



a) Flujo luminoso

b) Intensidad luminosa

c) Iluminancia

d) Luminancia

Valores de Iluminancia y Luminancia en condiciones cotidianas
De Luz, color y visión – Cap.2 E. Colombo

| Situación | Iluminancia sobre una superficie horizontal [lux] | Superficie sobre la que se mide la luminancia | Luminancia [cd/m ²] |
|---|---|---|-----------------------------------|
| Luz solar | 100.000 | Papel blanco | 10 ⁵ - 10 ⁶ |
| Cielo cubierto | 10.000 | Césped | 3000 |
| Puesto de trabajo con pantalla de video | 500 | Pantalla con fondo gris | 10 a 50 |
| Puesto de trabajo en oficina | 500 | Papel blanco | 100 |
| Zona de circulación | 100 | Superficie de cemento | 10 |
| Alumbrado de calles | 10 | Superficie de asfalto | 1 |
| Noche con luna | 1 | Papel blanco | 0.01 |

El estímulo visual y sus características

Tamaño del Estímulo Visual

Contraste de luminancia del Estímulo Visual

Contraste Cromático Estímulo Visual

Calidad de la Imagen Retiniana

Iluminación de la Imagen Retiniana

El estímulo visual y sus características

Tamaño Visual

se especifica en términos angulares.

En la tarea de “detección”, se define como el ángulo sólido que el estímulo subtende en el ojo

En una tarea de “resolución” se especifica por el ángulo subtendido en el ojo por la dimensión crítica del estímulo.

el ángulo sólido está dado por el cociente del área del objeto y el cuadrado de la distancia desde la cual es visto

Cuanto más grande es el tamaño visual del detalle en un estímulo más fácil es resolver la tarea.

El estímulo visual y sus características Tamaño Visual

Para estímulos complejos

la medida usada está basada en el ángulo que subtiende un detalle crítico...

- *está medido en términos de las veces que esta dimensión se repite en un ángulo de 1°*
- *se expresa en unidades de ciclos por grados (frecuencia espacial)*

La iluminación puede aumentar o disminuir el tamaño de un estímulo tridimensional a partir de la formación de sombras, de manera de aumentar o disminuir el tamaño visual del estímulo

El estímulo visual y sus características El Contraste de Luminancia

(CIE, 1992)

- **Es una medida de su luminancia relativa al fondo sobre el cual es visto.**
- **Cuánto mayor es el contraste de luminancia, más fácil es detectar el estímulo**

Se puede definir de dos formas diferentes :

- Para estímulos vistos sobre un fondo uniforme
- Para estímulos que tienen patrones periódicos de luminancias

El contraste de luminancia de un estímulo sobre un fondo uniforme

se define por convención como:

$$C = (L_o - L_f) / L_f$$

C, es el contraste de luminancia,
L_f, es la luminancia del fondo
L_o, es la luminancia del detalle.

Esta ecuación es ampliamente usada para estímulos que tienen detalles más oscuros que el fondo, (ej. *textos impresos*) y en este caso los valores de contrastes están entre 0 y 1

Si los detalles son más claros que el fondo esta definición de contraste da valores desde 0 hasta infinito

El contraste de luminancia de un estímulo que tiene patrones periódicos de luminancias se define como:

$$C = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$$

C, es el contraste de luminancia,
L_{max}, es la luminancia máxima del estímulo
L_{min}, es la luminancia mínima del estímulo

Ejemplo redes

La iluminación puede cambiar el contraste de luminancia de un estímulo si produce deslumbramiento fisiológico en el ojo, o reflexiones de velo sobre el estímulo.

También la puede modificar la radiación espectral incidente cuando están involucrados estímulos de colores

El contraste cromático

Un estímulo con contraste de luminancia muy bajo puede ser detectado si difiere en color del fondo, es decir, si tiene contraste cromático.

La iluminación puede acentuar, o disminuir, el contraste cromático de un estímulo, según la **composición espectral de la emisión de la fuente de luz utilizada**

calidad de la imagen e iluminación retiniana

Calidad de Imagen Retiniana

Cuando la Imagen es Clara y Nítida

Características
del Estímulo

Dispersión de
la Luz en el
medio

Calidad del
Sistema Visual
del ojo

(Berman et al., 1993) pupilas de menor tamaño se obtiene mayor profundidad de campo y por lo tanto mejor calidad de la imagen retiniana ... Esto puede mejorar con iluminación de long. de onda más cortas

calidad de la imagen e iluminación retiniana

La iluminación retiniana está determinada por la relación entre la luminancia en el campo visual y el tamaño de la pupila

se mide en "trolands"

1 trolands :

iluminación de la retina al observar una superficie de luminancia $1(\text{cd}/\text{m}^2)$ a través de un área pupilar de $1(\text{mm}^2)$

El estímulo visual y sus características

Variando el estímulo físico es posible explorar la relación entre estímulo y respuesta del sistema visual

VALOR UMBRAL

es aquel valor de contraste, tamaño o velocidad para la cual la tarea de visualización apenas puede realizarse, o se realiza con dificultad

Cuantitativamente en un Test para medir la variable de interés, el valor umbral es de 0.5, lo que quiere decir que la tarea puede ser realizada correctamente el 50% de las veces que es presentada

AGUDEZA VISUAL (AV)

Se puede definir como la capacidad de percibir y diferenciar dos estímulos separados una determinada apertura angular (α), o dicho de otra manera es la capacidad de resolución espacial del sistema visual.

