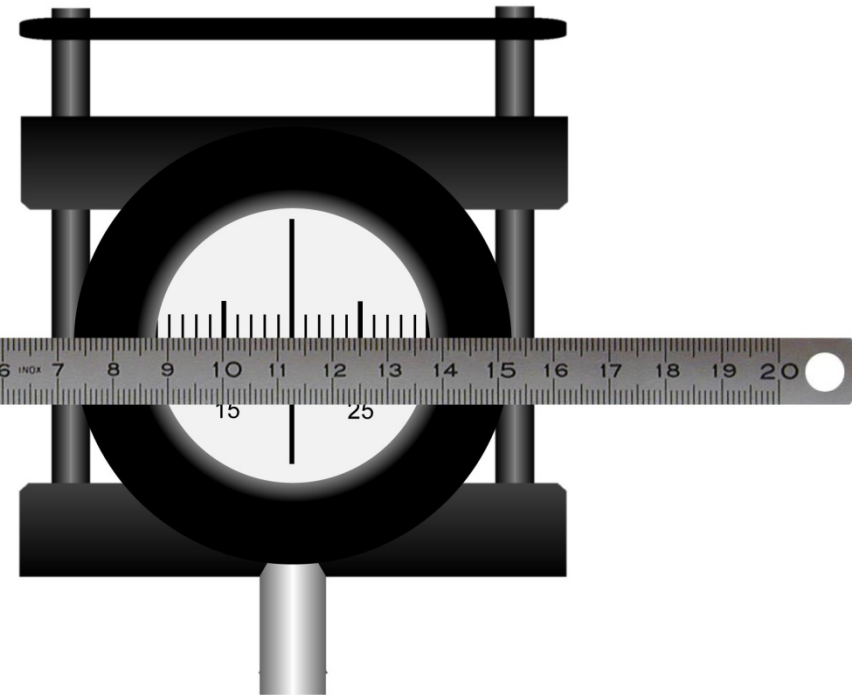
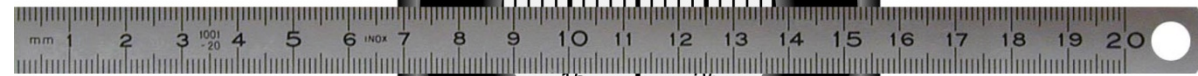
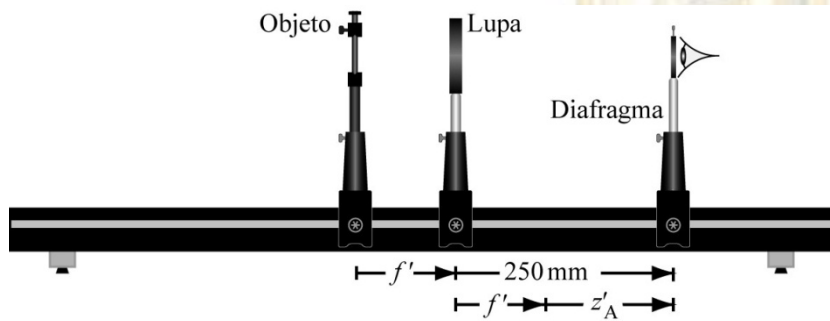
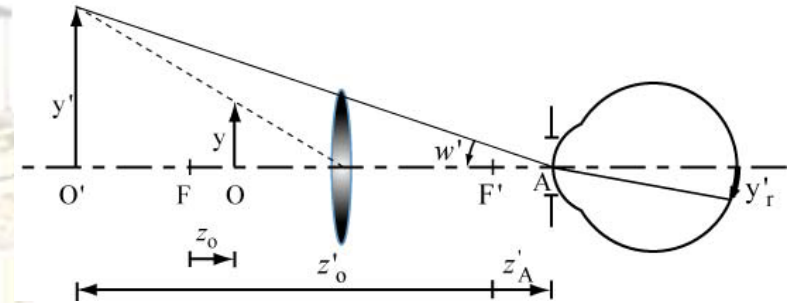
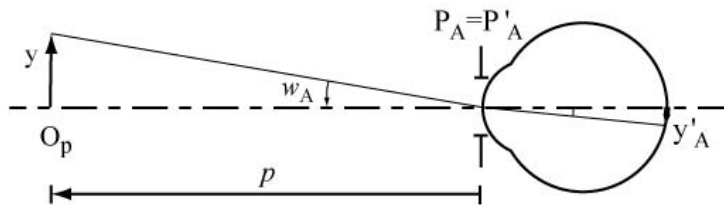
$$\Gamma = \frac{\tan w'}{\tan w_A} = \frac{y'_r}{y'_A}$$



$$\Gamma = \frac{\tan w'}{\tan w_A} = \frac{y'}{y} \frac{p}{z'_o - z'_A} = -\frac{z'_o}{f'} \frac{p}{z'_o - z'_A}$$

