

TEMA 4

COLORIMETRÍA Y MEDICIÓN DE COLORES

- **COLOR: DIFERENCIAS INDIVIDUALES Y DESEQUILIBRIO ENERGÉTICO**
- **PRODUCCIÓN DE COLORES**
- Mezcla sustractiva
- Mezcla aditiva
- **COLOR Y PROCESAMIENTO PERCEPTIVO**
- **MEDICIÓN DE COLORES**
- **COLOR E ILUMINACIÓN**

6. LÁMPARAS.

1. COLOR: DIFERENCIAS INDIVIDUALES Y DESEQUILIBRIOS ENERGÉTICOS

Se cree que el color es una propiedad de las superficies, sin embargo, el color es una característica de la respuesta perceptiva que se da en un individuo y que guarda relación (aunque no es lo mismo) con algunas características físicas de los objetos. Una misma estimulación física puede producir experiencias de color diferentes en distintos observadores.

La **reflectancia diferencial** es la propiedad física más importante para entender la percepción del color. En general, las superficies cromáticas reflejan más unas longitudes de onda que otras. Las superficies cromáticas producen estimulaciones desequilibradas energéticamente, esto es lo que hace que percibamos color, el desequilibrio

90% Hoja blanca no tiene reflectancia diferencial porque no tiene variación de reflectancia.

25% Hoja gris

3% Hoja negra

R 400 700

Rojo Verde

--

++

Si un filtro resulta ser acromático (gris, por ejemplo). Va a dejar pasar la misma cantidad de luz para todas las longitudes de onda. Los filtros cromáticos tienen **transmitancia diferencial** porque dejan pasar una sola longitud de onda, que se representa en un color, y no los demás.

2. PRODUCCIÓN DE COLORES

El color es algo que experimentamos cuando llega energía desequilibrada. Con lo cual, crear color es crear estimulaciones energéticas desequilibradas. Hay dos tipos de sistemas capaces de producir colores, en el tipo aditivo el empleo de cada uno de los primarios añade energía a la mezcla que se quiere conseguir. En el tipo sustractivo, lo reduce. Los monitores de televisión y los focos de escenario son ejemplos de mezclas aditivas.

La impresión y los lápices de colores son de mezcla sustractiva.

2.1. Mezcla Sustractiva

Las impresoras usan entre 3 y 5 colores primarios para producir el resto de colores. Los tres principales son los llamados: Magenta, Cyan y Amarillo.

Las buenas impresoras trabajan con dos colores más, verde y negro (para bajar la reflectancia). En el caso de lápices de colores, lo que se hace es pintar con una longitud de onda, luego con otra encima, lo que anula que el papel refleje esas longitudes de onda, como resultado, solo se verá la longitud que no esté tapada, y el color correspondiente a dicha longitud.

2.2 Mezcla Aditiva

Partimos de no tener nada, por lo que vamos a obtener los colores sumando. Un ejemplo es lo que hacen los monitores de ordenador, estos usan muchos puntos de un tamaño mínimo y de tres colores básicos, a saber: rojizos, azulados y verdosos. Combinando estos puntos, el monitor obtiene áreas de color según la combinación. El monitor actúa activando los puntos que se necesitan para obtener el color. Para obtener el blanco, por ejemplo, se suman los tres tipos de puntos, en mucha cantidad y en idéntica proporción.

Otro tipo de mezclas aditivas son las que usan los focos de escenarios, que trabajan con 4 primarios, los tres anteriores y luz blanca.

3. COLOR Y PROCESAMIENTO PERCEPTIVO

Dimensiones descriptivas de las experiencias de color:

- Matiz o Tono: es lo más cualitativo de la experiencia cromática
- Saturación o Croma: indica la fuerza con que se experimenta el matiz
- Brillo /claridad o Valor: indica la intensidad de la saturación experimentada.

(En superficies es mejor hablar de claridad que de brillo)

Principio de Univarianza y existencia de colores metámeros: Hay tres tipos de conos en la retina, que abarcan las longitudes de onda cortas, medias y largas. El sistema de conos es un sistema de búsqueda del desequilibrio.

C M L C M L

Blanco

Amarillo

|||

400 700

Una vez producida una respuesta es un cono es imposible determinar a partir de ella la naturaleza del estímulo que la produjo, este es el llamado ***principio de univarianza***. Debido a este principio, son metámeros aquellos estímulos que producen el mismo patrón de actividad en los conos pero son físicamente estímulos diferentes.

El sistema de conos retiniano puede concebirse como un sistema imperfecto de búsqueda de desequilibrios

energéticos.

De noche, actúan los bastones, y como solo hay de un tipo tan solo podemos distinguir entre claro y oscuro.

Mecanismos oponentes: Usan el resultado de la actividad en los conos como punto de partida de la suya. Existen dos formas no contradictorias entre sí, de concebirlos. La primera se basa en la oposición entre experiencias para identificar los estados opuestos correspondientes a cada mecanismo oponente (rojo-verde; azul-amarillo; claro-oscuro)

Denominación de mecanismo	Informaciones relacionadas con el mecanismo	Relación Menos Información Sensación
Claro-Oscuro (acromático)	Luminancia relativa (reflectancia)	Alta Claro Media Medio Baja Oscuro
Azul- Amarillo (Cromático I)	Porción del espectro (larga o corta) en la que se acumula relativamente mas energía	Mas en larga Amarillo Igual ----- Mas en corta Azul
Rojo- Verde (Cromático II)	Porción del espectro (central o cualquier extremo) en la que se acumula relativamente menos energía	Mas en central Verde Modificado ----- Mas en extremos Rojo

La percepción de la claridad es tanto mas adecuada cuanto mejor se percibe la forma en que esta siendo iluminada una superficie. El uso de una escena que presenta muchas muestras simultáneamente (articulación) promueve este resultado (es decir, es mejor tener muchas fuentes de iluminación alrededor de aquello de lo que quiero percibir su color que tener una sola y el resto este oscuro).

