

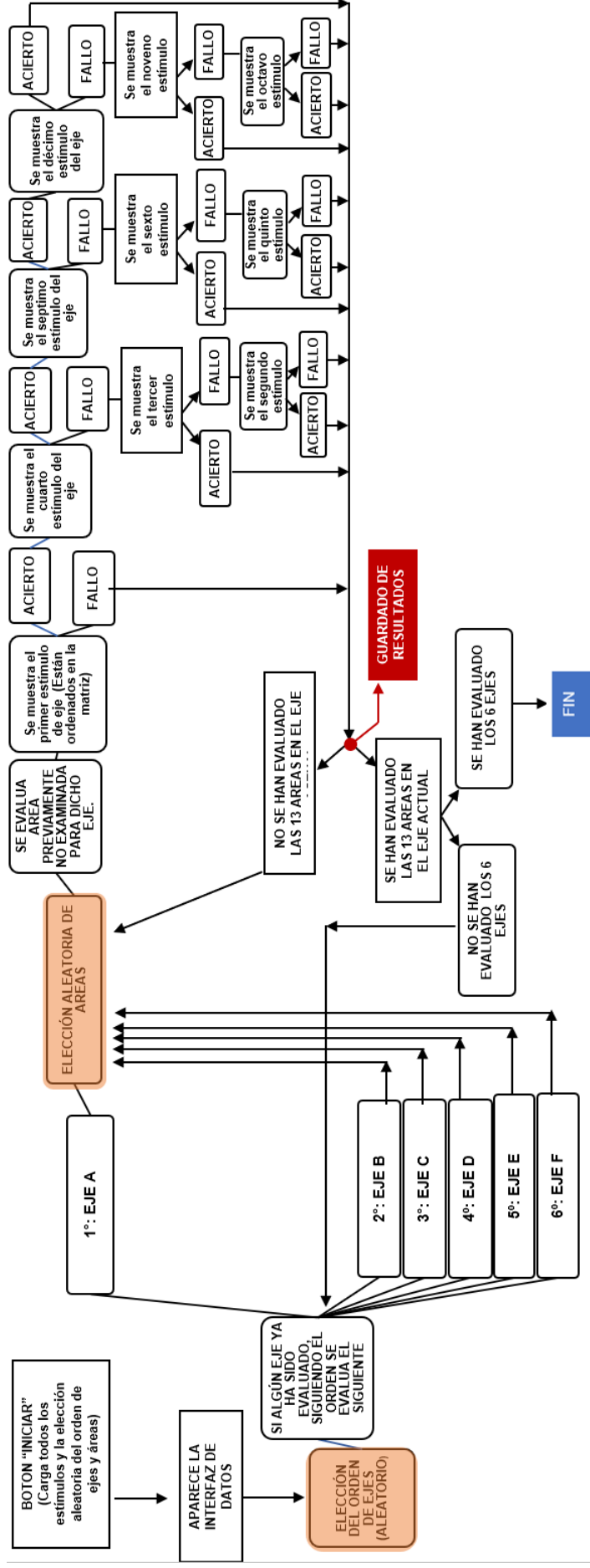
# MÉTODO DE MEDIDA DE UMBRALES EN DIRECCIONES OPONENTES



Payá Garrido M., Luque Cobija M.J.

Editado por Luque Cobija M.J.

# 1. ORGANIGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN TEST MEDIANTE EL MÉTODO DE ESCALERA



## 2. ESPACIO ATD-DKL

Utilizando estímulos en las direcciones cardinales del espacio del color, somos capaces de aislar los canales que deseamos evaluar: rojo-verde y azul-amarillo.

Dada su simplicidad y fácil capacidad para aislar los canales Magno (acromático), Parvo (rojo-verde) y Koniocelular (azul-amarillo) mediante el programa *Demo\_estimuls* (Luque et al., 2016), utilizaremos el modelo de visión ATD, el cual es un modelo neural de etapas, que calcula las respuestas en los conos y en canales oponentes (acromático, A, rojo-verde T y azul-amarillo, D), que combinan la respuesta de estos.