Matemáticamente la AV se define como la inversa del ángulo con el que se resuelve el objeto más pequeño identificado:

$$AV = 1 / \alpha$$

Factores que afectan a la agudeza visual

Factores fisiológicos

- *Densidad o disposición* de los fotorreceptores.
- *Excentricidad de la fijación*: la AV es máxima en la fóvea y disminuye a medida que se estimula retina más periférica.
- *Motilidad ocular*: la estabilidad de la imagen retiniana es función de la calidad de los micro-movimientos sacádicos de los ojos.
- *Edad del sujeto*: la AV es muy baja al nacer y mejora con la edad para estabilizarse y decaer lentamente a partir de los 40-45 años.
- *Monocularidad/binocularidad*: la AV binocular es normalmente entre el 5 y 10% mayor que la monocular.
- *Efecto de medicamentos*: midriáticos, mióticos, ciclopéjicos.
- *Algunas enfermedades oculares o sistémicas pueden afectar a la AV*: queratoconjuntivitis, diabetes mellitus, etc.
- *Factores neuronales*: transmisión de la información a través de la vía visual, grado de desarrollo de la corteza visual, etc.

Factores que afectan a la agudeza visual

Factores psicológicos

- Experiencias previas con la prueba.
- Fatiga física o psíquica.
- Motivación/aburrimiento, sobre todo en niños.

Factores físicos

- De la sala: iluminación.
- De los optotipos: iluminación, color, contraste, tipografía, y distancia al sujeto.
- Del ojo: tamaño y difracción pupilar, ametropía y aberraciones ópticas.

Factores que afectan a la agudeza visual

la máxima AV del ojo se situaría en torno a valores angulares de:

0,5' de arco
AV de 2,0 en escala Snellen

para diámetros pupilares de 2,0 mm (límite calculado para la función de modulación de transferencia), un mosaico de receptores de diámetro aprox. a 1,5 μ m por cono y una distancia nodal del ojo de 16,67 mm.

Sin embargo...

AV = 1,0

Mínimo visible

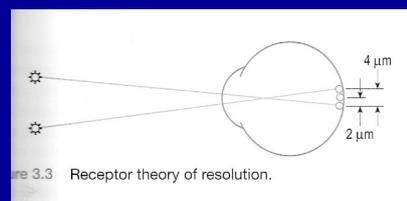
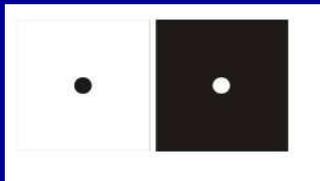
Menor unidad espacial que el sistema visual es capaz de percibir.

Aprox. 36" de arco

(mínimo ángulo que permite estimular a dos conos separados por un tercero (el tamaño de un cono es de aproximadamente 1,5 micras).

Se determina calculando el diámetro mínimo que puede tener un disco sobre un fondo para que sea percibido

Resolución espacial de la visión Teoría del fotorreceptor



Los factores que determinan el mínimo visible no dependen sólo del valor angular ya que se ven afectados por la luminancia del test, la cantidad de energía que reciben los foto-receptores y su sensibilidad.

$$\alpha = 2 \arctg(h/2d)$$

$$h = 4 \mu$$

$$d = 17 \text{ mm}$$

$$\alpha = 49''$$

Mínimo Separable

Menor unidad espacial que el sistema físico es capaz resolver. Habilidad para ver dos objetos separados

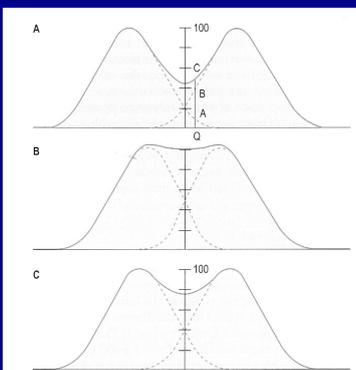
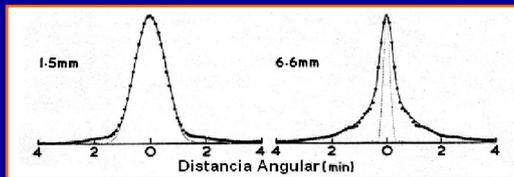


Figure 3.4 Wave theory of resolution: (A) two separated Airy discs, (B) discs too close to be resolved, (C) discs separated by half their width - the Rayleigh criterion.



$$\text{Ancho} = 2,44\lambda / D_p$$

$$\lambda = 555 \text{ nm}$$

$$D_p = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho} = 93''$$

Criterio de Rayleigh

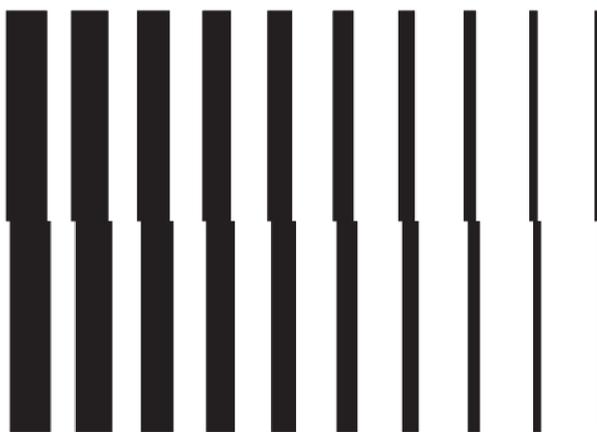
$$\alpha = \text{Ancho} / 2$$

$$\alpha = 47''$$

Este límite en óptimas situaciones se sitúa en torno a un valor angular entre 50'' y 94'' de arco.

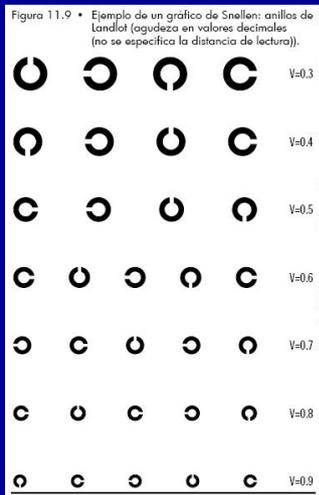
La **AGUDEZA VERNIER** vernier puede llegar a 2''.
¿Cómo podemos alcanzar esa agudeza con la resolución espacial de la retina?

