Tema IV.

Imagen retiniana: posición y tamaño.

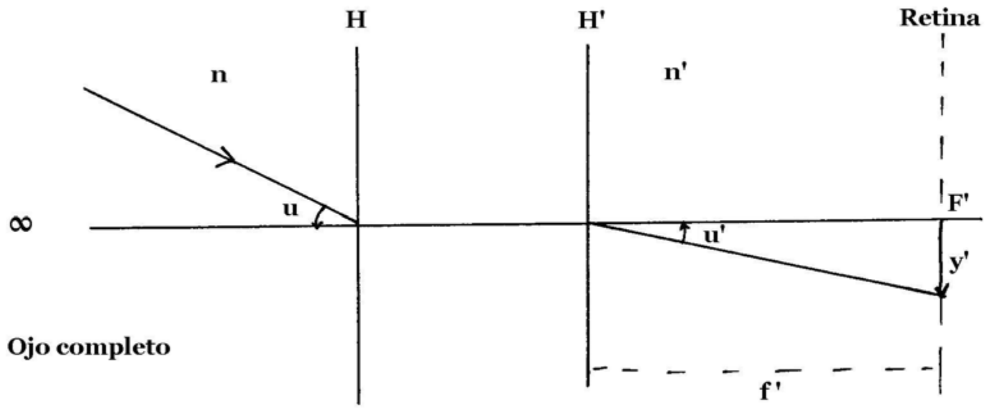
La imagen retiniana es invertida y menor que el objeto (como son las imágenes formadas por una lente convexa) y es reinvertida psicológicamente en la corteza cerebral.

Imagen retiniana: imagen sobre la retina que puede estar enfocada o desenfocada.

Imagen óptica: imagen nítida que forman los dioptrios oculares suponiendo que no estuviese en la retina.

Ambas imágenes (óptica y retiniana) solamente coinciden cuando el ojo es emétrope (la imagen en la retina está enfocada).

Posición y tamaño de la imagen retiniana.
1. Objeto en infinito. Ojo emétrope y desacomodado.



$\tan u' = y' / f'$ $\quad$ $y' = - f' \cdot \tan u'$ $\quad$ (signo negativo porque y' es invertida)
$\quad$ $\mathbf{y' \approx - f' \cdot u'_{rad}}$ $\quad$ ($\tan u \approx u_{rad}$ en ángulos pequeños)

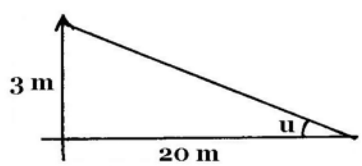
$n \cdot \text{sen } u = n' \cdot \text{sen } u'$ $\quad$ $n \cdot u \approx n' \cdot u'$ $\quad$ ($\text{sen } u \approx \tan u \approx u_{rad}$ en ángulos pequeños)
$\quad$ $\mathbf{u'_{rad} = u_{rad} / n'}$ (n=1 en el aire)

$y' \approx - f' \cdot u'_{rad}$ $\quad$ $u'_{rad} = u_{rad} / n'$ ==> $\mathbf{y' = - f' \cdot u / n'}$

$y' = - f' \cdot u / n'$ $\quad$ $F' = n' / f'$ ==> $\mathbf{y' = - u_{rad} / F'}$

y' (en metros) es el tamaño de la imagen retiniana para objetos en el infinito. Depende del ángulo de visión en radianes (u_{rad}) y de la inversa del poder refractor en dioptrías (F').

<u>Un objeto de 3 m de altura es visto por un ojo de +62D a 20 m de distancia. ¿Posición y tamaño de la imagen óptica?.</u>



$F' = n' / f'$ ==> $f' = n' / F'$

$u_{rad} \approx \tan u = 3 / 20 = 0'15$ rad

Posición : $s' = f' = 1'336 / 62 = 21'55 \cdot 10^{-3}$ m. = 21'55 mm.

Tamaño: $y' = - u_{rad} / F' = - 0'15 / 62 = -0'00242$ m. = -2'42 mm.

La imagen retiniana coincide con la imagen óptica.

Posición y tamaño de la imagen retiniana.
2. Objeto cercano. Ojo emétrope y sin acomodar.

Imagen óptica: El ojo es una superficie esférica refractiva.