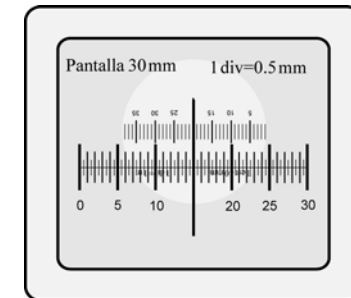
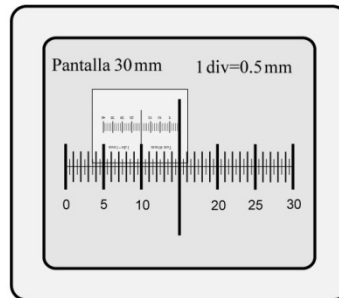
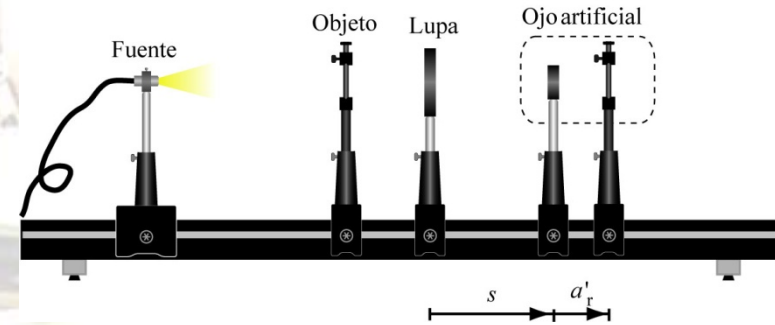
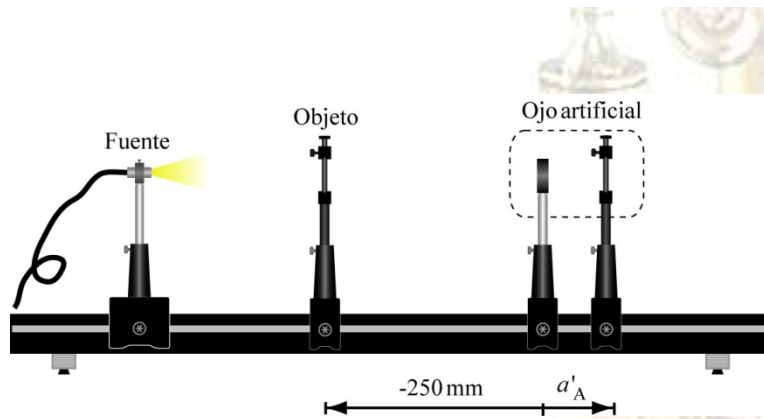
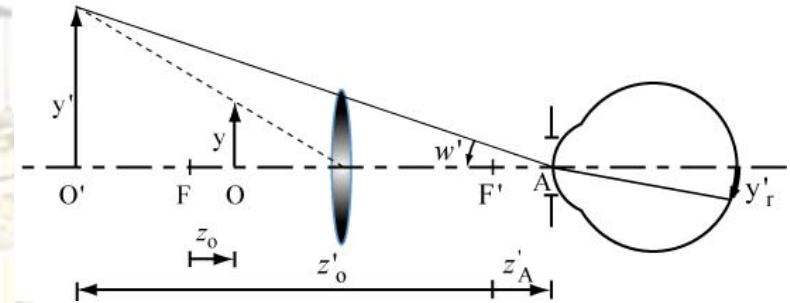
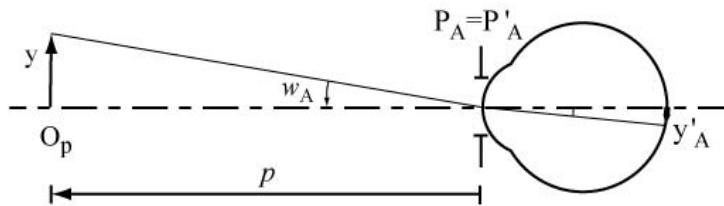
$$\Gamma = -\frac{p f'}{f'^2 + z_o z'_A}$$

