

ARGENCOLOR 1992

ACTAS DEL PRIMER CONGRESO ARGENTINO DEL COLOR

Editadas por

José Luis Caivano
Gustavo A. Defeo
Roberto Daniel Lozano

Publicadas por el

Grupo Argentino del Color

Buenos Aires
1994

ArgenColor 1992
Primer Congreso Argentino del Color
20-22 de octubre de 1992
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de Buenos Aires
Organizado por el Grupo Argentino del Color,
con el apoyo de la Secretaría de Extensión Universitaria de la Facultad

Cubierta: Triángulo de colores CIE 1931

Clasificación Decimal Universal
535.6:7
535.6:159.937.51
535.6:159.938

ISSN 0328-1345
ISBN 950-99498-3-3

copyright 1994

Grupo Argentino del Color
Sector de Física Industrial
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Casilla de Correo 157
1650 San Martín
Provincia de Buenos Aires
Argentina

Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723

Esta obra no puede ser reproducida por ningún medio sin la autorización de los
titulares del copyright.
El título de los congresos y de las actas es propiedad del Grupo Argentino del Color.

Impreso en Argentina
Printed in Argentina
Realizado en Ediciones INTI

APARIENCIA (CESIA): FORMACION DE ESCALAS A PARTIR DE DISCOS GIRATORIOS¹²

José Luis CAIVANO

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, UBA, y CONICET

Introducción

Con el nombre de apariencia se suele aludir en un sentido amplio a una serie de aspectos visuales en los que se incluye el color, la textura, el brillo, la translucencia, la transparencia e incluso, a veces, la forma y tamaño de los objetos (Hunter 1975: v; Green-Armytage 1989: 1). En este contexto se suele definir al color como el aspecto de la apariencia que resulta de las diferencias en la *distribución espectral* de la luz, aquello a que nos referimos cuando decimos que algo es rojo, verde, azul, amarillo, blanco, negro o de cualquier otro tono intermedio. Por otro lado, existe todo un campo que se refiere a aquellas condiciones que producen diferencias en la *distribución espacial* de la luz y que hacen que veamos algo como transparente, translúcido, especular, brillante, mate, etc.

Para estas últimas sensaciones visuales no existe aún un término genérico que tenga aceptación general. Hunter (1975: 4) se refiere a estos aspectos como atributos geométricos de la apariencia, incluyendo también la textura bajo este rótulo; Green-Armytage (1989: 1) los diferencia de la textura y los denomina cualidad de las superficies; Jannello acuñó el término cesía (Jannello 1984: 1; Caivano 1991: 259), el cual también excluye la textura y parece apropiado para nombrar a un objeto de estudio que es independiente del color no obstante estar estrechamente relacionado con el mismo.

Así, el término cesía se utiliza aquí para las sensaciones visuales que dependen de la distribución espacial de la luz, de la misma manera que el término color se utiliza para las sensaciones visuales que dependen de la distribución espectral de la luz.

Así como el color no es una propiedad intrínseca de los materiales o de las superficies, tampoco la cesía lo es. A la producción de una determinada sensación de cesía contribuyen tanto las propiedades físicas del material respecto de la transmisión, absorción, reflexión y difusión de la luz, como las condiciones de iluminación (intensidad y dirección de la luz) y el ángulo de observación por parte del sujeto. Por ejemplo, un mismo objeto puede aparecer con distintas cesías: un vidrio común luce transparente si es observado en una dirección perpendicular a su superficie y se comporta casi como un espejo cuando es mirado en un ángulo cerrado; una estatuilla de porcelana parece mate si es iluminada con luz difusa y de baja intensidad y se ve muy brillante si es iluminada por una fuente puntual de bastante intensidad.

¹² Una versión inglesa de este trabajo será publicada en *Color Research and Application* **19** (5), 1994.

Es necesario establecer desde el principio una diferencia entre el estímulo, la variable física que puede ser objetivamente medida por instrumentos, y la sensación, la variable psicológica, que es subjetiva o puede considerarse intersubjetiva si se refiere a un observador promedio. Ambas variables no se correlacionan generalmente en forma lineal, es decir que un determinado incremento respecto del estímulo no siempre representa un incremento equivalente en la sensación. Una ley psicofísica debida a Gustav Fechner y que se verifica con bastante aproximación en muchos casos es que la sensación varía proporcionalmente al logaritmo del estímulo. Más recientemente, Stanley Stevens (1975) encontró que la sensación (o magnitud subjetiva o aparente) aumenta en relación a una potencia de la magnitud del estímulo. El exponente es diferente para cada tipo de percepción sensorial y hay que definirlo por métodos experimentales en cada caso.

Al producir escalas de cesía se debe tratar, al igual que en el caso del color, que los intervalos resulten perceptualmente iguales. Así, si establecemos una escala con diez pasos, el punto 5 debe percibirse como la sensación media entre el punto 1 y el punto 10 y el intervalo que se produce del 1 al 2 debe verse igual al que se produce del 2 al 3, del 3 al 4 y así sucesivamente.

Método

Para generar estas escalas se partió de cinco sensaciones de cesía consideradas como primarias. En esta primera instancia se decidió mantener aislada la cuestión del color, por lo cual se buscó que las cesías primarias fueran acromáticas o incoloras, es decir sin ninguna selectividad respecto de la longitud de onda de la luz reflejada o transmitida por las muestras. Las sensaciones primarias son: la transparencia, la reflexión especular, la translucencia, la reflexión difusa y la absorción.

Para producir los estímulos que dan origen a estas cinco sensaciones primarias se consideran los siguientes patrones ideales:

Transparencia: un transmisor perfecto, con coeficiente 1 (100 %) de transmitancia regular. El aire puede considerarse como tal (Hunter 1975: 247; Lozano 1978: 165).

Reflexión especular: un espejo perfecto, con coeficiente 1 (100 %) de reflectancia regular. Lo que más se aproxima a esto es una superficie de aluminio evaporado sobre vidrio (Hunter 1975: 247).