El sistema acromático tiene mejor resolución espaciotemporal que los cromáticos. Debido a ello, siempre que se empleen estimulaciones de dimensiones reducidas o que fluctúen con rapidez debe usarse un buen contraste acromático.

Claridad

(mecanismo acromático)

Mucha agudeza. Por más pequeño que se haga, se podrán percibir las líneas hasta mucha reducción

Si la variación es Rojo- Verde en vez de Blanco- Negro, el tamaño más pequeño que somos capaces de ver es mucho más grande.

Lo mejor, es usar una variación cuantitativa, en términos de luminancia. Para tener mejor resolución visual.

Para el parpadeo de luz, es igual, mejor una variación cuantitativa porque si no se va a ver lineal, en vez de parpadeo.

Discriminación y Categorización

El observador humano puede efectuar muchas mas discriminaciones (comparación de estímulos en proximidad espacio-temporal) que categorizaciones. Este hecho se debe a que las limitaciones de la memoria sólo afectan a las categorizaciones. En concreto, lo que normalmente se recuerda es el tipo de respuesta producido en un mecanismo oponente y no la magnitud relativa de esta (se recuerda que vimos el verde, pero no el matiz exacto).

Categorías básicas

Una categoría básica es una que todo el mundo maneja sin problemas. Son básicas las categorías cromáticas usadas consistentemente por los hablantes de un idioma. En español son: rojo, verde, azul, amarillo, naranja, morado, marrón, blanco y negro (*regla mnemotécnica: el parchís, los que tienen que ver con grados de rojo y los otros dos*). Los requisitos que deben cumplir una categoría cromática para poder considerarse básica son los siguientes:

- Su denominación debe estar presente en el vocabulario de todos los hablantes del idioma.
- El termino debe usarse de forma consistente en las distintas personas que lo emplean y en las distintas ocasiones en que lo hacen.
- El significado del termino no debe estar incluido en ningún otro termino de color (sinónimos)
- El termino debe ser monolexemico (una sola palabra). Seria monolexemico naranja, pero no rojo-amarillento.

No deben confundirse los colores básicos con los únicos (elementales) y/o los primarios. Son primarios los colores que usamos como base para obtener otros mediante la mezcla, los elementales son colores que no pueden descomponerse en otros, si pensamos en ellos, no puedo obtenerlos como mezcla de otro color (p.ej: amarillo)

4. MEDICIÓN DE COLORES

La labor de la colorimetría sería más sencilla si fuese cierto el principio de suficiencia energética cualitativa. De acuerdo con este, los aspectos cualitativos (matiz y saturación) de la experiencia cromática dependería exclusivamente del tipo y magnitud del desequilibrio energético presente en la estimulación.

4.1. Espacio CIExyz

Valores y proporciones tricromáticas

El colorímetro es un aparato que usa un sistema de filtros para (imitando toscamente la retina) detectar la cantidad de energía acumulada en las longitudes de onda largas (X), medias (Y) y cortas (Z), respectivamente. La triada de valores así obtenida permite asignar un punto a cada estímulo en un espacio de color.

La función real de un colorímetro sería la siguiente:

Z

Y X

El filtro Y es isomórfico en la función oficial de eficiencia espectral y permite efectuar mediciones fotométricas a su través (por ejemplo, un colorímetro puede actuar como fotómetro o luxómetro).

Sin embargo, hay un error en el colorímetro ya que x es bimodal, esto es un fallo teórico ya que se pretendía que el colorímetro fuese igual a la retina humana.

Valores tricromáticos y lo de la gráfica: las puntuaciones de x, y, z, si yo hiciese llegar a mi colorímetro una cierta cantidad de energía y es 1/683 w

Si hago llegar al colorímetro 400 nanos, si recibe energía de 1/683 w de 400 nanos indican que $X=0,0143$; $Y=0,0004$; $Z=0,0674$ (tabla oficial de eficiencia espectral). Si llegase lo mismo (400 nm) pero con 100 veces 1/683w sería lo mismo pero multiplicado por 100, es decir $X=1,43$; $Y=0,04$; $Z=6,79$.

Ejemplo: Colorímetro: naranjas de valencia usan los tres valores tricromáticos.

$X=106$

$Y=63$ Mucho parecido numérico buena naranja, poco parecido, mala.

$Z=0$

Pero depende, porque si la iluminación se deteriora y llega la mitad de luz, la misma naranja perfecta dará valores iguales, en definitiva, la mitad que antes. Por lo que la iluminancia debe ser constante. $E=K$

(.....) variaría los valores tricromáticos. Pero hay que ver siempre que en la naranja el que tiene más valor es la larga, la mitad en la media y prácticamente nada en la corta, por lo que el ordenador trabajará en proporciones. Las proporciones se calculan así (las proporciones siempre en minúscula)

$TOTAL = X+Y+Z$. Las tres proporciones deben sumar 1

Las proporciones tricromáticas (x,y,z) del espacio CIExyz indican la cantidad relativa de energía acumulada en las distintas partes del espectro. Puesto que su suma debe dar 1, puede obviarse el proporcionar información sobre una de ellas (z). Las otras 2 (x,y) a veces se les llama también coordenadas de cromaticidad y constituyen los ejes en los que se encuentra el diagrama de cromaticidad CIExy.

