



El color. Medición y aplicaciones

Jesús Ángel Coronado Martín





El color.
Medición y aplicaciones

Jesús Ángel Coronado Martín



Título de la Obra

El color. Medición y aplicaciones

Autor

Jesús Ángel Coronado Martín

Revisores

Alfonso García Santos

Antonio Rodríguez Rodríguez

Editor

Jesús Ángel Coronado Martín

Diseño y Diagramación

Ana Lucía Mediavilla

ISBN: 978-9942-784-79-7

Dirección: Ciudadela Universitaria,
Avenida 17 de Julio y Calle José María
Córdova.

Barrio El Olivo, Ibarra.

P.O Box 199

(06) 2997800, Fax (593 6) 2643755

Email utn@utn.edu.ec

Web www.utn.edu.ec

Contenidos

Capítulo 1. El Color

Fisiología de la visión	2
Percepción del Color	4
Breve Historia del Color	6
Teoría del Color	10
Física del Color	12
Propiedades del Color	14
Clasificación de los Colores	16
El Círculo Cromático	17

Capítulo 2. Los Espacios De Color

Espacio de Color Munsell	20
Espacio de Color Hunter	22
Espacios de Color CIE	23
Espacio de Color RGB	30
Espacio de Color CMY-CMYK	32
Espacios de Color HSI-HSV	34
Conversión de Colores entre Espacios de Color	34

Capítulo 3. La Medición Del Color

La Imagen Digital	40
El Histograma	44
Normativa para la medición del Color	46
Técnicas de Medición del Color	48
Metodología para la Medición del Color de la Superficie de Diferentes Materiales en el Espacio RGB	54

Capítulo 4. Aplicaciones

Aplicaciones en el Patrimonio Arquitectónico	102
Aplicaciones en las Artes Plásticas	113
Aplicaciones en el Control de Calidad de los Alimentos	117
Aplicaciones a la Enología	119
Otras Aplicaciones	120

Bibliografía



Introducción

La medición del color no es algo que se tenga que hacer todos los días necesitando para ello, aparatos específicos como colorímetros o espectrofotómetros. Estos instrumentos de medida no son de uso habitual además de ser de precios considerables, estando al alcance de unos pocos, generalmente personal cualificado que por necesidades del trabajo los utilicen de forma habitual.

Estamos en la era de la información y , prácticamente todos, tenemos aparatos electrónicos con cámaras fotográficas con formatos estandarizados de obtención de imágenes (jpg) con mayor o menor resolución. Este libro pretende realizar una metodología sencilla para la medición del color, con cámaras fotográficas, ya sea profesionales o de uso cotidiano al alcance de todos, como las incluidas en los teléfonos móviles.

Se quiere mostrar algunas de las innumerables aplicaciones de la medición del color en diferentes campos del conocimiento a través de diferentes técnicas, como es el patrimonio arquitectónico, las artes plásticas o la enología para que el lector pueda observar sus aplicaciones a la vida cotidiana.

El autor

Capítulo 1

El color

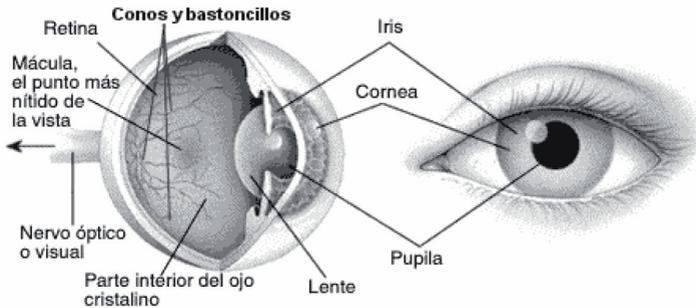
Fisiología de la visión

La retina del ojo humano capta la luz que se refleja en los objetos a través de sus sensores. Estas células (sensores de luz) están especializadas en detectar las diferentes longitudes de onda y se dividen en células bastón y células de cono (Lacie, 2004).

- Células bastón: son más sensibles a la intensidad de la luz. Permiten distinguir la luz de la oscuridad en condiciones de poca luz. Gracias a estas células, podemos ver con poca luz y detectar distintos tonos de grises. En condiciones de luz normales, los ojos sólo utilizan células de cono.
- Células de cono: existen tres tipos, siendo algunas más sensibles a las zonas rojas del espectro de color, otras a las zonas verdes y otras a las zonas azules.

Dependiendo de la luz que reciben los ojos, las células bastón y de cono envían señales al cerebro. Éste las procesa para crear la percepción de color.

Figura 1. Partes del ojo humano.



Fuente: De Los Santos (2010).

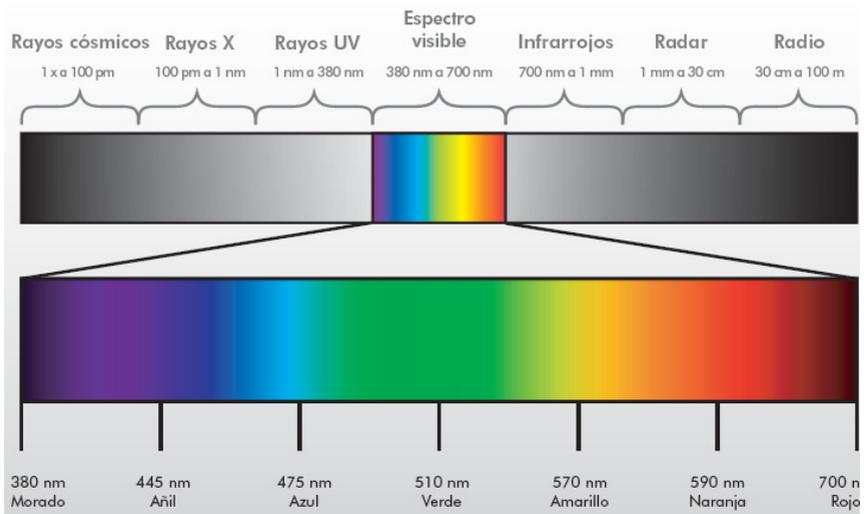
Un objeto de color rojo no emite luz roja, sino que absorbe todas las frecuencias de la luz excepto las rojas que las refleja. El objeto es percibido por el ojo humano como rojo debido a que es capaz de distinguir entre diferentes frecuencias. Los ojos reciben esa luz reflejada, que estimula las células visuales de las retinas. Desde los ojos se envían señales al cerebro, que procesa estas señales y las convierte en color.

El color exacto que percibe depende de la composición de las longitudes de onda de la luz. Si los sensores detectan a la vez todas las longitudes de onda visibles, el cerebro percibirá luz blanca. Si la vista detecta una longitud de onda de alrededor de 700 nm, veremos “rojo”, si es de alrededor de 450–500 nm, veremos “azul”, mientras que una longitud de onda de 400 nm parece “morada”, etc. Si no hay luz, no se procesa ninguna longitud de onda y el cerebro percibe negro (Lacie, 2004).

Las personas percibimos un mismo color de forma distinta. Esto se debe a varias causas:

- La sensibilidad espectral varía de una persona a otra. La forma en la que los ojos perciben los colores depende de la edad, características y estado de ánimo del observador.
- Influencia de los colores próximos.
- Formato y tamaño del color mostrado.
- La apariencia del color depende de la fuente de luz: un objeto producirá distintas percepciones de color si se expone a la luz del día, bajo la luz de una lámpara o a la luz de una vela.

Figura 2. Distribución espectral de la fuente de luz .



Fuente: Lacie (2004).

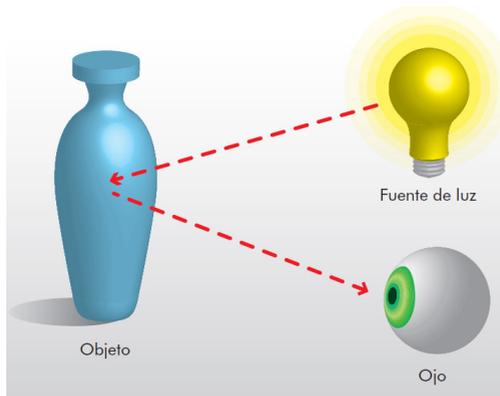
Percepción del Color

El color es una sensación que se percibe gracias a la existencia y naturaleza de la luz y a la capacidad de nuestros órganos visuales para transmitir dichas sensaciones al cerebro. Intentando una definición desde el punto de vista físico, diremos que el color es luz blanca que se descompone al atravesar un prisma de cristal (Lacie, 2004).

En la percepción del color intervienen los siguientes factores (Lacie, 2004):

- La fuente de luz.
- El objeto que refleja parte de la luz emitida.
- Los ojos y el cerebro.

Figura 3. Factores que intervienen en la percepción del color.



Fuente: Lacie (2004).

La fuente de luz

La luz se propaga mediante ondas. Una fuente de luz emite frecuencias que vibran a una determinada longitud de onda. El espectro visible está formado por las ondas que tienen una longitud entre 380 y 700 nanómetros. El ojo humano no puede percibir longitudes de onda fuera de estos parámetros.

Una fuente de luz se caracteriza por su distribución espectral. La distribución espectral de la fuente de luz muestra la proporción de energía que emite en diferentes áreas del espectro (figura 2).

Una fuente de luz que emite la mayor parte de su energía en longitudes de onda de 570 nm. (nanómetros), muestra principalmente luz “amarilla”. Una fuente de luz que tiene una distribución espectral plana (irradia la misma cantidad de energía en todo el espectro), se percibirá como gris.

El objeto

Cuando una luz ilumina un objeto, su superficie absorbe y además refleja parte de esa energía. La cantidad de luz absorbida o reflejada depende de la naturaleza de la superficie del objeto y, en especial, de los pigmentos, tinturas y tintas que tenga.

Por ejemplo, la pintura roja tiene pigmentos que reflejan la mayor parte de las longitudes de onda “rojizas” situadas alrededor de 650 nm., y absorbe otras longitudes de onda.

Los ojos y el cerebro

Como se ha comentado en las páginas anteriores, las células de bastón de cono, al recibir estímulos lumínicos, envían señales al cerebro para que éste procese la información y crear la percepción del color, que depende de las longitudes de onda.

Dependiendo de las longitudes de onda percibidas, el cerebro percibe los siguientes colores:

Color blanco: se perciben todas las longitudes de onda visibles.

Color rojo: longitudes de onda alrededor de 700 nm.

Color naranja: longitudes de onda alrededor de 590 nm.

Color amarillo: longitudes de onda alrededor de 570 nm.

Color verde: longitudes de onda alrededor de 510 nm.

Color azul: longitudes de onda entre 475 nm.

Color añil: longitudes de onda entre 445 nm.

Color morado: longitudes de onda entre 380 nm.

Color negro: no hay luz, no se procesa ninguna longitud de onda.

Breve historia del Color

A lo largo de la historia, se ha estudiado, analizado y definido el color por diferentes personajes de diferentes áreas del conocimiento, dando cada uno en su campo diversas conclusiones, mostrándose aquí algunas de ellas (Guzmán, 2011).

Aristóteles (384 - 322 AC)

Afirmó que todos los colores se pueden conformar por la mezcla de cuatro colores básicos, dando un valor fundamental a la incidencia de la luz y sombra sobre los mismos. Los colores básicos para él son los de tierra, fuego, agua y cielo.

Leonardo Da Vinci (1452 - 1519)

Consideraba el color como una propiedad íntegra de la materia y definió una escala de colores básicos:

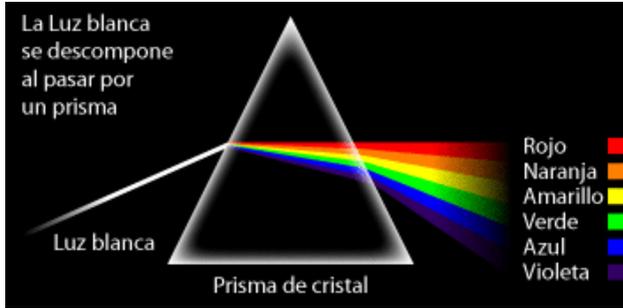
- El blanco como principal porque permite recibir a todos los demás colores.
- El amarillo para la tierra.
- El verde para el agua.
- El azul para el cielo.
- El rojo para el fuego.
- El negro para la oscuridad porque nos priva de todos los otros.

Con la mezcla de estos colores se obtenían todos los demás, observando que el verde también surgía de una mezcla.

Isaac Newton (1642 - 1727)

Enunció un principio que es aceptado hasta la fecha: la luz es color. Descubrió que la luz del sol al pasar a través de un prisma se fragmentaba en varios colores conformando un espectro, observando que la luz natural está formada por la suma de seis colores y cuando incide sobre un objeto, absorbe algunos colores y refleja otros: Todos los cuerpos opacos al ser iluminados reflejan todos o parte de los componentes de la luz que reciben. Con este principio, Newton define la física del color.

Figura 4. Descomposición de la luz blanca al pasar por un prisma.



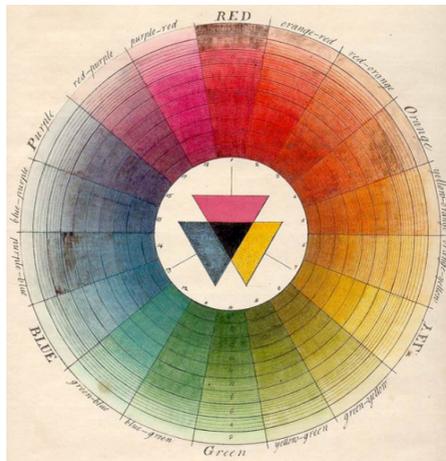
Fuente: Boscarol (2007).

Por este principio, cuando se ve un objeto de un color azul, lo que se ve en realidad, es que el objeto tiene un pigmento que absorbe todos los colores a excepción del color azul que es reflejado y captado por el ojo humano, codificando el cerebro el color denominado azul.

Moses Harris (1730 - 1788)

Demostró que a partir de los tres colores primarios, rojo, azul y amarillo se pueden crear muchos colores, intentando explicar la relación entre colores y su codificación. Su teoría se conoce como la síntesis sustractiva del color en la que el color negro se forma con los tres colores primarios.

Figura 5. Circulo cromático de Harris.

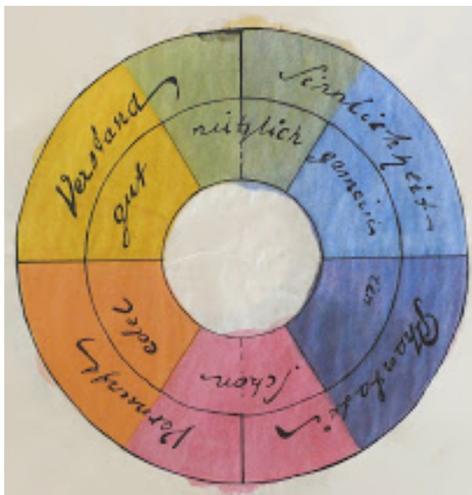


Fuente: Colorsystem (s.f.).

Johan Goethe (1749 - 1832)

Realiza el estudio sobre las modificaciones fisiológicas y psicológicas que el ser humano sufre ante la exposición a los diferentes colores. Era muy importante entender las reacciones ante los colores siendo sus investigaciones la base de la actual psicología del color.

Figura 6. Circulo cromático de Goethe.



Fuente: Mínguez (2013).

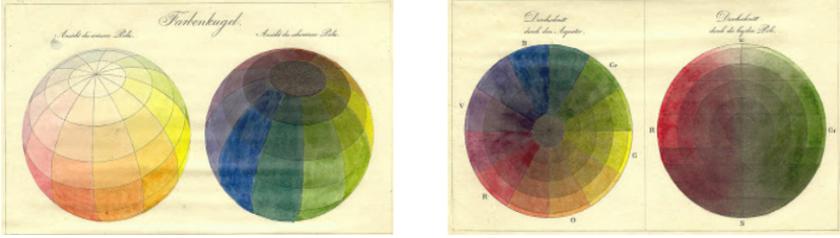
Realizó un triángulo con tres colores primarios: rojo, amarillo y azul, y lo consideró un diagrama de la mente humana, asociando cada color a ciertas emociones. Goethe afirma “que para la producción del color se requiere de luz y tiniebla, claro y oscuro o, si se quiere usar una formula más general, luz y no luz”.

Otto Runge (1777 - 1810)

Escribió el libro La esfera de color donde representa y organiza todos los colores en una esfera en función del tono, el brillo y la saturación, estando los tonos puros alrededor del ecuador y en el eje vertical se sitúa la escala de los grises que va desde el negro en la parte inferior hasta el blanco en la superior.

Cada color tiene siete grados, desde el negro al tono puro y después hasta el blanco, estando las mezclas intermedias en el interior de la esfera. Esta esfera la adoptó siglo y medio después el pintor Johannes Itten que modificó la esfera formando una forma estrellada y así poder ver todos los colores en dos dimensiones y a la vez.

Figura 7. Esfera de color de Runge.



Fuente: Muriel (2011).

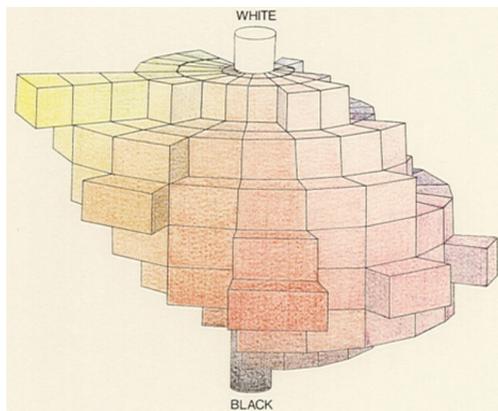
Chevreul (1786 - 1889)

Enunció la ley sobre el contraste simultáneo de los colores en la que se inspiraron algunos pintores neoimpresionistas. La ley dice que “El tono de dos piezas de color parece más diferente cuando se observan yuxtapuestos que cuando se observan separadamente, sobre un fondo neutro común”.

Albert Munsell (1858 - 1918)

Realizó lo que se conoce como el “árbol de color” donde los colores se ordenan de acuerdo a las características de matiz, valor y croma, en base a una escala de grises central vertical. Este sistema de color aceptado internacionalmente, es la base para otros sistemas como el CIE Lab.

Figura 8. Árbol de color de Munsell.



Fuente: Calvo (s.f.).

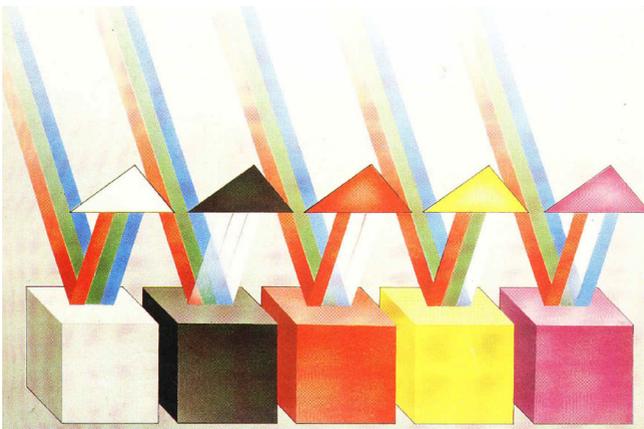
Teoría del Color

Se puede describir el color como la sensación que resulta de la estimulación visual que causan determinadas longitudes de onda. Se puede hacer referencia al color como sensación, cualidad de los objetos que se percibe al haber luz (Guzmán, 2011).

Thomas Young afirma que el tiene tres tipos de receptores, cada uno de ellos sensible a una determinada longitud de onda y por tanto, a una tonalidad de color, razón por la que detecta diferentes colores. Esta teoría fue denominada la teoría tricromática y fue sugerida por el hecho de que, para los observadores humanos cualquier color puede ser reproducido mezclando tres colores, en cantidades variables, acertadamente seleccionadas de distintos puntos del espectro (Badui, 2006). Como se ha visto anteriormente, el ojo humano es sensible a un rango limitado de longitudes de onda (λ), llamado espectro de luz visible, el cual constituye sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. De ahí viene que el color sea "la parte de la energía radiante que el humano percibe mediante las sensaciones visuales que se generan por la estimulación de la retina del ojo" (Badui, 2006).