Traslucencia: un transmisor difuso perfecto, con coeficiente 1 (100 %) de transmitancia difusa. No existe ningún material que se acerque lo suficiente a este ideal. Un material que se aproximara debería ser tal que colocado como tapa de una caja forrada de terciopelo negro e iluminado desde afuera se viera negro (es decir que dejara pasar la luz hacia el interior de la caja sin producir reflexión en su superficie) y puesto al trasluz de una fuente puntual se viera como una superficie blanca uniforme (es decir que dejara pasar la luz difundiéndola).

Reflexión difusa: un blanco mate perfecto, con coeficiente 1 (100 %) de reflectancia difusa. Lo que más se aproxima a esto es una superficie con polvo de sulfato de bario en estado puro (Hunter 1975: 247; Lozano 1978: 170).

Absorción: un negro perfecto, con coeficiente 1 (100 %) de absorción. Lo que más se aproxima a esto es la superficie interior de una caja forrada con terciopelo negro y con solo una pequeña abertura por donde mirar (Munsell 1905 [1946: 58]).

Como muestras para los discos se escogieron los siguientes materiales, todos ellos acromáticos o incoloros: aire para la transparencia, poliéster metalizado de 125 micrones de espesor para la reflexión especular, film poliéster de 210 micrones de espesor para la translucencia, cartulina blanca mate para la reflexión difusa, cartulina negra mate para la absorción.

Estos materiales, salvo el aire que en condiciones de limpidez y en una distancia corta tiene un coeficiente de transmitancia igual a 1 (100 %), solo se aproximan a los estímulos ideales para cada caso.

De todas formas, hay que adoptar como estímulos para las sensaciones primarias, muestras materiales obtenibles que se aproximen lo más posible a los patrones ideales. Los siguientes valores corresponden a muestras reales que pueden considerarse prácticamente como las mejores obtenibles; en el caso de la transparencia es posible tomar el aire, que responde al patrón ideal.

	reflectancia (%)		transmitancia (%)	
	regular	difusa	regular	difusa
blanco	1	90	0	0
negro	1	2	0	0
espejo	95	1	0	0
traslúcido	0	12	0	85
transparente	0	0	100	0

De acuerdo con el esquema del atlas de cesías expuesto en una publicación anterior (Caivano 1991), se formaron ocho escalas de cinco términos cada una (Figura 1).

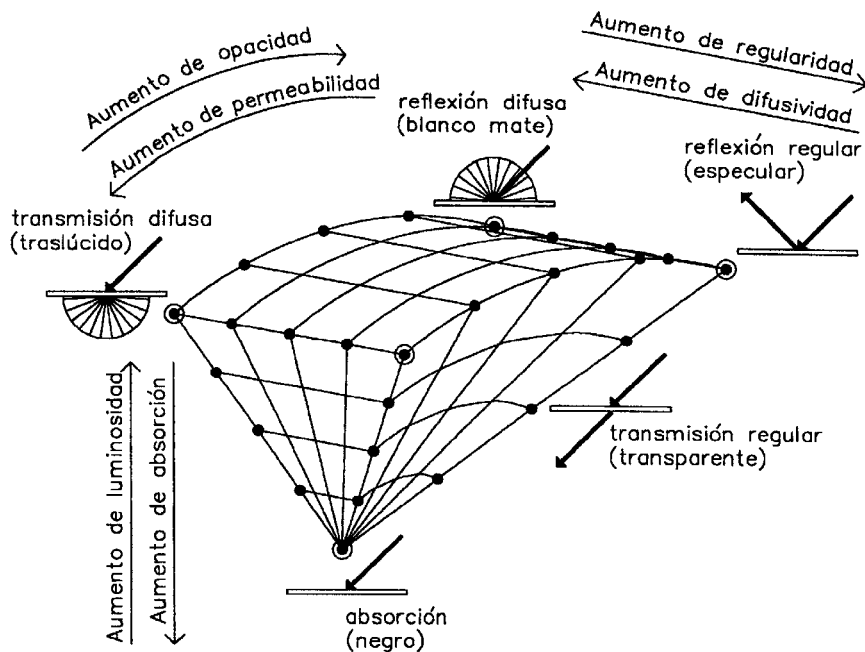


Figura 1. Sólido de cesías con las cinco sensaciones primarias y los tres tipos de variación. Las ocho escalas desarrolladas se ubican en las ocho aristas. Además de estas, todo tipo de escalas pueden formarse, tanto moviéndose por la superficie exterior como yendo hacia el interior del volumen.

Las escalas, mantenidas dentro del campo de lo acromático e incoloro y definidas por sus polos opuestos, son:

- | | | |
|------------------------------|---|------------------------------------|
| 1) blanco mate - negro | } | escalas de absorción/luminosidad |
| 2) especular - negro | | |
| 3) traslúcido - negro | | |
| 4) transparente - negro | | |
| 5) especular - blanco mate | } | escalas de difusividad/regularidad |
| 6) transparente - traslúcido | | |
| 7) especular - transparente | } | escalas de permeabilidad/opacidad |
| 8) blanco mate - traslúcido | | |

La variación de la sensación en cada escala puede ser expresada en una dirección (por ejemplo, sensación de absorción) o en la dirección opuesta (sensación de luminosidad). Yendo de un polo al otro en la escala una de las sensaciones aumenta mientras la otra disminuye.

Los términos en cada escala se expresan por medio de coeficientes (0 - 0,25 - 0,50 - 0,75 - 1) o por medio de porcentajes (0 % - 25 % - 50 % - 75 % - 100 %). Estos coeficientes o porcentajes no se refieren a los estímulos sino a las sensaciones; ellos son números que expresan magnitudes de las sensaciones. Esto significa que cuando se lee 0,50 o 50 % no quiere decir que los estímulos opuestos de la escala están presentes en mitades o partes iguales sino que la sensación que se experimenta es tal que es percibida como el punto medio entre las sensaciones primarias de los dos extremos de la escala.