Los puntos que están en la parte curva del perímetro son monocromáticos (un solo color), esto es lo más puro que podemos tener, toda la energía se acumula en un solo punto. Lo más impuro sería una energía más o menos similar y en la misma longitud de onda. Este es el punto 0,33–0,33 (el centro del diagrama). Los colores de la línea recta del diagrama es energía pura, pero no hay en el arco iris estos colores. Esta se llama la línea de los morados, aunque no son monocromáticos, casi podrían serlo.

4.2 Pureza, Longitud de onda dominante y principio de suficiencia energética cualitativa. (falta algo en este tema)

El centro del diagrama de cromaticidad ($x=y=0,33$) recibe la denominación de acromático porque representa a cualquier estímulo carente de desequilibrio energético y, por tanto, con pureza cero. El perímetro corresponde a estímulos con nivel máximo de pureza (monocromáticos y líneas de los morados).

Cojamos un estímulo al azar, por ejemplo A. Entonces lo señalo en la gráfica y trazo una línea entre este punto y el centro (0,33). La línea nos lleva a un $D=510$ nm. Para calcular el grado de pureza de este punto, mido la distancia entre A y el centro y desde A hasta el perímetro y la comparo de la siguiente manera:

Ó 39% de pureza

Para calcularlo con proporciones habría que hacerlo así:

O 41% de pureza

– Vemos que más o menos salen lo mismo–

Definición: La pureza y la longitud de onda dominante (D) se determinan de acuerdo al siguiente procedimiento: Se traza el radio del diagrama en el que esta contenido el punto que representa el color. La longitud de onda correspondiente a la del estímulo monocromático situada en el extremo del radio ó, si este acaba en la línea de los morados, la del otro radio del diámetro en el que se encuentra el color. El grado de pureza se calcularía dividiendo el valor de la distancia entre el color y el centro acromático por la existente entre este y el final del radio.

Ejemplo de la línea de los morados:

Tenemos $X=0,50$ e $Y=0,18$. Encuentro el punto, trazo una línea y no encuentro la longitud de onda dominante, por eso, cojo otro radio (por el otro lado) y voy hasta el parámetro que tengamos allí, en este caso el de 505. Así pues, nuestra $D = -505$ (el menos quiere decir que estoy en un radio que va a morir a la línea de los morados).

4.3 Diagrama de cromaticidad y mezcla de colores

((Mezcla aditiva de colores))

Tenemos un monitor de ordenador que nos da tres colores básicos de coordenadas X e Y para cada color: verde, azul y rojo. Estos tres puntos se representaran en la gráfica y nos dan que. Unidos, forman un triángulo. El monitor sólo va a poder reproducir los colores que aparecen dentro del triángulo, los que queden fuera, serán irreproducibles por nuestro monitor.

Si el punto cae fuera del diagrama es un color imaginario, si cae dentro del diagrama pero fuera del triángulo, existirá, pero no lo puedo reproducir con mi monitor. Los colores dentro del triángulo son los menos puros (más lejos del perímetro). Es mentira pues que mediante tres primarios se puedan conseguir todos los colores, siempre voy a perder porque concentro los colores en el centro (donde parecen más blanquecinos y menos saturados, es más impuro).

De acuerdo con el principio del polígono de colores posibles, cuando se mezclan tres o más colores todos los resultados posibles se incluyen en el área específica por el polígono a que dan origen. Este principio y el de la línea de los morados se aplican en los diferentes diagramas de cromaticidad CIE.

Todos los colores que puedo obtener de dos colores están contenidos en la línea que los une. Si echo más cantidad de uno que de otro este color estará más cerca del punto que más haya echado.

Este principio permite predecir la existencia de colores metámeros y complementarios. También hace obvio que lo que representa un punto de cualquier diagrama del CIE no es un color sino un conjunto de metámeros.

480 y 580 nm son complementarios, uno azul y otro amarillo. Al mezclarse estos dan un color blanco porque al trazar una línea entre 480 y 0,33 llega hasta el 580. De esta forma, son complementarios aquellos colores que, unidos por una línea recta pasan por el punto 0,33-0,33. Hay infinitas rectas de este tipo.

Los diagramas de cromaticidad CIE permiten determinar que colores pueden producir un resultado concreto, pero no las cantidades exactas que deben usarse para conseguirlo. Para conocer esta información deben aplicarse ecuaciones que implican el uso de algunos valores tricromáticos.

Tabla 4.3 Luminancia

Estímulo	X	Y(nits)	Z
----------	---	---------	---

480 nm	68,63	100	585,22
580 nm	104,94	100	0
480+580 (valores)	170,57	200	585,22
480+580 (propor.)	0,18	0,21	0,61

coordenadas

luminancia

Cogemos el colorímetro para obtener Yxy . Para calcular las fórmulas anteriores necesito usar la tabla 7.1 (Proporciones tricromáticas) con una landa de 480. Así, obtendré:

$$X = \frac{0,0913}{0,1327} 100 = 68,63$$

$$Z = \frac{0,7760}{0,1327} 100 = 585,22$$

Luego hacemos lo mismo con el estímulo 580. Los valores finales están recogidos en la tabla de arriba. Obtenemos de esta manera los valores tricromáticos. Si quisiera saber las coordenadas tricromáticas de la mezcla a partir de las proporciones tendría que usar las fórmulas anteriormente dadas, que son las siguientes:

$$X_M = \frac{x}{TOTAL}$$

que al revés, para saber la x, tendría:

$$x = \frac{X_M}{TOTAL} = \frac{173,57}{X + Y + Z} = \frac{173,57}{173,57 + 200 + 585,22} = 0,18$$

, a continuación haría lo mismo para la z y para la y, dándonos respectivamente 0,21 y 0,61.