Todos los cuerpos opacos al recibir luz, absorben y reflejan los rayos dependiendo de sus características físicas, como forma, textura, composición, etc. El color de un objeto es el rayo de luz que dicho objeto refleja, captando el ojo esos rayos reflejados. Si todos los rayos de luz atravesarán el objeto, éste sería invisible (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

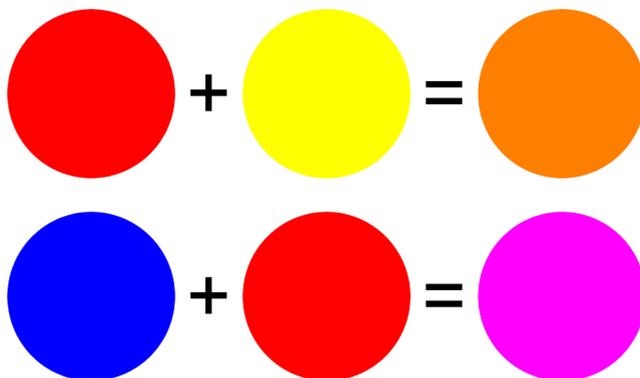
Figura 9. Color de los objetos según los rayos reflejados.



Fuente: Parramón (1988).

La combinación de estos tres colores básicos (rojo, verde y azul) permite diferenciar numerosos tonos. El ojo humano puede distinguir aproximadamente 200 tonalidades diferentes, 20-25 grados de saturación y alrededor de 500 grados de luminosidad (Figura y Teixeira, 2007). El color naranja es rojo con un poco de amarillo y el violeta es azul con un poco de rojo. El cerebro procesa e interpreta esta información.

Figura 10. Ejemplo de colores obtenidos por la suma de otros dos.



Fuente: Autoría propia.

La teoría tricromática se basa en suponer la existencia de un sistema trirreceptor en el órgano de la visión, es decir, que sin importar la composición espectral de la radiación que llega a la retina, la respuesta será evaluada según tres parámetros (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Cuando una persona percibe un determinado color, puede distinguir entre (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014):

- La claridad: atributo del color que hace corresponder a cada uno de ellos una equivalencia con una escala de grises.
- El tono: atributo que adjudica al color una cualidad que se define como rojo (R), verde (G) y azul (B), o cualquier combinación de ellos.
- La saturación, atributo que fijado al tono, describe el color por su similitud con un color espectral puro; cuanto más parecido a éste, resulta más saturado.

El resultado implica una integración de los tres parámetros y el observador no hace distinción del tipo de radiación que produce la sensación de color (González y Vicente, 2007), sólo lo aprecia.

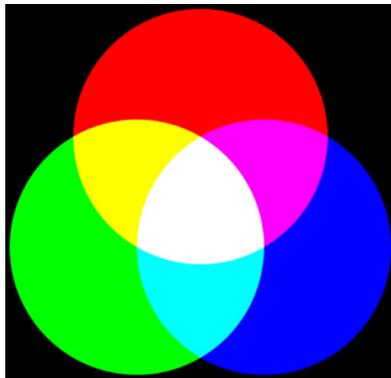
Física del Color

Es importante diferenciar entre el color que nos proporciona la luz y el color de la materia como por ejemplo el óleo, la tempera, los lápices de colores, existiendo dos maneras de combinar los colores dependiendo de si es luz o pigmento.

Síntesis aditiva

Los colores luz son los colores proyectados por haces de luz (focos, monitores, etc) que al ser mezclados proporcionan un color luz más luminoso, más claro. La mezcla del color verde con el rojo se suma y resulta el color amarillo. Young demostró que de los seis colores del espectro de la luz se podían reducir a tres colores primarios o básicos del mismo espectro. O sea, que con solo tres colores: rojo, verde y azul oscuro, se podía componer la luz blanca. Además, observó que mezclando los colores primarios o básicos por parejas se obtenían los otros tres restantes: azul cian, púrpura y amarillo. La suma de los tres colores primarios es el color blanco y la ausencia de todos es el color negro (Parramon, 1988).

Figura 11. Síntesis aditiva.



Fuente: Parramón (1988).

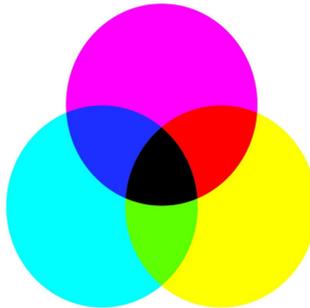
Los colores primarios son los colores que no se obtienen por la mezcla de ningún otro, son únicos. Los colores luz primarios son el rojo, el verde y el azul.

Los colores secundarios se obtienen por la mezcla de dos colores básicos en partes iguales. Los colores luz secundarios son el amarillo (verde y rojo), el azul cian (azul y verde) y el púrpura (rojo y azul).

Síntesis sustractiva

Los colores sustractivos son los que se obtienen con materia como por ejemplo óleo, lápiz de color, etc. que al ser mezclados proporcionan un color más oscuro. La suma de los tres colores primarios es el negro y la ausencia de todos es el blanco (suponiendo que el papel sea blanco). Los colores primarios en la síntesis sustractiva son el purpura, el azul cian y el amarillo que son colores secundarios de los colores luz y los secundarios son los primarios de la luz: el rojo, el verde y el azul (Parramón, 1988).

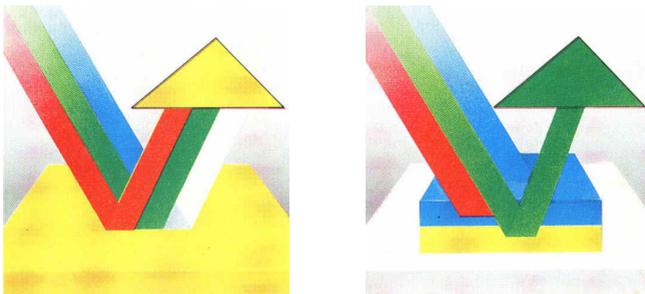
Figura 12. Síntesis sustractiva.



Fuente: Parramón (1988).

En la figura 13 se muestra como se obtiene con colores luz el amarillo (secundario) sumandose los colores rojo y verde (síntesis aditiva) y como se obtiene con colores pigmento el color verde (secundario) mezclando el azul cian y amarillo, el azul absorbe el rojo y el amarillo absorbe el azul, siendo el único que ambos reflejan el color verde, que se obtiene por resta de azul y rojo (Parramón, 1988).

Figura 13. Diferencia entre la obtención de color luz y color pigmento.



Fuente: Parramón (1988).

Propiedades del Color

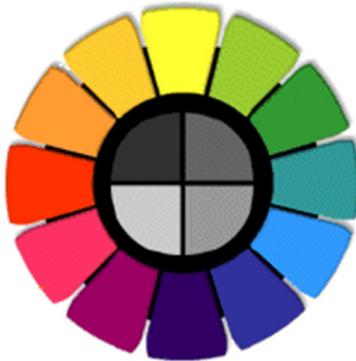
Los colores presentan unas propiedades que definen su apariencia, siendo único. Moreno (2004) indica que dichas propiedades son las siguientes:

Tono, Matiz o Croma (Hue)

Es la cualidad por la que damos el nombre al color. Este atributo está asociado a la longitud de onda dominante en la mezcla de ondas luminosas. Es la sumatoria de longitudes de onda que puede reflejar un objeto. Es la cualidad por la cual diferenciamos y damos su nombre al color. Es el estado puro, sin el blanco o el negro agregados.

El matiz nos permite distinguir el rojo del azul, y se refiere al recorrido que hace un tono hacia uno u otro lado del círculo cromático, por lo que el verde amarillento y el verde azulado serán matices diferentes del verde.

Figura 14. Matices en el círculo cromático.



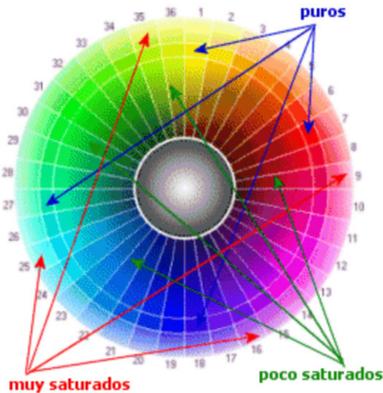
Fuente: Moreno (2004).

Saturación o cromía

Indica la pureza de un color particular, la viveza o palidez del mismo, y puede relacionarse con el ancho de banda de la luz que estamos visualizando. Los colores puros del espectro están completamente saturados. Un color cuanto más se satura, mayor es la impresión de que el objeto se está moviendo. Esta propiedad es siempre comparativa, ya que relacionamos la intensidad en comparación con otras cosas.

También puede ser definida por la cantidad de gris que contiene un color: mientras más gris o más neutro es, menos brillante o menos “saturado” es. Igualmente, cualquier cambio hecho a un color puro automáticamente baja su saturación.

Figura 15. Saturación de los colores.

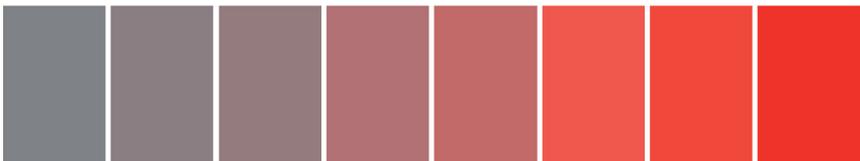


Fuente: Moreno (2004).

Por ejemplo, decimos “un rojo muy saturado” cuando nos referimos a un rojo puro y rico. Pero cuando nos referimos a los tonos de un color que tiene algún valor de gris, los llamamos menos saturados. La saturación del color se dice que es más baja cuando se le añade su opuesto (llamado complementario) en el círculo cromático.

Para des-saturar un color sin que varíe su valor, hay que mezclarlo con un gris de blanco y negro de su mismo valor. Un color intenso como el azul perderá su saturación a medida que se le añada blanco y se convierta en celeste. Otra forma de desaturar un color, es mezclarlo con su complementario, ya que produce su neutralización.

Figura 16. Saturación del color rojo.



Fuente: Moreno (2004).

Brillo

Es un término que se usa para describir que tan claro u oscuro parece un color, y se refiere a la cantidad de luz reflejada por una superficie. El brillo se puede definir como la cantidad de “oscuridad” que tiene un color. Representa lo claro u oscuro que es un color respecto de su color patrón.

Figura 17. Brillos del color rojo.



Fuente: Moreno (2004).

A medida que a un color se le agrega más negro, se intensifica dicha oscuridad y se obtiene un valor más bajo. A medida que a un color se le agrega más blanco se intensifica la claridad del mismo por lo que se obtienen valores más altos. Dos colores diferentes (como el rojo y el azul) pueden llegar a tener el mismo tono, si consideramos el concepto como el mismo grado de claridad u oscuridad con relación a la misma cantidad de blanco o negro que contengan, según cada caso.

La luminosidad es un concepto análogo al brillo. Es la cantidad de luz reflejada por una superficie en comparación con la reflejada por una superficie blanca en iguales condiciones de iluminación.

Clasificación de los Colores

Los colores se clasifican en tres tipos: primarios, secundarios y terciarios o intermedios (De los Santos, 2010).

Colores primarios

Como se ha comentado anteriormente, los colores primarios son aquellos colores que no pueden obtenerse mediante la mezcla de ningún otro, por lo que se consideran únicos. Los colores luz primarios son el rojo, el verde y el azul y los pigmento son el púrpura, el azul cian y el amarillo.

Colores secundarios

Los colores secundarios se obtienen por la mezcla de dos colores básicos en partes iguales. Los colores luz secundarios son el amarillo (verde y rojo), el azul cian (azul y verde) y el púrpura (rojo y azul) y los pigmento secundarios son el rojo, el verde y el azul.

Colores terciarios o intermedios

Los colores intermedios o terciarios, son los que se obtienen mediante la mezcla de un color primario con uno secundario. En colores pigmento sería, por ejemplo, el color resultante de la mezcla del amarillo (color primario) con el verde (color secundario), y tendrá la misma proporción de pigmento de ambos colores. Se nombra primero el color primario seguido del secundario (amarillo-verdoso; rojo-anaranjado, etc).

El Círculo Cromático

El círculo cromático es el resultante de distribuir alrededor de un círculo, los colores del espectro de la luz visible descubierto por Newton y manteniendo el orden: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. El más común, usado por artistas pictóricos, se basa en el rojo, amarillo y azul, el sistema sustractivo imperfecto que suelen adoptar los profesionales que trabajan con pintura, tejidos u otros materiales reflectores. Los colores primarios de la rueda se combinan también con los secundarios, cada uno de los cuales representa una combinación de primarios adyacentes, incluyendo seis terciarios, obteniendo un total de 12 colores (De los Santos, 2010).

Figura 18. Círculo cromático de los artistas pictóricos.



Fuente: De los Santos (2010).

Capítulo 2

Los espacios de color

Hemos visto que con la teoría del color se proporcionan unas reglas básicas para la combinación de los colores. Se define un modelo de color como una fórmula matemática abstracta para describir la representación de los colores. Los modelos de color más conocidos son el RGB y CMYK, que al ser abstractos no sirven para describir un color concreto ya que, hay que primero definir la escala de referencia ya que, son más o menos arbitrarios y hay que asociarlos a un espacio de color absoluto (Lacie, 2004).

En base a modelos de composición del color se definen los espacios de color, definidos por una base de N vectores que al combinarse linealmente generan la totalidad del espacio. Los espacios de color, generalmente, engloban la mayor cantidad de colores posibles que puede ver el ojo humano. Un ejemplo es el espacio RGB formado por tres vectores: Rojo, Verde y Azul, que se verá en profundidad más adelante.

Dependiendo de los vectores que forman la base del espacio de color, se pueden clasificar en espacios de:

- Una dimensión: escala de grises, escala Jet, etc.
- Dos dimensiones: sub-espacio RG, sub-espacio XY, etc.
- Tres dimensiones: espacio RGB, HSV, YCbCr, YUV, Y'I'Q', etc.
- Cuatro dimensiones: espacio CMYK.

Los más utilizados son los de tres dimensiones, donde un color queda definido por sus tres coordenadas, situando la posición del color dentro del espacio. Las coordenadas indican la posición del color dentro del espacio especificado, pero no indican qué color es.

Espacio de color Munsell

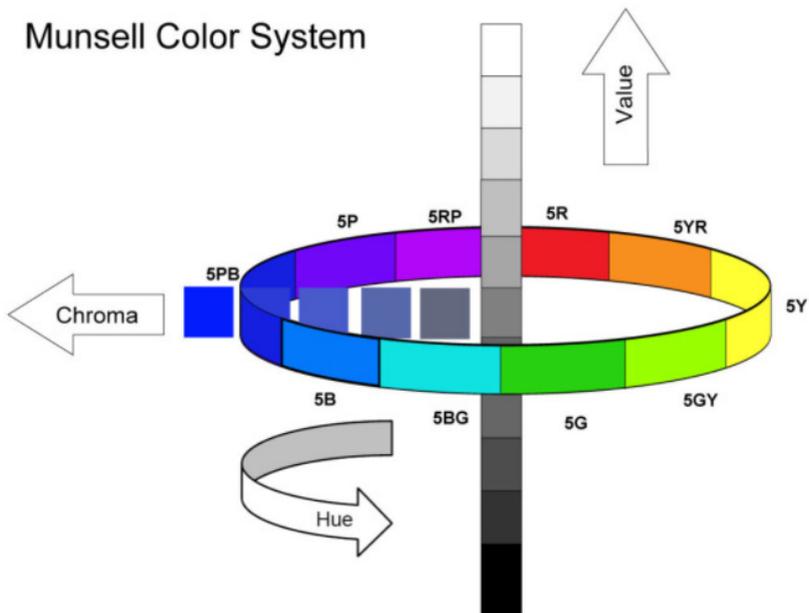
Mathias-Rettig & Ah-Hen (2014) estudiaron el sistema desarrollado por Albert H. Munsell, que era profesor de pintura, donde su prioridad era la de parametrizar los elementos con los que trabajaba, diciendo que “si la música está provista de un sistema en el que cada sonido se define en términos de tono, intensidad y duración, el color también puede ser especificado, mediante un sistema apropiado, en base al tono, luminosidad y croma de las sensaciones”.

El espacio de color Munsell está formado por tres dimensiones del color, donde se mide cada una de ellas con una escala apropiada (Lozano, 1978), siendo éste espacio mucho menos físico y más fisiológico y psicológico que los descritos por la CIE (Gilbert, 1992) que veremos más adelante.

Según indican Lozano (1978), las ventajas que Munsell impuso a su sistema fueron:

- Se reemplazan definiciones vagas y abstractas del color por una notación definida.
- Cada nombre de un color autodefine su grado de tono, croma y brillo.
- Cada color se puede registrar y comunicar mediante un código.
- Se puede escribir la especificación de un color y verificarla mediante pruebas físicas.
- Los colores nuevos no perturban la clasificación ordenada pues les está reservado un lugar.
- La decoloración se puede definir y representar gráficamente a ciertos intervalos, poniendo de manifiesto su progreso en términos de tono, croma y brillo.

Figura 19. Espacio de color Munsell.



Fuente: Sands (2017).

Además, en este sistema la disposición de los colores se realiza según el orden de percepción visual (Francis y Clydesdale, 1975). El brillo se asocia a la escala de grises comprendida entre los valores 1 (negro) y 10 (blanco) (Lozano, 1978; Gilabert, 1992). Munsell dividió su círculo en 100 unidades, de 0 a 100 empezando por los tonos rojo púrpura a rojo (RP-R), pasando por el 5, rojo (R); el 25, amarillo (Y); el 45, verde (G); el 65, azul (B); el 85, púrpura (P) y los intermedios: el 15, amarillo-rojo (YR); el 35, verde-amarillo (GY); el 55, azul-verde (BG); el 75, púrpura-azul (PB) y el 95, rojo púrpura (RP), aunque sólo son cinco los tonos principales - rojo, amarillo, verde, azul y púrpura (Lozano, 1978; Hunt, 1991). Estableció además una relación entre la luminosidad y el valor de cada color que se muestra en la siguiente ecuación:

$$V^2 = 100L_r = 100 \frac{L_x}{L_{MgO}}$$

donde: V valor del color,
 L_r luminosidad del color bajo observación,
 L_x valor medio del color, relativo a la luminosidad del óxido de magnesio
 L_{MgO} luminosidad del óxido de magnesio (MgO).

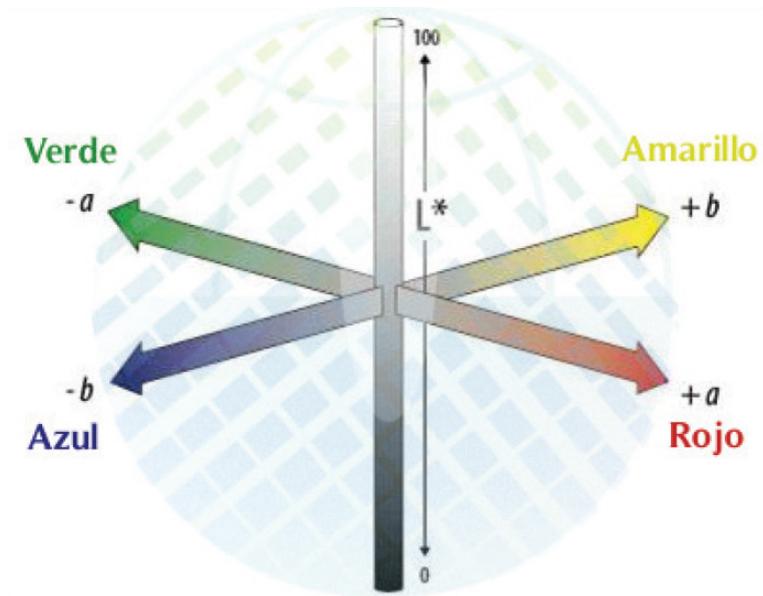
Espacio de color Hunter

Este espacio de color toma como base la teoría de los colores opuestos de Hering, según la cual la respuesta de las células cono rojas, verdes y azules se remezclan en sus codificadores opuestos al desplazarse a través del nervio óptico, desarrollando Hunter en 1948 el espacio de color L, a, b (Calvo y Durán, 1997).

Mathias-Rettig & Ah-Hen (2014) indican que en este espacio, se define un sólido de color llamado Hunter Lab con una superficie de color definida por tres parámetros: L (luminosidad) donde 0 es el negro y 100 es el blanco, a (rojo-verde); los valores positivos para rojo, negativos para verde y 0 el neutro y b (eje amarillo-azul) valores positivos para amarillo, negativos para azul y 0 el neutro.

En el mercado aparecieron colorímetros triestímulo que daban rapidez de respuesta y economía frente a los espectrofotómetros convencionales y fueron claves para la impulsión del sistema L, a, b. Éste espacio es de fácil representación gráfica basado en la teoría de los colores oponentes y surge del espacio CIE XYZ, al igual que el CIE L*, a*, b*, siendo este último el recomendado hoy en día por la CIE.