$F' = n' / f' = (n' / s') - (n / s) = (n' - n) / r$ $y' / y = (n \cdot s') / (n' \cdot s)$

Vergencia: Inversa de una distancia objeto o imagen (en metros) multiplicada por el índice refractivo del medio correspondiente. Se mide en dioptrías.

Distancias dióptricas: Vergencia objeto: $S = n / s$
Vergencia imagen: $S' = n' / s'$

Posición: $F' = S' - S$ ==> $S' = S + F'$

Tamaño: $y' / y = S / S'$ ==> $y' = y \cdot S / S'$

La imagen retiniana es borrosa debido a que el ojo no ha modificado su potencia mediante la acomodación para enfocar a esa distancia próxima.

<u>Un ojo emétrope reducido estándar mira sin acomodar un objeto de 100 mm. de altura situado en el eje óptico a una distancia de 333 mm. de su punto principal. ¿Cuál es la posición y el tamaño de la imagen óptica?</u>

$F' = +60$ D $s = -333$ mm. = -0'333 m. $y = 100$ mm. = 0'1 m. $n = 1$

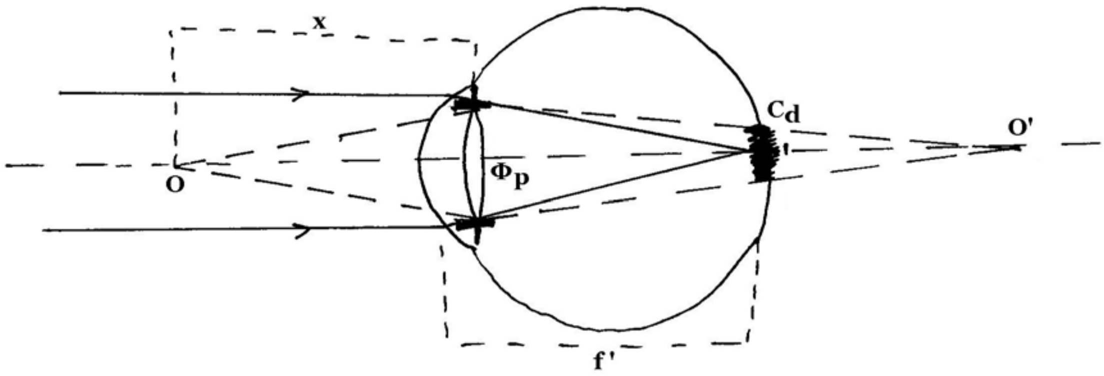
$S = 1 / (-0'333) = -3'00$ D

$S' = S + F' = (-3) + 60 = 57$ D

$S' = n' / s'$ ==> $s' = n' / S' = 1'336 / 57 = 0'02344$ m. = 23'44 mm. (posición)

$y' = y \cdot S / S' = 0'1 \cdot (-3) / 57 = -0'00526$ m. = -5'26 mm. (tamaño)

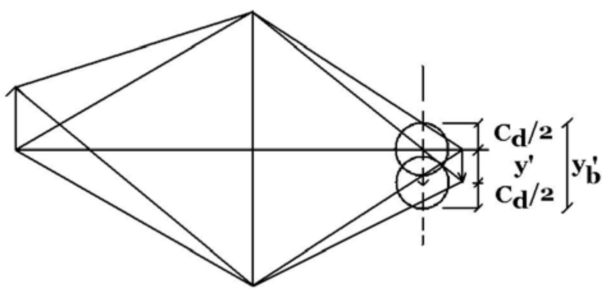
Imagen retiniana: La imagen retiniana del objeto será borrosa y estará compuesta de círculos de difusión superpuestos, cada uno de los cuales corresponde a un punto de la imagen óptica nítida.



Tamaño del círculo de difusión

$C_d = - d_\varnothing / (x \cdot F')$

$d_\varnothing$: Diámetro pupilar.
x : Distancia de la pupila al objeto.
F' : Poder refractor del ojo desacomodado.