Para calcular la pureza, usamos otra fórmula:

Amarillo Este punto tiene una D de 480 porque está en el lado del azul y tiene una pureza de 0,69.

$$P = \frac{AC}{AP} = \frac{4,5}{6,5} = 0,69$$

)

Azul punto 0,81-0,21

Habría que echar más amarillo para compensar, porque no es suficiente con igualar 100 nits y 100 nits. A la pregunta de cuanto más hay que echar lo resuelve, como no, una ecuación.

Las mayúsculas indican Valores tricromáticos y las minúsculas Proporciones tricromáticas.

La diferencia de dividir la luminancia del Azul y la luminancia del amarillo tiene que valer 0,189. La luminancia del azul es 0,189 veces la del amarillo.

100 = 0,189y² ; y² = 529,10. Para comparar 100 unidades de azul hay que usar 530 unidades de amarillo.

4.4 Espacio CIELu*y* y Dimensiones Perceptivas

El CIExyz se viene sustituyendo recientemente por el CIELu*y* y . Las modificaciones de Judd y del

observador de 10° mejoran, respectivamente, la eficacia del espacio CIE ante estimulaciones con longitudes dominantes cortas y de grandes dimensiones (*todo esto no entra en examen*).

El espacio CIExyz no es capaz de dar respuesta a las preguntas:

1. Cuan diferenciables son entre sí 2 estímulos.

McAdam trabajaba para la Kodak y tenía un problema con las marcas pirata de carretes. Para solucionarlo elabora un amarillo el cual registra, en términos colorimétricos. Pero dos estímulos distintos físicamente podían parecer idénticos a un observador. Por ello, McAdam necesitaba saber cuanto habían de diferenciarse dos estímulos para parecer diferentes ante la observación.

McAdam obtuvo elipses de diferentes tamaños a lo largo del diagrama, lo que significa que, medido en termino de dimensiones, según en que elipse nos encontremos, el sujeto notará o no la diferencia de valor según donde nos situemos (una variación de unos pocos milímetro no se notará en unos casos, peor en otros significarán colores radicalmente distintos).

Las elipses de McAdams demuestran que el diagrama de cromaticidad no es adecuado para estudiar las diferencias entre sí. Lo ideal es un diagrama que permite la misma longitud de radios en los círculos, y no elipses. Así surge la CIELu*y*y.

2 Qué nivel de saturación tiene un estímulo

El nuevo diagrama proporciona uniformidad sobre la saturación. Si nos separamos del centro acromático, cuanto más nos alejemos, más saturados están los estímulos, hasta llegar al 100% que es el extremo del diagrama.

El nuevo punto acromático será el 0,21–0,47.

3. Qué nivel de claridad tiene un estímulo

Para solucionar el problema de la claridad, la CIE introduce la L (lightness). La luminancia del blanco tiende a ser más alta que la del negro. Lo que hace el sistema visual es comparar. Por eso la CIE también compara.

Luminancia del objeto de interés

Luminancia del objeto más blanco que exista que refleje luz (reflectancia 100%)

La relación entre luminancia y reflectancia no es una relación lineal

100

L

MUY IMPORTANTE

0 100

R

Ejemplo: ¿Qué claridad tiene un estímulo cuya reflectancia es del 50%?

De claridad

Otro parámetro importante es el Ángulo cromático, representado por la H (hue). La línea que siempre usaremos será la que va del punto acromático en horizontal hasta el extremo del diagrama. Luego trazo otra en horizontal hacia donde esté mi color. El resultado será el ángulo cromático.

En términos de D la diferencia entre 500–550 ó 650–700 es la misma, pero si lo ponemos en la gráfica el cambio de 500–550 se nota mucho más en matiz que el cambio de 650–700 que casi no se nota. Así pues, según donde esté, la diferencia será más o menos significativa.

Sin embargo, en términos de grados, se puede saber si la diferencia de 50 D s significativa o no. Tiene más sentido hablar de ángulos cromáticos ya que estos tienen más parecido con nuestra capacidad para discriminar colores.

1 Los tres tienen la misma D ya que se pueden metamerizar. También todos ellos tienen el mismo ángulo cromático

Para simplificar las cosas, cogemos los valores $U^*=V^*=0$. Para pasar de U' y V' a U^* y V^* . Partimos del punto acromático al punto que representa un color. Usamos el asterisco para decir que tenemos puntuaciones que comparamos con otro para obtener un color. Para la transformación se usa esta fórmula: (no hay que aprendérselas)

La CIE llamará Croma a la saturación, y llamará saturación a otra cosa. Siempre que la Luminancia sea constante, la saturación será lo mismo para unos y para otros, pero si no se da esta constancia, entonces no será la misma definición, sólo será la distancia desde el punto acromático a dónde está un estímulo.