Figura 20. Coordenadas de color en el espacio Hunter Lab.



Fuente: Mathias-Rettig & Ah-Hen (2014).

Espacios de Color CIE

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) es la autoridad internacional en cuestiones de luz, iluminación, color y espacios de color. La CIE en los años 30 estableció unas normas para los diferentes espacios de color que representan el espectro visible y por estas normas se pueden comparar los diversos espacios de color que existen. Lo primero que se hizo para normar fue definir al espectador medio y su respuesta al color, haciendo determinadas pruebas sobre una amplia muestra de personas. Se definió un espectador medio, al que denominaron “observador estándar”, al que se le acoplaban tres tipos de sensores de color que responden a diferentes gamas de longitud de onda. Así, un área de trazado completa de todos los colores visibles, la percibe como una figura tridimensional (Lacie, 2004).

La CIE ha desarrollado los sistemas más importantes y más utilizados en la actualidad para la descripción y medición del color, los cuales se basan en la

utilización de fuentes de iluminación y observadores estándares (Giese, 1995). Los sistemas CIE usan tres coordenadas para ubicar un color en un espacio de color. Estos espacios de color incluyen CIE XYZ, CIE L*a*b* y CIE L*C*h° (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

CIE XYZ

Se le denomina estándar, usándose en la actualidad como referencia para definir los colores que percibe el ojo humano y otros espacios de color. El espacio CIE XYZ se basa en tres colores primarios imaginarios con caracterización espectral (X, Y y Z) representando mediante éstos el color (ondas electromagnéticas). La combinación de los tres colores primarios imaginarios forma todos los colores que puede ver el “observador estándar” (Lacie, 2004).

Las coordenadas tricromáticas de color X Y Z se obtienen multiplicando los valores para el iluminante, la reflectancia o trasmisión del objeto y las funciones del observador estandar. El producto resultante se suma para la longitud de onda en el espectro visible, resultando los valores triestímulos X Y Z (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

El cálculo de los valores tricromáticos de un objeto sometido a un determinado iluminante, se puede realizar por diferentes métodos tomando como base la luz reflejada. Un método consiste en utilizar un colorímetro con tres filtros para realizar tres medidas sucesivas de la luz reflejada, calculandose posteriormente X, Y y Z (Caivano, 1995).

Las coordenadas obtenidas de X, Y, Z son puntos en un espacio euclídeo, por lo que la diferencia de color entre dos mediciones es la distancia existente entre los dos puntos, pudiéndose calcular mediante la aplicación del teorema de Pitágoras mediante la siguiente expresión (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014):

$$\Delta E = (\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)^{1/2}$$

Donde Δ es el incremento o diferencia y E es la letra inicial de Empfindung del alemán, que significa sensación (Francis y Clydesdale, 1975). La diferencia entre dos colores queda definido por ΔE .

Si dos objetos tienen el mismo color tendrán los mismos valores triestímulo X, Y, Z para determinadas condiciones de iluminación y de observación. Este espacio de color presenta algunos inconvenientes:

Francis y Clydesdale (1975) dicen que es un sistema complejo porque generalmente no se usa simplificado, relacionando el color del objeto con solo un coeficiente: luminosidad, puerza o longitud de onda.

Mathias-Rettig & Ah-Hen (2014) indican que no se puede reconstruir el espectro de reflexión del objeto a partir de los valores triestímulo y además que, si dos muestras presentan diferencias de color (diferentes valores triestímulo) no permite cuantificar dicha diferencia. No es un espacio de color uniforme y cuando se representan sobre un diagrama algunos colores que el ojo no diferencia, se comprueba que estos ocupan en el diagrama superficies más o menos grandes.

Para intentar solucionar estos y otros problemas, los valores X, Y, Z, se transforman matemáticamente, obteniéndose un espacio de color más uniforme (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

El espacio de color CIE XYZ es independiente del dispositivo, empleándose en aquellas aplicaciones donde no influya la naturaleza del dispositivo en la representación del color, usándose habitualmente para cálculos colorimétricos y para especificaciones normalizadas del color (Lacie, 2004).

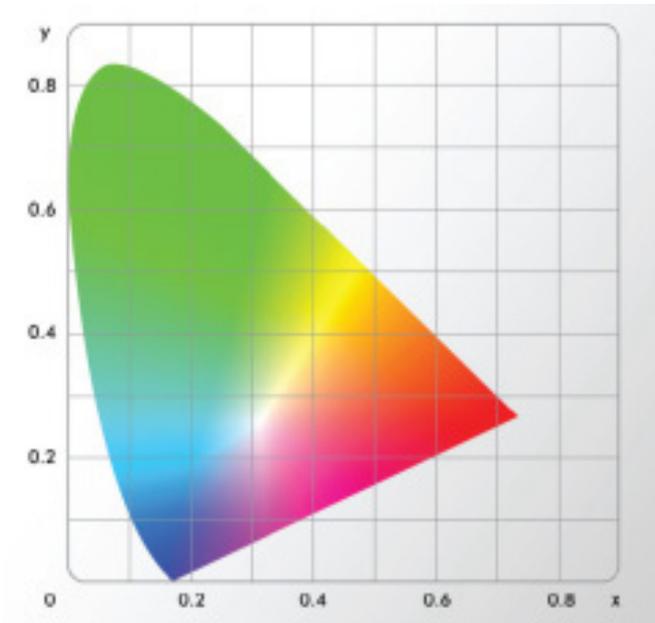
CIE xyY

Para un entendimiento mejor del color, la CIE representó la figura tridimensional donde aparecían todos los colores, en dos dimensiones con las variables de color o cromaticidad y la intensidad. Posteriormente, a una zona de ese espacio le aplicaron el máximo nivel de intensidad, convirtiéndose, esta zona, en el diagrama de cromaticidad o “diagrama de cromaticidad CIE xyY” (figura 21) (Lacie, 2004).

Todos los colores visibles para el observador estandar CIE se representan en una figura con forma de lengua, donde los colores del espectro visible aparecen en la zona curva y en la zona recta se sitúan los tonos púrpura que están fuera del espectro. Los colores menos saturados se representan en la parte interior, estando el color blanco en el centro (Lacie, 2004).

El diagrama de cromaticidad es una herramienta que muestra cómo percibe la luz el ojo humano dentro de un determinado espectro. No permite especificar el color de los objetos ni las tintas para imprimir. Esto es así porque la cromaticidad que vemos al mirar un objeto depende también de la fuente de luz (Lacie, 2004).

Figura 21. Diagrama de cromaticidad CIE xyY.



Fuente: Lacie (2004).

CIE $L^*a^*b^*$

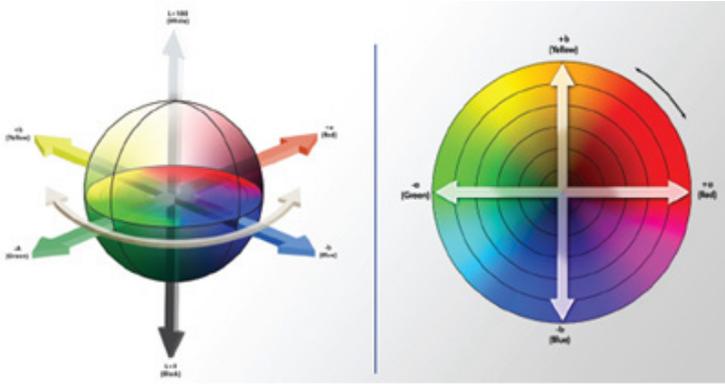
La CIE desarrollo en 1976 el espacio de color $L^*a^*b^*$, el más completo que describe todos los colores que puede ver el ojo humano (Lacie, 2004). Esta es la ventaja de este espacio de color ya que es similar a la visión humana donde las distancias equitativas entre colores en el espacio representan las distancias equitativas visuales (Warris, 1995). Otra ventaja de este espacio es que es objetivo, no dependiendo del dispositivo (Lacie, 2004).

El sólido de color que se forma en este espacio se obtiene por transformaciones no lineales del sistema CIE XYZ-1931. Se define entonces un espacio con las coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*) junto con otro en las coordenadas cilíndricas (L^* , H^* , C^*), resultando un sistema tridimensional esférico (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Cada color se identifica mediante los parámetros: “L” es el valor de la lumino-

sidad o claridad con valores entre 0 que indica negro y 100 que indica blanco; “a” eje verde-rojo con valores entre -100 y 100 siendo los valores negativos el color verde y positivos el rojo y “b” eje amarillo-azul con iguales valores que el eje anterior, siendo los valores negativos el color azul y los positivos el amarillo. Las coordenadas “a” y “b” se sitúan en un plano perpendicular a la luminosidad y su conjunto recibe el nombre de cromaticidad y junto con L* definen el color triestímulo (Lacie, 2004).

Figura 22. Espacio de color CIE L*a*b*



Fuente: Lacie (2004).

Las coordenadas L*, a*, b* son coordenadas adimensionales que tienen equivalencia con el sistema CIE XYZ mediante unas ecuaciones en función de los parámetros X, Y, Z que son los valores triestímulo de la muestra y los X₀, Y₀, Z₀ que son los del punto acromático que corresponde al iluminante empleado (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). Estas ecuaciones son las siguientes:

$$L^* = 116 (Y/Y_0)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}]$$

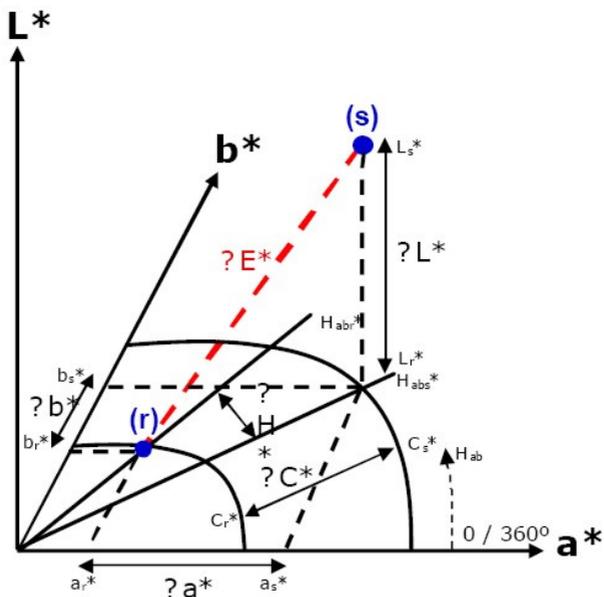
Al representar tridimensionalmente este espacio de color, si tenemos dos puntos que representan dos estímulos de color, r y s, la diferencia cromática entre estos dos estímulos se mide mediante el parámetro delta E que cuantifica numéricamente, la diferencia de percepción de color para el ojo humano, siendo la distancia entre los dos puntos dentro del espacio de color L*a*b* (Lacie, 2004).

La diferencia cromática entre dos estímulos es la distancia euclidiana existente entre los dos puntos en un espacio tridimensional (ΔE). El esquema gráfico de la distancia cromática euclidiana entre dos puntos r y s se representa en la figura 23. En la misma se puede observar que el valor de ΔE representa la hipotenusa de un triángulo, siendo ΔL^* uno de sus catetos y ΔC^* el restante. De acuerdo con el teorema de Pitágoras, esta distancia se puede calcular según la siguiente expresión (Casassa y Sari, 2006):

$$\Delta E_{r,s} = [(\Delta L^*_{r,s})^2 + (\Delta a^*_{r,s})^2 + (\Delta b^*_{r,s})^2]^{1/2}$$

donde: $\Delta L^*_{r,s} = (L^*_r - L^*_s)$; $\Delta a^*_{r,s} = (a^*_r - a^*_s)$ y $\Delta b^*_{r,s} = (b^*_r - b^*_s)$.

Figura 23. Diagrama de cromaticidad CIE xyY.



Fuente: Casassa y Sari (2006).

Se está investigando cuales son las diferencias entre colores en el espacio CIE $L^*a^*b^*$, ΔE necesarias para descubrir una diferencia colorimétrica. Existen estudios que indican que el ojo humano es capaz de discriminar dos colores diferentes cuando $\Delta E = 1$ (Gonnet, J.F. 1998) si se observan los grupos de color de muestra.

Delta E = 1 es la mínima diferencia de color que el ojo humano puede detectar. Los valores de delta E más pequeños que uno, son imperceptibles. Otros estudios indican que, para una imagen aislada de otras referencias del mundo real, los valores inferiores a 2,5 delta E no son perceptibles para el usuario estándar (Casassa y Sari, 2006).

Si bien el espacio de color CIE Lab tiene la misma configuración que el sistema Munsell, presenta frente a este las siguientes ventajas: El cálculo de las coordenadas es mucho más simple y las unidades de las escalas en las magnitudes CIE Lab son casi iguales. Comparado con el sistema Hunter Lab, los espacios de color de ambos resultan similares puesto que miden la luminosidad, el grado de rojo-verde y el de amarillo-azul, aunque con magnitudes diferentes (Giese, 1995).

CIE L**C**H°

El conjunto $a^* b^*$ recibe el nombre de cromaticidad junto con L^* definen el color del estímulo (en coordenadas cartesianas o rectangulares); esto corresponde al término de cromaticidad que no indica explícitamente ni el tono ni la saturación. Este inconveniente se soluciona definiendo C^* (croma) y H^* (tono) según las siguientes expresiones (Francis y Clydesdale, 1975):

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$H^* = \arctg(b^*/a^*)$$

El croma C^* toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos. El tono, H^* , varía entre 0 y 360° y para los estímulos acromáticos ($a^* = b^* = 0$) es una magnitud indefinida.

Ambos términos (C^* , H^*) también definen la cromaticidad del color de un estímulo y, junto con la L^* , determinan las coordenadas cilíndricas del espacio CIE Lab, siendo muy parecidas a las coordenadas del sistema Munsell (Mathias-Regtig & Ah-Hen, 2014).

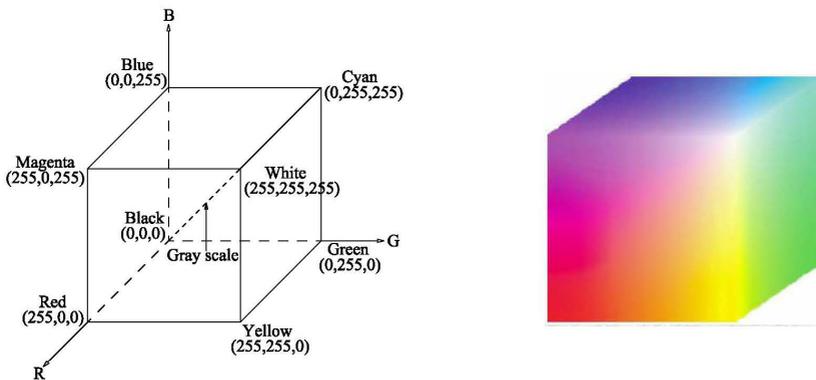
Las coordenadas numérica del color en este espacio vienen determinadas por las tres magnitudes: L^* (luminosidad), C^* (croma) y H^* (tono), en este orden. Además, la caracterización del color se logra mediante las coordenadas de L^* , a^* y b^* , el objetivo principal de la colorimetría es la determinación objetiva de las diferencias de color (Schmidhofer, 1994).

Espacio de Color RGB

Este espacio de color se basa en la síntesis aditiva siendo los colores básicos el rojo, el verde y el azul (RGB, iniciales en inglés, Red, Green, Blue). Cuando la luz de diferentes frecuencias viaja junta, los colores de ambas se une para crear un color nuevo desde el punto de vista del observador. Los colores rojo, verde y azul son los básicos porque cada uno corresponde aproximadamente con uno de los tres tipos de conos sensitivos al color en el ojo humano (65% sensibles al rojo, 33% sensibles al verde y 2% sensibles al azul). Con la combinación apropiada de los tres colores luz básicos, se pueden crear la mayoría de los colores que percibir el ojo humano. Por ejemplo, rojo puro y verde claro producen amarillo, rojo y azul producen magenta, verde y azul combinados crean cian y el color blanco cuando se mezclan los tres al cien por cien de intensidad y el negro cuando ningún color esta presente (Lacie, 2004).

Los colores luz tienen aplicación en los monitores de un ordenador, televisores, smartphones, proyectores de vídeo y todos aquellos sistemas que utilizan combinaciones de luces.

Figura 24. Espacio de color RGB.



Fuente: Coronado (2012).

Para la representación geométrica tridimensional de este espacio, se define una escala que se basa en coordenadas cartesianas para poder obtener una medida cuantitativa. El espacio se forma por tres vectores donde en cada uno se sitúa un color básico graduado entre 0 y 255, ambos valores incluidos. Tenemos el eje "rojo", el eje "verde" y el eje "azul", teniendo el color puro básico cuando uno de estos tres colores está en su valor máximo (255) y los otros dos tienen

valor cero (0): El color rojo tiene valores de rojo al máximo y el resto a cero (255, 0, 0), el verde tiene valor del verde al máximo y el resto cero (0, 255, 0) y el azul tiene el valor del azul al máximo y el resto cero (0, 0, 255).

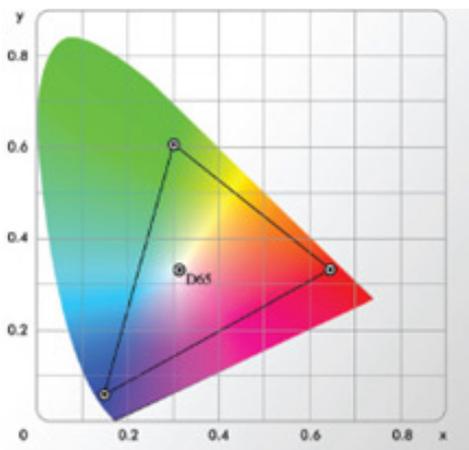
Todos los demás colores se obtienen por combinación de los tres colores básicos: el blanco se obtiene cuando los tres básicos están en su valor máximo (255, 255, 255); el negro cuando están en su valor mínimo (0, 0, 0); el amarillo cuando se combinan el rojo y el verde con valores máximos (255, 255, 0); el cian es la combinación del verde y el azul en sus valores máximos (0, 255, 255) y el magenta es la combinación del rojo y el azul en sus valores máximos (255, 0, 255).

La escala de grises se sitúa en una línea que recorre el sólido cúbico desde el color negro (0, 0, 0) al blanco (255, 255, 255).

Sub espacio sRGB

El espacio de color sRGB o estándar RGB se diseñó en 1996 por Hewlett-Packard y Microsoft y adoptado por las más destacadas empresas para usarlo en monitores CRT y es utilizado en imágenes que circulan por Internet. Tiene una amplísima difusión en la industria de las artes gráficas convirtiéndose en el espacio de referencia para Windows y para los expertos de la imagen. Hay colores que son visibles y pueden reproducirse en CMYK, pero que el espacio sRGB no puede mostrar (Lacie, 2004).

Figura 25. Rango de colores del sub espacio sRGB.

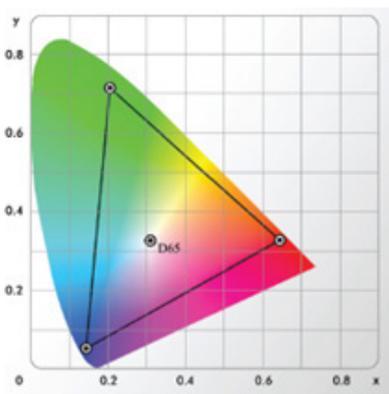


Fuente: Lacie (2004).

Sub espacio Adobe RGB (RGB 1998)

Este espacio fue diseñado en 1998 por Adobe Systems para representar la mayoría de los colores que se podían conseguir con las impresoras de color CMYK, pero solo funciona en dispositivos con colores RGB, como las pantallas de equipos informáticos. Este espacio presenta un 50% aproximadamente de los colores visibles por el ojo humano y definidos por el espacio de color $L^*a^*b^*$. Por lo tanto, amplía la gama de colores del sRGB, sobre todo los cian y verdes (Lacie, 2004).

Figura 26. Rango de colores del sub espacio Adobe RGB.



Fuente: Lacie (2004).

Espacio de Color CMY-CMYK

Este espacio se basa en la síntesis sustractiva de colores (también es llamado espacio de color sustractivo) donde los colores básicos son el cian, magenta y amarillo (CMY en inglés Cyan, Magenta, Yellow). Este espacio trabaja mediante la absorción de la luz (colores secundarios) siendo los colores que se ven, la parte de luz que no es absorbida. El color blanco se crea por la ausencia de los colores (asumiendo que el papel sea blanco) y el color negro se crea mezclando los tres colores básicos.