Para construir las escalas se utilizó el mismo principio de mezcla aditiva que se verifica cuando se hacen girar discos coloreados por encima de la frecuencia de fusión. Varios estímulos distintos (dados por las porciones de distinto color en el disco) se funden y producen la sensación de un color homogéneo que equivale a la síntesis aditiva de los colores intervinientes. En el caso de las cesías sucede lo mismo. Si, por ejemplo, se hace girar un disco con una porción transparente y otra especular, la transmisión y la reflexión de la luz serán proporcionales a cada una de las porciones respectivamente, y la sensación producida será una síntesis de ambas.

Geometrías de observación de los discos para la formación de las escalas

Para la formación de cada tipo de escala fue necesario adoptar una geometría de observación, una iluminación y una disposición de elementos particulares.

1) La escala blanco-negro es una clásica escala de grises opacos. Una disposición adecuada consiste en iluminar a 45° y observar los discos a 90° sobre un fondo gris medio (Figura 2.1). Se partió de esta escala por dos motivos: la posibilidad de compararla con las escalas de grises existentes (en particular Munsell) y el hecho de que las otras tres escalas de absorción/luminosidad (las que tienen como uno de sus polos el negro) serían construidas con referencia a esta.

2) Para la escala especular-negro se iluminó una superficie blanca mate ubicada a 45° por delante de los discos y se observó la reflexión producida en los discos. Se buscó igualar las sensaciones producidas por la escala de grises anterior (Figura 2.2).

3) Para la escala traslúcido-negro se iluminó un fondo blanco por detrás de los discos y se lo observó a 90° a través de los mismos buscando igualar las sensaciones producidas por la escala de grises (Figura 2.3).

4) Para la escala transparente-negro se siguió el mismo procedimiento que para la escala anterior; se iluminó un fondo blanco por detrás de los discos y se lo observó a 90° a través de los mismos, buscando igualar las sensaciones producidas por la escala de grises (Figura 2.3).

Para las dos escalas de difusividad/regularidad se iluminó una superficie con una textura visual regularmente distribuida y se trató de que las escalas produjeran una variación con intervalos perceptualmente iguales respecto de la nitidez con que se veía dicha textura visual.

5) Para la escala especular-blanco, dicha superficie se ubicó por delante de los discos para que fuese reflejada por los mismos (Figura 2.4).

6) Para la escala transparente-traslúcido, la superficie texturada fue ubicada como fondo por detrás de los discos y se la observó a través de los mismos (Figura 2.5).

7) Para la escala de permeabilidad/opacidad especular-transparente se ubicó una superficie con un rayado en una sola dirección por detrás de los discos y una superficie similar por delante de los mismos pero dispuesta con la dirección del rayado en forma perpendicular a la anterior (Figura 2.6). Se buscó en primer lugar el punto medio de la escala, es decir, aquel en donde se observara un cuadrículado con la misma intensidad en ambas direcciones. A partir de este punto medio y con cada uno de los extremos se determinaron las sensaciones intermedias correspondientes.

8) La escala de permeabilidad/opacidad blanco-traslúcido es de una determinación particularmente difícil ya que aquí también, al igual que en la escala anterior, hay que evaluar la cantidad subjetiva de luz vista por transmisión y por reflexión pero, al ser ambas difusas, no puede hacerse con la ayuda de patrones en direcciones cruzadas como en el otro caso. Se utilizó entonces una superficie con un color muy saturado y lo bastante alejado del blanco respecto de su luminosidad (un azul intenso). Se ubicó esta superficie por detrás de los discos iluminando desde adelante y desde atrás de los mismos, haciendo que el extremo con la muestra translúcida se viera coloreado y el extremo con la muestra blanca se viera blanco. Luego se evaluó la escala como una gradación regular del tinte hacia el blanco (Figura 2.7).

Todas estas disposiciones fueron hechas para construir las escalas. Ahora bien, para mostrar las escalas ya construidas de manera que puedan ser diferenciadas, se hace necesario en ciertos casos cambiar algunos de los elementos de las disposiciones descritas.

Así, las tres escalas de absorción especular-negro, translúcido-negro y transparente-negro, fueron construidas, como vimos, colocando una superficie blanca por delante o por detrás de los discos con el fin de poder evaluarlas en relación a la escala blanco-negro. En tales condiciones, las cuatro escalas se ven iguales; para diferenciarlas es necesario cambiar el tipo de superficie que se ve por reflexión o transmisión.

Entonces, para la escala especular-negro, el hecho de que se la ve por reflexión y que tal reflexión es regular (a diferencia de la escala blanco-negro en que es difusa) se evidencia colocando por delante de los discos una superficie con una textura visual y por detrás un fondo liso. Los discos reflejarán la superficie texturada.

Para la escala translúcido-negro, el hecho de que se la ve por transmisión es evidenciado colocando una textura visual por detrás de los discos. La luz se percibe viniendo desde atrás de los discos mientras que la textura desaparece completamente (se hace difusa) en los sectores observados a través de los discos.