C^* será la Croma; S será la saturación (¿es de buena calidad, de longitudes de onda altas, muy puras?); la L será la luminancia (¿llega en cantidad suficiente?).

Trabajar con * es trabajar con puntuaciones que usan el 0 referenciado.

Fórmulas para trabajar con estas dimensiones, no hay que aprenderlas pero si saber usarlas.

Discriminación entre estímulos

Pero es más fácil usar esta fórmula:

AC= variación en croma (saturación)

AL= variación en claridad

AH= variación en matiz (variación del ángulo cromático)

4.4 Atlas de colores

Hay dos formas de medir los colores:

- Mediante un colorímetro y fórmulas
- Atlas de colores

El atlas de colores es un catálogo que contiene un cierto número de muestras. Lo que se hace es buscar el color más parecido al que queremos referenciar en el atlas. La pega que tiene es que es menos preciso ya que

somos capaces de diferenciar entre 2, 3 o 4 millones de colores y en el atlas no tengo tantas muestras por lo que no serán exactamente iguales al color que buscamos.

Otra pega es que si trabajamos con hombres, hay más posibilidades de error ya que hay mayor porcentaje de daltónicos masculinos (uno de cada 20 hombres es daltónico). También tiene el inconveniente de que por cuantas más manos pasa, la calibración es peor ya que no todos ven exactamente igual los colores.

Un buen atlas de colores tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Tener muchas muestras
- Calidad (estabilidad de las muestras, calidad de la impresión)
- Facilidad de uso, bien organizado
- Que tenga los índices colorimétricos de cada color

Atlas NCS (1996)

(Natural Colour System)

Está basado en Hering (inventó la teoría de los procesos oponentes). Cada ficha se describe en función de tres dimensiones: blancura. Negrura y croma. Los tres tienen que sumar 100. Normalmente la información que no se da es la blancura (es siempre lo que falta para llegar a 100)

Ejemplo:

S2500N: – S= System (obvio) – 25= negrura –N= indica que es acromático –00=Cromatismo/Saturación. En este caso será acromático.

Este color será el **Gris claro**

S1070 R20B: –10= negrura –70= croma –20= blancura –R=Rojo

–B= Azul. El 20 indica que se parece más al rojo (sí fuera más de 50 se parecería más al azul).

Ventajas del Atlas NCS:

Fácil encontrar las muestras

Inconvenientes

Es que la longitud de onda dominante o ángulo cromático es igual que matiz para quienes hicieron el atlas, y esto no es así en la realidad, aunque hay mucha relación no es exactamente lo mismo.

Atlas MUNSELL

El Munsell es muchísimo más caro, tiene las mismas ventajas que el NCS (número de muestras es más o menos el mismo, facilidad de uso igual, las medidas colorimétricas están desde hace mucho tiempo).

Una ventaja del Munsell es que alcanza mayores saturaciones que el NCS (es decir, que llega más en número de muestras hacia la derecha). Otra ventaja es que el atlas está hecho a mano y las diferencias perceptivas de un color a otro es casi la misma.

Atlas de KÜPPERS

Tiene 3 ventajas:

- Mayor número de muestras (5.500)
- Precio más barato
- Muy útil para los que trabajan en tareas e impresión sobre papel ya que las referencias son dadas en cantidades de tintas (CYM= cian, yellow, magenta)

Fallos:

- Impresión es mala y de unas ediciones a otras varía mucho
- Navegar por el Küppers es poco intuitivo, porque se hace por el método sustractivo.

5. COLOR E ILUMINACIÓN

5.1 Temperatura del color

La luz amarillenta desde el punto de vista psicológico nos proporciona una luz más cálida y la luz azulada nos la proporcionará más fría.

La temperatura del color hace referencia a la apariencia del iluminante. Cuando las cosas se vean bien tendré un buen indicador del rendimiento cromático, por lo tanto, el IRC tendrá que ver con la calidad de la iluminación.

La temperatura del color permite su medición en dos parámetros: Kelvin (no se usa mucho) y Mired.

1 Kelvin.

Los físicos inventaron algo que no existía y que llamaron cuerpo negro o radiador perfecto. Esto sería un metal inexistente en la naturaleza con dos propiedades:

- No refleja nada de la luz que le llega ($R=0\%$). Es un chupador de luz.
- Lo puedo calentar a cualquier temperatura.

Por ejemplo, si tuviéramos una lámpara de cuerpo negro, calentaríamos su filamento. Cuanto más lo calentáramos, la luz pasaría al llegar a 3.000 a la luz amarillenta y al seguir, llegando hasta los 5.000 kelvin, que se vería como luz blanca, y los 10.000 kelvin que se vería como luz azulada.

Esta se mide con un termocolorímetro que siempre funciona con kelvines. Esta escala tiene dos desventajas:

- Poco calor psicológico (3.000 k) nos parece psicológicamente cálido y mucho calor nos parece psicológicamente frío, o sea, lo contrario.
- Es una escala poco adecuada para explicar las propiedades de los filtros correctores de la temperatura del color.

2. Mired.

La palabra de esta escala esta compuesta por dos sufijos: **Mi**, de millón (106)y red, de recíproco, o inverso (106/K).

Por ejemplo, $100.000\text{ K} = 104$; $MR=106/104= 102= 100$

Kelvin	Psicologico	Mired
--------	-------------	-------

10.000	Frío	100
5.000	Neutro	200
3.000	Cálido	333,33

Las ventajas del Mired son:

- Aumenta la MR y también aumenta la calidez con la que se percibe esa luz, es por tanto una escala **intuitiva**
- Si es adecuada para describir los filtros correctores de la temperatura del color.