El color rojo se genera con la mezcla de magenta más amarillo, el azul con la mezcla de magenta más cian, verde se obtiene con cian más amarillo y la combinación de cian, magenta y amarillo forman negro. El negro obtenido por la mezcla de colores primarios sustractivos no es tan denso como el color negro

puro (uno que absorbe todo el espectro visible). Por esta razón, al espacio CMY original se le añadió un color clave (Key), que normalmente es el color negro (Black) y así se forma el espacio CMYK o CMYB.

Este espacio es el usado por los sistemas de impresión, utilizando las impresoras de tinta el color negro además de los tres colores básicos, generando mejor contraste en la impresión.

Espacios de Color YUV, YIQ, YCBCR

Estos espacios son usados en los dispositivos de vídeo y televisión, teniendo tres canales, uno de luminancia Y y otros dos con codificación del color (crominancia).

El espacio YUV es el usado por los sistemas de difusión de televisión PAL y NTSC, estándares en la mayoría de los países del mundo.

El espacio YIQ era el usado antiguamente por el estándar de televisión NTSC. YIQ es una recodificación de RGB para mantener la compatibilidad con las televisiones en blanco y negro, teniendo toda la información requerida para las televisiones de blanco y negro, la componente Y.

YCbCr se usa en sistemas de fotografía y vídeo digital. Es una “versión trasladada y escalada” del sistema YUV. Si sólo tenemos en cuenta la componente Y de la imagen, lo que obtenemos es una imagen en escala de grises.

Espacios de Color HSI y HSV

Cuando se trabaja con imágenes digitales y hay que realizar cualquier proceso en dicha imagen, puede que el modelo RGB no sea el más adecuado. Los modelos HSI (Hue, Saturation, Intensity) y HSV (Hue, Saturation, Value) se utilizan para el procesamiento de imágenes, basándose en las propiedades de la visión humana, representando el color de manera intuitiva como el ojo percibe el color. La componente I ó V se corresponde con la intensidad, mientras que las componentes H (tono) y S (saturación) codifican la información del color.

El espacio HSV es cilíndrico, asociado a un cono hexagonal, debido a que es un subconjunto visible del espacio original con valores válidos de RGB. La tonalidad (Hue) se refiere a la percepción de un tipo de color, es la sensación humana. La saturación (Saturation) es la cantidad del color o la “pureza” de éste. Varía desde un color “claro” a un color más vivo (azul cielo – azul oscuro).

También se puede considerar como la mezcla de un color con blanco o gris. El valor (Value) es la intensidad de luz de un color o también la cantidad de blanco o de negro que posee un color.

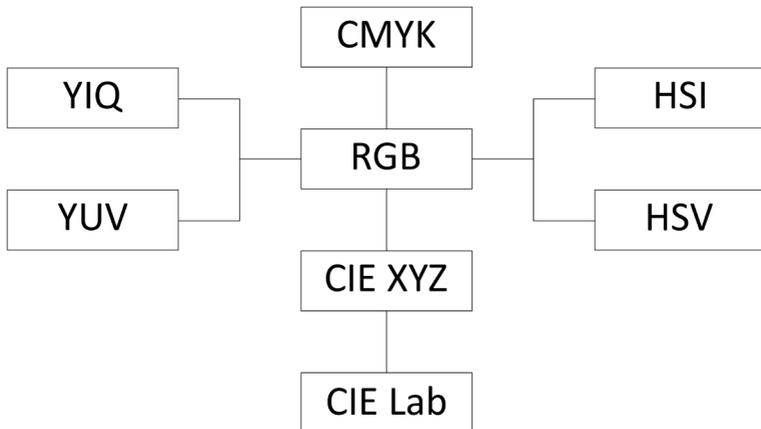
Conversión de Colores entre Espacios de Color

Nos ha pasado alguna vez que vemos unos determinados colores en la pantalla del ordenador y cuando se imprimen, estos colores varían, no son los mismos. Esto se debe a que la pantalla del ordenador utiliza un espacio de color distinto al de la impresora. Cada uno de los dispositivos utiliza espacios de color diferentes lo que hace necesario algún mecanismo de conversión de colores.

El mecanismo de conversión más preciso es el que cuenta con referencias que no dependen del dispositivo ni de la plataforma. Los espacios de color CIELAB y CIE XYZ son elementos clave en este proceso (Lacie, 2004).

Actualmente, la conversión entre espacios de color se puede realizar de manera rápida y sencilla con programas informáticos (por ejemplo photoshop), aunque es interesante repasar los algoritmos que se utilizan para la conversión de colores entre los distintos espacios de color. En la figura 26 se muestra un esquema de las conversiones entre algunos espacios de color.

Figura 27. Esquema de conversión entre espacios de color.



Fuente: Coronado (2012).

Conversión CMYK-RGB

El espacio CMYK se obtiene por transformación lineal del modelo RGB, a través de la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Los rangos en ambos espacios de color son entre 0 u 1. La matriz nos indica que una luz reflejada por una superficie color amarillo puro tendrá valores C=0, M=0, Y=1, no teniendo luz azul, por lo tanto tendrá valores R=1, G=1, B=0. Otro ejemplo con un color magenta puro (C=0, M=1, Y=0) no refleja la luz verde (R=1, G=0, B=1) y un cian (C=1, M=0, Y=0) no refleja la luz roja (R=0, G=1, B=1).

Conversión CIEXYZ-RGB

El espacio de color CIEXYZ se obtiene por transformación lineal del modelo RGB a partir de las siguientes matrices de transformación lineal, para rangos de valores entre 0 y 1.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4125 & 0,3576 & 0,1804 \\ 0,2127 & 0,7156 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9502 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,2405 & -1,5372 & -0,4985 \\ -0,9693 & 1,8760 & 0,0416 \\ 0,0556 & 0,2040 & 1,0573 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

El modelo CIE XYZ es fundamental para las transformaciones del sistema RGB a otros espacios de color como el CIEL*a*b*.

Conversión RGB-CIEL*a*b*

La transformación del espacio RGB al espacio CIELAB no es inmediata, calculándose los valores L*, a* y b* mediante transformaciones no lineales usando el espacio CIEXYZ como intermediario, utilizándose las ecuaciones ya vistas en el apartado espacio de color CIE L*a*b*:

$$L^* = 116 (Y/Y_0)^{1/3} - 16 ; a^* = 500 [(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] ; \\ b^* = 200 [(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}]$$

donde X_n , Y_n , Z_n corresponden con el color blanco de referencia, definido en la conversión CMYK-RGB con valores $R=1$, $G=1$ y $B=1$. L^* se representa en un rango de valores $[0,100]$, mientras que a^* y b^* oscilan en el rango $[-60,60]$.

Conversión YIQ/YUV-RGB

La conversión entre los espacios RGB, YIQ e YUV es lineal con los valores cromáticos obtenidos en los rangos 0 y 1, es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,596 & -0,275 & -0,321 \\ 0,212 & -0,523 & 0,311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,147 & 0,289 & 0,436 \\ 0,615 & -0,515 & -0,100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Si se calculan las inversas de esas matrices, se obtienen los valores RGB a partir de los valores de YIQ e YUV.

Conversión HSI-RGB

Los espacios HSI derivan del espacio RGB a partir de una transformación de coordenadas. Los valores de intensidad, matiz y saturación se calculan a partir de los valores RGB, siendo la conversión no lineal. La transformación para el matiz H con representación de RGB en rango $[0,1]$ es la siguiente:

$$H = \cos^{-1} [1/2[R-G)+(R-B)]/[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}$$

si $B>G$, entonces $H=360-H$. El valor del matiz es un número entero de rango entre 0 y 360.



Capítulo 3

Medición del color

La Imagen Digital

Es recomendable comenzar con el tema de explicar las imágenes digitales ya que, las mediciones del color se realizan sobre este tipo de imágenes a través de los histogramas.

La imagen digital surge con el desarrollo de la informática, teniendo como antecedente la fotografía tradicional, siendo almacenada en diferentes formatos, puede ser almacenada en dispositivos digitales y enviada por correo, redes sociales, etc, además de poder imprimirse.

La imagen digital se compone de un código numérico que los dispositivos digitales muestran en pantalla mediante unos puntos ordenados llamados píxeles. Estas imágenes se pueden obtener, generalmente, mediante escáner o cámara digital y son almacenadas en bits (Monteagudo, 2002).

La diferencia entre una fotografía tradicional y una imagen digital es que la primera está formada por puntos o granos de plata metálica situados de forma aleatoria y la segunda esta formada por puntos (píxeles) pero ordenados en una matriz de filas y columnas y cuanto mayor sea la matriz mayor será el detalle y el tamaño del archivo. El píxel (del inglés "picture element") es la unidad mínima de información, siendo todos del mismo tamaño con forma cuadrada y con información de un color determinado guardada en formato binario (Rodríguez, 2003).

Los ordenadores almacenan información en base al código binario, compuesto de ceros (0) y unos (1). La información es guardada encendiendo unos micro-interruptores que tienen solo dos posiciones: encendido es la posición 1 y apagado es la posición 0, componiendo todos los números con estas dos cifras. Las cifras binarias se componen de un número total de ceros y unos que es potencia de 2, como 8, 16 o 32. A cada uno de estos unos y ceros se les llama bit (contracción de "binary" "digit", dígito binario) que es la unidad de información. Un bit posee poca información por lo que se suelen juntar en Bytes que es un conjunto de 8 bits, obteniéndose el Kilobyte (k) con 1024 bytes, el Megabyte (MB) con 1024 Kb y el Gigabyte (GB) con 1024 MB (Rodríguez, 2003).

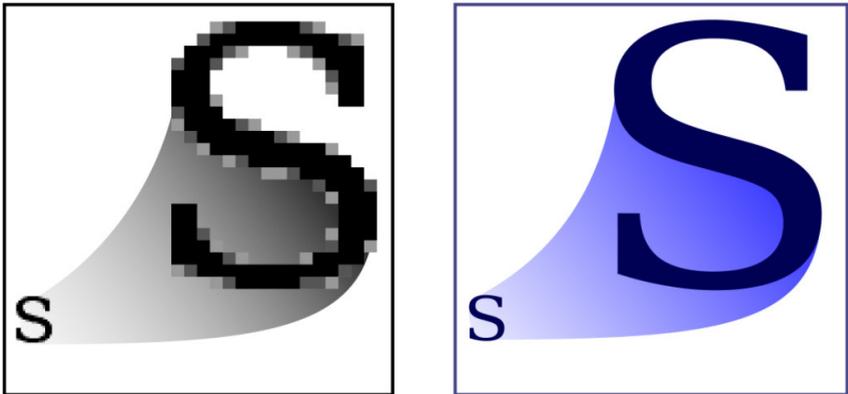
Un Byte está compuesto por ocho bits al que se le asigna a cada lugar los números por orden 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128. Si queremos representar el número 27, los interruptores del 1, 2, 8 y 16 se encienden y por lo tanto tendrán valor 1, quedando el resto apagados con valor 0. El número 27 en binario sería el 11011000. El número bajo que contiene un Byte es el 0 (00000000) y el mayor es el 255 (11111111).

Tipos de imágenes

Existen dos tipos de imágenes digitales: imágenes vectoriales y de mapa de bits. Las imágenes vectoriales se componen de entidades geométricas simples: líneas, polígonos, splines, etc. generando curvas mediante sucesión de líneas rectas, estando cada entidad definida por sus coordenadas inicial y final, grosor y color del contorno, color del relleno, etc. Al cambiar la escala estas imágenes no pierden calidad.

Las imágenes de mapa de bits se componen de píxeles ordenados en una matriz y con un color uniforme. Estas imágenes no permiten cambio de escala ya que al aumentarla se pueden llegar a visualizar los píxeles, efecto llamado pixelado.

Figura 28. Diferencia entre imágenes de mapa de bits y vectoriales.



Fuente: Rodríguez (2003).

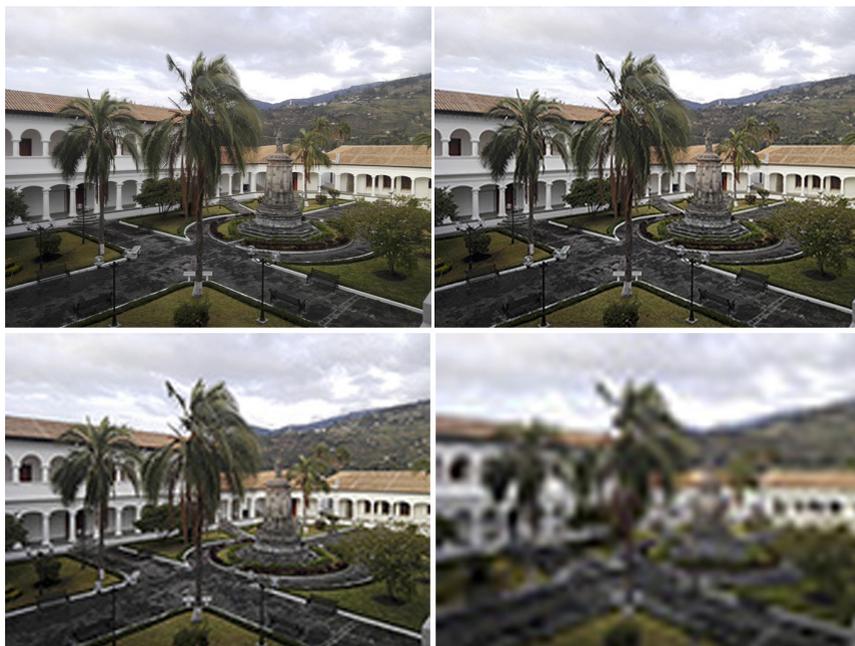
La resolución

Solo se aplica a imágenes de mapa de bits ya que, las imágenes vectoriales no varían con el cambio de escala. La resolución es la capacidad de reproducir fielmente los detalles de la imagen. Este concepto es aplicable también a las impresoras, monitores, cámaras o escaneros. En las imágenes de mapa de bits la resolución es el número de píxeles que la componen y se mide en píxeles por pulgada (ppp) o píxeles por centímetro (pcm). Dependiendo del dispositivo

la resolución se tiene que adecuar a este, ya que una resolución de 72 ppp es suficiente para ver imágenes en internet, pero no es adecuada para imprimirla en papel, ya que saldrá pixelada. Las dimensiones de las imágenes se suelen expresar en cm o en mm, aunque en los programas informáticos se presentan en el número de píxeles en anchura por número de píxeles en altura.

En la figura 29, se presentan cuatro imágenes con diferentes resoluciones: 4160x3120, 347x260, 174x130 y 58x43 píxeles.

Figura 29. Diferentes resoluciones de una fotografía.



Fuente: Autoría propia.

Formatos de imagen

Los formatos de imagen definen la manera en que se guarda la imagen y la información que alberga. Los diferentes formatos presentan ventajas e inconvenientes siendo algunos de los más importantes los siguientes:

Formato JPG (Joint Photographic Experts Group)

Es de los formatos más utilizados siendo muy flexible. Para la compresión de datos existen dos tipos de algoritmos: lossless y lossy. En lossless, la imagen reconstruida después de comprimirla es idéntica a la imagen original en una base de píxel por píxel. En lossy (compresión irreversible) la imagen reconstruida existe algo de degradación de la imagen original en cada paso de compresión y descompresión. Las imágenes JPG utilizan el algoritmo tipo lossy.

Las imágenes JPG se basan en dividir la información en color y luminosidad y comprimirlas por separado debido a que el ojo humano percibe peor los cambios de color que las variaciones de luminosidad.

Formato GIF (Graphic Interchange Format)

Reduce las imágenes indexando los colores asimilándolos a uno de los 256 colores de su tabla de colores. De los colores que tiene uno puede hacerse transparente, lo que permite suprimir el fondo. Fue muy extendido en los primeros años de internet pero es de formato privado lo que provocó la aparición de un formato libre, el PNG.

Formato PNG (Portable Network Graphic)

En este formato la compresión no tiene pérdidas de calidad y permite fundir la imagen con el fondo. No soporta animaciones y es de gran capacidad, siendo de uso libre.

Formato RAW

Este formato se asemeja al negativo de la fotografía tradicional ya que, la imagen se conserva sin procesar, se conserva la escena y se puede terminar de tomar la foto en el ordenador. Cuando se toma una imagen en formato JPG, la cámara comprime la imagen y la prepara para poder verla en cualquier dispositivo, enviarla, etc. Con el formato RAW la cámara registra los datos y todos los posibles valores, dejándola “abierta” para cualquier cambio posterior (Pérez, 2011).

La imagen obtenida en este formato no comprime, captando toda la información posible, permitiendo cambios posteriores para ajustarla y mejorarla, no permitiendo cambiar detalles como el encuadre o la disposición de los objetos. Al tener tanta información los archivos en este formato poseen mucho tamaño y actualmente no existe estandarización del formato (Pérez, 2011).

El Histograma

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española el histograma es la representación gráfica de una distribución de frecuencias por medio de rectángulos, cuyas anchuras representan intervalos de la clasificación y cuyas alturas representan las correspondientes frecuencias, representando en el eje vertical las frecuencias y en el horizontal el valor de la variable.

Es útil cuando existen un número considerable de datos que es necesario organizar para posteriormente analizarlos. También se utiliza para comparar resultados de un determinado proceso pudiendo observar desviaciones respecto a los límites preestablecidos. El histograma, al ser una representación gráfica, ayuda a poder visualizar la tendencia de los datos.

Para el caso de la fotografía digital, el histograma representa gráficamente los píxeles que existen en una imagen que tienen un determinado valor de luminosidad. En el eje X (horizontal) están los 256 valores de la luminosidad de la imagen con valor 0 en la parte izquierda que corresponde al color negro y valor 255 en la parte derecha que corresponde al color blanco. En el eje Y están representados el número de píxeles de la imagen que existe por cada uno de los valores.

Los valores indicados en el párrafo anterior corresponden a un histograma que mide los valores en el espacio de color RGB, pero existen histogramas para la medición de los valores en cualquier espacio de color (los más usados son el RGB, CIELab y CMYK).

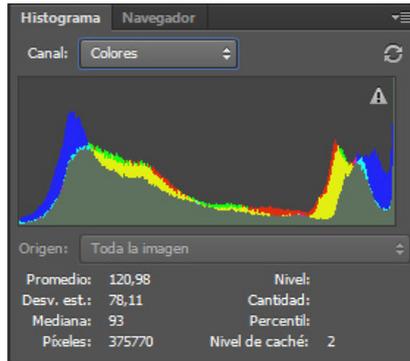
En una imagen digital en el espacio RGB, el color que tiene cada píxel tiene un valor entre 0 y 255 asignado a cada canal de color. Obtenemos un color negro con valores $R=0$, $G=0$, $B=0$; un gris tendría valores $R=125$, $G=125$, $B=125$; un blanco puro tiene los valores $R=255$, $G=255$, $B=255$ y un amarillo tendría $R=255$, $G=225$, $B=0$.

Las imágenes digitales son muy diferentes por lo que cada histograma difiere de una imagen a otra. Se habla de un histograma en clave alta cuando la gráfica se concentra entre el centro y la derecha, teniendo valores altos y por lo tanto es una imagen con tonos claros. Se dice que está en clave baja cuando la gráfica se sitúa más a la izquierda, con valores más bajos y por lo tanto con tonos más oscuros.

Cada histograma se puede descomponer en cada uno de los canales que lo componen. El del espacio RGB se compone de tres, rojo, verde y azul y añade además el de la luminosidad. El del espacio CIELab tiene los canales de la L^* , luminosidad, el canal a^* rojo/verde y el b^* amarillo/azul. Tanto del histograma

completo que incluye todos los canales superpuestos como el de cana canal, se muestran valores promedio, la desviación típica, la mediana y el número de píxeles.

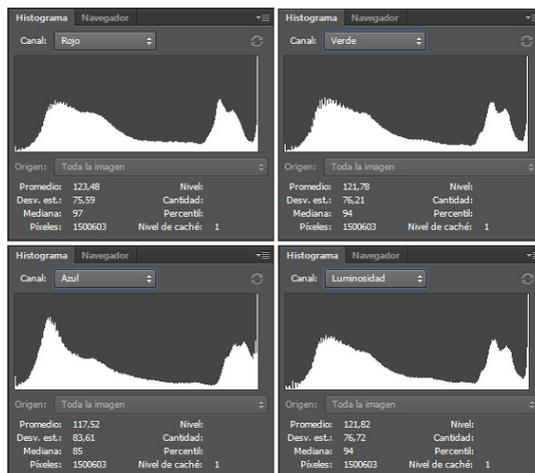
Figura 30. Histograma del espacio de color RGB



Fuente: Autoría propia.