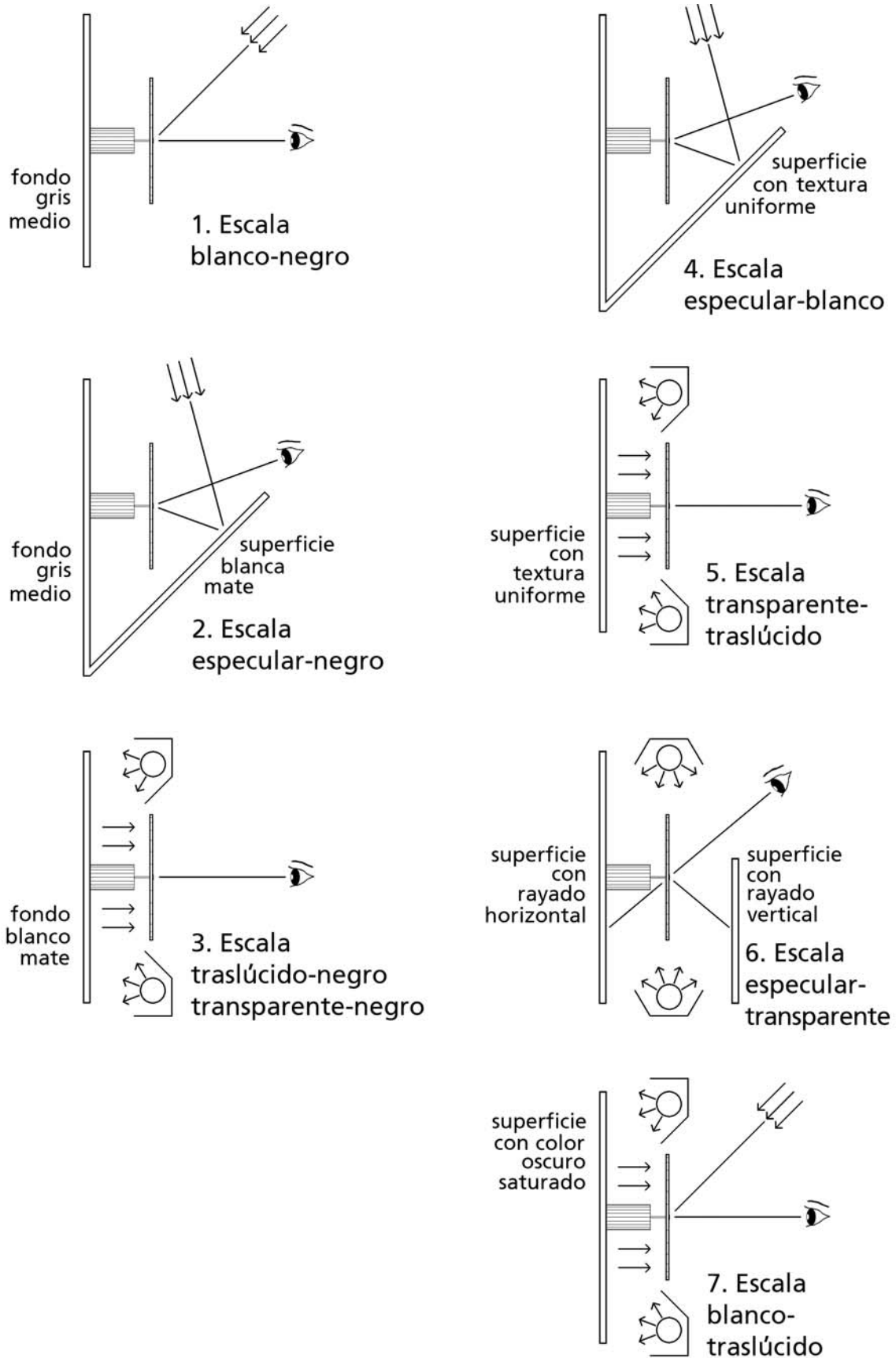


Figura 2. Geometrías adoptadas para la evaluación de las diferentes escalas de cesía.

Para la escala transparente-negro, el hecho de que se la ve por transmisión y que tal transmisión es regular, se evidencia colocando, en lugar del fondo blanco utilizado para su construcción, un fondo con una textura visual regular. Así podemos darnos cuenta de que lo que se ve a través de los discos es la radiación proveniente de dicho fondo.

La Figura 3 muestra representaciones icónicas de las ocho escalas. Las sensaciones reales pueden obtenerse solamente por visión directa de los discos en rotación o pueden ser evocadas por fotografías.