Filtros correctores de la temperatura del color

Tengo una bombilla común , con una gráfica tal:

2.800 K

400 700

Sin embargo, yo lo que quiero es tener una estimulación equilibrada.

E

Para conseguir esto, se pone un filtro en la bombilla que deje pasar un 100 % de aquello que hay muy poco (longitud de onda corta) y ser resistente a lo que hay demasiado (longitud de onda larga), así conseguiré luz equilibrada, es decir, uso un filtro azul, para contrarrestar luz amarilla.

Lo que pasa es que esa energía que pagas no la usas, porque se queda en el filtro.

Por otra parte, los colores del filtro son constantes si los medimos en MR, pero no ocurre lo mismo si los medimos en Kelvin

Otra ventaja es que el cambio que nota se ajusta al pasar de una iluminación de aproximadamente 200 MR es casi igual que de 200–300 MR, sin embargo, no es igual en Kelvin, pues el mismo cambio psicológico pasa de 3.333,33 a 5.000 y para el mismo cambio de 5.000 a 10.000 (no es la misma proporción numérica), por lo que no explica bien la magnitud de los cambios.

5.2 Índice de Rendimiento Cromático

Constancia de color: las cosas tienen el mismo color aunque cambie la iluminación. Nuestro sistema visual es verdad que amortigua bien los cambios de iluminación pero la constancia de color es falsa. El sistema visual sólo produce una infraexistencia de color.

El IRC es el resultado de comparar 2 lámparas idénticas en temperatura de color. Se comparan como se ven las cosas a la luz de 2 fuentes, siendo la mejor de las dos, siempre incandescente; la otra debe empatar en iluminación a la incandescente, que actúa como referencia. A la luz de sodio, los colores se verán en blanco y negro, por lo que su IRC es 0%. El 100% sería que lo hace igual de bien que la incandescente.

Eso si, un IRC de 100 no garantiza ver bien, ya que para ver bien las cosas se necesitan tres cosas:

- Cantidad de luz (iluminancia), unos 300 luxes
- Temperatura del color entre 4.000–6.500 K
- Un buen IRC (más del 80%)

Los psicólogos no siempre queremos que se vean bien los colores, a veces podemos querer que no sea así, según el fin que persigamos (por ejemplo en hospitales). Según la iluminación, también se pueden resaltar ciertos colores, como por ejemplo en las carnicerías, los filetes se vean más rojos, esto se consigue si ponemos más iluminación en los cálidos, en los rosas-rojos

FRIOS			CALIDOS		
VIOLETA	AZUL	VERDE	AMARILLO	NARANJA	ROJO

3.000 K

– +

Para resaltar los cálidos se usaría, por ejemplo, este tipo de luz.

5.3 Claridad Visual

En iluminación se pueden estudiar dos aspectos, uno de ellos es la **funcionalidad**, por ejemplo, la fotometría, que tiene que ver con *qué* podemos hacer gracias a tener una buena iluminación..

Pero yo puedo tener dos entornos que desde el punto de vista funcional permiten hacer las mismas cosas, sin embargo, a nivel de **apariencia de iluminación**, los dos entornos son distintos (por ejemplo, lámparas de bajo consumo parece que iluminan poco pero se puede leer bien).

6. LÁMPARAS

Según como se emite la luz, hay tres tipos de lámpara:

- Incandescentes
- Descarga en gases
- Inducción

1) Incandescentes

Son la luz más normal, las bombillas de siempre. También se llaman *lámparas de tungsteno*, y puede haber *tungsteno halógenas*.

Ventajas:

- IRC. El de las incandescentes es del 100%
- Bajo coste de compra
- Dan una respuesta inmediata (las de sodio tardan 20 minutos en llegar al tope de iluminación posible)
- Se puede regular su intensidad
- Pueden operar en cualquier posición (hay lámparas que sólo funcionan en posición óptima)

Inconvenientes:

- Eficacia del calor: hay otras que dan mucha luz por menos vatios
- Dan demasiado calor
- Tienen corta vida (más coste de mantenimiento, al cambiar muchas bombillas)

El tungsteno es un material que se puede calentar bastante y cuesta poco. Sin embargo, tampoco se puede calentar demasiado, porque se evapora y sea cumula en el cristal, ennegreciendolo. Por esa razón, las lámparas

halógenas han sustituido el gas con estos filamentos y el tungsteno se redeposita evitando la acumulación. Esto produce una luz más plana.

Las halógenas pueden ser muy pequeñas, pero si no calientan mucho el filamento la luz es igual de amarillenta que la de una bombilla común. Las halógenas deben llevar un cristal especial que aguanta temperaturas mucho más altas, pero esto tiene el inconveniente de que este cristal especial no puede tocarse con los dedos directamente, porque la grasa las funde. Además, muchas halógenas pueden incorporar un transformador que las hace ruidosas.

2) Descarga en gases

Según el gas y la presión a la que estén sometidos hay cuatro tipos: mercurio y sodio, a alta o baja presión cada una de ellas:

A Mercurio a Baja presión: (fluorescentes comunes): funcionan porque tienen gotas de mercurio que se ionizan y estas se intentan descargar emitiendo ultravioleta que al llegar al polvo de fósforo que recubre la base del fluorescente se hace visible e ilumina. La diferencia de precios entre distintos fluorescentes está en el polvo de fósforo que nos va a dar mejor o peor luz.