Aunque existen varios modelos ATD (véase la revisión de Capilla et al., 2002), utilizaremos el espacio de Derrington, Krauskopf y Lennie (DKL) (Derrington et al., 1984), que representa las direcciones de respuesta de las células de núcleo geniculado lateral, representadas en la Figura 2, y definidas mediante la Ecuación (1).

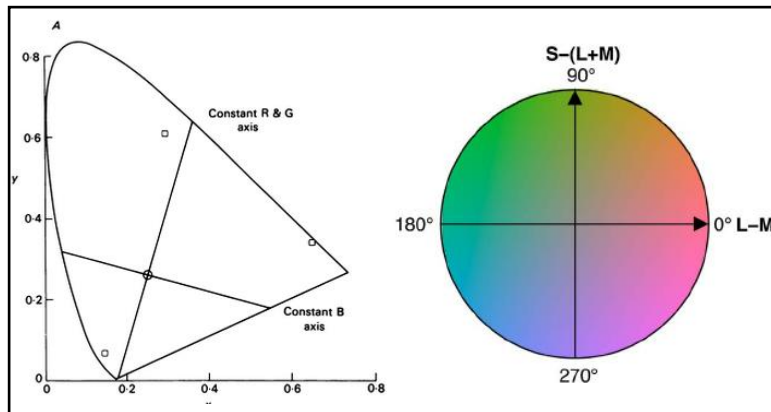


Figura 2. Izquierda: Representación de las direcciones cardinales en el espacio CIEXYZ (Derrington et al., 1984). Derecha: Representación del espacio de color de las direcciones cardinales según la respuesta de las células (Hansen et. Al, 2005).

$$\begin{pmatrix} dA \\ dT \\ dD \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -\frac{L_0}{M_0} & 0 \\ -1 & -1 & \frac{L_0 + M_0}{S_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta L \\ \Delta M \\ \Delta S \end{pmatrix} \quad (1)$$

El vector  $(L_0 M_0 S_0)$  representa las respuestas de los conos a un adaptador o fondo, mientras que  $(\Delta L \Delta M \Delta S)$  representaría el cambio en dichas respuestas debido a la presencia de un estímulo sobre dicho fondo, y  $(dA dT dD)$

representaría el cambio en la respuesta de los mecanismos al aparecer el estímulo.

Las direcciones cardinales se corresponderían con los ejes  $0^\circ$  y  $90^\circ$  (Figura 2), del plano de  $\Delta A = \text{cte}$ ; y quedarían representadas en los estímulos como:

$$\text{Dirección T} = (0 \ \Delta T \ 0) \quad \text{Dirección D} = (0 \ 0 \ \Delta D)$$

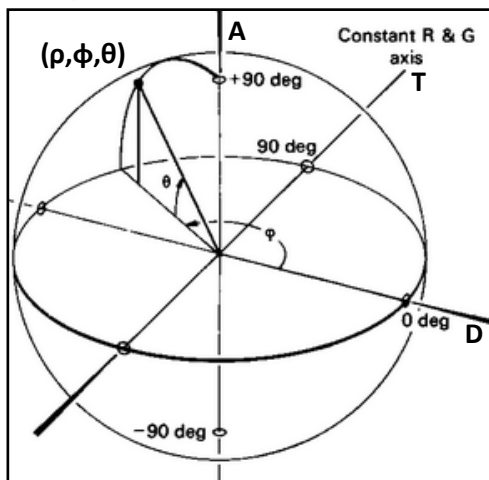
### 3. ESTÍMULOS FUERA DE LAS DIRECCIONES CARDINALES

Las direcciones cardinales previamente descritas serían las de un sujeto patrón cuyos conos pueden describirse mediante las curvas de sensibilidad espectral determinadas por Smith y Pokorny, y que representan a un sujeto normal promedio.

Sin embargo, las direcciones cardinales de cada sujeto son diferentes, por lo que en vez de evaluar la sensibilidad de un paciente en una única dirección que puede no ser la suya, se ha decidido obtener medidas en un rango de direcciones más amplio que pueda cubrir su dirección cardinal.