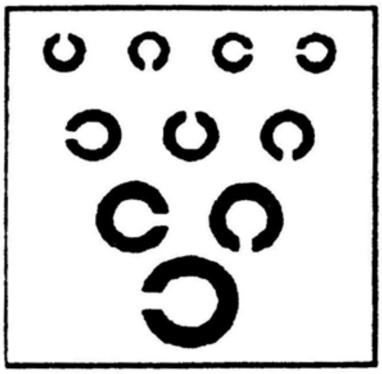
$y'_b = y' + C_d/2 + C_d/2 = y' + C_d$

Agujero estenopeico

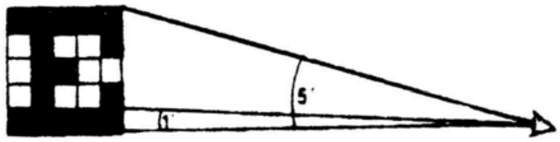
- El tamaño del círculo de difusión y el diámetro pupilar están relacionados.
- Cuanto menor sea el tamaño de la pupila menor será la borrosidad de la imagen ya que el círculo de difusión disminuye de tamaño.
- Un disco con un agujero central de 1 mm. de diámetro en pacientes con ametropía sin compensar o parcialmente compensada mejora su agudeza visual.

Agudeza visual

- Es la habilidad del ojo para discriminar detalles en un test de alto contraste.
- Se indica como la inversa del ángulo subtendido desde el observador por el detalle más pequeño que puede reconocerse en un test objeto.
- Los test para medir la agudeza visual se llaman optotipos: letras de Snellen y anillos de Landolt.
- Los optotipos están diseñados de forma que el detalle límite distinguible subtiende un ángulo visual de 1 minuto de arco a una determinada distancia.
- La altura de los caracteres de los optotipos es tal que subtienden un ángulo 5 veces mayor que el de su detalle más pequeño, es decir, un ángulo de 5 minutos de arco.



Anillos de Landolt



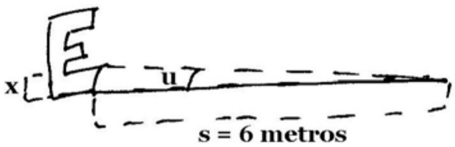
E de Snellen

A.V. = 1 / u siendo "u" el mínimo ángulo de resolución expresado en minutos de arco.

La agudeza visual normal es 1'0, luego u_{normal} = 1', es decir, el detalle más pequeño del optotipo debe subtender un ángulo de 1' (un minuto de arco).

Problemas.

1. Calcular la altura de la E de Snellen para una A.V. de 1'2 a 6 metros.



tan u = x / s ≈ u_{rad} x = u_{rad} · s

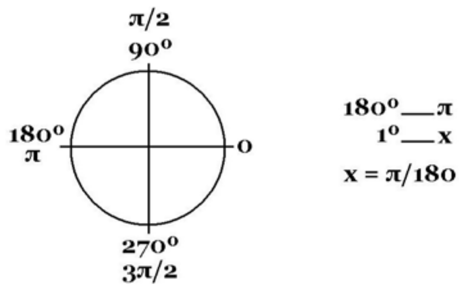
u : Angulo subtendido en radianes.
s : Distancia al optotipo.
x : Altura del mínimo detalle del optotipo distinguible.

El mínimo ángulo de resolución se obtiene de la expresión de la A.V.:

A.V. = 1 / $u_{minut.arco}$ ==> $u_{minut.arco}$ = 1 / A.V. = 1 / 1'2 = 0'833333'

En un grado hay 60 minutos de arco: u_{grados} = 0'833333' · (1° / 60') = 0'013889°

En un grado hay π/180 radianes:



u_{rad} = 0'013889° · (π rad / 180°) =
= 2'424 · 10^{-4} rad

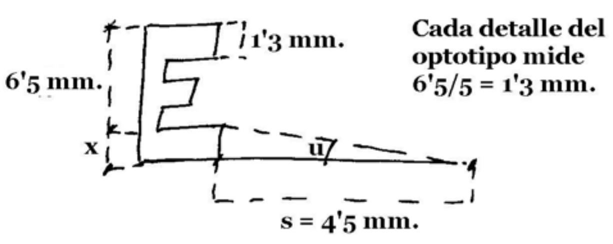
x = u_{rad} · s = 2'424 · 10^{-4} · 6 =
= 1'4544 · 10^{-3} m. = 1'4544 mm.