B Mercurio a Alta presión: el mercurio está a mucha presión. Al ionizarlo, no suelta luz ultravioleta, sino luz visible directamente, así que no necesito usar fósforo.

Esto puede producir **efectos estroboscópicos**, esto es, distorsión en la percepción del movimiento. En el entorno laboral esto es indeseable (efecto de las ruedas de una máquina que parecen estar quietas pero giran a una gran velocidad). Los fluorescentes son intermitentes.

En Europa usamos corriente alterna de 50 Hz/sg en los enchufes, es decir, que los polos positivo y negativo de un enchufe se alternan constantemente, dejando un instante entre medio del cambio en el cual no se emite luz. Esta es la razón de que los efectos estroboscópicos puedan darse, aunque eso sí, hay que aclarar que sólo en movimientos cíclicos.

Para luchar contra los efectos estroboscópicos hay que saber si existen. No todas las fuentes de iluminación producen este efecto estroboscópico. La forma de saberlo es ver si con la luz de un fluorescente (que son las únicas que producen estos efectos), las cosas son iguales que a la luz incandescente o solar. Si no lo son, hay distorsión y hay que combatirla. Hay 4 métodos para evitar los efectos estroboscópicos:

- Coger el fluorescente si este es viejo y el parpadeo es apreciable, y usar cinta aislante para forrar los extremos el tubo.
- Dentro del tubo puede haber dos tipos de fósforo: de baja o de alta persistencia. Si es de baja, una vez que llega la electricidad da luz, cuando deja de llegar (recordar lo de la alternancia) tarda poco en dejar de emitir luz, y la de alta al revés. En los de alta persistencia permite que siga emitiendo luz cuando no hay electricidad, así pues, la lámpara es más continua en su emisión, lo que hace que los efectos de distorsión no se produzcan. Es por tanto, mejor usar lámparas de fósforo de alta persistencia.
- Sistema de conexión en oposición de fase o doble fase: Si tenemos 4 fluorescentes, 2 de ellos estarán en su máximo cuando los otros 2 estén en el mínimo, de forma que se acumulan y siempre se ve de la misma forma, es constante.
- Sistema de multiplicación de frecuencia: este sistema hace que en vez de tener 50, 100 Hz, los que sean, se tengan muchos más, porque acelera la frecuencia. Éste es el método más caro.

C Lámparas de Sodio

Las lámparas de Sodio tienen mucha eficacia lumínica, pero son lentas en su inicio y reinicio y tienen poquísimo rendimiento cromático. En baja presión, el rendimiento cromático es del 0%, la emisión de longitud de onda es una sola franja, lo que hace que veamos en blanco y negro. En alta presión el rendimiento cromático es del 50%, estos distribuyen más las frecuencias y se pueden ver algunos colores. Tienen menos eficacia lumínica pero ganan el ver colores.

3) Lámparas de inducción

Son el futuro. Tenemos una bombilla normal con polvo de fósforo y mercurio. En el interior hay una antena que emite por radiofrecuencia ionizando el mercurio, que emite radiación ultravioleta haciendo que el fósforo de luz visible (igual que un fluorescente). La diferencia con éste, es que el fluorescente es un sistema menos agresivo de ionizar y de esta forma tengo una duración casi eterna.

Efecto Kruithoff (relación con la temperatura del color): Relaciona los luxes con la escala de Mired. Pocos MR será psicológicamente frío y muchos MR, cálido. Es una escala poco intuitiva.

El efecto Kruithoff indica que hay preferencia por relacionar los luxes con MR inversamente proporcional. Pero los estudios de Kruithoff son cuestionables porque manejaba mal el índice de rendimiento cromático. Los resultados son que si mantenemos la luz lo suficientemente para que la gente se adapte, el efecto Kruithoff no aparece. Puede que este efecto exista cuando la gente no tiene tiempo a adaptarse (esto es importante en las luces de un escaparate, por ejemplo, donde la gente pasa, mira y se va).

Cálido

AM

MR

AZ

Frío _ E(lx) +

TEMA 5

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES LUMÍNICAS: INTEGRACIÓN FINAL

• UN EJEMPLO DE INTEGRACIÓN; EL ÍNDICE C.S.P

C= Confort S= Satisfacción P= Funcionalidad

Estas son las dimensiones. De carácter global. Se utiliza para evaluar sitios de trabajo en un índice intuitivo de 0-100.

Cada dimensión puede concretarse en unos parámetros:

- E (iluminancia)
- Homogeneidad de la iluminación
- Factor de iluminancia horizontal Vs iluminancia cilíndrica (4 medidas a los lados y arriba)
- Luminancia : deslumbramientos y contraste
- Índice de rendimiento cromático general: temperatura del color e índice de rendimiento cromático

2. EVALUACIÓN OBJETIVA DE LOS PARÁMETROS

Se trata de buscar rasgos funcionales en los parámetros, que para tarea serán diferentes. Para la lux, hay un rango a partir de 200 donde ciertos sujetos pueden leer bien, con 300 todos leerían bien, por tanto, con 600 luxes también se lee bien porque el ojo se adapta, pero no el doble de bien, sino igual de bien. Sin embargo hay un punto donde deslumbra, así que tampoco habrá que iluminar demasiado.

Resumiendo, según los parámetros, habrá una zona óptima y una pequeña variación donde, según la persona, puede valer. Estos parámetros objetivos se comparan con la bibliografía que tenemos para cada índice y cada situación concreta. Todo lo que se puede medir mediante aparatos será evaluación objetiva de las condiciones de iluminación.