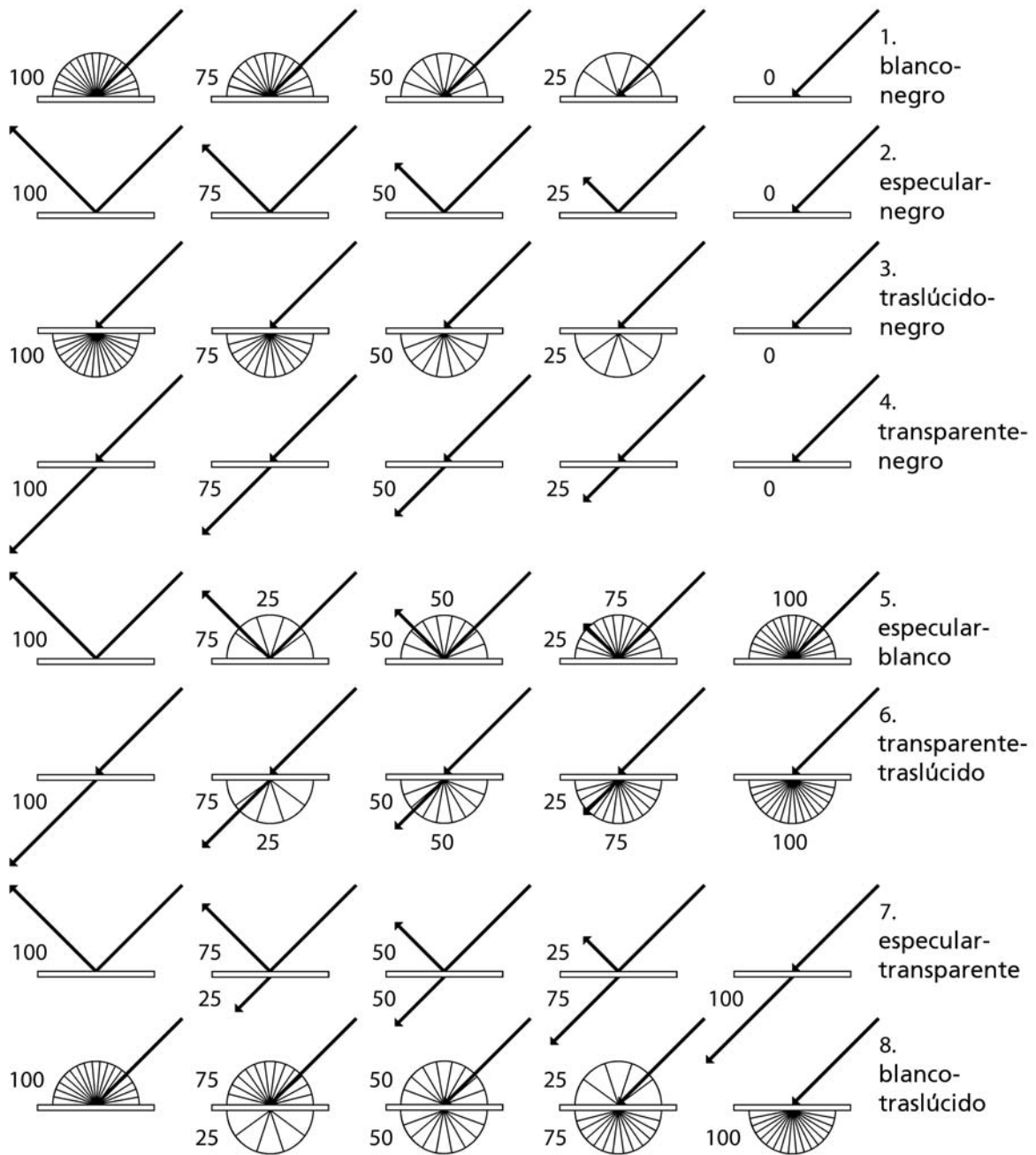


Figura 3. Representación icónica de las ocho escalas de cesio. Los números representan magnitudes de sensaciones expresados en porcentajes.

Construcción numérica de las escalas

Se describe a continuación el procedimiento utilizado en esta oportunidad para construir numéricamente las escalas. Esta no es la única manera de acometer esta tarea sino solo un ejemplo de cómo puede llevarse a cabo. Por otra parte, los dispositivos utilizados, las muestras, las mediciones y las evaluaciones subjetivas pueden ser mejoradas para calcular los estímulos que dan lugar a las escalas de manera más exacta.

Como punto de partida, se adoptó una relación de potencia entre sensación y estímulo, tal como es prevista por la ley de Stevens (1975: 13-17):

$$\text{sensación} = k \cdot \text{estímulo}^{\beta}. \quad (1)$$

En nuestro caso se trata de obtener los estímulos correspondientes a una escala de magnitudes subjetivas fijada de antemano. Despejando el estímulo:

$$\text{estímulo} = \sqrt[\beta]{\frac{\text{sensación}}{k}}. \quad (2)$$

Se tomó β con el valor 0,5, que corresponde a las sensaciones de luminosidad. Este número da, en el caso de la escala de grises, una serie de estímulos de reflectancia que concuerdan bastante bien con las reflectancias de la escala de grises Munsell, sobre todo en los valores intermedios y altos (ver Lozano 1978: 376). Con este exponente (puesto como radical en este caso) se construyó nuestra escala de grises de cinco términos. Como se vio, todas las escalas de absorción se construyeron luego por comparación con esta. Así, para cada una de las escalas especular-negro, traslúcido-negro y transparente-negro se produjo una serie de cinco discos manteniendo las mismas proporciones que los de la escala de grises, es decir, utilizando el mismo valor de β . Al ser evaluadas por rotación, estas escalas probaron ser correctas. Para las otras escalas se experimentaron diferentes valores de β mediante un método de aproximaciones sucesivas.

De acuerdo con las observaciones realizadas, se obtuvieron escalas uniformes con los siguientes valores de β :

escalas de absorción/luminosidad

blanco-negro	$\beta = 0,5$
especular-negro	$\beta = 0,5$
traslúcido-negro	$\beta = 0,5$
transparente-negro	$\beta = 0,5$

escalas de difusividad/regularidad

especular-blanco	$\beta = 1$
transparente-traslúcido	$\beta = 0,7$

escalas de permeabilidad/opacidad

especular-transparente	$\beta = 1,6$
blanco-traslúcido	$\beta = 1$

Retomando la fórmula de Stevens, y agregando ahora el estímulo en relación al umbral del mismo (en nuestro caso este umbral es el valor mínimo de reflectancia o transmitancia de las muestras reales con que se trabaja), tenemos:

$$sensación = k \cdot (estímulo - umbral)^\beta. \quad (3)$$

$$estímulo = \sqrt[\beta]{\frac{sensación}{k}} + umbral, \quad (4)$$

$$k = \frac{sensación}{(estímulo - umbral)^\beta}. \quad (5)$$

Las sensaciones se fijan en una escala de cinco términos: 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %. Los estímulos ideales, como vimos, poseen 0 % o 100 % de reflectancia o transmitancia, según el estímulo en cuestión. Los estímulos reales obtenibles cubren los siguientes rangos:

90 % a 2 % de reflectancia difusa,	escala blanco-negro
95 % a 1 % de reflectancia regular,	escala especular-negro
85 % a 0 % de transmitancia difusa,	escala traslúcido-negro
100 % a 0 % de transmitancia regular,	escala transparente-negro
95 % a 1 % de reflectancia regular,	escala especular-blanco
100 % a 0 % de transmitancia regular,	escala transparente-traslúcido
95 % a 0 % de reflectancia regular,	escala especular-transparente
90 % a 12 % de reflectancia difusa,	escala blanco-traslúcido

En relación a estímulos ideales, la constante k_i adopta los siguientes valores:

$k_i = 10$	cuando $\beta = 0,5$
$k_i = 3,981$	cuando $\beta = 0,7$
$k_i = 1$	cuando $\beta = 1$
$k_i = 0,063$	cuando $\beta = 1,6$

Cuando se calculan con respecto a los estímulos reales, la constante k_i toma valores diferentes, como se ve en el ángulo superior derecho de cada escala en la Tabla 1.

En la Tabla 1 se muestran los valores correspondientes para cada tipo de escala. En la columna *A* de esta Tabla aparecen los valores para una de las dos sensaciones en los extremos de la escala; la columna *B* da los valores de la sensación opuesta. Mientras que la sensación de la columna *A* disminuye, la de la columna *B* aumenta.