# Medida del aumento visual (método directo)



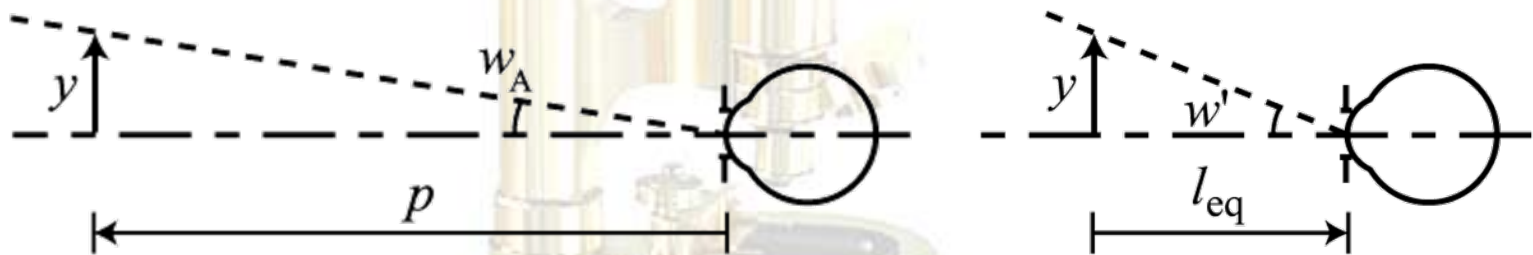


# Medida del aumento visual (método indirecto)



## 5.3.- Distancia de visión equivalente

La distancia axial,  $l_{eq}$ , medida desde el objeto hasta la pupila de entrada del ojo, a la que se debería situar el objeto para que subtendiera el mismo ángulo,  $w'$ , que la imagen a través de la lupa.

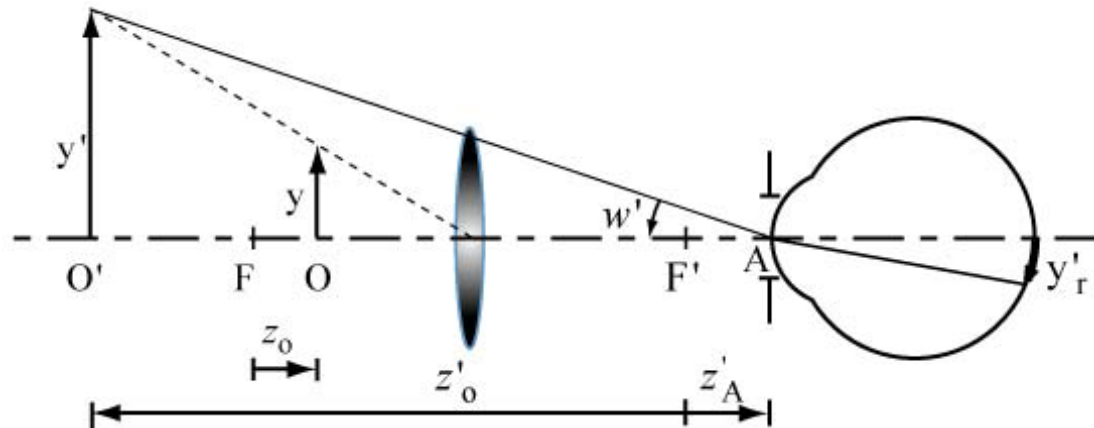


$$l_{eq} = -\frac{p}{\Gamma}$$

Utilizar la Lupa “equivalente” a acercar el objeto

## 5.4.- Potencia equivalente

El concepto de *visión equivalente* permite definir un parámetro intrínseco de la lupa, ligado al aumento, pero que no depende de la capacidad de acomodación del observador. Se define la **potencia equivalente** como la inversa de la distancia equivalente.



$$\varphi_{eq} = \frac{1}{l_{eq}}$$

$$p = -0.25 m$$

$$\Gamma = \frac{\varphi_{eq}}{4}$$

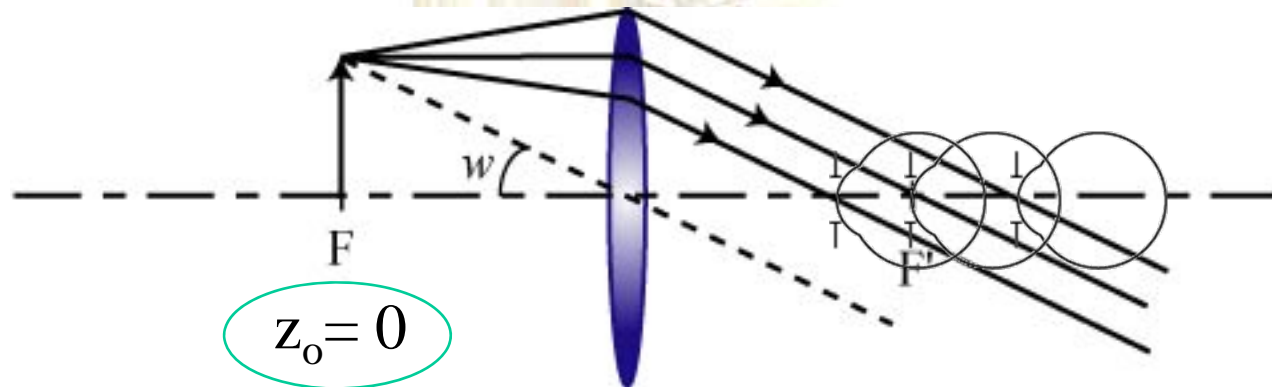
Mide (en D) la capacidad de aumento de la Lupa

## 5.5.- Valores normalizados del aumento visual

- **Aumento normal (comercial).**

Valor normalizado del aumento que:

- no depende ni de la acomodación ni de la posición del observador.
- Corresponde a una posición del objeto  $z_o = 0$ , y una acomodación tal que  $p = -0.25\text{m}$ .