3. EVALUACIONES SUBJETIVAS DE PARÁMETROS

El confort y la satisfacción se miden mejor con evaluaciones subjetivas. Se hizo una investigación para combinar los índices subjetivos y objetivos con el parámetro homogeneidad de la iluminación. Para que haya homogeneidad se trata que la iluminancia mínima dividida de la iluminancia media sea mayor que 0,7. 1 sería homogéneo.

Otra cosa sería la tarea a realizar si hay que cambiar de lugar de trabajo, la mirada, etc.

Para hacer el cuestionario se pedía a la gente que dijera la estimación de la homogeneidad de la iluminación y también se media el parámetro de funcionalidad. Cuando crecía la homogeneidad objetiva también crecía la homogeneidad subjetiva.

La gente hacía peor la tarea cuando esta requería frecuentes cambios de mirada y cuando requería mucha homogeneidad.

Así pues, puedo hacer estimaciones objetivas siempre que la gente entienda lo que está evaluando y que la gente coincida en ello. También se debe tener un referente claro objetivo para medirlo y contrastarlo.

4. LIMITACIONES DE LA FOTOMETRÍA

En Claridad Visual hay dos aspectos diferentes que tienen que ver con lo cuantitativo, lo funcional y la apariencia que tiene las cosas. Esto se ve diferenciado en un fenómeno. Se estudia en entornos iluminados con idéntica fotometría (200 lx), si hay la misma cantidad de iluminación en los entornos se pueden producir diferencias en la apariencia y en lo que la fotometría mide. Esta es la limitación de la fotometría, puede medir la funcionalidad, no la apariencia.

Esto lo descubrieron H y K y se llama el efecto H-K, cosas semejantes en reflectancia pueden parecer diferentes. En general, los cromáticos parecen más claros que los acromáticos.

5. LIMITACIONES DE LA COLORIMETRÍA

Todas las limitaciones de la colorimetría tiene su origen en el principio de suficiencia energética cualitativa. El matiz es el aspecto más cualitativo de nuestra experiencia sólo dependería la D o ángulo cromático (H^*), pero esto no es verdad porque no sólo depende de la longitud de onda dominante.

Hay dos fenómenos que demuestran que el matiz no sólo depende de la D , es decir, que lo cualitativo de nuestra experiencia no sólo depende de la energía.

- También depende de la Intensidad (cantidad): **Efecto B-B**: coges un estímulo (naranja perfecto) y lo presentas a baja intensidad y a alta intensidad, se demuestra que a alta el estímulo se ve rojizo.
- También depende de la pureza o saturación: **Efecto Abney**: Comparamos una impresora a color. En una

línea horizontal del diagrama de cromaticidad, todos los colores tienen la misma intensidad, sólo cambiamos el matiz de uno a otro.

En este efecto, queremos que la misma saturación o matiz debe ser igual y para que sea el mismo matiz hay que cambiar un poco la D. Dos estímulos con la misma intensidad y longitud de onda dominante pueden verse distintos si difieren en su pureza.

Conclusiones:

1.- Los colores cotidianos son solo una muestra de todos los colores posibles

2.- Unas superficies reflejan más que otras. Se descubrió una clara reducción entre los aspectos cualitativos y cuantitativos de los colores de superficie, es decir, ciertos tipos de estímulos sólo se dan ante ciertas reflectancias y viceversa.

En máxima reflectancia, todas las longitudes de onda están en el centro del espectro, con mínima reflectancia, estarían en la periferia.

$$P = \frac{AC}{AP} = \frac{4,1}{10,3} = 0,39 -$$

$$E=K$$

$$x = \frac{X}{TOTAL}$$

$$y = \frac{Y}{TOTAL}$$

$$z = \frac{Z}{TOTAL}$$

$$Z = 1 - (x+y)$$

$$P = \frac{AC}{AP} = \frac{4,1}{10,3} = 0,39 -$$

$$P = \frac{x_c - x_a}{x_p - x_a} = \frac{y_c - y_a}{y_p - y_a} = \frac{0,20 - 0,33}{0,014 - 0,33} = 0,41$$

$$Y_{xy}$$

$$X = \frac{x}{y} \quad y$$

$$Y = y$$

$$Z = \frac{z}{y} \quad y$$

Mezcla de 100 nits de estímulos monocromáticos de 480 y 580 nm (complementarios)

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{y_1(x_2 - x_M)}{y_2(x_M - x_1)} = \frac{0,1327 \quad (0,5125 - 0,34)}{0,4866 \quad (0,34 - 0,0913)} = 0,189$$

$$X_M = y_M = 0,34$$

$$Y1=0,189Y2$$

$$L = \frac{Y}{Y_N}$$

$$L = 116 \quad \frac{y}{y_N}^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$L = 116 \quad \frac{50}{100}^{\frac{1}{3}} - 16 = 76,06$$

$$90^{\circ}$$

$$U^*=13 \quad L \quad (U'-U'n)$$

$$V^*=13 \quad L \quad (V'-V'n)$$

$$C^*=S_{u',v'} \quad L^*$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2}$$

$$C^* = \sqrt{U^{*2} + V^{*2}}$$

$$H^* = \arctg \frac{V^*}{U^*}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2 + (\Delta H^*)^2}$$

$$\frac{E_{min}}{E_{media}} \quad 0,7$$