Mira de Foucault

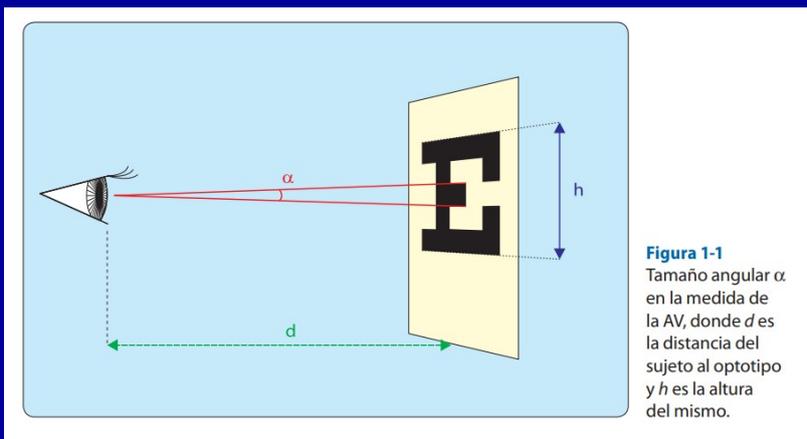
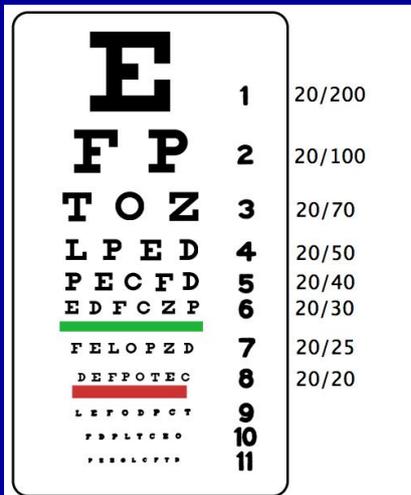


Medida de la agudeza visual AV

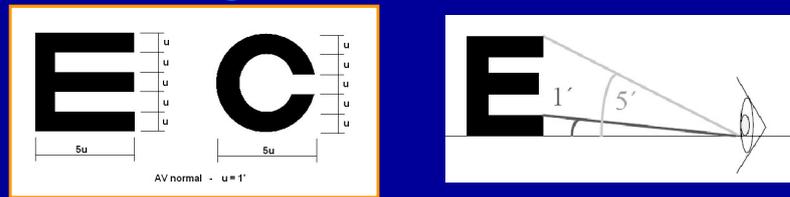
Tarea de discriminación de orientación



Tarea de identificación de letras



Agudeza Visual



Agudeza Visual Normal = 1 / Resolución, es decir: $AV = 1 / MAR$

AV angular normal = $60'' = 1'$

AV decimal normal = 1

AV Snellen normal = 20/20 ó 6/6

Fracción de Snellen

$$AV = \frac{\text{Distancia del test}}{\text{Distancia a la que la letra subtendería un ángulo de } 5'}$$

Escala decimal

La escala decimal es más utilizada en España que la fracción de Snellen. Básicamente lo que se hace es resolver la fracción de Snellen a un solo número. Así la máxima AV se corresponde con el valor unidad ($20/20 = 1,0$) y va disminuyendo progresivamente ($20/200 = 0,1$) (tabla 1-1).

Mínimo ángulo de resolución (MAR)

El mínimo ángulo de resolución (MAR, acrónimo también del inglés *Minimum Angle of Resolution*) expresa la AV en minutos de arco indicando el tamaño angular del mínimo detalle que es capaz de resolver en el optotipo. Representa 1/5 del tamaño del optotipo. Para una AV de 20/20 el MAR será de 1 minuto de arco, para 20/40 de 2 minutos de arco y para 20/200 será de 10 minutos de arco. Matemáticamente se calcula realizando la inversa del valor decimal de la AV. Este valor es poco utilizado empleándose más su logaritmo (Log-MAR) (tabla 1-1).

Optotipos de escala logarítmica o de Bailey-Lovie

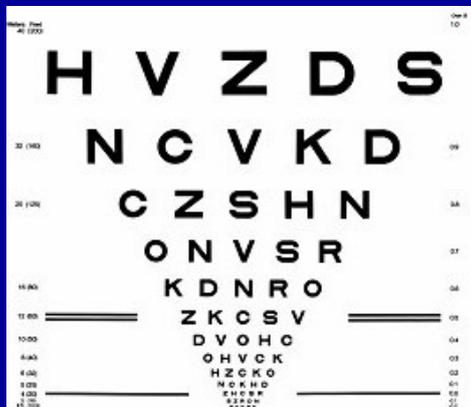
Estos optotipos, diseñados a finales de los años 70, pretenden conseguir la máxima estandarización en la medida de la AV (fig. 1-5), para ello son necesarios los siguientes requisitos:

- **Progresión logarítmica:** se han propuesto diferentes ratios para la progresión logarítmica aceptándose el más adecuado sería una progresión de 0,1 unidades logarítmicas.
- **Número de optotipos por línea:** la fiabilidad en la medida de la AV aumenta al incrementar el número de letras cerca del tamaño umbral. Se acepta que al menos tienen que existir cinco letras por línea de optotipos y que debe presentar el mismo número de optotipos en cada nivel de agudeza visual.
- **Espacio entre letras y filas:** el espacio entre filas y entre letras tiene que ser igual que el tamaño de las letras.