Así, queremos evaluar rectas adyacentes a T y D (Figura 3), que puedan cubrir la región donde se encuentren las verdaderas direcciones cardinales de nuestro paciente.

La definición de estas direcciones adyacentes es mucho más simple si transformamos las coordenadas cartesianas A, T, D a coordenadas cilíndricas, en la forma dada por las Ecuaciones (2), (3) y (4) (Sokolov, 2011), quedando de la siguiente manera:



$$\Delta A = 0 \quad (2)$$

$$\Delta T = \rho * \cos \varphi \quad (3)$$

$$\Delta D = \rho * \sin \varphi \quad (4)$$

siendo  $\rho$  el módulo la señal máxima que podemos generar y  $\varphi$  el ángulo que forma el vector que define el color en el plano de  $A = \text{cte}$  (Dawkins, 2003).

Figura 3. Representación conceptual del espacio de color de las direcciones cardinales (Derrington et al., 1984).

En nuestro caso,  $\varphi_T = 0^\circ \pm 25$

$$\varphi_D = 90^\circ \pm 1,5$$

## 4. USO DEL PROGRAMA DEMO\_ESTIMULS

Para la creación de los estímulos en los ejes de las direcciones cardinales, debemos abrir el programa *Demo\_estimuls* (Luque et al., 2014) y rellenar los datos del dominio y los parámetros del estímulo (Figura 4a y Apartado 5.1). El espacio de definición elegido debe ser el XYZ, de manera que haremos uso de la calculadora de Matlab para pasar de valores DAC→XYZ en el caso del fondo y ATD-DKL→XYZ (Figuras 4b, 4c) para los estímulos.

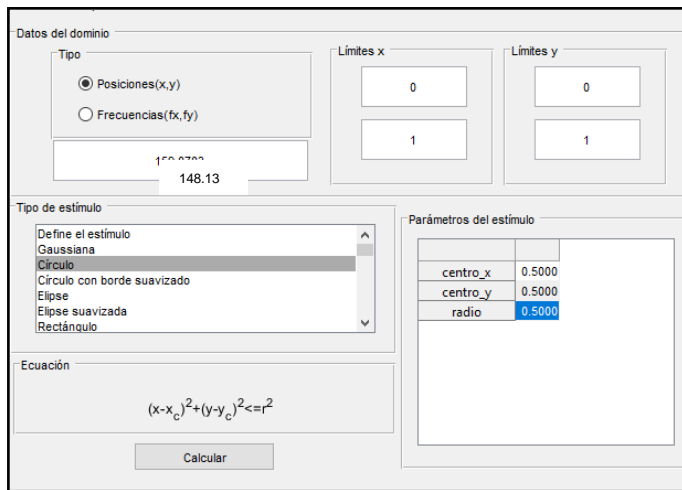


Figura 4a. Datos del dominio espacial y parámetros del estímulo en la aplicación *Demo\_Estimuls* de Matlab.

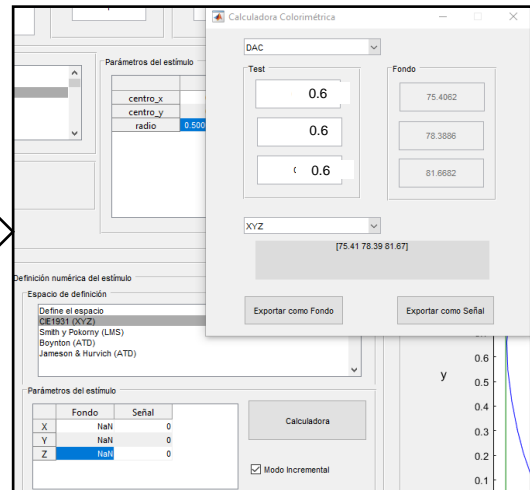


Figura 4b. Paso de valores DAC→XYZ del fondo mediante la calculadora de *Demo\_Estimuls*.