El histograma es una herramienta utilizada para comparar imágenes, por ser cuantificables los parametros de los espacios de color y cualquier mínima variación es detectada de manera sencilla pudiendo saber si existen o no, más píxeles.

Figura 31. Histograma del espacio de color RGB separado por canales.



Fuente: Autoría propia.

Normativa para la Medición del Color

La norma europea UNE-EN 15886 de enero de 2011 llamada en su versión española Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies. El objeto de esta norma es describir la metodología para medir el color de la superficie de materiales inorgánicos porosos, tratados y no sometidos a tratamiento o envejecimiento, y sus posibles cambios cromáticos.

La norma enumera los siguientes materiales inorgánicos porosos: piedras naturales, materiales sintéticos tales como mortero, yeso, ladrillo y otros.

Se define el espacio tricromático CIE XYZ como el sistema de medición establecido en el año 1931 por la Comisión Internacional de Iluminación CIE (1931) indicando que la interpretación de datos numéricos se basa en el principio de que los colores se obtienen mezclando tres colores primarios irreales definidos como X, Y, Z, definiendo éstos la estructura de referencia en el espacio triestímulo y cualquier conjunto (X, Y, Z) es un vector en este espacio.

También se define el espacio CIE $L^*a^*b^*$ 1976 como la transformación del espacio CIE XYZ en un espacio métrico, indicando que es útil para el cálculo de diferencias de color ya que permite definirlos mediante valores numéricos. Las coordenadas de este espacio son: L^* claridad en la escala desde 0 (negro) a 100 (blanco), a^* rojo/verde con $+a^*$ indicando tendencia al rojo y $-a^*$ tendencia al verde y b^* amarillo azul con $+b^*$ indicando la tendencia al amarillo y $-b^*$ la tendencia al azul.

La metodología se basa en la determinación del color de una superficie con una cuantificación instrumental expresada numericamente, representando el color en el espacio cromático CIE $L^*a^*b^*$ donde cualquier color de la gama visible se define mediante tres coordenadas.

Los instrumentos que normalmente se utilizan para la medición del color son los colorímetros triestímulo o espectrofotómetros de reflectancia. La zona de la superficie del material que se somete a ensayo debe ser representativa del color del material y cuando se trate de materiales no homogéneos el número de puntos de medición debe adaptarse de manera que se obtengan valores estadísticamente representativos.

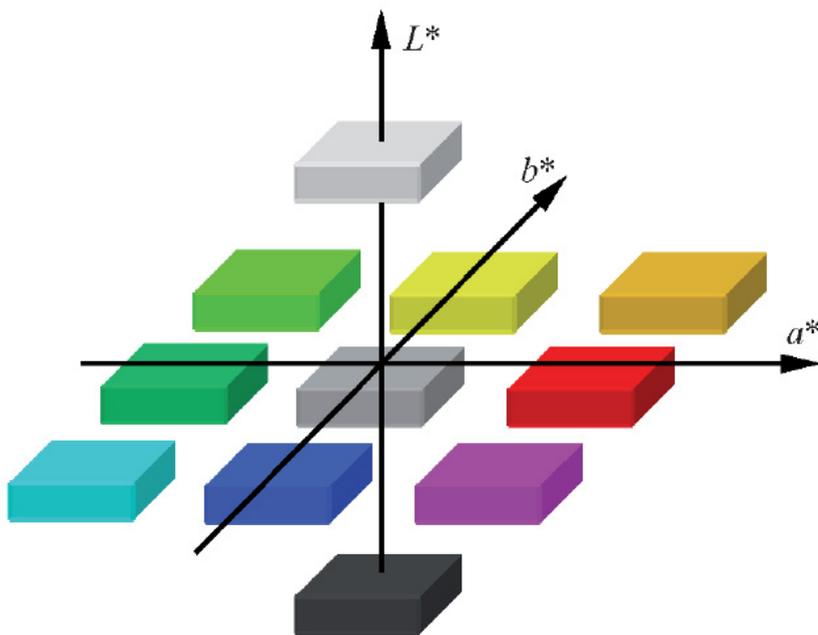
Para realizar la medición se considera adecuado un número de cinco muestras, realizando un mínimo de cinco mediciones en cada muestra obteniendo un valor medio fiable. Los puntos de medición se eligen de forma aleatoria.

Los valores CIE L*a*b* 1976 se calculan a partir de los valores X, Y, Z de cada muestra, hallando las diferencias de color ΔE entre dos mediciones es la distancia geométrica entre sus posiciones en el espacio cromático CIE L*a*b* y se calcula con la expresión:

$$\Delta E_{21} = [(\Delta L^*_{21})^2 + (\Delta a^*_{21})^2 + (\Delta b^*_{21})^2]^{1/2}$$

donde: $\Delta L^* = (L^*_2 - L^*_1)$ que corresponde a la diferencia de claridad; $\Delta a^* = (a^*_2 - a^*_1)$ que corresponde a la diferencia rojo/verde y $\Delta b^*_{r,s} = (b^*_2 - b^*_1)$ que corresponde a la diferencia amarillo/azul.

Figura 32. Espacio cromático CIE L*a*b*.



Fuente: AENOR UNE-EN 15886 (2011).

Esta normativa indica que al final del ensayo se tiene que realizar un informe que donde incluya la siguiente información: finalidad de las mediciones, descripción de las muestras, documentación fotográfica, número de mediciones, características técnicas de los instrumentos de medición, resultados de ΔL^*_{21} , Δa^*_{21} , Δb^*_{21} , diferencia de color ΔE_{21} , valores X, Y, Z, condiciones ambientales (T^a y RH) y conclusiones.

Técnicas de Medición del Color

La colorimetría estudia la medición del color y los métodos utilizados para cuantificarlo. Para la medición del color se necesitan métodos asociados a los espacios de color, que nos lo cuantifiquen de manera exacta. Un factor importante para cuantificar el color de un objeto es la luz que incide en el ya que, dependiendo del tipo de la intensidad y del tipo de luz el color que se percibe, puede variar. Los colores parecen diferentes si se observan bajo luz artificial o bajo luz natural y también dependiendo de la hora del día. Cada iluminación tiene los diferentes colores del espectro, pero en distinta proporción. La fluorescente tiene más azul y la incandescente más rojo y amarillo.

Un iluminante es una fuente de luz definida por una potencia espectral relativa, que puede estar físicamente disponible como una fuente estándar de iluminación. La CIE definió las series de iluminantes A, B, C y más recientemente las D y F. Estos iluminantes responden a la necesidad de simular instrumentalmente y de manera normalizada las condiciones naturales bajo las cuales se observa el color (González y Vicente, 2007). Cada iluminante tiene un comportamiento diferencial en cuanto a la emisión de energía a lo largo del espectro de luz visible. Los iluminantes de la serie D (D50, D55, D65, D75) son los más representativos de la distribución espectral de la luz blanca y son los más utilizados en la actualidad (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

González y Vicente (2007) indican que los iluminantes estandar establecidos por la CIE son los siguientes:

Iluminante A que simula una lámpara de filamento incandescente (temperatura K 2854).

Iluminante B simula la luz del medio día (temperatura K 4878).

Iluminante C simula la luz diurna promedio (temperatura K 6750).

Iluminante D65 simula la luz natural de día (iluminante C+UV)(temperatura K 6500).

Iluminante F2 simula una lámpara fluorescente blanca (temperatura K 4200).

Iluminante F7 simula a lámpara fluorescente de luz de día (temperatura K 6500).

A continuación se presentan diferentes métodos y aparatos para la medición del color.

Colorímetros

Son dispositivos triestimulares (tres filtros: rojo, verde y azul) para cada longitud de onda que se basan en la visión del ojo humano, emulando la respuesta del ojo al color y a la luz (Figura y Teixeira, 2007).

Tienen diferentes iluminantes para la toma de mediciones y según la lámpara que proyecta la luz sobre el objeto, se percibe el color con desviaciones cromáticas que pueden ser importantes.

Figura 33. Colorímetro Konica Minolta.



Fuente: Konica Minolta (2017).

Los colorímetros incluyen un software que, generalmente, cuantifica el color en base al espacio de color CIELab aunque, existen variaciones cuantificando los colores en base a cartas colorimétricas como las Pantone o las RAL.

Actualmente en el mercado, existen gran variedad de marcas con estos equipos, existiendo muchos colorímetros específicos para determinados materiales. Marcas conocidas son Konica Minolta, Hunter Lab, Gardner, Color Eye, Color Master y Momcolor.

Espectrofotómetros

Es una forma de colorímetro que contiene un dispositivo fotoeléctrico para cuantificar la potencia de radiación, capaz de seleccionar y medir la intensidad de las radiaciones de diferentes longitudes de onda contenidas en un espectro, dentro del rango para el cual ha sido diseñado. Generalmente permiten registrar gráficas o espectros; existen diseños para el ultravioleta y el visible, y para las regiones del infrarrojo cercano, el infrarrojo fundamental o medio y el infrarrojo lejano (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Figura 34. Espectrofotómetro.



Fuente: Konica Minolta (2017).

El espectrofotómetro mide el color y apariencia de muestras opacas, transparentes, y translúcidas, pudiendo ser éstas sólidas, líquidas, pastas, polvos, pastillas y granos.

Cartas de color

El Sistema Munsell, uno de los primeros sistemas de medición de color creado por A. H. Munsell en 1905, el cual utilizó un gran número de tarjetas de colores clasificadas de acuerdo a su tono, luminosidad y saturación. Posteriormente este sistema evolucionó un poco más al asignarle una codificación de letras y números (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Actualmente existen dos cartas de color universalmente conocidas: Pantone y RAL. La carta Pantone se fundó en Estados Unidos en el año 1962, estando cada color con un numero identificador, con un total de diez mil colores aproximadamente, utilizandose unos dos mil solamente en arquitectura y diseño de interiores. Esta carta es de renovación anual incorporando nuevos colores con tonos diferentes.

Figura 35. Carta de colores Pantone.



Fuente: Pantone (2017).

La carta RAL proviene de alemania inventada en el año 1927 y codifica los colores con un conjunto de cuatro dígitos, siendo el primero el que define el rango de color (1 amarillo, 2 naranja, 3 rojo, 4 violeta, 5 azul, 6 verde, 7 gris, 8 marrón y 9 blanco/negro). En su inicio constaba de 40 colores, teniendo actualmente 230.

Figura 36. Carta de colores RAL.



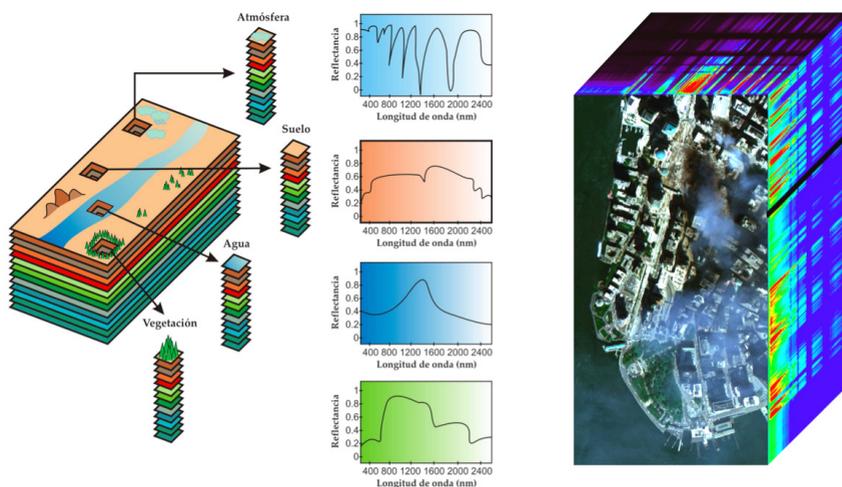
Fuente: RAL (2017).

Imágenes hiper-espectrales

Roman-Gonzalez y Vargas-Cuentas (2013) definen una imagen hiperespectral como una imagen que tiene varias bandas espectrales de información a través de todo el espectro electromagnético.

Ultimamente están reconocidas por determinar la calidad y análisis de seguridad en forma no destructiva y rápida. El método es recopilar y procesar información a lo largo de todo el espectro electromagnético. La formación de imágenes espectrales divide el espectro en muchas bandas. Esta técnica de dividir las imágenes en bandas puede extenderse más allá de lo visible, surgiendo esta técnica (Wu y Sun, 2013).

Figura 37. Imágenes hiperespectrales.



Fuente: Fallola (2015).

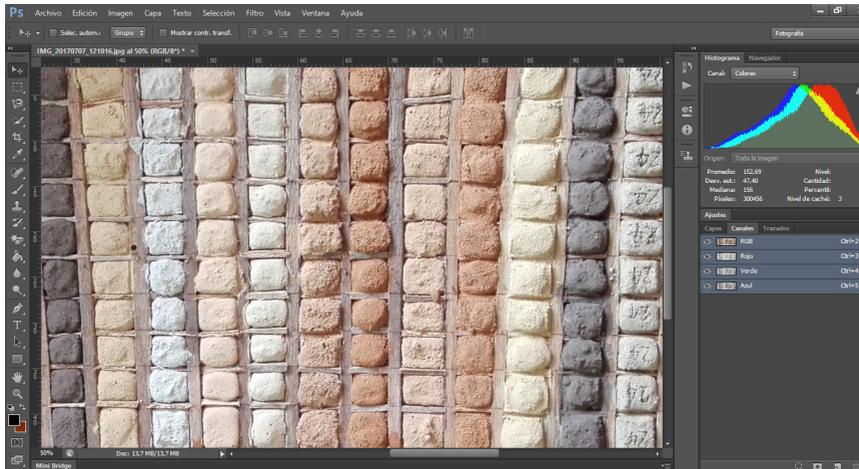
A través de estas imágenes se puede ver lo que el ojo no es capaz de percibir, siendo una herramienta clave para estudiar temas como el cambio climático, detectar agentes contaminantes, analizar yacimientos geológicos, etc. Las imágenes poseen tres longitudes de onda, rojo, verde y azul. Las imágenes hiperespectrales tienen cientos de bandas que captan información y datos que el ojo humano no puede apreciar. Poseen gran tamaño por lo que ocupan mucho espacio de almacenamiento (Fallola, 2015).

Visión digital

En los últimos años, está apareciendo una técnica, la visión digital, por la que se generan imágenes digitales por medio de cámara fotográficas y escáneres para posteriormente analizarlas en ordenadores mediante software especializado, analizando e interpretando la información y de manera similar a como lo hace el ojo humano y el cerebro. Al ser una técnica no destructiva a teniendo gran aceptación, extendiéndose su uso a diferentes disciplinas (Aguilera, 2011).

Los aparatos de captación de la imagen son claves en esta técnica, teniendo que seleccionarlos bien, definiendo las características que se quieren para la realización del ensayo. Una vez obtenida la imagen se pasa al ordenador y ahí se requiere de programas específicos para su análisis.

Figura 38. Análisis de imágenes para la obtención de valores de histograma.



Fuente: Autoría propia.

De la multitud de los programas informáticos para el análisis de imágenes digitales, uno de los más usados es el Photoshop. En la figura 38 se muestra una imagen en la que se están obteniendo datos de su histograma en el espacio de color RGB, para posteriormente realizar un análisis de los datos obtenidos, utilizando, generalmente, métodos estadísticos.

En base a ésta técnica, se realiza una metodología para la medición sencilla del color en la superficie de diferentes materiales. A continuación se detallan los pasos para obtener dicha metodología.

Metodología para la Medición del Color de la Superficie de diferentes materiales en el Espacio RGB

Como se ha visto en el apartado “Normativa para la medición del color”, la norma que está actualmente vigente para la medición del color de la superficie de materiales inorgánicos es la UNE-EN 15886 de enero de 2011 que obtiene datos sobre el color en el espacio CIE $L^*a^*b^*$, realizando las mediciones con colorímetros y espectrofotómetros, aparatos que generalmente, no son de acceso fácil debido a su elevado precio.

Se propone una nueva metodología para la medición del color mediante dispositivos digitales que se pueden adquirir fácilmente, a precios asequibles, con los que se pueden adquirir imágenes digitales que luego se pueden analizar de manera sencilla con programas adecuados en cualquier ordenador. Esta metodología se basa en el espacio de color RGB y mide digitalmente el color a partir de los histogramas de imagen, obteniendo los valores cromáticos descompuestos en tres componentes espectrales primarias, rojo, verde y azul y la luminosidad.

Se tiene que demostrar que la metodología es válida y para ellos hay que previamente fijar las condiciones sobre las que se va a realizar la toma de datos y posteriormente demostrar que los datos son fiables. Para ello se realizan los siguientes pasos:

1. - Fijar los instrumentos y las condiciones de la toma de datos.
2. - Determinar el número de toma de datos.
3. - Diferencias de cromáticas entre espacio CIE $L^*a^*b^*$ y RGB.
4. - Comparación entre instrumentos de obtención de datos.
5. - Calibración del aparato de toma de datos.
6. - Influencia de la fuente luminosa.

Al realizar los pasos anteriormente citados, se obtiene como conclusión si la metodología explicada es válida para la obtención de los valores del color obtenidos en el espacio RGB, en superficies de diferentes materiales y las condiciones que tiene que cumplir para que la toma de datos sea fiable. A continuación se pasa a explicar los diferentes apartados para la obtención esta metodología.

Instrumentos y condiciones de la toma de datos

Para la realización de esta metodología se necesita una mesa de reproducción que incluya iluminación artificial controlada con 4 lámparas de 75 w, una cámara digital para la obtención de imágenes digitales, siendo la utilizada una cámara marca Olympus 400 digital, 4.0 megapixel, AF 3x Optical zoom, 5,8-17,4 mm 1:3.1-5.2, Zoom digital 4x-12x.

Figura 39. Mesa de reproducción con cuatro lámparas.

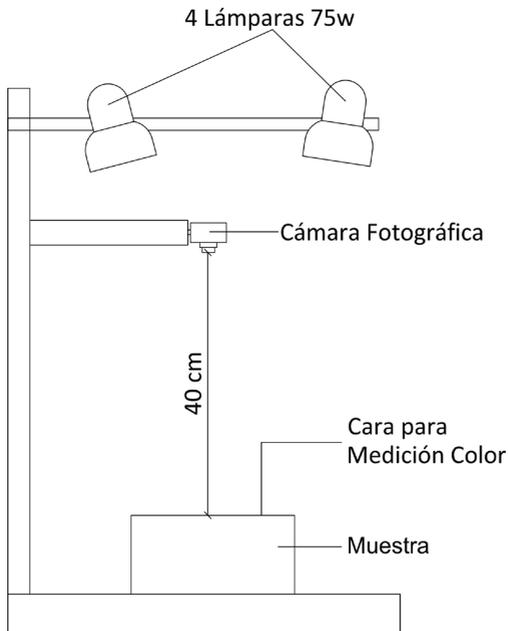


Fuente: Autoría propia.

La cámara fotográfica se acopla en la mesa de reproducción, quedando el objetivo a 40 cm de la superficie del material del que se quiere obtener la imagen. Este mecanismo es regulable permitiendo adecuar la distancia de la cámara al objeto para obtener siempre la distancia deseada. Además, es necesario medir el valor de la iluminancia que tiene en la superficie del objeto mediante un luxómetro digital marca Koban, modelo kl-6610, obteniendo una iluminancia de 760 lux en la base de la mesa de reproducción.

Una vez colocado el material en la mesa de reproducción, se ajusta la altura de la cámara fotográfica para que quede a la distancia de 40 cm del objetivo a la superficie del material. Esta es la distancia que recomienda el fabricante de la cámara como mínima para efectuar la toma de datos.

Figura 40. Esquema de la toma de datos en la mesa de reproducción.



Fuente: Autoría propia.

Se coloca el material con la cara de la que se quiere tomar la medición del color hacia arriba, mirando a la cámara a la distancia recomendada y se dispara mediante mando a distancia para que la fotografía que se obtenga no quede movida. Se tiene como resultado una imagen en la que se puede ver todo el material.

La imagen que se obtiene es la imagen original, que se analiza mediante el programa informático PhotoShop, recortando una zona central de la zona de que se quiere medir el color. La imagen recortada se llama imagen final y es la que posteriormente se analiza a través de los histogramas de imagen obteniendo los valores cuantificables en el espacio de color RGB del rojo, verde, azul y la luminosidad.