La columna A_1 da los estímulos ideales en porcentajes de reflectancia o transmitancia, sea difusa o regular. Estos valores son obtenidos con la fórmula (2), en la cual β y la constante k varían de acuerdo con el tipo de escala, y la sensación es tomada de la columna *A*. La columna A_2 da los correspondientes sectores de discos, medidos en grados.

$$A_2 = \frac{A_1 \cdot 360^\circ}{100} .$$

La columna B_1 da los porcentajes del otro sector del disco. Sus valores son obtenidos restando los valores de la columna A_1 de 100.

$$B_1 = 100 - A_1.$$

La columna B_2 da los sectores correspondientes de disco medidos en grados.

$$B_2 = \frac{B_1 \cdot 360^\circ}{100} \quad \text{ó} \quad B_2 = 360^\circ - A_2.$$

La columna A_3 da los aportes a los estímulos hechos por una de las muestras reales de la escala en términos de su reflectancia (R) o transmitancia (T), ya sea difusa o regular.

$$A_3 = \frac{A_1 \cdot R \text{ ó } T \text{ real}}{100} .$$

La columna B_3 da los aportes al mismo estímulo hechos por la otra muestra real en la escala.

$$B_3 = \frac{B_1 \cdot R \text{ ó } T \text{ real}}{100} .$$

La magnitud total de los estímulos aparece en la columna C , cuyos valores son obtenidos agregando los aportes hechos por cada uno de las dos muestras de la escala.

$$C = A_3 + B_3.$$

Puede verificarse que los valores de la columna C coinciden con los valores obtenidos con la fórmula (4) aplicada para cada tipo de escala en particular. Se observa que los valores de esta columna siguen la misma ley de incremento que los de la columna A_1 , pero cubriendo un rango menor, el rango dado por los estímulos producidos por las muestras reales disponibles. Ahora bien, ya que cada escala cubre un rango propio de acuerdo a los estímulos reales obtenibles, fácilmente puede verse que si bien los intervalos perceptuales son iguales dentro de cada escala, no lo son de una escala a otra. Para utilizar estas escalas y al mismo tiempo conservar la homogeneidad en los intervalos perceptuales en todo el sólido de las cesías, los ocho bordes del sólido deben escalarse de acuerdo con los valores dados en las columnas A_1 de la Tabla 1. Dentro de este escalamiento ideal pueden ubicarse proporcionalmente los intervalos de las escalas reales obtenibles (columnas C de la Tabla 1), las cuales generalmente no llegarán hasta los vértices del sólido. De esta manera, la longitud de los intervalos marcados en el sólido será proporcional a la diferencia perceptual entre los intervalos de cada escala.

Escalas de absorción/luminosidad

Blanco-negro (90 a 2 % reflectancia difusa)

$\beta=0,5$ $k_i=10$ $k_r=10,660$

sensación		blanco ideal		negro ideal		apt bla	apt neg	total
A (lum)	B (abs)	A ₁ (refl)	A ₂ (grd)	B ₁ (%)	B ₂ (grd)	A ₃ (refl)	B ₃ (refl)	C (refl)
100	0	100	360	0	0	90	0	90
75	25	56,25	202,5	43,75	157,5	50,625	0,875	51,5
50	50	25	90	75	270	22,5	1,5	24
25	75	6,25	22,5	93,75	337,5	5,625	1,875	7,5
0	100	0	0	100	360	0	2	2

Especular-negro (95 a 1 % reflectancia regular)

$\beta=0,5$ $k_i=10$ $k_r=10,314$

sensación		especular ideal		negro ideal		apt esp	apt neg	total
A (lum)	B (abs)	A ₁ (refl)	A ₂ (grd)	B ₁ (%)	B ₂ (grd)	A ₃ (refl)	B ₃ (refl)	C (refl)
100	0	100	360	0	0	95	0	95
75	25	56,25	202,5	43,75	157,5	53,437	0,437	53,875
50	50	25	90	75	270	23,75	0,75	24,5
25	75	6,25	22,5	93,75	337,5	5,937	0,937	6,875
0	100	0	0	100	360	0	1	1

Traslúcido-negro (85 a 0 % transmitancia difusa)

$\beta=0,5$ $k_i=10$ $k_r=10,846$

sensación		traslúc. ideal		negro ideal		apt trl	apt neg	total
A (lum)	B (abs)	A ₁ (trsm)	A ₂ (grd)	B ₁ (%)	B ₂ (grd)	A ₃ (trsm)	B ₃ (trsm)	C (trsm)
100	0	100	360	0	0	85	0	85
75	25	56,25	202,5	43,75	157,5	47,81	0	47,81
50	50	25	90	75	270	21,25	0	21,25
25	75	6,25	22,5	93,75	337,5	5,312	0	5,312
0	100	0	0	100	360	0	0	0

Transparente-negro (100 a 0 % transmitancia regular)

$\beta=0,5$ $k_i=10$ $k_r=10$

sensación		transpar. ideal		negro ideal		apt trp	apt neg	total
A (lum)	B (abs)	A ₁ (trsm)	A ₂ (grd)	B ₁ (%)	B ₂ (grd)	A ₃ (trsm)	B ₃ (trsm)	C (trsm)
100	0	100	360	0	0	100	0	100
75	25	56,25	202,5	43,75	157,5	56,25	0	56,25
50	50	25	90	75	270	25	0	25
25	75	6,25	22,5	93,75	337,5	6,25	0	6,25
0	100	0	0	100	360	0	0	0

Tabla 1. Construcción numérica de las escalas. Las explicaciones se dan en el texto.

Escalas de difusividad/regularidad

Especlar-blanco (95 a 1 % reflectancia regular)

$\beta=1$ $k_i=1$ $k_r=1,0638$

sensación		especlar ideal		blanco ideal		apt esp	apt bla	total
A (reg)	B (dif)	A ₁ (refl)	A ₂ (grd)	B ₁ (%)	B ₂ (grd)	A ₃ (refl)	B ₃ (refl)	C (refl)
100	0	100	360	0	0	95	0	95
75	25	75	270	25	90	71,25	0,25	71,5
50	50	50	180	50	180	47,5	0,5	48
25	75	25	90	75	270	23,75	0,75	24,5
0	100	0	0	100	360	0	1	1

Transparente-traslúcido (100 a 0 % transmitancia regular)