$$\Gamma_N = \frac{0.25}{f'} = \frac{\phi}{4}$$

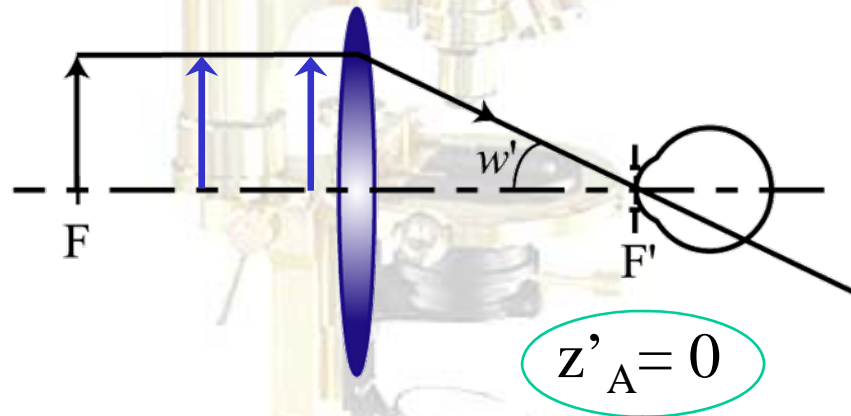


## • Aumento normal (comercial).

Valor normalizado del aumento que:

- no depende ni de la acomodación ni de la posición del observador.
- Corresponde a una posición del objeto  $z_0 = 0$ , y una acomodación tal que  $p = -0.25\text{m}$ .

➤ También se obtiene en el caso en que  $z'_A = 0$ , para cualquier posición del objeto.



- **Aumento iso-acomodativo.**

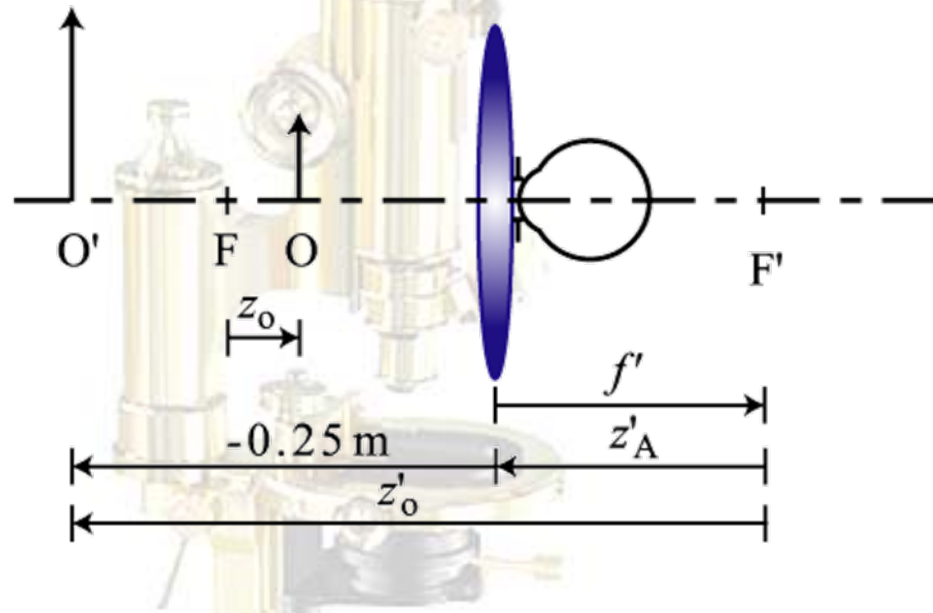
Valor normalizado del aumento en que se asume que la lupa se usa con el ojo pegado a ella, y la imagen final está a  $-0.25$  m del ojo.



- **Aumento iso-acomodativo.**

Valor normalizado del aumento asumiendo que:

- La lupa se usa con el ojo pegado a ella.
- La imagen final está a  $-0.25$  m del ojo.



$$\Gamma_{IA} = \quad = 1 + \Gamma_N$$



# 5.6.- Campo visual.

que produce imagen e hipermetropía realice una experiencia con el ojo sin comprender los datos, de la lupa.

Para realizar la medida, se coloca como se muestra en el dibujo del objeto delante de la lupa, aproximadamente a una distancia igual a  $f/2$ . A continuación se desplaza el objeto lentamente hacia la lupa hasta alcanzar la primera posición en que se observa virtualmente la imagen, manteniendo siempre la distancia de la lupa al objeto. A partir de esta posición, se continúa desplazando el objeto hacia la lupa, hasta alcanzar la última posición en que se observa virtualmente la imagen, manteniendo también en todo caso la distancia de la lupa al objeto. La diferencia entre las dos últimas posiciones proporciona la profundidad de enfoque.

Cada observador ha de realizar estas medidas para cada lupa. Se registra y se repite desplazando el objeto en sentido contrario. Esta experiencia puede ser útil para evaluar, en primera aproximación, la amplitud de acomodación de cada observador. Si para algunas configuraciones de un punto real la profundidad de enfoque, se debería realizar las cosas que preceden a lo hecho.