Figura 41. Esquema de la imagen original y la zona que se analiza.



Fuente: Autoría propia.

Determinación del número de toma de datos

Fijadas las condiciones de cómo realizar la toma de datos, se quiere determinar cuantas fotografías (toma de datos) es necesario realizar de cada material para que los resultados obtenidos sean fiables. Lo primero que se hace es elegir cinco muestras de cerámica con diferentes colores y acabados superficiales. En la tabla 1 se muestran las características de las muestras seleccionadas.

Tabla 1. Características de las muestras seleccionadas.

Denominación	Color	Acabado superficial
Muestra 1	Rojo	Liso
Muestra 2	Amarillo	Rugoso
Muestra 3	Marrón	Liso
Muestra 4	Rojo anaranjado	Rugoso
Muestra 5	Rojo*	Liso*

* La muestra tiene un tratamiento superficial de hidrofugación.

Fuente: Autoría propia.

Para tener un número de datos suficientes, lo ideal es realizar un número infinito de fotografías, pero esto es inviable. Hay que realizar un número suficiente de fotografías de manera que se tengan los datos adecuados para poder llegar a soluciones óptimas.

La cuestión es cual es el número de fotografías razonable con el que obtengo los mismos datos que si hiciera un número infinito. Se considera un número suficiente de fotografías entre 10 y 15. Finalmente se opta por la realización de 12 fotografías de cada muestra, realizandolas de dos formas: con zoom optico (aumentos 1x, sin aumento) y con zoom digital (aumentos 12x).

De cada una de las 5 muestras seleccionadas se realizan 12 fotografías con los aumentos 1x y 12x, obteniendo de cada toma de datos los valores de histograma (rojo, verde, azul y luminosidad).

Se muestran en las siguientes tablas los resultados obtenidos de los valores de histograma de las 12 fotografías realizadas a las 5 muestras con los distintos aumentos, 1x y 12x.

Tabla 2. Valores de histograma de la muestra 1 con aumentos 1x.

MUESTRA 1. Aumentos 1x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	144,10	198,89	133,96	49,54
2	144,19	198,99	134,03	49,78
3	145,15	199,72	135,10	50,80
4	143,29	197,86	133,03	50,22
5	142,70	197,48	132,52	48,35
6	142,83	197,59	132,62	48,78
7	145,92	199,92	135,98	52,62
8	142,37	197,11	132,08	48,86
9	143,55	197,88	133,37	50,63
10	142,57	197,13	132,29	49,55
11	143,90	198,28	133,65	51,21
12	143,88	198,23	133,75	50,57

Fuente: Autoría propia.

Tabla 3. Valores de histograma de la muestra 1 con aumentos 12x.

MUESTRA 1. Aumentos 12x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	144,10	198,10	134,21	50,39
2	143,33	197,46	133,27	50,15
3	143,53	197,76	133,53	49,80
4	144,94	198,56	135,06	52,28
5	145,09	198,72	135,24	52,18
6	144,94	198,53	135,14	51,90
7	145,18	198,37	135,36	53,33
8	144,59	198,10	134,68	52,39
9	144,41	197,93	134,46	52,38
10	154,04	198,50	135,23	52,42
11	144,80	198,36	134,91	52,36
12	143,71	197,77	133,74	50,31

Fuente: Autoría propia.

Tabla 4. Valores de histograma de la muestra 2 con aumentos 1x.

MUESTRA 2. Aumentos 1x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	159,68	193,74	156,77	83,50
2	155,78	190,97	152,64	77,61
3	159,11	193,59	156,25	81,44
4	156,31	191,23	153,13	79,05
5	155,86	191,11	152,74	77,47
6	155,99	191,21	152,90	77,46
7	159,45	193,58	156,53	83,18
8	156,11	191,36	153,04	77,41
9	156,21	191,29	153,03	78,60
10	158,97	193,65	156,04	81,10
11	156,12	191,30	152,94	78,20
12	157,08	191,83	153,97	80,02

Fuente: Autoría propia.

Tabla 5. Valores de histograma de la muestra 2 con aumentos 12x.

MUESTRA 2. Aumentos 12x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	154,03	189,49	150,72	75,82
2	157,00	191,97	153,93	78,86
3	157,05	192,16	153,86	79,16
4	157,04	192,22	153,91	78,62
5	156,94	192,04	153,79	78,81
6	156,66	192,02	153,50	77,90
7	156,61	191,74	153,35	79,00
8	153,77	189,63	150,43	74,64
9	156,20	191,64	152,95	77,69
10	157,08	192,22	153,88	79,15
11	155,99	191,83	152,74	76,34
12	154,66	189,60	151,70	76,04

Fuente: Autoría propia.

Tabla 6. Valores de histograma de la muestra 3 con aumentos 1x.

MUESTRA 3. Aumentos 1x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	146,65	187,71	141,70	62,11
2	146,00	187,11	140,99	61,66
3	146,07	187,25	141,08	61,41
4	146,05	187,27	141,08	61,20
5	145,57	186,87	140,73	59,65
6	146,01	187,10	141,07	61,35
7	146,07	187,25	141,08	61,41
8	146,33	187,22	141,52	61,38
9	148,50	188,98	143,68	64,76
10	146,05	187,27	141,08	61,20
11	145,77	187,02	140,94	59,92
12	146,82	187,57	141,91	62,91

Fuente: Autoría propia.

Tabla 7. Valores de histograma de la muestra 3 con aumentos 12x.

MUESTRA 3. Aumentos 12x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	145,10	186,43	140,22	59,38
2	145,57	186,87	140,73	59,65
3	146,33	187,22	141,52	61,38
4	145,77	187,02	140,94	59,92
5	146,07	187,04	141,22	61,04
6	146,01	186,93	141,19	61,04
7	144,76	186,47	139,86	58,16
8	146,04	187,03	141,19	61,07
9	145,30	186,99	140,41	58,69
10	145,53	187,19	140,63	59,02
11	145,41	186,78	140,48	59,79
12	146,98	189,44	142,05	58,47

Fuente: Autoría propia.

Tabla 8. Valores de histograma de la muestra 4 con aumentos 1x.

MUESTRA 4. Aumentos 1x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	144,20	196,14	136,99	41,31
2	144,68	196,26	137,57	42,28
3	144,62	196,23	137,49	42,26
4	143,72	195,31	136,45	42,18
5	143,26	195,37	135,95	40,51
6	143,41	195,79	136,10	39,80
7	144,73	196,07	137,58	43,29
8	143,53	195,33	136,27	41,38
9	144,70	196,12	137,55	42,94
10	143,30	195,51	135,95	40,42
11	143,37	195,46	136,05	40,66
12	145,24	196,73	138,10	43,30

Fuente: Autoría propia.

Tabla 9. Valores de histograma de la muestra 4 con aumentos 12x.

MUESTRA 4. Aumentos 12x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	140,95	193,73	133,42	37,57
2	141,73	194,13	134,30	38,83
3	145,17	196,60	138,13	42,79
4	143,97	195,88	136,76	41,23
5	144,20	196,11	136,99	41,43
6	144,34	196,25	137,17	41,42
7	142,97	194,59	135,65	41,62
8	141,54	193,99	134,06	38,76
9	145,35	196,80	138,39	42,56
10	144,41	196,39	137,26	41,08
11	145,20	196,80	138,23	42,00
12	144,71	196,02	137,58	43,16

Fuente: Autoría propia.

Tabla 10. Valores de histograma de la muestra 5 con aumentos 1x.

MUESTRA 5. Aumentos 1x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	139,04	195,22	128,11	45,02
2	137,12	194,32	125,83	42,23
3	137,65	194,60	126,45	42,89
4	138,04	194,74	126,92	43,65
5	138,36	194,91	127,27	44,16
6	139,43	195,58	128,46	45,74
7	138,17	194,80	127,09	43,74
8	137,70	194,67	126,51	42,92
9	138,74	195,16	127,74	44,51
10	139,35	195,52	128,40	45,48
11	138,57	194,98	127,48	44,82
12	138,47	195,04	127,34	44,46

Fuente: Autoría propia.

Tabla 11. Valores de histograma de la muestra 5 con aumentos 12x.

MUESTRA 5. Aumentos 12x				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	136,68	194,38	125,38	40,31
2	136,07	193,97	124,68	39,67
3	136,29	194,01	124,93	40,23
4	136,62	194,28	125,27	40,69
5	136,58	193,98	125,20	41,56
6	137,09	194,28	125,80	42,09
7	136,78	194,25	125,52	40,84
8	137,10	194,51	125,86	41,26
9	136,57	194,15	125,29	40,42
10	135,60	193,67	124,09	39,32
11	136,38	193,81	125,03	41,05
12	136,31	193,99	124,88	40,73

Fuente: Autoría propia.

De los datos obtenidos en las tablas anteriores, se calculan de cada valor de histograma (luminosidad, rojo, verde y azul) valores estadísticos :

- De una variable para analizar si la media es un valor representativo de los datos (valor máximo, valor mínimo, rango, media, mediana, cuasi varianza, cuasi desviación típica, varianza, desviación típica y coeficiente de asimetría)
- De dos variables para analizar si existe relación entre el valor obtenido y el número de fotografía realizado (coeficiente de correlación, varianza residual y coeficiente de determinación R²).

Se muestran en las siguientes tablas (de la 12 a la 21) los valores de los parámetros estadísticos indicados en el párrafo anterior por cada valor de histograma.

Tabla 12. Valores estadísticos de la muestra 1 con aumentos 1x.

MUESTRA 1. Aumentos 1x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	145,92	199,92	135,98	52,62
Mínimo	142,37	197,11	132,08	48,35
Rango	3,55	2,81	3,90	4,27
Media	143,70	198,26	133,53	50,08
Mediana	143,72	198,06	133,51	50,00
Cuasi-Varianza	1,14	0,89	1,34	1,42
Cuasi-Desv. Típica	1,07	0,94	1,16	1,19
Varianza	1,04	0,81	1,23	1,30
Desviación típica	1,02	0,90	1,11	1,14
Coef. Asimetría	0,77	0,59	0,83	0,59
Coef. Correlación	- 0,23	- 0,41	- 0,24	0,24
Varianza Residual	0,98	0,68	1,16	1,23
Coef. Deter. R²	0,05	0,17	0,06	0,06

Fuente: Autoría propia.

Tabla 13. Valores estadísticos de la muestra 1 con aumentos 12x.

MUESTRA 1. Aumentos 12x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	154,04	198,72	135,36	53,33
Mínimo	143,33	197,46	133,27	49,80
Rango	10,71	1,26	2,09	3,53
Media	145,22	198,18	134,57	51,66
Mediana	144,70	198,23	134,80	52,23
Cuasi-Varianza	8,11	0,15	0,53	1,35
Cuasi-Desv. Típica	2,85	0,39	0,73	1,16
Varianza	7,43	0,14	0,48	1,23
Desviación típica	2,73	0,37	0,70	1,11
Coef. Asimetría	3,16	-0,43	-0,71	-0,54
Coef. Correlación	0,35	0,15	0,30	0,43
Varianza Residual	6,53	0,14	0,44	1,00
Coef. Deter. R²	0,12	0,02	0,09	0,19

Fuente: Autoría propia.

Tabla 14. Valores estadísticos de la muestra 2 con aumentos 1x.

MUESTRA 2. Aumentos 1x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	159,68	193,74	156,77	83,50
Mínimo	155,78	190,97	152,64	77,41
Rango	3,90	2,77	4,13	6,09
Media	157,22	192,07	154,17	79,59
Mediana	156,26	191,33	153,09	78,83
Cuasi-Varianza	2,49	1,38	2,85	5,00
Cuasi-Desv. Típica	1,58	1,18	1,69	2,24
Varianza	2,28	1,27	2,61	4,58
Desviación típica	1,51	1,13	1,62	2,14
Coef. Asimetría	0,72	0,72	0,73	0,74
Coef. Correlación	-0,18	-0,15	-0,19	-0,18
Varianza Residual	2,21	1,24	2,52	4,43
Coef. Deter. R²	0,03	0,02	0,04	0,03

Fuente: Autoría propia.

Tabla 15. Valores estadísticos de la muestra 2 con aumentos 12x.

MUESTRA 2. Aumentos 12x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	157,08	192,22	153,93	79,16
Mínimo	153,77	189,49	150,43	74,64
Rango	3,31	2,73	3,50	4,52
Media	156,09	191,38	152,90	77,67
Mediana	156,64	191,90	153,43	78,26
Cuasi-Varianza	1,51	1,22	1,60	2,44
Cuasi-Desv. Típica	1,23	1,10	1,27	1,56
Varianza	1,39	1,12	1,47	2,24
Desviación típica	1,18	1,06	1,21	1,50
Coef. Asimetría	-1,15	-1,23	-1,18	-0,79
Coef. Correlación	-0,16	-0,11	-0,15	-0,29
Varianza Residual	1,35	1,10	1,44	2,05
Coef. Deter. R²	0,03	0,01	0,02	0,09

Fuente: Autoría propia.

Tabla 16. Valores estadísticos de la muestra 3 con aumentos 1x.

MUESTRA 3. Aumentos 1x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	148,50	188,98	143,68	64,76
Mínimo	145,10	186,43	140,22	59,38
Rango	3,40	2,55	3,46	5,38
Media	146,25	187,32	141,33	61,43
Mediana	146,06	187,24	141,08	61,40
Cuasi-Varianza	0,71	0,38	0,74	2,14
Cuasi-Desv. Típica	0,84	0,62	0,86	1,46
Varianza	0,65	0,35	0,68	1,96
Desviación típica	0,81	0,59	0,82	1,40
Coef. Asimetría	1,79	1,81	1,95	0,80
Coef. Correlación	0,34	0,30	0,36	0,28
Varianza Residual	0,58	0,32	0,59	1,80
Coef. Deter. R²	0,11	0,09	0,13	0,08

Fuente: Autoría propia.

Tabla 17. Valores estadísticos de la muestra 3 con aumentos 12x.

MUESTRA 3. Aumentos 12x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	146,98	189,44	142,05	61,38
Mínimo	139,86	58,16	139,86	58,16
Rango	7,12	131,28	2,19	3,22
Media	142,70	103,22	140,87	59,80
Mediana	141,28	61,43	140,84	59,72
Cuasi-Varianza	6,95	3.889,86	0,37	1,25
Cuasi-Desv. Típica	2,64	62,37	0,61	1,12
Varianza	6,37	3.565,71	0,34	1,14
Desviación típica	2,52	59,71	0,58	1,07
Coef. Asimetría	0,72	0,81	0,27	0,09
Coef. Correlación	0,12	0,20	0,16	-0,39
Varianza Residual	6,29	3.421,07	0,33	0,97
Coef. Deter. R²	0,01	0,04	0,02	0,15

Fuente: Autoría propia.

Tabla 18. Valores estadísticos de la muestra 4 con aumentos 1x.

MUESTRA 4. Aumentos 1x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	145,24	196,73	138,13	43,30
Mínimo	140,95	193,73	133,42	37,57
Rango	4,29	3,00	4,71	5,73
Media	143,92	195,76	136,70	41,40
Mediana	144,41	196,13	137,24	42,22
Cuasi-Varianza	1,77	0,87	2,16	3,15
Cuasi-Desv. Típica	1,33	0,93	1,47	1,77
Varianza	1,62	0,80	1,98	2,89
Desviación típica	1,27	0,89	1,41	1,70
Coef. Asimetría	-1,43	-1,46	-1,41	-1,19
Coef. Correlación	0,42	0,36	0,41	0,51
Varianza Residual	1,34	0,70	1,65	2,13
Coef. Deter. R²	0,17	0,13	0,17	0,26

Fuente: Autoría propia.

Tabla 19. Valores estadísticos de la muestra 4 con aumentos 12x.

MUESTRA 4. Aumentos 12x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	145,35	196,80	138,39	43,16
Mínimo	134,06	38,76	133,42	37,57
Rango	11,29	158,04	4,97	5,59
Media	139,11	92,82	136,50	41,04
Mediana	137,08	41,53	137,08	41,43
Cuasi-Varianza	19,05	5.854,88	2,97	3,05
Cuasi-Desv. Típica	4,36	76,52	1,72	1,75
Varianza	17,46	5.366,98	2,73	2,80
Desviación típica	4,18	73,26	1,65	1,67
Coef. Asimetría	0,67	0,81	-0,77	-0,91
Coef. Correlación	0,12	0,20	0,53	0,55
Varianza Residual	17,20	5.145,60	1,95	1,94
Coef. Deter. R²	0,02	0,04	0,28	0,31

Fuente: Autoría propia.

Tabla 20. Valores estadísticos de la muestra 5 con aumentos 1x.

MUESTRA 5. Aumentos 1x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	139,43	195,58	128,46	45,74
Mínimo	137,12	194,32	125,83	42,23
Rango	2,31	1,26	2,63	3,51
Media	138,39	194,96	127,30	44,14
Mediana	138,42	194,95	127,31	44,31
Cuasi-Varianza	0,49	0,14	0,65	1,18
Cuasi-Desv. Típica	0,70	0,37	0,81	1,08
Varianza	0,45	0,13	0,59	1,08
Desviación típica	0,67	0,35	0,77	1,04
Coef. Asimetría	-0,14	0,18	-0,17	-0,27
Coef. Correlación	0,34	0,37	0,32	0,39
Varianza Residual	0,40	0,11	0,53	0,91
Coef. Deter. R²	0,12	0,14	0,10	0,16

Fuente: Autoría propia.**Tabla 21.** Valores estadísticos de la muestra 5 con aumentos 12x.

MUESTRA 5. Aumentos 12x				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	137,10	194,51	125,86	42,09
Mínimo	135,60	193,67	124,09	39,32
Rango	1,50	0,84	1,77	2,77
Media	136,51	194,11	125,16	40,68
Mediana	136,58	194,08	125,24	40,71
Cuasi-Varianza	0,18	0,06	0,24	0,59
Cuasi-Desv. Típica	0,42	0,24	0,49	0,77
Varianza	0,16	0,05	0,22	0,55
Desviación típica	0,40	0,23	0,47	0,74
Coef. Asimetría	-0,60	-0,13	-0,66	0,00
Coef. Correlación	-0,15	-0,37	-0,17	0,12
Varianza Residual	0,16	0,05	0,21	0,54
Coef. Deter. R²	0,02	0,14	0,03	0,01

Fuente: Autoría propia.

Una vez obtenidos todos los parámetros estadísticos de los datos con 1x y 12x aumentos, se muestra el coeficiente de distorsión que es la diferencia entre la cuasi desviación típica y la desviación típica para poder analizar cual es la distorsión que existe en los resultados (tabla 22).

Tabla 22. Valores del coeficiente de distorsión de las muestras con cada aumento.

Coeficiente de distorsión					
Muestras	Aumento	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	1x	0,05	0,04	0,03	0,05
	12x	0,12	0,02	0,05	0,05
2	1x	0,05	0,05	0,07	0,07
	12x	0,07	0,05	0,05	0,10
3	1x	0,04	0,03	0,04	0,06
	12x	0,11	2,66	0,03	0,05
4	1x	0,06	0,04	0,06	0,08
	12x	0,19	3,26	0,07	0,07
5	1x	0,02	0,01	0,03	0,03
	12x	0,03	0,02	0,02	0,05

Fuente: Autoría propia.

Respecto a los valores de histograma que tienen menor distorsión son los verdes, siendo los rojos los que presentan la mayor distorsión. Los aumentos que más distorsión producen en los resultados son los realizados con el zoom digital (12x) por lo que, se recomienda realizar las fotografías con la cámara sin aumentos (1x) para garantizar la fiabilidad de la toma de datos.

Al presentar la toma de datos realizada con zoom digital más distorsión, solo se van a tomar en cuenta los datos obtenidos con la cámara sin aumentos (1x) realizando todos los análisis que vienen a continuación con estos datos.

El número de fotografías realizado es elevado y se quiere analizar, si realizando un número menor de fotografías, se obtienen unos resultados similares. Los parámetros estadísticos se han obtenido con la realización de 12 fotografías (n=12).

Se va a disminuir el tamaño de la muestra (número de fotografías) para obtener los parámetros estadísticos y compararlos con la muestra inicial (n=12) para analizar qué reducción de la muestra es la más favorable, la que mejora o iguala los parámetros estadísticos de la muestra inicial.

Se realizan las siguientes reducciones de la muestra para luego compararlas con la muestra inicial:

- 12 fotografías eliminando los valores máximo y mínimo.
- 6 primeras fotografías.
- 6 primeras fotografías eliminando el valor máximo y el mínimo.
- 4 primeras fotografías.