$\beta=0,7$ $k_i=3,981$ $k_r=6,309$

sensación		transpar. ideal		traslúc. ideal		apt trp	apt trl	total
A (reg)	B (dif)	A ₁ (trsm)	A ₂ (grd)	B ₁ (%)	B ₂ (grd)	A ₃ (trsm)	B ₃ (trsm)	C (trsm)
100	0	100	360	0	0	100	0	100
75	25	66,3	239	33,7	121	66,3	0	66,3
50	50	37,15	134	62,85	226	37,15	0	37,15
25	75	13,8	50	86,2	310	13,8	0	13,8
0	100	0	0	100	360	0	0	0

Escalas de permeabilidad/opacidad

Especlar-transparente (95 a 0 % reflectancia regular)

$\beta=1,6$ $k_i=0,063$ $k_r=0,0685$

sensación		especlar ideal		transpar. ideal		apt esp	apt trp	total
A (opc)	B (prm)	A ₁ (refl)	A ₂ (grd)	B ₁ (%)	B ₂ (grd)	A ₃ (refl)	B ₃ (refl)	C (refl)
100	0	100	360	0	0	95	0	95
75	25	83,54	301	16,46	59	79,37	0	79,37
50	50	64,84	233	35,16	127	61,6	0	61,6
25	75	42,04	151	57,96	209	39,94	0	39,94
0	100	0	0	100	360	0	0	0

Blanco-traslúcido (90 a 12 % reflectancia difusa)

$\beta=1$ $k_i=1$ $k_r=1,282$

sensación		blanco ideal		traslúc. ideal		apt bla	apt trl	total
A (opc)	B (prm)	A ₁ (refl)	A ₂ (grd)	B ₁ (%)	B ₂ (grd)	A ₃ (refl)	B ₃ (refl)	C (refl)
100	0	100	360	0	0	90	0	90
75	25	75	270	25	90	67,5	3	70,5
50	50	50	180	50	180	45	6	51
25	75	25	90	75	270	22,5	9	31,5
0	100	0	0	100	360	0	12	12

Tabla 1 (continuación). Construcción numérica de las escalas. Las explicaciones se dan en el texto.

Otras escalas

Las desarrolladas hasta aquí son solo las ocho escalas que se dan en los bordes del sólido de cesías. Hay dos más que pueden ser incluidas también entre las escalas básicas y que son las escalas transparente-blanco y especular-traslúcido que se dan en las diagonales del plano superior del modelo.

Pero además de estas, muchas otras escalas son posibles. Se puede formar una infinidad de ellas a partir de unir puntos intermedios del atlas (como semitransparente, semirreflejante, semimate, etc.) o a partir de unir cualquier otro par de puntos.

Podemos encontrar ejemplos de estas escalas en situaciones cotidianas. Green-Armytage menciona algunos casos. Uno de ellos es la escala transparente-oscuro que se observa cuando uno prepara una infusión y comienza con agua a la que va agregando hojas de té que la oscurecen progresivamente (1989: 10), o cuando se hace rotar una hoja de material polarizante frente a otra. Algunos pasos de esta escala pueden observarse en vidrios para control solar con distintos grados de absorción (1989: 6). Otro caso es la escala transparente-blanco que se da cuando agregamos paulatinamente leche al agua (1989: 10).

Hunter (1975: 30) refiere el aumento de difusión de la luz que se verifica cuando se disminuye el tamaño de las partículas de un determinado material, como por ejemplo con vidrio molido en diferentes granulometrías.

Hay también otros ejemplos. Cuando un espejo se va empañando progresivamente con vapor o cuando es sometido a un proceso de despulido se observa una escala especular-mate. Cuando miramos a través de una ventana y el vidrio se va empañando progresivamente, o también cuando es sometido a un proceso de despulido, se observa una escala transparente-traslúcido. Una escala transparente-especular la obtenemos mirando a través de un vidrio, comenzando en forma perpendicular e inclinándolo gradualmente.

Las escalas también se dan por variación en la intensidad de la luz incidente. Así, si miramos a través de una ventana tendremos una escala transparente-negro a medida que se va haciendo de noche (siempre que la única fuente de luz presente sea la solar). Si el vidrio de dicha ventana es esmerilado entonces tendremos una escala translúcido-negro. Si disminuye gradualmente la luz que incide sobre un espejo observaremos una escala especular-negro, de la misma manera que si disminuye gradualmente la luz que incide sobre una superficie blanca observaremos una escala de grises opacos hasta el negro.

Conclusiones

Hay una serie de supuestos acerca de los cuales este trabajo y los anteriores sobre el tema (Caivano 1990; 1991) dan prueba en contrario.

Hunter (1975: 12, 59) afirma que, a diferencia de los colores que pueden ser identificados mediante sistemas de coordenadas tridimensionales, los atributos geométricos, tales como el brillo, la difusión, la translucencia, etc., son más difíciles de organizar y no pueden ser definidos por ningún sistema de dimensiones. El atlas de cesías, que está formado por tres variables, así como las escalas que se originan a partir de él, demuestra

que tal tarea es posible.¹³ Aún más, si bien no lo voy a argumentar o demostrar aquí, quiero avanzar la hipótesis de que las diferentes cesías con que puede presentarse un color a la visión son perfectamente explicables en términos generales de la teoría tricromática.

Si bien es cierto, como hace ver Lozano (1985), que un espejo perfecto no posee color y que el brillo enmascara al color (por lo cual en el sector de una superficie donde se produce un destello no se ve el color de la superficie sino la fuente de luz reflejada), también es cierto que hay espejos coloreados y que muchas veces el brillo tiene tonalidad. Esto también es explicable en función del sistema de cesías y la teoría tricromática. Estaríamos en el caso de superficies con selectividad espectral para la componente de reflexión especular.

También Hunter (1975: 65) dice que no es posible producir un estímulo sintético de brillo de la misma manera que un estímulo de color puede ser igualado por mezclas de tres luces. Aquí se demuestra, por el contrario, que mediante discos giratorios puede igualarse la apariencia visual de cualquier objeto partiendo de la mezcla de dos o más estímulos primarios.