| Snellen (m) | Snellen (ft) | Decimal | LogMAR | VAR |
|-------------|--------------|-------------|------------|------------|
| 6/3 | 20/10 | 2,00 | -0,3 | 115 |
| 6/3,75 | 20/12,5 | 1,60 | -0,2 | 110 |
| 6/5 | 20/16 | 1,25 | -0,1 | 105 |
| 6/6 | 20/20 | 1,00 | 0,0 | 100 |
| 6/7,5 | 20/25 | 0,80 | +0,1 | 95 |
| 6/10 | 20/32 | 0,63 | +0,2 | 90 |
| 6/12 | 20/40 | 0,50 | +0,3 | 85 |
| 6/15 | 20/50 | 0,40 | +0,4 | 80 |
| 6/20 | 20/63 | 0,32 | +0,5 | 75 |
| 6/24 | 20/80 | 0,25 | +0,6 | 70 |
| 6/30 | 20/100 | 0,20 | +0,7 | 65 |
| 6/38 | 20/125 | 0,16 | +0,8 | 60 |
| 6/48 | 20/160 | 0,125 | +0,9 | 55 |
| 6/60 | 20/200 | 0,1 | +1,0 | 50 |

Agudeza Visual:

| | |
|---------------------|--------|
| A | 20/200 |
| D F | 20/100 |
| H Z P | 20/70 |
| T X U D | 20/50 |
| Z A D N H | 20/40 |
| P N T U H X | 20/30 |
| U A Z N F D T | 20/25 |
| N P H T A F X U | 20/20 |
| X D F H P T Z A N | 20/15 |
| F A X T D N H U P Z | 20/10 |



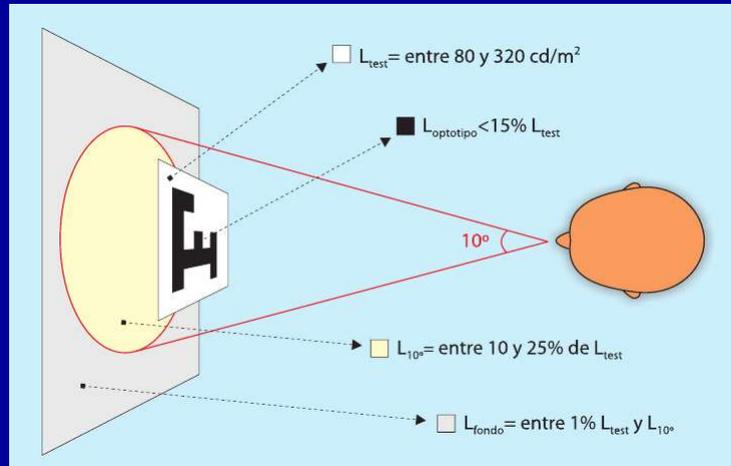
La escala Log MAR busca la mayor estandarización:

- progresión logarítmica de AV
- igual número de optoptipos por fila
- igual legibilidad
- separación entre las letras igual al tamaño de letras

La agudeza visual es una función compleja definible como:

- La capacidad de detectar un objeto en el campo de visión (mínimo visible).
- La capacidad de separar los elementos críticos de un test (mínimo separable).
- La capacidad de nombrar un símbolo o identificar su posición (mínimo reconocible).

Iluminación y contraste de los optotipos



Tests de AV

Familias de optotipos

- Familia SLOAN: C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z
- Familia BRITISH: D, E, F, H, N, P, R, U, V, Z

Criterio de igual legibilidad

Test de AV: características

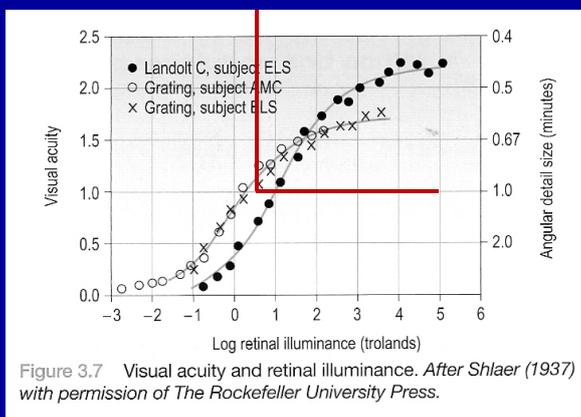
- Alto contraste
- Tiempo de exposición alto
- Iluminación fotópica (rango donde responden los conos)
- Distancia de observación 6 m ó 3 m

Tarea Visual en AV

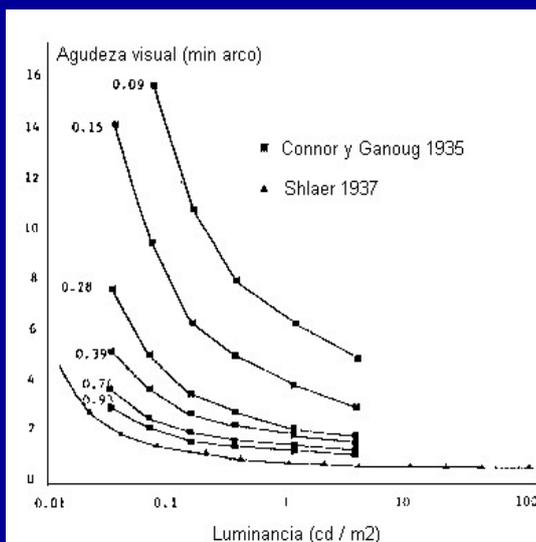
En la tarea de AV se superponen al menos tres habilidades del sujeto:

- Capacidad de detectar algo.
- Resolución espacial o capacidad de separar entre dos trazos
- Capacidad de identificar un optotipo