De cada reducción de la muestra, se obtienen los parámetros estadísticos que posteriormente se comparan y se analizan para poder determinar cuál es la opción más recomendable. Por ser un análisis extenso de cada una de las reducciones, se va a realizar solo uno a modo de ejemplo para mostrar el procedimiento.

La representación gráfica de los valores de histograma de la muestra 1, representando en color azul los valores de la toma de datos inicial (n=12) y de la reducción n=6 que aparece en color rosa, superponiéndose ambas gráficas e incorporando ambas líneas de tendencia. En el eje X aparece el número de fotografía y en el eje Y los valores obtenidos. En la figura 42 se muestran como ejemplo las gráficas del color rojo y el azul.

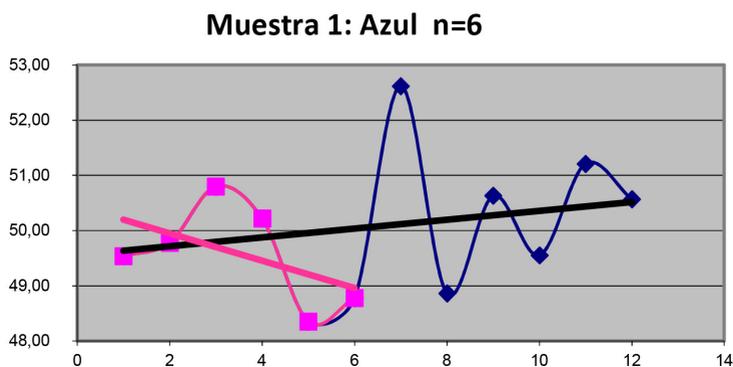
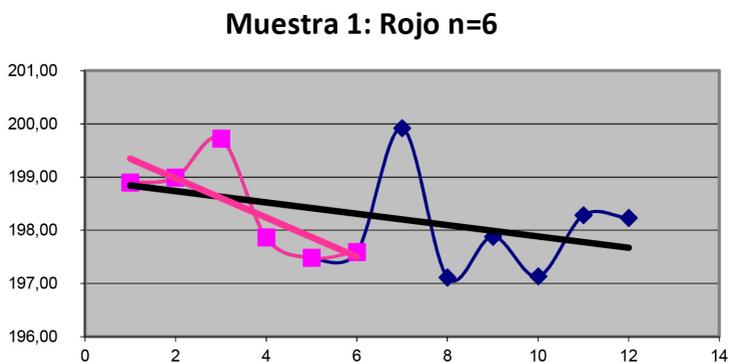
A continuación se incluyen en la tabla 23 los parámetros estadísticos obtenidos con la reducción n=6.

Tabla 23. Parámetros estadísticos de la muestra 1 con la reducción n=6.

MUESTRA 1. Aumentos 1x				
Valor. Estad. N=6	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	139,43	195,58	128,46	45,74
Mínimo	137,12	194,32	125,83	42,23
Rango	2,31	1,26	2,63	3,51
Media	138,39	194,96	127,30	44,14
Mediana	138,42	194,95	127,31	44,31
Varianza	0,45	0,13	0,59	1,08
Desviación típica	0,67	0,35	0,77	1,04
Coef. Asimetría	-0,14	0,18	-0,17	-0,27
Coef. Correlación	0,34	0,37	0,32	0,39
Varianza Residual	0,40	0,11	0,53	0,91
Coef. Deter. R²	0,12	0,14	0,10	0,16

Fuente: Autoría propia.

Figura 42. Representación gráfica de la muestra inicial $n=12$ y la reducción $n=6$.



Fuente: Autoría propia.

Se obtienen por cada reducción, la representación gráfica de los resultados y sus valores estadísticos, montando un cuadro comparativo donde aparecen todos parámetros estadísticos de todas las reducciones para analizar los resultados.

En la tabla 24 se muestra un ejemplo de la tabla comparativa donde aparecen algunas variables estadísticas con los valores obtenidos en todas las reducciones realizadas.

Tabla 24. Tabla comparativa de algunos parámetros estadísticos de la muestra 1

MUESTRA 1. Aumentos 1x					
Parámetr. Estadistic.	Tamaño n=	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Media	n=12	143,70	198,26	133,53	50,08
	n=12-Max-Min	143,62	198,21	133,43	49,99
	n=6	143,71	198,42	133,54	49,58
	n=6-Max-Min	143,60	198,33	133,41	49,58
	n=4	144,18	198,87	134,03	50,09
Varianza	n=12	1,04	0,81	1,23	1,30
	n=12-Max-Min	0,57	0,57	0,65	0,61
	n=6	0,74	0,69	0,83	0,68
	n=6-Max-Min	0,32	0,38	0,36	0,27
	n=4	0,43	0,44	0,54	0,23

Fuente: Autoría propia.

Obtenidas las representaciones gráficas de los resultados y las tablas comparativas con los parámetros estadísticos de las reducciones realizadas de las cinco muestras ensayadas, se realiza un análisis de los resultados por cada una de las muestras.

En la muestra 1 se observa en las representaciones gráficas de todas las reducciones que la recta de regresión se ajusta más a la gráfica que la muestra inicial (n=12), disminuyendo la varianza y la desviación típica confirmando la gráfica. Los rangos disminuyen en todas las reducciones y es la reducción n=6 la que menor variación tiene respecto al valor de la media de n=12.

Los valores del coeficiente de determinación R^2 aumentan en todos los tamaños de muestra, pero no son valores elevados, concluyendo que no existe relación entre el número de orden de la fotografía y el valor obtenido, pudiendo observar que todas las reducciones analizadas mejoran los resultados siendo las reducciones n=6 y n=6-MAX-MIN las que tienen resultados más óptimos.

Las muestras 2, 3, 4 y 5 presentan resultados similares a la muestra 1, ajustándose las rectas de regresión más a la gráfica en todas las reducciones, teniendo valores menores de varianza y la desviación típica, disminuyen los rangos en todas las reducciones, siendo la $n=6$ la que presenta menor variación respecto a la media, con el coeficiente de determinación R^2 aumentando en todas las reducciones, pero no con valores elevados por lo que no existe relación entre el número de orden de la fotografía y el valor obtenido, siendo las reducciones $n=6$ en todos los casos y $n=6$ -MAX-MIN en las muestras 2 y 4, las que tienen resultados más óptimos.

No existe una cámara patrón, estándar o de referencia para comparar los resultados obtenidos en la realización de las fotografías (toma de datos). En esta cámara patrón se obtendrían unas fotografías con datos ideales en los que la recta de regresión lineal sería horizontal y por lo tanto, el valor de la media aritmética representa a los datos obtenidos.

La recta de regresión se representa para ver si existe o no, relación entre los valores de histograma y el número de orden de la fotografía, dada esta relación por el coeficiente de determinación R^2 con valores mayores a 0,5. En las representaciones gráficas se observa lo siguiente:

- En las gráficas aparecen picos que pueden indicar determinadas condiciones que alteren el proceso de toma de datos. Se puede producir esta alteración debido al calentamiento de la cámara porque las lámparas están demasiado cerca de ésta.
- En la figura 41 la representación gráfica está realizada a una escala muy pequeña lo que provoca una visión general. Debido a esto, no se aprecia que las rectas de regresión son prácticamente horizontales, pudiéndose observar si se cambia la escala de representación. Al ser horizontales, el valor de la media es el representativo de los datos obtenidos.

La representación gráfica junto con los parámetros estadísticos obtenidos nos indican que, en general, todas las reducciones mejoran los parámetros de las condiciones iniciales ($n=12$), siendo la reducción $n=6$ la que mejores resultados obtiene. Esto nos está indicando que el número de fotografías que se tiene que realizar a cada muestra es de 6 para obtener unos resultados óptimos.

Se observa además que existen factores externos que pueden generar variaciones en la toma de datos que pueden influir en el número de orden en el que se toma la fotografía debido al que con el tiempo la cámara se puede calen-

tar. El resultado óptimo en la toma de datos es que los valores de histograma obtenidos no tienen que depender del número de orden en el que se toma la fotografía.

Para la obtención de este resultado óptimo se debe evitar que causas externas influyan en la toma de datos, por lo que se debe evitar el calentamiento de la cámara apagando las lámparas cada vez que se realice la toma de datos de una muestra (cada seis fotografías). Por lo tanto, la toma de datos (realización de fotografías) se realizará bajo los siguientes parámetros:

- Se tienen que hacer un número de seis fotografías de cada muestra para que los resultados sean los óptimos.
- Las fotografías se tomarán sin ningún tipo de aumentos (1x).

Diferencias de cromáticas entre los espacios CIE L*a*b* y RGB

En el espacio de color CIE L*a*b* las diferencias entre dos colores se miden por el parámetro delta E. El ojo humano puede detectar diferencias de color equivalentes a delta E igual o superior a 1, siendo valores inferiores imperceptibles.

Otros estudios sobre el tema nos dicen que cuando se aísla una imagen del mundo real anulando cualquier referencia, valores por debajo de 2,5 de delta E no se pueden percibir (Casassa y Sari, 2006).

Para determinar las variaciones de valores RGB que percibe el ojo humano, hay que basarse en el espacio CIE L*a*b* para calcular delta E (distancia entre dos puntos del espacio) en base a los parámetros L*a*b*, cuantificando las diferencias colorimétricas. Para un delta E = 1, el ojo humano puede discriminar dos colores diferentes.

Delta E = 1 es la mínima diferencia de color que el ojo humano puede ver, siendo los valores de delta E más pequeños que 1, imperceptibles (Gonnet, 1998). Para poder cuantificar qué variación cromática percibe el ojo humano, se realizan los siguientes pasos:

- Realización de tablas colorimétricas con variaciones de una variable del RGB, variaciones de dos variables y de tres variables.
- Conversión de color entre el espacio de color RGB y el CIEL*a*b*.
- Obtención del valor delta E entre dos colores consecutivos.
- Análisis entre delta E y variación en RGB.

Las tablas colorimétricas incluyen colores consecutivos en el espacio RGB variando una, dos o tres de las variables. Se realizan las tablas del color rojo, verde y azul, obteniendo los colores consecutivos variando en una unidad la variable que no es cero.

Como ejemplo, en la tabla del color rojo se comienza con el color puro con valores 255,0,0 siendo el color consecutivo el que tiene un valor de 254,0,0, siguiendo el 253,0,0, y así sucesivamente.

Se realizan otras tablas con colores aleatorios con valores de dos canales y el tercero nulo. Una tabla tiene los colores rojo-verde con valores diferentes a cero y el azul nulo.

Otra posee los colores rojo-azul diferentes a cero y el verde nulo y la última tabla, con colores verde-azul diferentes a cero y el rojo nulo. Los colores consecutivos se obtienen con la variación en una unidad de las dos variables diferentes de cero.

Las últimas tablas se obtienen con los colores blanco, negro y gris donde todos los canales tienen valor diferente de cero y el color consecutivo se obtiene variando en una unidad las tres variables.

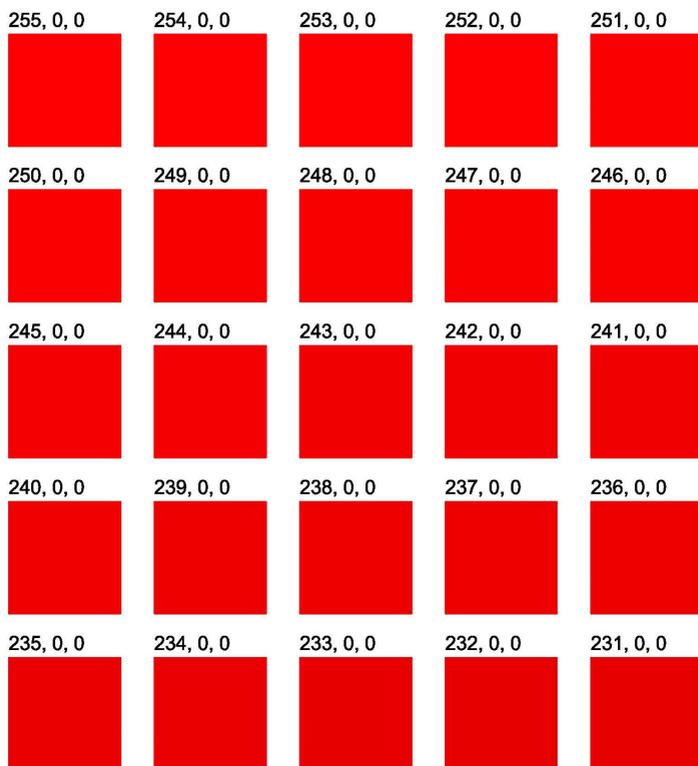
Una vez obtenidas todas las tablas colorimétricas, se obtiene la conversión de colores RGB a coordenadas en el espacio CIEL*a*b* mediante los histogramas de imagen, a través del programa informático photoshop.

El paso siguiente es la obtención del valor delta E entre dos colores consecutivos como la distancia cromática euclidiana entre dos colores.

Con los valores entre colores de su delta E se puede observar la variación necesaria en el espacio RGB para la obtención de un delta E > 1.

Se muestran a continuación las tablas colorimétricas indicadas anteriormente junto con los valores RGB, su conversión a valores CIEL*a*b* y el delta E entre colores consecutivos.

Figura 43. Tabla colorimetrica del color rojo.



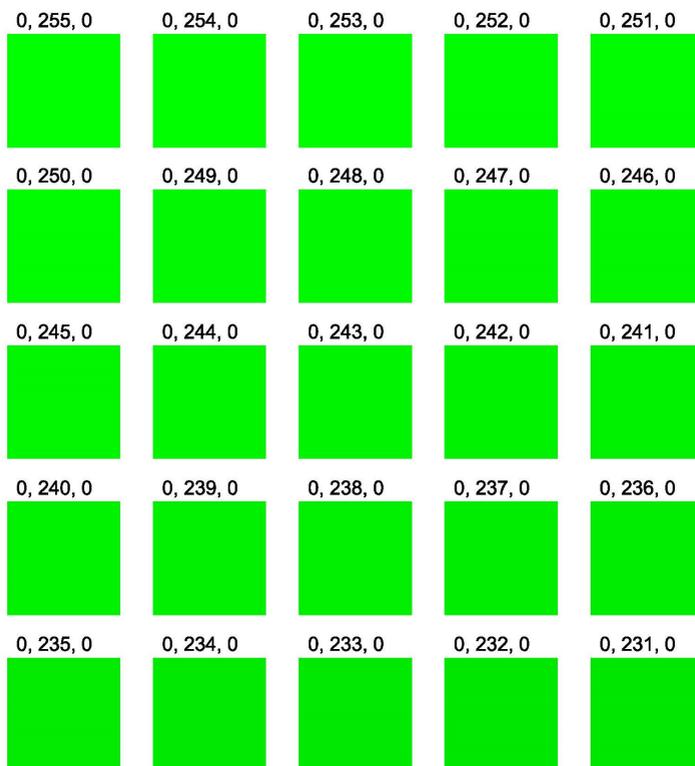
Fuente: Autoría propia.

Tabla 25. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color rojo.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
255	0	0	138,44	208,81	197,90	-
254	0	0	137,90	208,56	197,70	0,63
253	0	0	137,37	208,33	197,49	0,61
252	0	0	136,84	208,09	197,28	0,62
251	0	0	136,31	207,84	197,08	0,62
250	0	0	135,77	207,60	196,87	0,63
249	0	0	135,24	207,36	196,66	0,62
248	0	0	134,70	207,12	196,45	0,63

Fuente: Autoría propia.

Figura 44. Tabla colorimetrica del color verde.



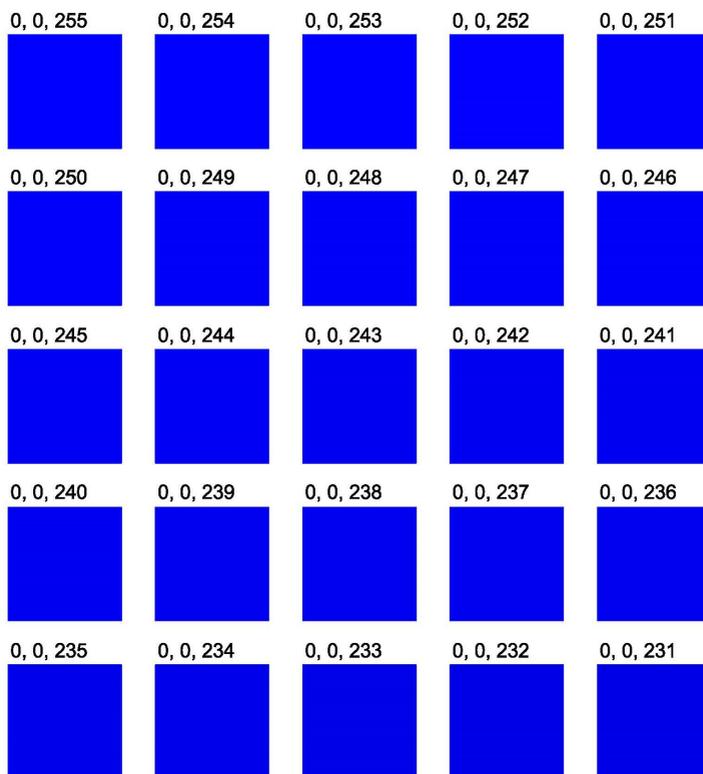
Fuente: Autoría propia.

Tabla 26. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color verde.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
0	255	0	223,94	48,73	209,00	-
0	254	0	223,15	48,96	208,75	0,86
0	253	0	222,36	49,20	208,52	0,86
0	252	0	221,57	49,44	208,27	0,86
0	251	0	220,78	49,67	208,03	0,86
0	250	0	219,99	49,91	207,79	0,86
0	249	0	219,20	50,15	207,55	0,86
0	248	0	218,41	50,38	207,31	0,86

Fuente: Autoría propia.

Figura 45. Tabla colorimetrica del color azul.



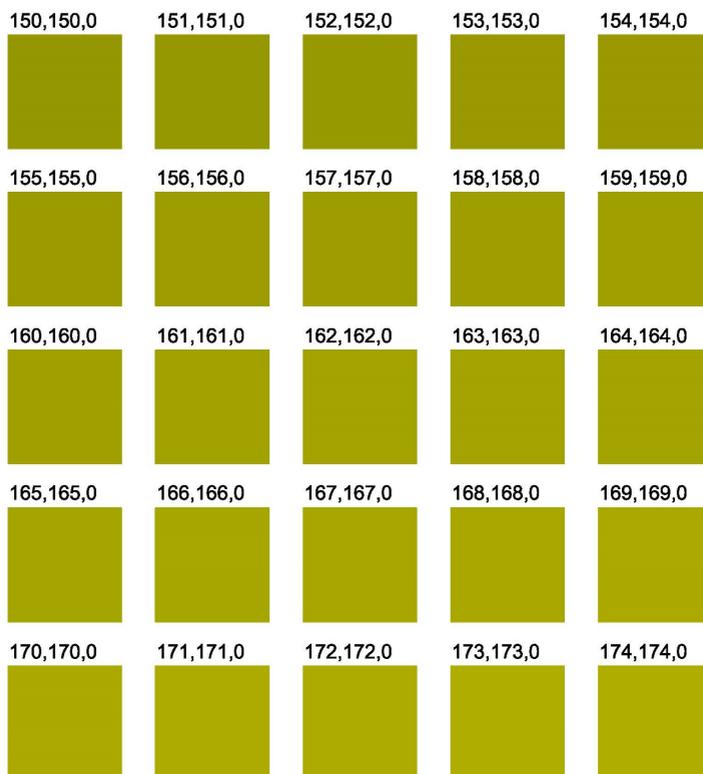
Fuente: Autoría propia.

Tabla 27. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color azul.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
0	0	255	75,39	196,30	15,96	-
0	0	254	75,04	196,09	16,30	0,53
0	0	253	74,70	195,89	16,63	0,51
0	0	252	74,35	195,69	16,97	0,53
0	0	251	74,01	195,48	17,29	0,51
0	0	250	73,65	195,28	17,64	0,54
0	0	249	73,31	195,07	17,97	0,52
0	0	248	72,96	194,87	18,30	0,52

Fuente: Autoría propia.

Figura 46. Tabla colorimetrica del color rojo-verde.