Al generar el estímulo desde el sistema ATD-DKL (Figura 4c), debemos aislar los canales (dejar el valor estímulo de los otros canales a 0) para movernos en las direcciones cardinales. Cambiando los valores manualmente, se han obtenido los límites generables (Apartado 5.2).

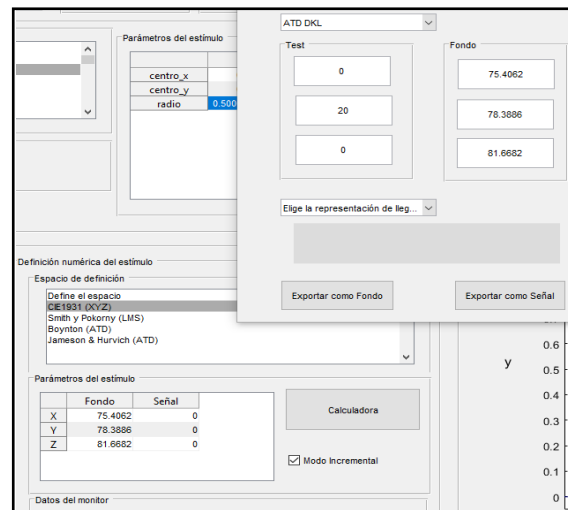


Figura 4c. Paso de valores ATD-DKL→XYZ mediante la calculadora de *Demo\_Estimuls* para generar estímulos.

Para poder obtener los estímulos de mayor pureza colorimétrica en los 4 ejes posicionados fuera de las direcciones cardinales, debemos utilizar las

Ecuaciones (2)-(3) que nos permiten pasar de las coordenadas cartesianas a cilíndricas, con los valores obtenidos en el modelo ATD-DKL (Ec. (1)).

Una vez obtenidos los valores máximos para todos los ejes, hemos obtenido y generado los valores intermedios en pasos logarítmicos para cada uno. En concreto, hemos decidido mostrar 10 valores para cada eje durante el test, de manera que hemos programado en un script de Matlab la obtención de estos 10 valores “módulos”, y tras ello mediante unos bucles hemos obtenido sus correspondientes valores XYZ (Apartado 5.4).

## 5. PROGRAMACIÓN MATLAB

5.1. Script de Matlab mostrando cómo delimitar el tamaño de nuestro fondo, la formación de la matriz “Centros” con las 13 posiciones de aparición de los estímulos, y el comando para escoger aleatoriamente una posición

```
N=740.67; M=740.67;
L=21.85;H=21.85;
x=linspace(-L/2,L/2,N);
y=linspace(H/2,-H/2,M);
[x,y]=meshgrid(x,y);
px5=(tan(5*pi/180)*50*200)/5.9;

Centros=[M/2 M-(px5/2);px5+(px5/2) M-px5-(px5/2);M/2 M-px5-(px5/2);M-
px5-(px5/2) M-px5-(px5/2);px5/2 M/2;px5+(px5/2) M/2;M/2 M-(2*px5)-
(px5/2);3*px5+(px5/2) M/2;4*px5+(px5/2) M/2;px5+(px5/2)
px5+(px5/2);M/2 M-(3*px5)-(px5/2);M-px5-(px5/2) px5+(px5/2);M/2 M-
(4*px5)-(px5/2)];

%EVALUACIÓN PUNTOS ALEATORIOS:
idx=randperm(numel(Centros));
Centros(idx(1:2)) %Ejecutar estos dos juntos para
obtener valores aleatorios
```

5.2. Script de Matlab mostrando los límites generables por luminancia y cromaticidad en las direcciones cardinales obtenidos manualmente en ATD-DKL y pasados a XYZ.

```
%FONDO DAC 0.7
FDAC=[0.6 0.6 0.6];
Fxyz=[46.62 49.87 68.93];

LimT=[8.5]; %No vamos a presentar estimulo verde, nos lo ahorramos
LRxyz=[atd2xyz([0 LimT 0],2,13,Fxyz)];
LimD=[55]; %No vamos a presentar estímulo amarillo, nos lo ahorramos
LBxyz=[atd2xyz([0 0 LimD],2,13,Fxyz)];
```