Agudeza visual Iluminación del test



Agudeza Visual en función de la luminancia



Tamaño de un detalle para ser visible = 4 veces la AV

Agudeza visual Iluminación del entorno

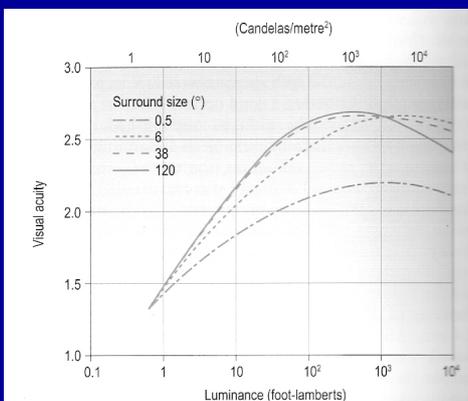


Figure 3.8 Visual acuity as a function of luminance for different diameter surrounds (Foxell and Stevens (1995)). From British Journal of Ophthalmology 1955, 39:513-533, reproduced with permission from the BMJ Publishing Group.

Agudeza visual Relación entre luminancia del test y del entorno

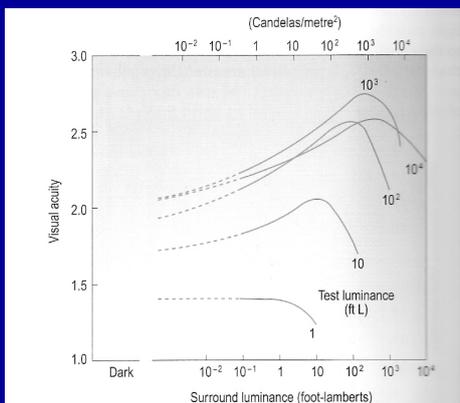


Figure 3.9 Visual acuity as a function of surround luminance for various background luminances (Foxell and Stevens (1995)). From British Journal of Ophthalmology 1955, 39:513-533, reproduced with permission from the BMJ Publishing Group.

Agudeza visual Excentricidad

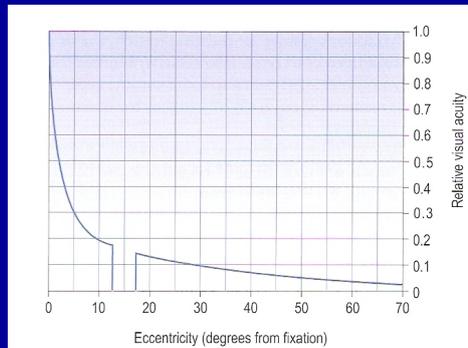


Figure 3.18 Visual acuity as a function of eccentricity in the nasal retina. After Wertheim (1894).

Contraste Umbral

Test de Contraste Umbral

V R S K D R
N H C S O K
S C N O Z V
C N H Z O K
N O D V H R

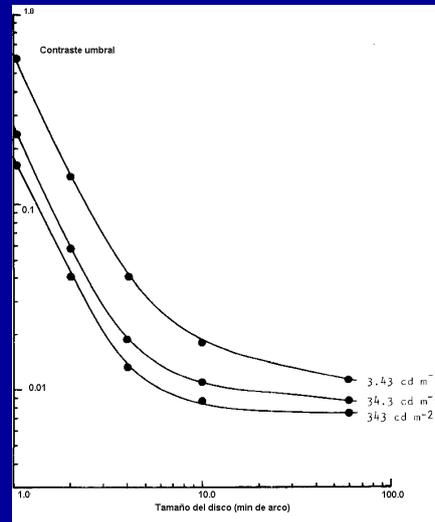
Test de contraste Identificación de letras

FONDO 1278

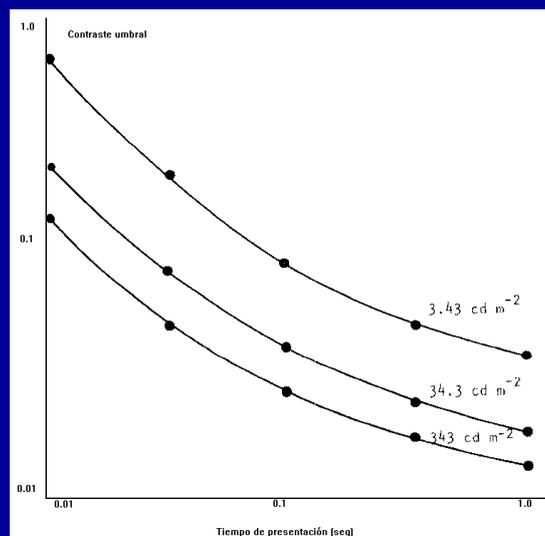
1199 C Z K 1230 O R H
1235 N H D 1250 K O Z
1244 K O Z 1282 Z D N
1250 Z N K 1265

1. Tocar el botón de la izquierda de la banda a
2. Modificar el fondo con la flecha
3. Tocar el botón de la derecha de la banda a
4. Tocar el botón de la izquierda de la banda a
5. Tocar el botón de la derecha de la banda a
6. Tocar el botón de la izquierda de la banda a
7. Tocar el botón de la derecha de la banda a

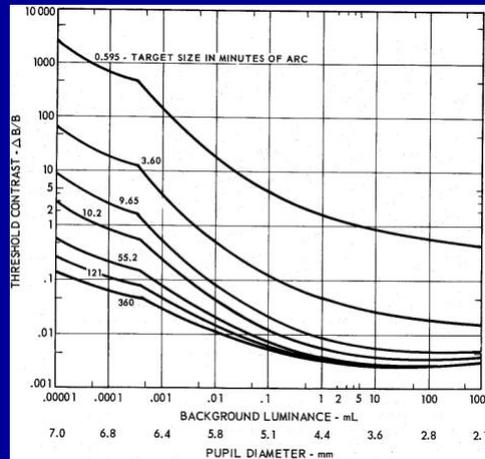
Contraste Umbral en función del tamaño del objeto