En la letra hay 5 trazos, luego la altura total de la letra es 5 veces la altura del trazo más pequeño:

Altura letra = 5 · 1'4544 = 7'272 mm.

2. Calcular la A.V. de una persona que es capaz de leer una E de Snellen de 6'5x6'5 mm. que se observa a 4'5 metros de distancia.

u_{rad} ≈ tan u = x / s = 1'3 · 10^{-3} / 4'5



=

$= 0'2889 \cdot 10^{-3}$ rad

$U_{grados} = U_{rad} \cdot (180° / \pi \text{ rad}) =$
$= 0'2889 \cdot 10^{-3} \cdot 180 / \pi =$
$= 0'01655°$

$U_{minut.arco} = U_{grados} \cdot (60' / 1°) =$
$= 0'01655 \cdot 60 = 0'993'$

$A.V. = 1 / U_{minut.arco} = 1 / 0'993' = 1'007 \approx 1'0$

Profundidad de foco y profundidad de campo.

Profundidad de foco: Es la distancia en la retina sobre la que una imagen óptica puede moverse sin alteración de su claridad. Capacidad de poder ver con nitidez al mismo tiempo dos objetos situados a distinta distancia, sin ningún cambio en la acomodación ni en la apertura pupilar.

Profundidad de campo: es la profundidad de la visión nítida en el campo visual (objeto) en el cual un objeto se ve enfocado. Su existencia reduce la necesidad de una acomodación exacta.

Una pupila pequeña supera errores menores de refracción porque aumenta la profundidad de campo y la profundidad de foco.

Con la pupila pequeña entran haces de luz más estrechos y se producen círculos de difusión más pequeños, limitándose a pocos conos en la fóvea, por lo que la imagen en la retina escasamente enfocada mejora.

Es más fácil leer con buena iluminación, la pupila se contrae y aumenta la profundidad de campo y de foco (la demanda acomodativa es menor).

Profundidad de campo del ojo emétrope cuando observa al infinito, es decir, distancia finita a la que ve objetos con buena resolución si al mismo tiempo observa objetos muy alejados.

Admitimos un círculo de difusión que subtiende un minuto de arco (1'):

$U_{minut.arco} = 1'$ $\quad F' = 60$ D $\quad \varnothing_{PE} = 4$ mm. $= 4 \cdot 10^{-3}$ m.

$U_{rad} = U_{grados} \cdot (\pi \text{ rad} / 180°) = (U_{minut.arco} \cdot (1° / 60')) \cdot (\pi \text{ rad} / 180°) =$
$= 1' \cdot (1 / 60) \cdot (\pi / 180) = 2'909 \cdot 10^{-4}$ rad

$y' = U_{rad} / F' = 2'909 \cdot 10^{-4} / 60 = 4'848 \cdot 10^{-6}$ m.

$y' = \varnothing_{c.dif}$ $\quad \varnothing_{c.dif} = - \varnothing_{PE} / (x \cdot F')$ $\quad$ luego:

$x = - \varnothing_{PE} / (y' \cdot F') = - (4 \cdot 10^{-3}) / (4'848 \cdot 10^{-6} \cdot 60) = - 13'75$ m.

Es decir, el ojo emétrope vería bien resueltos los objetos situados entre los 13'75 metros de distancia y el infinito.

En optometría se admite que la profundidad de campo del ojo desacomodado emétrope permite una correcta visión desde 6 metros hasta el infinito.

$x = -6$ m. $\quad Ø_{PE} = 4$ mm. $= 4 \cdot 10^{-3}$ m. $\quad F' = 60$ D

$Ø_{c.dif} = -Ø_{PE} / (x \cdot F') = -(4 \cdot 10^{-3}) / ((-6) \cdot 60) = 11'11 \cdot 10^{-6}$ m. $\approx 0'011$ mm.

Una agudeza visual de 1'0 supone que, en la retina, los centros de las imágenes de los puntos resueltos están separados $4'848 \cdot 10^{-6}$ metros (es decir, 0'004848 milímetros, que es lo mismo que 4'848 micras o micrómetros), que es la distancia que hay entre los centros de dos conos dejando otro en el medio.

Es decir, ésta ha de ser la separación mínima entre centros de imágenes aunque pueden ser círculos de difusión de diámetro mayor.