### 5.3. Script de Matlab mostrando los cálculos de los valores límite de las rectas a $\pm 5^\circ$ de las direcciones cardinales

```

%MAXIMO ROJO +25°
    p1=[0 LimT 0]; %Elegimos el limite 13 pues está en el sentido de
los tonos rojos
    Tr_25=p1(1,2)*cos(25*pi/180);
    Dr_25=p1(1,2)*sin(25*pi/180);
    Ar_25=p1(1,3);
    ATDr_25=[Ar_25 Tr_25 Dr_25]; %Máximo ROJO +25° ATD-DKL
    LRxyz_25=[atd2xyz(ATDr_25,2,13,Fxyz)] %Lo pasamos a xyz

%MAXIMO ROJO -25°
    Tr_menos25=p1(1,2)*cos(-25*pi/180);
    Dr_menos25=p1(1,2)*sin(-25*pi/180);
    Ar_menos25=p1(1,3);
    ATDr_menos25=[Ar_menos25 Tr_menos25 Dr_menos25] %Máximo ROJO -25°
ATD-DKL
    LRxyz_menos25=[atd2xyz(ATDr_menos25,2,13,Fxyz)] %Lo pasamos a xyz

%MÁXIMO AZUL +91.5°
    p2=[0 0 LimD]; %Elegimos el limite 91 pues está en el sentido de
los tonos azules
    Tb_91_5=p2(1,3)*cos(91.5*pi/180);
    Db_91_5=p2(1,3)*sin(91.5*pi/180);
    Ar_91_5=p2(1,1);
    ATDb_91_5=[Ar_91_5 Tb_91_5 Db_91_5] %MAXIMO AZUL +91.5° ATD-DKL
    LBxyz_91_5=[atd2xyz(ATDb_91_5,2,13,Fxyz)] %Lo pasamos a xyz

%MAXIMO AZUL +88.5°
    Tb_88_5=p2(1,3)*cos(88.5*pi/180);
    Db_88_5=p2(1,3)*sin(88.5*pi/180);
    Ab_88_5=p2(1,1);
    ATDb_88_5=[Ab_88_5 Tb_88_5 Db_88_5] %MAXIMO AZUL +88.5° ATD-DKL
    LBxyz_88_5=[atd2xyz(ATDb_88_5,2,13,Fxyz)] %Lo pasamos a xyz

```

### 5.4. Script de Matlab para la obtención de los 10 valores XYZ en pasos logarítmicos de cada eje partiendo del valor máximo previo

```

%Obtenemos como "modulo" los 10 puntos en cada eje espaciados en pasos
logarítmicos

V_B_90=logspace(log10(norm([LBxyz*(0.5/10)])),log10(norm([LBxyz])),10)
;
V_B_91_5=logspace(log10(norm([LBxyz_91_5*(0.5/10)])),log10(norm([LBxyz_91_5])),10);
V_B_88_5=logspace(log10(norm([LBxyz_88_5*(0.5/10)])),log10(norm([LBxyz_88_5])),10);
V_R_0=logspace(log10(norm([LRxyz*(0.5/10)])),log10(norm([LRxyz])),10);
V_R_25=logspace(log10(norm([LRxyz_25*(0.5/10)])),log10(norm([LRxyz_25])),10);
V_R_menos25=logspace(log10(norm([LRxyz_menos25*(0.5/10)])),log10(norm([LRxyz_menos25])),10);