Contraste Umbral en función del tiempo de presentación



Contraste Umbral en función de la luminancia de fondo

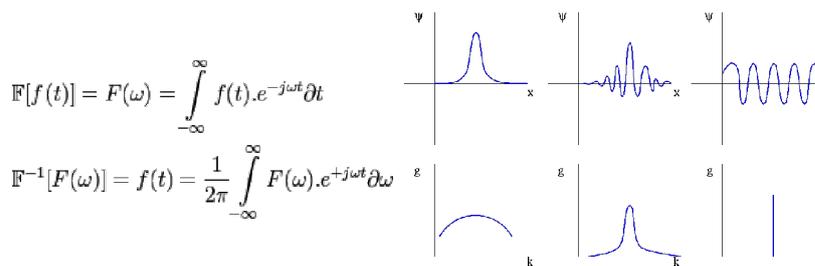


Contraste de un objeto para ser visible = 2 veces el C_{umbral}

Función de Sensibilidad al Contraste

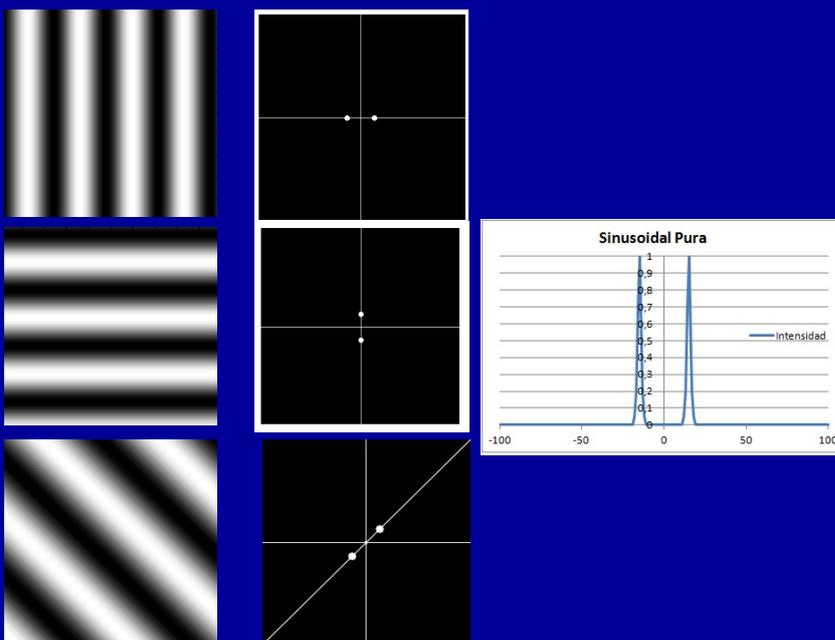
Transformada de Fourier

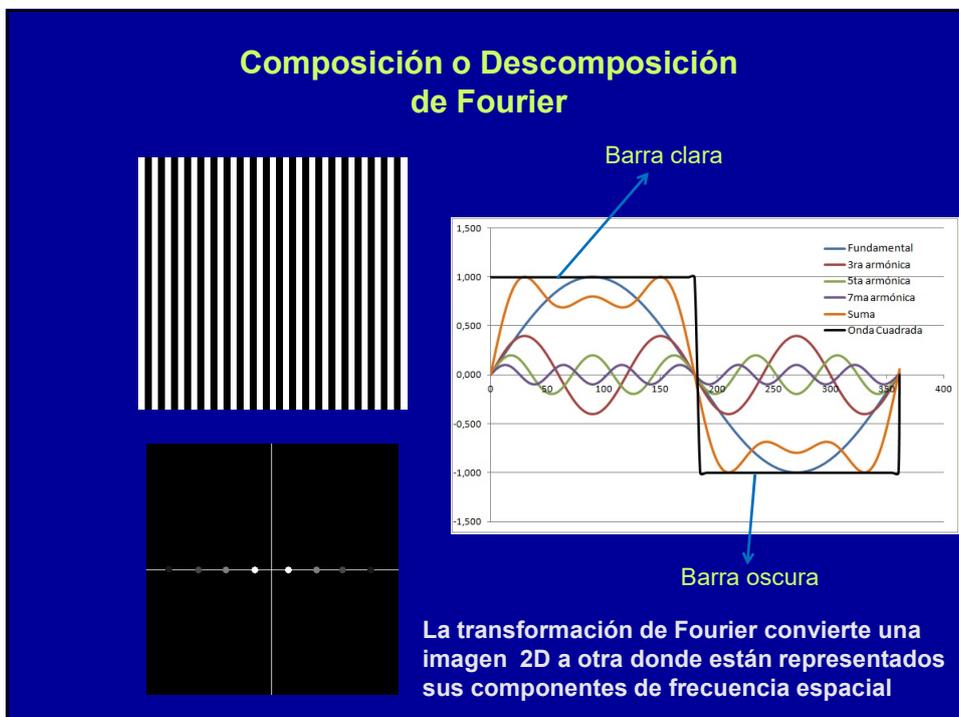
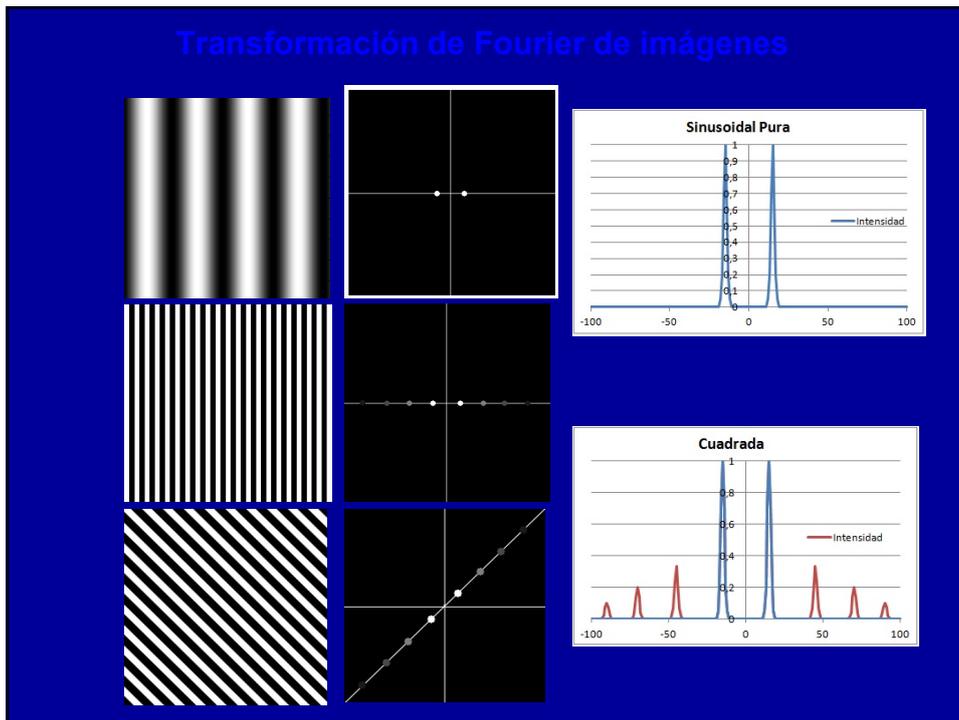
Es una operación matemática que me permite transformar una función definida en el plano del tiempo o del espacio en otras definida en el plano de la frecuencia (temporal o espacial).