### 1.3.2 Medida del aumento visual y del campo visual

Se define el aumento visual de una lupa,  $V$ , como el cociente entre el tamaño angular aparente,  $\alpha'$ , de la imagen proporcionada por la lupa al ojo, y el tamaño angular,  $\alpha_0$ , que tendría el objeto si estuviera situado a 250 mm del observador. Se puede demostrar que

$$V = \frac{\alpha'}{\alpha_0} = \frac{250}{f} \approx \frac{250}{f} \quad (1.3.2)$$

En la Eq. (1.3.2)  $\alpha_0 = 250$  representa la distancia desde el foco objeto de la lupa hasta el plano objeto. Un segundo parámetro de gran importancia a la hora de caracterizar un instrumento óptico es el denominado campo visual, que se define como la porción del plano objeto que se ve desde el instrumento. Para el caso concreto de la lupa, el término del campo visual de funcionamiento resulta ser

$$\omega = 2 \arctan \left( \frac{r}{f} \right) \quad (1.3.3)$$

Se propone dos métodos de medida. El primero consiste en medir directamente el radio de curvatura  $r$  del lente. Los experimentos de medida que el método directo han sido diseñados considerando que el instrumento que se mide, en este caso, el observador, es un ojo humano que produce una imagen virtual del objeto. El segundo método consiste en medir el ángulo  $\omega$  directamente con el ojo del observador.

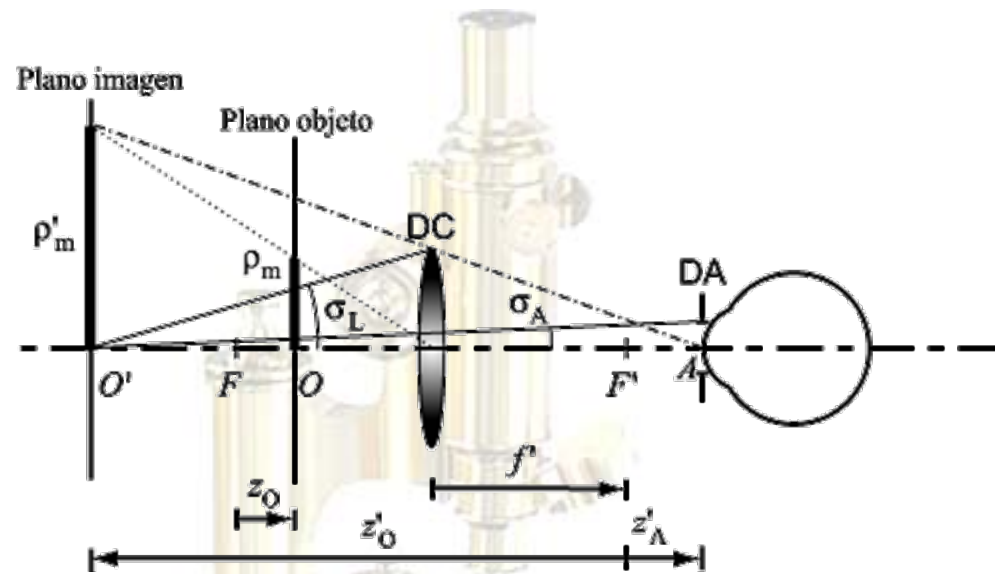
### 1.3.3 Medida del aumento visual y del campo visual

El método directo para medir el aumento visual de la lupa consiste en medir directamente el ángulo  $\alpha'$  que subtende la imagen virtual del objeto en el ojo del observador. Para ello, se coloca la lupa a una distancia  $f = 250$  mm de un objeto de altura  $h$  y se mide el ángulo  $\alpha'$  que subtende la imagen virtual del objeto en el ojo del observador. El método indirecto para medir el aumento visual de la lupa consiste en medir el ángulo  $\alpha_0$  que subtende el objeto en el ojo del observador. El método indirecto para medir el aumento visual de la lupa consiste en medir el ángulo  $\alpha_0$  que subtende el objeto en el ojo del observador. El método indirecto para medir el aumento visual de la lupa consiste en medir el ángulo  $\alpha_0$  que subtende el objeto en el ojo del observador.