Problemas.

3. Calcular la profundidad de campo en dipotrías en un ojo emétrope de 60 D desacomodado con los siguientes diámetros de la pupila de entrada: 1, 3, 6 y 8 mm. Suponer que el máximo tamaño aceptable del círculo de difusión es de 4 micrómetros de diámetro.

$F' = 60$ D $\quad Ø_{c.dif} = 4\ \mu = 4 \cdot 10^{-3}$ mm. $= 4 \cdot 10^{-6}$ m.

$Ø_{c.dif} = -Ø_{PE} / (x \cdot F') \quad ==> \quad x = -Ø_{PE} / (Ø_{c.dif} \cdot F')$

a) $Ø_{PE} = 1 \cdot 10^{-3}$ m.

$x = -(1 \cdot 10^{-3}) / (4 \cdot 10^{-6} \cdot 60) = -4'167$ m. $\quad$ Prof. de campo : $(-\infty, -4'167$ m.)

b) $Ø_{PE} = 3$ mm. $= 3 \cdot 10^{-3}$ m.

$x = -(3 \cdot 10^{-3}) / (4 \cdot 10^{-6} \cdot 60) = -12'5$ m. $\quad$ Prof. de campo : $(-\infty, -12'5$ m.)

c) $Ø_{PE} = 6$ mm. $= 6 \cdot 10^{-3}$ m.

$x = -(6 \cdot 10^{-3}) / (4 \cdot 10^{-6} \cdot 60) = -25$ m. $\quad$ Prof. de campo : $(-\infty, -25$ m.)

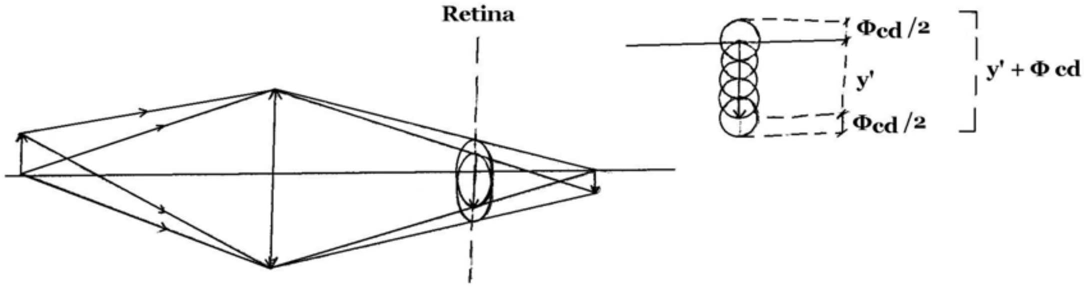
d) $Ø_{PE} = 8$ mm. $= 8 \cdot 10^{-3}$ m.

$x = -(8 \cdot 10^{-3}) / (4 \cdot 10^{-6} \cdot 60) = -33'33$ m. $\quad$ Prof. de campo : $(-\infty, -33'33$ m.)

Vemos que cuanto mayor es la pupila menor es la profundidad de campo.

4. Calcular el tamaño de la imagen retiniana de un objeto de 10 cm. situado a 50 cm. de un ojo emétrope de 60 D desacomodado. El ojo tiene una pupila de 5 mm. de diámetro. Comparar el resultado con el tamaño de la imagen retiniana de un objeto que subtiende el mismo ángulo pero se encuentra en el ∞.

$s = 50$ cm. $= 0'5$ m. $\quad y = 10$ cm. $= 0'1$ m. $\quad Ø_{PE} = 5$ mm. $= 5 \cdot 10^{-3}$ m. $\quad F' = 60$ D



$\tan u = y / s = 0'1 / 0'5 = 0'2$ rad $y' = \tan u / F' = 0'2 / 60 = 3'3333 \cdot 10^{-3}$ m.

$Ø_{c.dif} = - Ø_{PE} / (x \cdot F') = - (5 \cdot 10^{-3}) / ((- 0'5) \cdot 60) = 0'1667 \cdot 10^{-3}$ m.

$y'_{borrosa} = y' + Ø_{c.dif} = 3'3333 \cdot 10^{-3} + 0'1667 \cdot 10^{-3} = 3'5 \cdot 10^{-3}$ m. $= 3'5$ mm.