La transformada admite la función inversa:
antittransformada

Transformación de Fourier de imágenes





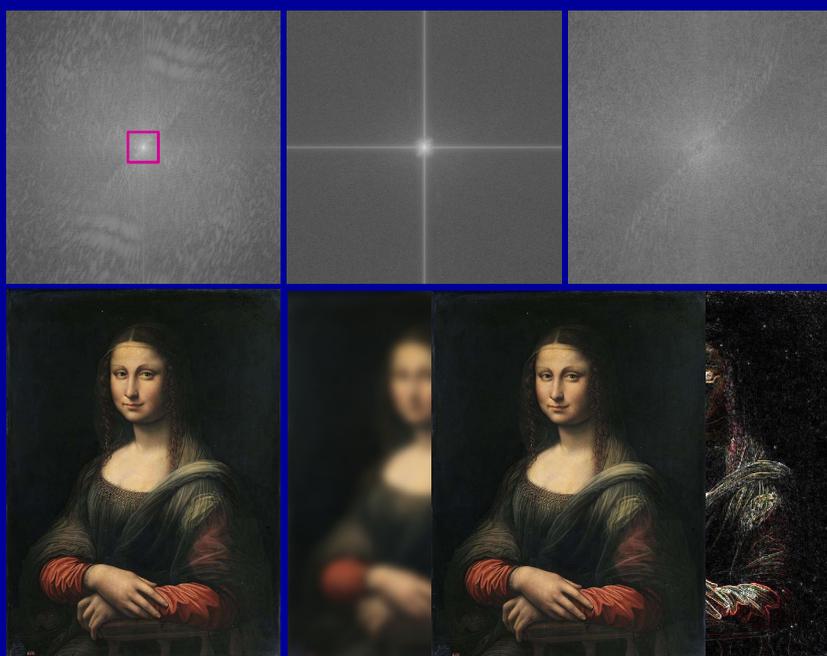
Transformación de Fourier



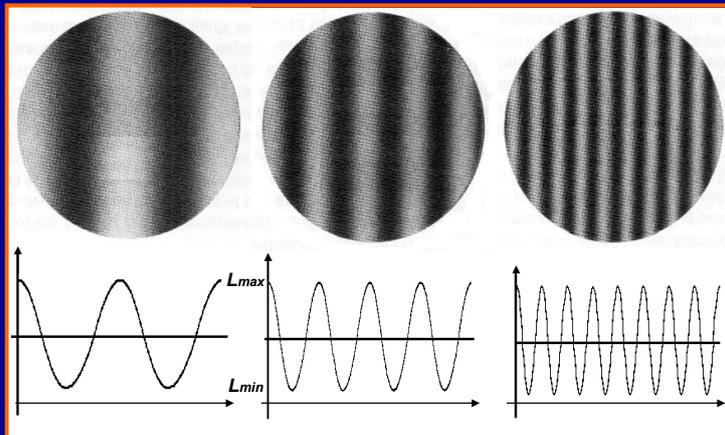
La imagen de Fourier contiene toda la información de la imagen original solo que expresada en otros términos.

De hecho la antitransformada de Fourier permite recuperar la imagen original

Filtrado en el espacio de Fourier



Redes Sinusoidales



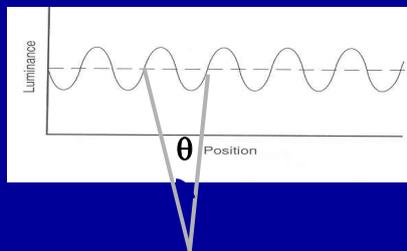
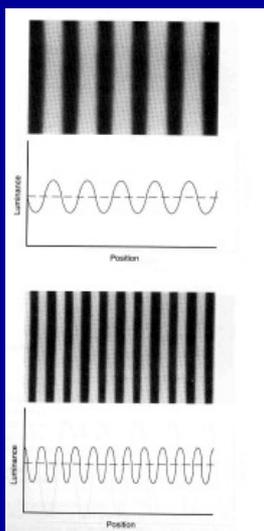
$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \quad 0 \leq C \leq 1$$