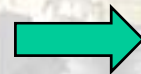




## 5.6.- Campo visual



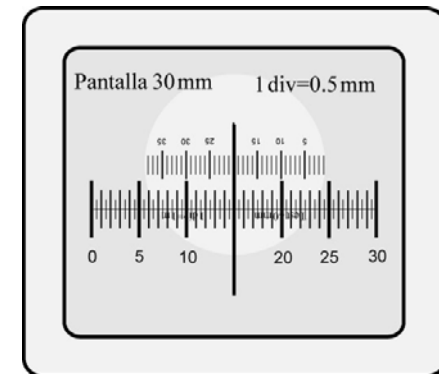
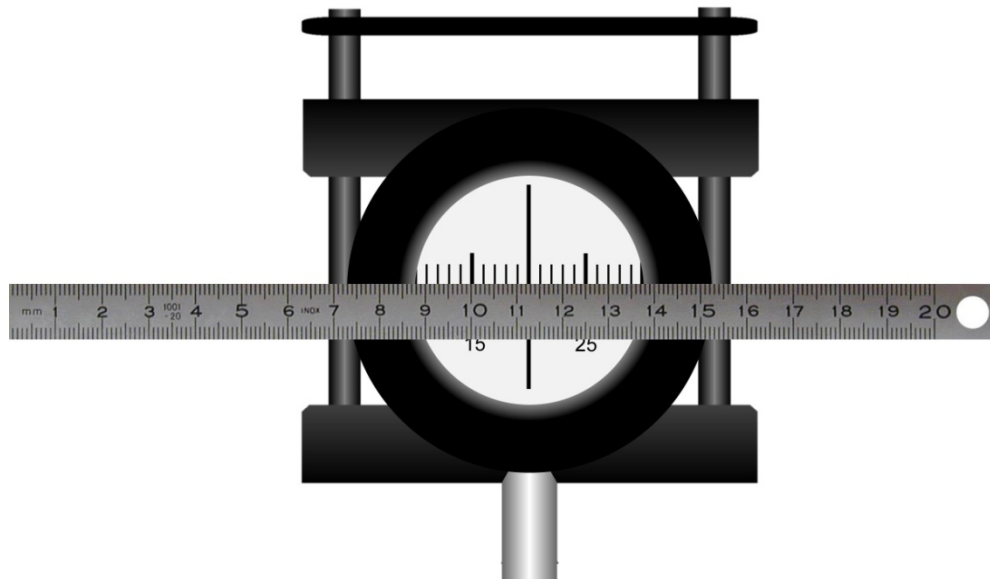
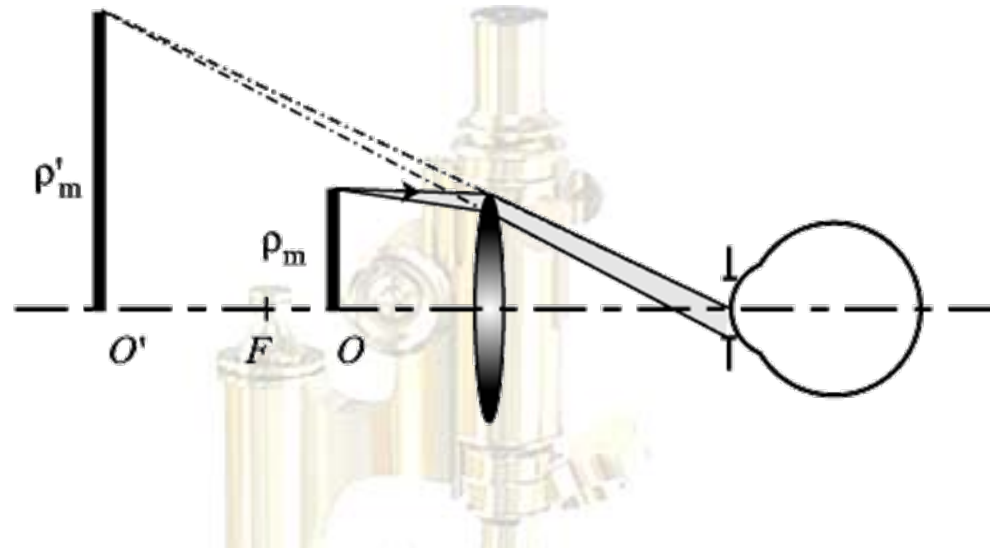
$$\rho'_m = (z'_A - z'_O) \frac{\phi}{2(f' + z'_A)}$$