```

```

%OBTENEMOS LOS VALORES XYZ PARA CADA PUNTO EN BUCLE
%B_90
for nv=1:10
XYZ_B_90(nv,:)=V_B_90(nv)*(LBxyz)/(norm(LBxyz));
end
CXYZ_B_90=[XYZ_B_90(10,:);XYZ_B_90(9,:);XYZ_B_90(8,:);XYZ_B_90(7,:);XYZ
Z_B_90(6,:);XYZ_B_90(5,:);XYZ_B_90(4,:);XYZ_B_90(3,:);XYZ_B_90(2,:);XYZ
Z_B_90(1,:)]
%B_91.5
for nv=1:10
XYZ_B_91_5(nv,:)=V_B_91_5(nv)*(LBxyz_91_5)/(norm(LBxyz_91_5));
end
CXYZ_B_91_5=[XYZ_B_91_5(10,:);XYZ_B_91_5(9,:);XYZ_B_91_5(8,:);XYZ_B_91
_5(7,:);XYZ_B_91_5(6,:);XYZ_B_91_5(5,:);XYZ_B_91_5(4,:);XYZ_B_91_5(3,:
);XYZ_B_91_5(2,:);XYZ_B_91_5(1,:)]
%B_88.5
for nv=1:10
XYZ_B_88_5(nv,:)=V_B_88_5(nv)*(LBxyz_88_5)/(norm(LBxyz_88_5));
end
CXYZ_B_88_5=[XYZ_B_88_5(10,:);XYZ_B_88_5(9,:);XYZ_B_88_5(8,:);XYZ_B_88
_5(7,:);XYZ_B_88_5(6,:);XYZ_B_88_5(5,:);XYZ_B_88_5(4,:);XYZ_B_88_5(3,:
);XYZ_B_88_5(2,:);XYZ_B_88_5(1,:)]
%R_0
for nv=1:10
XYZ_R_0(nv,:)=V_R_0(nv)*(LRxyz)/(norm(LRxyz));
end
CXYZ_R_0=[XYZ_R_0(10,:);XYZ_R_0(9,:);XYZ_R_0(8,:);XYZ_R_0(7,:);XYZ_R_
0(6,:);XYZ_R_0(5,:);XYZ_R_0(4,:);XYZ_R_0(3,:);XYZ_R_0(2,:);XYZ_R_0(1,:
)]
%R_25
for nv=1:10
XYZ_R_25(nv,:)=V_R_25(nv)*(LRxyz_25)/(norm(LRxyz_25));
end
CXYZ_R_25=[XYZ_R_25(10,:);XYZ_R_25(9,:);XYZ_R_25(8,:);XYZ_R_25(7,:);XY
Z_R_25(6,:);XYZ_R_25(5,:);XYZ_R_25(4,:);XYZ_R_25(3,:);XYZ_R_25(2,:);XY
Z_R_25(1,:)]
%R_menos_25
for nv=1:10
XYZ_R_menos25(nv,:)=V_R_menos25(nv)*(LRxyz_menos25)/(norm(LRxyz_menos2
5));
end
CXYZ_R_menos25=[XYZ_R_menos25(10,:);XYZ_R_menos25(9,:);XYZ_R_menos25(8
,:);XYZ_R_menos25(7,:);XYZ_R_menos25(6,:);XYZ_R_menos25(5,:);XYZ_R_men
os25(4,:);XYZ_R_menos25(3,:);XYZ_R_menos25(2,:);XYZ_R_menos25(1,:)]

```



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Derrington, A.M., Krauskopf, J. y Lennie, P. (1984). Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *The Journal of Physiology*, 65, 357-241. doi:10.1113/jphysiol.1984.sp015499

Hansen, T. y Gegenfurtner, K.R. (2005). Classification images for chromatic signal detection. *Journal of the Optical Society of America*, 22, 2081-2089. doi:10.1364/JOSAA.22.002081

M.J.Luque, D. de Fez Sáiz, J.M.Lopez, M.C.García-Domene, M.A. Díez-Ajenjo (2014), *Demo\_Estimuls. Materials per la generació i control d'estimuls visuals a l'aula*, Roderic UV:10550/37340

Luque, M.J., Capilla, P. y Malo, J. en Capilla, P., Artigas, J.M. y Pujol, J. (2002). *Fundamentos de la colorimetría* (pp. 52-53). Valencia: Universidad de Valencia.

Sokolov, D.D. (2011). *Cylinder coordinates*, *Encyclopedia of Mathematics*. Recuperado de <https://bit.ly/2t2KUyF>