Redes Sinusoidales

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

Contraste de Michelson

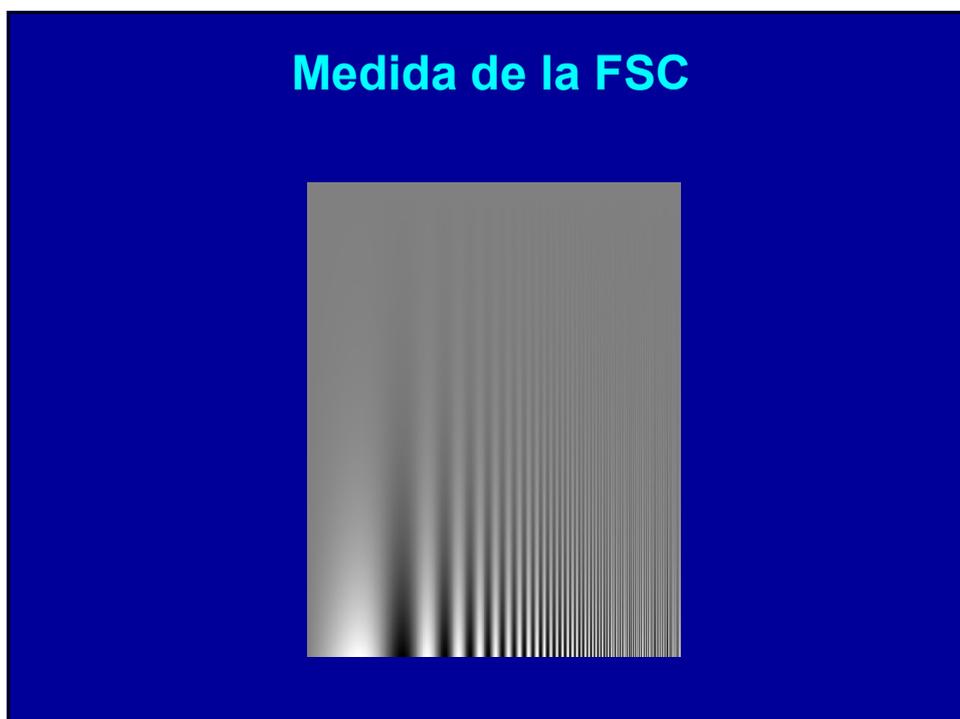
Frecuencia espacial



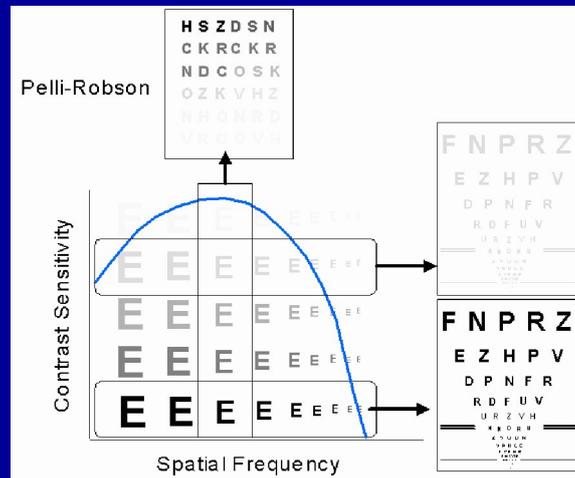
Frecuencia espacial
(ciclos/grado)
 $f_e = 1/\theta(\text{grados})$



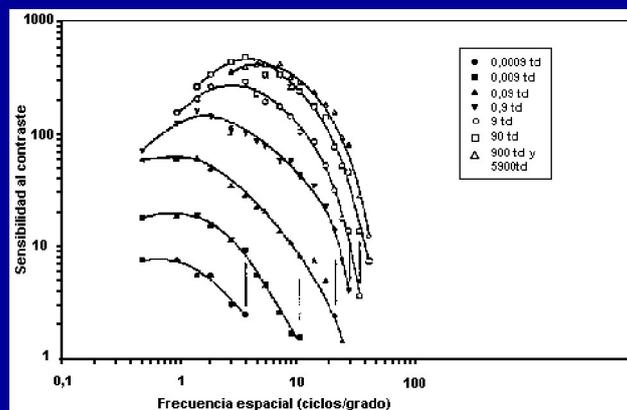




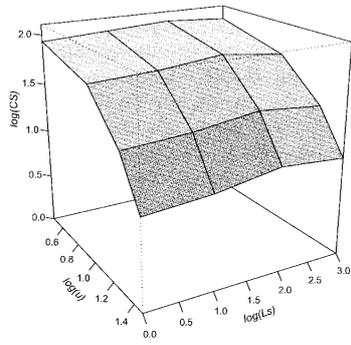
Interacción entre Contraste umbral y Agudeza visual



Función de Sensibilidad al Contraste en función de la adaptación



Influencia de la iluminación del entorno en la Sensibilidad al Contraste



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| C | V | H | O | Z | S |
| R | V | N | O | S | Z |
| V | O | Z | H | K | D |
| H | S | R | K | O | R |
| V | S | N | H | C | V |
| N | H | K | K | V | Z |
| K | V | N | S | R | K |
| V | H | D | O | R | N |

OPO OPHTHALMIC AND PHYSIOLOGICAL OPTICS
 THE JOURNAL OF THE COLLEGE OF OPTOMETRISTS
 Optom. Physiol. Opt. 2010; 30: 186-199

Quantitative and functional influence of surround luminance on the letter contrast sensitivity function

Juan A. Aparicio¹, Isabel Arranz², Beatriz M. Matesanz³, Juan G. Vizmanos⁴, Lidia Paderna¹, Victor R. González², Santiago Mar¹, José A. Menéndez² and Luis Isasco²