$$\downarrow z_O = 0$$

$$\rho_m = \frac{f'}{2} \frac{\phi}{f' + z'_A}$$

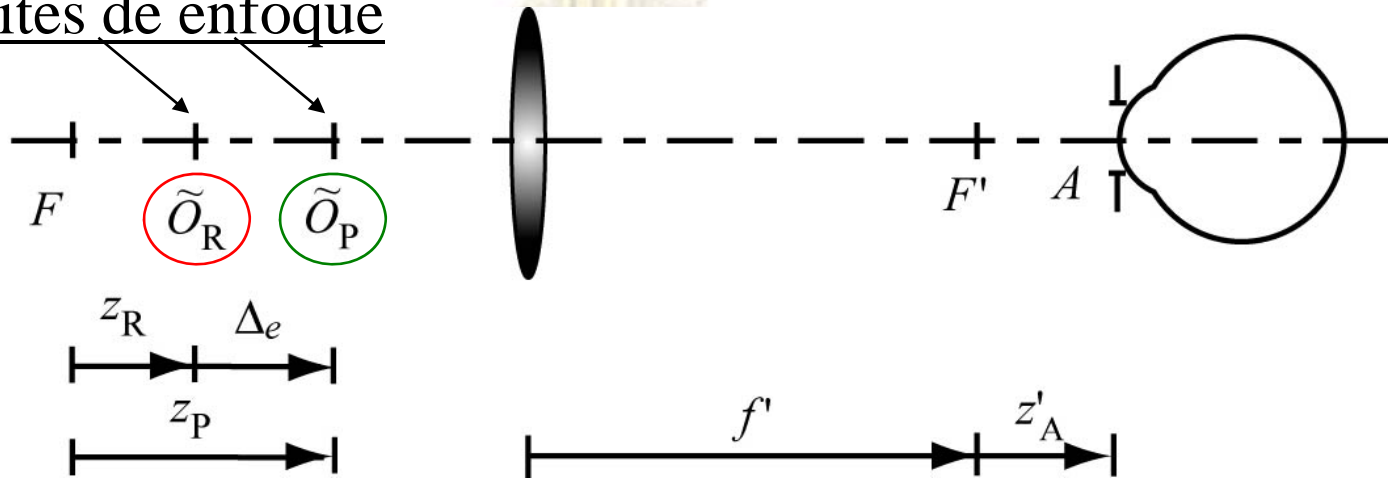
## 5.6.- Campo visual



## 5.7.- Profundidad de enfoque

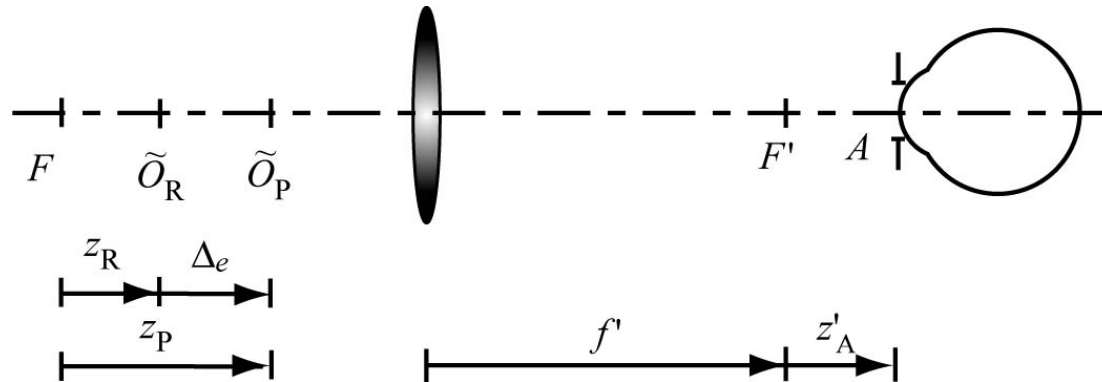
Longitud del intervalo axial del espacio objeto, cuya imagen a través del Instrumento óptico coincide con el Intervalo de Visión Nítida del observador.

Límites de enfoque



$$\left\{ \begin{array}{c} \tilde{O}_R \\ \tilde{O}_P \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{LUPA}} \left\{ \begin{array}{c} O_R \\ O_P \end{array} \right\} \quad \left\{ \Delta_e = \overline{\tilde{O}_R \tilde{O}_P} \right\} \xrightarrow{\text{LUPA}} \left\{ I.V.N. = \overline{O_R O_P} \right\}$$

## 5.7.- Profundidad de enfoque



$$\Delta_e = \overline{\tilde{O}_R \tilde{O}_P} = -z_R + z_P$$

$$z_R = -\frac{f'^2}{z'_A + r}$$

Límite de enfoque  
remoto

$$z_P = -\frac{f'^2}{z'_A + p}$$

Límite de enfoque  
próximo

Profundidad de enfoque

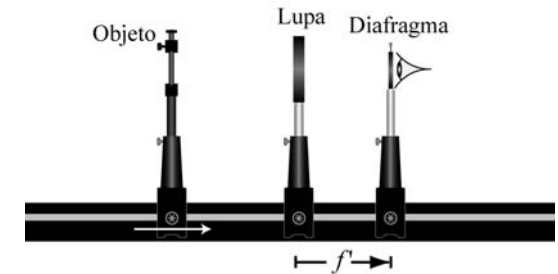
$$\Delta_e = f'^2 \left( \frac{1}{z'_A + r} - \frac{1}{z'_A + p} \right)$$



La profundidad de enfoque depende de :

- Características de la lupa ( $f'$ )
- Posición del observador ( $z'_A$ )
- Características del observador:
  - Refracción ocular.
  - Amplitud de acomodación.

$$\Delta_e = f'^2 \left( \frac{1}{z'_A + r} - \frac{1}{z'_A + p} \right)$$



- Posición del observador ( $z'_A$ ):

- 

- Cuando el ojo se sitúa en el plano focal imagen de la lupa:

$$\rightarrow \Delta_e = \quad = f'^2 A_m$$



$$\Delta_e = f'^2 \left( \frac{1}{z'_A + r} - \frac{1}{z'_A + p} \right)$$

- Características del observador
- Para un observador **emétrope**:

$$r = -\infty \rightarrow z_R = 0 \rightarrow$$

- Para un observador **hipermétrope**:

$$\underbrace{O_R \text{ es virtual} \rightarrow r > 0 \rightarrow z_R < 0}$$

¡ La imagen a través de la lupa es real !  
¿Contradice la definición de lupa?