Perspectivas y aplicaciones

Los diseñadores (industriales, gráficos, arquitectos, etc.) cuentan en la actualidad con sistemas de descripción y de medición del color que les permiten especificar un tono determinado con mucha exactitud. La medición puede hacerse basándose en la comparación visual directa con atlas de color —como el sistema Munsell u otros— o mediante la medición con instrumental específico.

No sucede lo mismo respecto de estos otros signos visuales que denominamos cesía. Si bien en algunos casos, como por ejemplo en la industria del vidrio, se utilizan coeficientes o porcentajes para expresar los valores de absorción o transmitancia del material, y existe también instrumental para medir atributos geométricos de la apariencia (Hunter 1975: 218-247), todo esto se toma en forma aislada. Por el contrario, el sistema de cesías permite interrelacionar las tres variables (permeabilidad, absorción, difusividad) para que en conjunto puedan definir las características o el comportamiento del material respecto de un determinado tipo de radiación, así como el tipo de sensación visual que produce (independientemente del color). Esta integración permite algo que es importante para el diseño, a saber, el desarrollo de principios de armonías en la combinación de cesías (equivalentes a aquellas reglas propuestas para la combinación de colores).¹⁴

Es posible construir un atlas de cesías que sirva para la comparación visual de cualquier muestra de material. Quizás la mayor dificultad reside en el hecho de que se necesitan diferentes geometrías de observación para la evaluación visual de las distintas

¹³ Green-Armytage (1989: 5-6) llegó independientemente a la misma conclusión y también propuso un sistema de orden para lo que él denomina cualidad de las superficies. El sistema de cesías data de un año antes (Caivano 1988).

¹⁴ Véase, por ejemplo, Birren (1969: 46-70). Principios como estos están basados en la organización de los colores en un sistema de orden, lo cual permite la selección de conjuntos de colores armónicos por medio de seguir ciertos caminos en el sólido.

muestras. Asimismo podrían establecerse estándares de medición de los estímulos de las cesías.

Finalmente, hay que hacer notar que las escalas de cesía pueden formarse no solamente ubicando un blanco opaco en el lugar de la opacidad mate sino a partir de cualquier color opaco, en cuyo caso la permeabilidad, absorción y difusividad se toman a partir de la radiación selectiva del color en cuestión. En definitiva, cualquier color puede ser llevado a las sensaciones primarias de cesía, es decir a los extremos de transparencia, translucencia, reflexión especular, reflexión difusa y absorción, pasando por todos los grados intermedios. Incluso las sensaciones primarias —a excepción de la absorción (negro)— pueden tener selectividad espectral; podemos tener una transparencia coloreada, una translucencia coloreada, una reflexión especular coloreada y, por supuesto, una reflexión difusa coloreada (como en cualquier color mate). Las diferentes cesías en que puede aparecer un color pueden ser explicadas adecuadamente en términos de la teoría tricromática refiriendo las variables o dimensiones de cesía a cada una de las componentes primarias (azul, verde, roja).

El único rasgo que el sólido de cesías tiene en común con los sólidos de color tradicionales es la línea sobre la cual la escala de absorción/luminosidad va de una superficie reflectante difusa hasta el negro. La variable llamada absorción (o su opuesta, luminosidad) en la cesía es similar a la variable llamada valor, claridad, oscuridad o luminosidad en el color. La diferencia es que en la cesía esta variable se aplica también a las sensaciones transparentes, especulares y traslúcidas, las cuales no son tenidas en cuenta en los sistemas de color tradicionales. Si asignamos un sólido de cesías para cada color opaco, de manera que cada color barra con todas las cesías posibles, entonces, los colores que difieren en tinte o saturación pero poseen el mismo valor estarán ubicados en puntos equivalentes de esos sólidos de cesía. Así, por ejemplo, todos los colores del atlas Munsell, versión mate, incluyendo la escala de grises, tienen lugar en la línea del sólido de cesías que va del mate al absorbente (o en líneas equivalentes, si asignamos un sólido de cesías para cada tinte y saturación diferentes), variando la posición de cada color sólo en función de su claridad.

A partir de esto, y usando la técnica de la mezcla óptica con discos giratorios, es posible igualar cualquier sensación de cesía que se presente asociada con cualquier color.

Agradecimiento

Se agradece especialmente a Roberto Daniel Lozano (Consultora Color Internacional) por la medición de las muestras con el espectrofotómetro *The Color Machine* (Byk-Gardner Inc.) mediante su software "Calidad".

Referencias

- BIRREN, Faber, ed. 1969. *A Grammar of Color, A Basic Treatise on the Color System of Albert H. Munsell* (Nueva York: Van Nostrand Reinhold).
- CAIVANO, José Luis. 1988. Cesía, en Informe Final de Beca de Investigación, Secretaría de Ciencia y Técnica, UBA, 79-86, manuscrito.

- . 1990. La luz y las categorías visuales en función del diseño, ponencia a las VI Jornadas Argentinas sobre Luminotecnia, Buenos Aires, noviembre.
- . 1991. "Cesia: A system of visual signs complementing color", *Color Research and Application* **16** (4), agosto, 258-268. Versión española más reducida, "Cesía: Un sistema de signos visuales complementarios del color", *Investigaciones Projectuales* **1**, 1990, 78-93.
- GREEN-ARMYTAGE, Paul. 1989. "Colour and other aspects of appearance", ponencia a la Second National Conference of the Colour Society of Australia, octubre. Publicada en *Spectrum, Newsletter of the Colour Society of Australia* **6** (3), 1992, 1-11.
- HUNTER, Richard S. 1975. *The Measurement of Appearance* (Nueva York: John Wiley).
- JANNELLO, César V. 1984. *Fundamentos de Teoría de la Delimitación* (Buenos Aires: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UBA).
- LOZANO, Roberto Daniel. 1978. *El Color y su Medición* (Buenos Aires: Americalee).
- . 1985. "El color de los espejos", *Noticolor* **2** (9), junio-julio, 5.
- MUNSELL, Albert H. 1905. *A Color Notation* (Baltimore, Maryland: Munsell Color Company, 1946).
- STEVENS, Stanley S. 1975. *Psychophysics* (Nueva York: John Wiley & Sons).