# EJEMPLO

❖ *Lupa de distancia focal  $f'=100\text{mm}$*

$$\Delta_e = f'^2 \left( \frac{1}{z'_A + r} - \frac{1}{z'_A + p} \right)$$

OBSERVADOR EMÉTROPE de  $A_m = 10D$

Influencia de la posición del Observador:

$OBS \equiv F'$  .

$OBS \equiv Lupa$  .



❖ *Lupa de distancia focal  $f'=100\text{mm}$*

$$\Delta_e = f'^2 \left( \frac{1}{z'_A + r} - \frac{1}{z'_A + p} \right)$$

OBSERVADOR MIOPE de  $R = -2D$  y  $A_m = 10D$

Influencia de la posición del Observador:

$OBS \equiv F'$

$OBS \equiv Lupa$





## 5.8.- Luminosidad

La Luminosidad de un Instrumento Óptico Subjetivo al observar un objeto extenso viene dada por:

LUMINOSIDAD =  $\frac{\text{Iluminación } E_r' \text{ observando con Instrumento}}{\text{Iluminación } E_A' \text{ observando en visión directa}}$

$$C_e = \frac{E_r'}{E_A'} = \tau \left( \frac{\phi_{PS}^{ef}}{\phi_A} \right)^2 \longleftrightarrow \boxed{C_e = \tau \rightarrow E_r' \approx E_A'} \quad \text{Instrumento muy luminoso}$$

**La Lupa proporciona imágenes ampliadas y muy luminosas de un objeto extenso y, por tanto, es un buen Instrumento para la percepción de detalles en objetos próximos**

## 5.9.- Poder separador

El Poder separador de un Instrumento Óptico Subjetivo se define como su capacidad para proporcionar al ojo imágenes discernibles de dos puntos muy próximos entre sí, es decir, su capacidad para distinguir los detalles más finos del objeto.

En general:

$\phi_{PS}^{ef} = \phi_A \rightarrow$  El tamaño de la Lupa no afecta al Poder separador



El Ojo determina el Poder separador del acoplamiento Lupa-Ojo

En condiciones normales de luminancia y diámetro pupilar es la retina

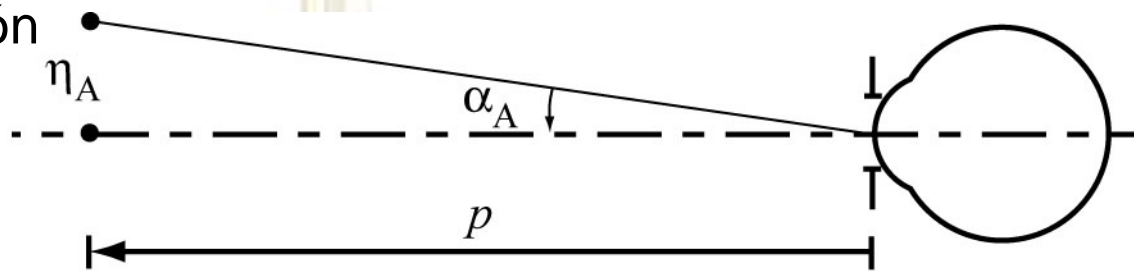
la que impone el límite de resolución  $\rightarrow \alpha_A = 1,3'$

# Cálculo del Poder separador

Observación directa del objeto en las condiciones más favorables

Límite de resolución

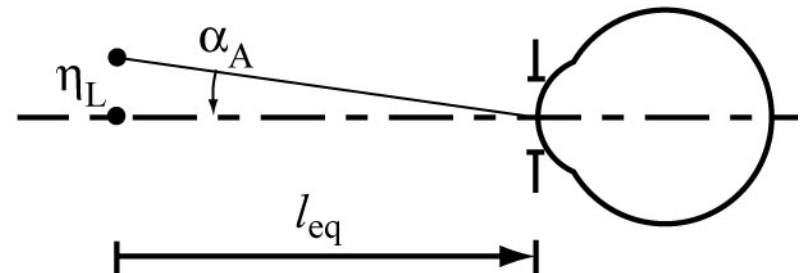
$\eta_A$



Observación con la lupa

Límite de resolución

$\eta_L$



Poder separador

$$\eta_L = -\frac{p \tan \alpha_A}{\Gamma} = \frac{\eta_A}{\Gamma}$$

El Límite de resolución disminuye en un factor  $\Gamma$  al utilizar la Lupa