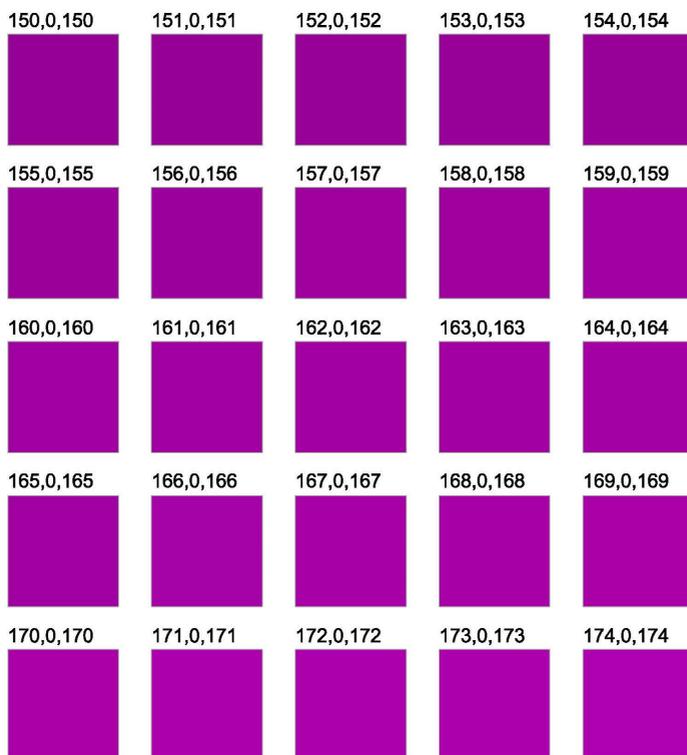
Fuente: Autoría propia.

Tabla 28. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color rojo-verde.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
150	150	0	154,20	117,40	190,87	-
151	151	0	155,16	117,34	191,17	1,01
152	152	0	156,10	117,30	191,48	0,99
153	153	0	157,05	117,25	191,79	1,00
154	154	0	158,00	117,20	192,09	1,00
155	155	0	158,95	117,14	192,40	1,00
156	156	0	159,89	117,09	192,70	0,99
157	157	0	160,83	117,04	193,01	0,99

Fuente: Autoría propia.

Figura 47. Tabla colorimetrica del color rojo-azul.



Fuente: Autoría propia.

Tabla 29. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color rojo-azul.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
150	0	150	89,94	190,97	87,28	-
151	0	151	90,58	191,27	87,08	0,73
152	0	152	91,21	191,58	86,87	0,73
153	0	153	91,85	191,89	86,68	0,73
154	0	154	92,48	192,19	86,48	0,73
155	0	155	93,12	192,50	86,28	0,74
156	0	156	93,75	192,80	86,08	0,73
157	0	157	94,39	193,11	85,89	0,74

Fuente: Autoría propia.

Figura 48. Tabla colorimetrica del color verde-azul.



Fuente: Autoría propia.

Tabla 30. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color verde-azul.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
0	150	150	142,29	93,90	117,93	-
0	151	151	143,18	93,73	117,88	0,91
0	152	152	144,07	93,57	117,83	0,91
0	153	153	144,96	93,41	117,78	0,91
0	154	154	145,85	93,24	117,73	0,91
0	155	155	146,74	93,07	117,68	0,91
0	156	156	147,63	92,91	117,64	0,91
0	157	157	148,51	92,74	117,59	0,90

Fuente: Autoría propia.

Figura 49. Tabla colorimetrica del color blanco.



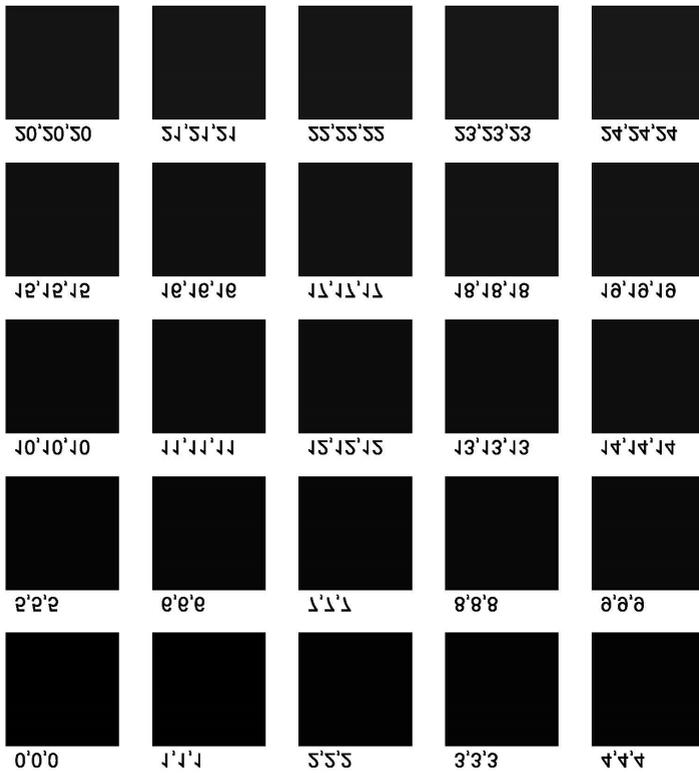
Fuente: Autoría propia.

Tabla 31. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color blanco.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
255	255	255	255,00	128,00	128,00	-
254	254	254	254,24	128,00	128,00	0,76
253	253	253	253,24	128,00	128,00	1,00
252	252	252	252,35	128,00	128,00	0,89
251	251	251	251,47	128,00	128,00	0,88
250	250	250	250,59	128,00	128,00	0,88
249	249	249	249,71	128,00	128,00	0,88
248	248	248	248,82	128,00	128,00	0,89

Fuente: Autoría propia.

Figura 50. Tabla colorimetrica del color negro.



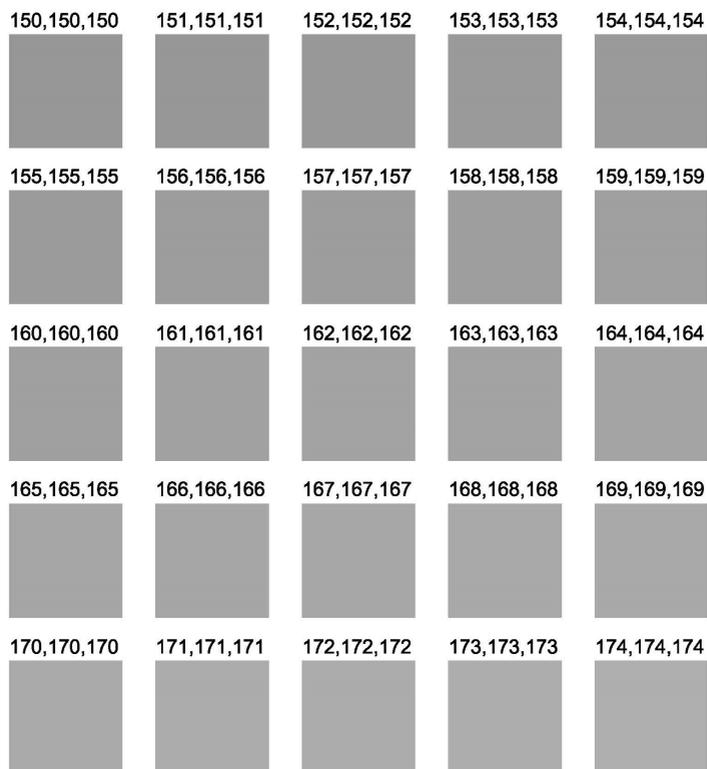
Fuente: Autoría propia.

Tabla 32. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color negro.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
0	0	0	0	128,00	128,00	-
1	1	1	0,42	128,00	128,00	0,42
2	2	2	1,41	128,00	128,00	0,99
3	3	3	2,10	128,00	128,00	0,69
4	4	4	2,79	128,00	128,00	0,69
5	5	5	3,50	128,00	128,00	0,71
6	6	6	4,20	128,00	128,00	0,71
7	7	7	4,99	128,00	128,00	0,79

Fuente: Autoría propia.

Figura 51. Tabla colorimetrica del color gris.



Fuente: Autoría propia.

Tabla 33. Valores RGB, CIEL *a*b* y delta E del color gris.

R	G	B	L*	a*	b*	delta E
150	150	150	185,06	128,00	128,00	
151	151	151	186,00	128,00	128,00	0,94
152	152	152	186,95	128,00	128,00	0,95
153	153	153	187,89	128,00	128,00	0,94
154	154	154	188,82	128,00	128,00	0,94
155	155	155	189,75	128,00	128,00	0,93
156	156	156	190,69	128,00	128,00	0,94
157	157	157	191,63	128,00	128,00	0,94

Fuente: Autoría propia.

A continuación se muestra la tabla 34 con el resumen de los resultados obtenidos en las tablas anteriores donde se indica de cada color el número de variables que se incrementan en una unidad para obtener los colores consecutivos, los valores del delta E medio obtenido por la media aritmética de los resultados de cada tabla, el incremento en una unidad de los valores RGB, “ Δ RGB 1ud” obtenido por media aritmética resultante de todos los valores medios entre dos resultados de delta E consecutivos y el incremento en dos unidades de los valores RGB, “ Δ RGB 2 uds” obtenido igualmente por la media aritmética de los valores del sumatorio de dos valores de delta E consecutivos.

Tabla 34. Valores RGB, CIEL*a*b* y delta E del color gris.

Color	Variables	Delta E medio	Valor medio Delta E	
			Δ RGB 1ud	Δ RGB 2ud
Rojo	1	0,62	0,62	1,25
Verde	1	0,86	0,86	1,72
Azul	1	0,52	0,52	1,05
Rojo-verde	2	1,00	0,99	1,99
Rojo-azul	2	0,73	0,73	1,46
Verde-azul	2	0,90	0,90	1,81
Blanco	3	0,88	0,89	1,78
Negro	3	0,70	0,71	1,42
Gris	3	0,94	0,94	1,88

Fuente: Autoría propia.

Se puede observar que las variaciones de una, dos o tres variables de los valores RGB, no son uniformes y no depende del número de variables que se incrementen. Esto nos hace pensar que las diferencias entre colores consecutivos en el espacio RGB, no son de forma esférica, pudiendo ser elipsoidales.

Las variaciones más bajas se presentan en los colores rojo y azul (incrementando una variable) y el color negro (incrementando las tres). Las mayores están en los colores rojo-verde, verde-azul y gris, incrementando dos variables en los dos primeros y tres en el último.

Ninguna variación de una, dos o tres variables de RGB produce que el delta E sea igual o mayor que uno, por lo que estas variaciones no son percibidas por el ojo humano. En cambio, variaciones de RGB de una, dos o tres variables hacen que el delta E sea mayor que uno y por tanto estas variaciones las percibe el ojo. En la tabla 34 se puede observar que las variaciones no dependen del incremento de las variables sino del color.

Dependiendo del punto del espacio que nos encontremos, las variaciones de color son percibidas con incrementos menores en unos casos y mayores en otros. De forma generica, si existe un incremento de RGB en dos unidades o más es perceptible por el ojo humano, aunque se puede ver que por ejemplo, el color rojo-verde con el incremento de una unidad hace que su delta E sea casi uno mientras que, en el color azul con el incremento de dos unidades el delta E supera por poco la unidad.

Se puede concluir este apartado de forma general indicando que, para todo el espacio de color RGB variaciones en dos unidades de cualquiera de sus variables, provocan un delta E mayor que uno y por tanto es perceptible por el ojo humano.

Comparación entre instrumentos de obtención de datos

Como se ha comentado anteriormente, para esta metodología no existe una cámara de referencia o patrón por lo que para comprobar si los resultados obtenidos son válidos, se realiza la toma de datos con otra cámara fotográfica y se comparan los resultados obtenidos con las dos cámaras.

Para la realización de la nueva toma de datos se elige una cámara Sony DSC-T700, 10.1 megapixel con zoom óptico 4x, 6,18-24,7 mm y zoom digital 8x. Se realiza el mismo proceso de toma de datos explicado en el apartado “Determinación del número de toma de datos”, en las muestras 4 y 5, sin aumentos (1x), obteniendo los valores de histograma, representando los resultados gráficamente y hallando las variables estadísticas correspondientes. En las tablas 35 y 36 se muestran de la muestra 4, los valores de histograma de las 12 fotografías realizadas y los parámetros estadísticos de una y dos variables calculados y en la figura 52 aparece la representación gráfica de los valores de histograma.

Tabla 35. Valores de histograma de la muestra 4 con camara 2.

MUESTRA 4. Cámara 2				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	201,27	254,69	189,82	117,16
2	199,76	254,15	187,93	115,38
3	199,55	254,26	187,75	113,96
4	199,82	254,43	188,01	114,53
5	198,96	254,06	186,99	113,39
6	198,68	253,91	186,63	113,26

7	198,49	253,91	186,43	112,54
8	199,88	254,32	188,14	114,75
9	199,30	254,34	187,29	113,87
10	199,68	254,41	187,80	114,43
11	198,83	254,11	186,78	113,09
12	198,85	254,20	186,75	113,19

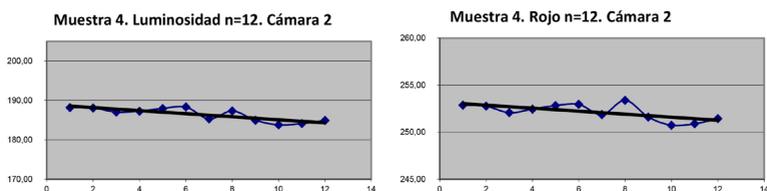
Fuente: Autoría propia.

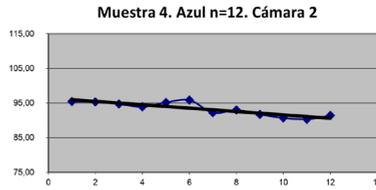
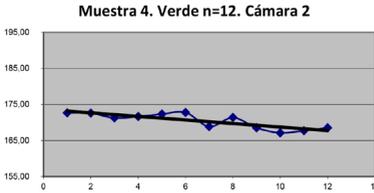
Tabla 36. Valores estadísticos de la muestra 4 con cámara 2.

MUESTRA 4. Cámara 2				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	201,27	254,69	189,82	117,16
Mínimo	198,49	253,91	186,43	112,54
Rango	2,78	0,78	3,39	4,62
Media	199,42	254,23	187,53	114,13
Mediana	199,43	254,23	187,52	113,92
Cuasi-Varianza	0,57	0,05	0,88	1,57
Cuasi-Desv. Típica	0,76	0,23	0,94	1,25
Varianza	0,53	0,05	0,81	1,44
Desviación típica	0,72	0,22	0,90	1,20
Coef. Asimetría	1,21	0,34	1,25	1,28
Coef. Correlación	- 0,57	- 0,24	- 0,59	- 0,61
Varianza Residual	0,36	0,04	0,52	0,90
Coef. Deter. R ²	0,32	0,06	0,35	0,38

Fuente: Autoría propia.

Figura 52. Representación gráfica de los valores de histograma de la muestra 4 n=12 obtenida con la cámara 2.





Fuente: Autoría propia.

En las tablas 37 y 38 aparecen de la muestra 5, al igual que en las tablas anteriores, los valores de histograma y los parámetros estadísticos y en la figura 53 la representación gráfica de los valores de histograma.

Tabla 37. Valores de histograma de la muestra 5 con cámara 2.

MUESTRA 5. Cámara 2				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	188,19	252,87	172,65	95,42
2	188,10	252,76	172,57	95,31
3	187,04	252,07	171,25	94,69
4	187,29	252,45	171,62	93,90
5	187,95	252,83	172,30	95,14
6	188,33	252,95	172,76	95,82
7	185,31	251,86	168,84	92,19
8	187,33	253,39	171,33	92,94
9	184,98	251,60	168,50	91,67
10	183,79	250,74	167,11	90,67
11	184,14	250,90	167,69	90,29
12	184,91	251,43	168,52	91,39

Fuente: Autoría propia.

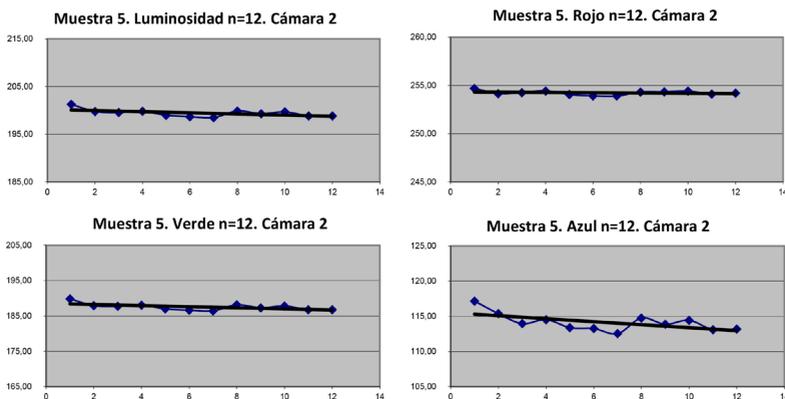
Tabla 38. Valores estadísticos de la muestra 5 con cámara 2.

MUESTRA 5. Cámara 2				
Valor. Estad. N=12	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
Máximo	188,33	253,39	172,76	95,82
Mínimo	183,79	250,74	167,11	90,29
Rango	4,54	2,65	5,65	5,53

Media	186,45	252,15	170,43	93,29
Mediana	187,17	252,26	171,29	93,42
Cuasi-Varianza	2,87	0,73	4,52	4,02
Cuasi-Desv. Típica	1,70	0,86	2,13	2,00
Varianza	2,63	0,67	4,15	3,68
Desviación típica	1,62	0,82	2,04	1,92
Coef. Asimetría	- 0,40	- 0,36	- 0,37	- 0,18
Coef. Correlación	- 0,82	- 0,67	- 0,83	- 0,87
Varianza Residual	0,84	0,37	1,26	0,87
Coef. Deter. R²	0,68	0,45	0,70	0,76

Fuente: Autoría propia.

Figura 53. Representación gráfica de los valores de histograma de la muestra 5 n=12 obtenida con la cámara 2.



Fuente: Autoría propia.

De los resultados obtenidos con la cámara 2 en las muestras 4 y 5, se observa que los valores de histograma difieren en valor absoluto de los realizados con la cámara 1, aunque la tendencia de los resultados es similar, siendo el rango de resultados del mismo orden, con valores de varianza, desviación típica, varianza residual y coeficiente de determinación del mismo orden en las dos cámaras.

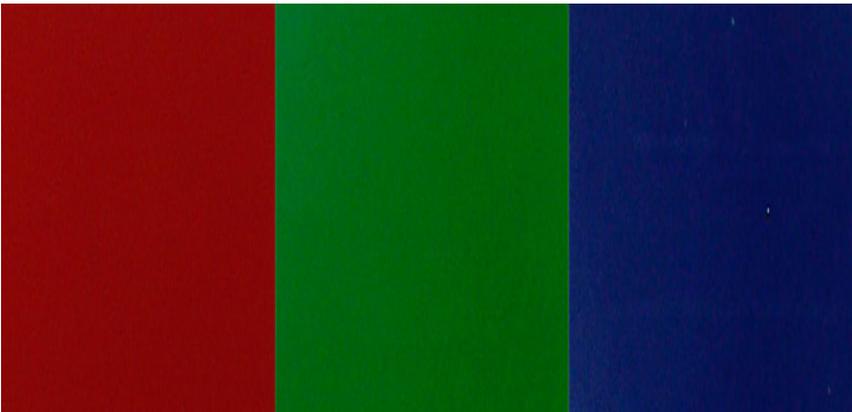
Al tener resultados diferentes en valor absoluto pero con tendencias similares, se puede utilizar en esta metodología la cámara 1, pero en valor relativo para poder cuantificar variaciones cromáticas, no medir colores en valor absoluto.

Calibración del aparato de toma de datos

Al no existir cámara de referencia o patrón, el calibrado se realiza utilizando para poder cuantificar las desviaciones que presenta la cámara respecto a los valores de referencia teóricos. Estos valores e referencia en el espacio RGB son los colores primarios rojo, verde y azul, añadiendo el blanco y el negro para que quede más completo.

Se realiza una tabla colorimétrica con los colores rojo, verde y azul, en programa informático (photoshop) con los colores puros en el espacio de color CMYK (espacio de color que utilizan las impresoras) aplicando los porcentajes de color máximos. Para el color rojo se mezclan los colores magenta y amarillo en un porcentaje del 100% (valor máximo que se le puede aplicar). Una vez obtenida la tabla, hace la conversión al espacio RGB y se toman datos de su valor teórico que, será el de referencia para la comparación con los valores de histograma de las imágenes obtenidas con la cámara 1. La tabla se imprime en la impresora HP Photosmart C3180 en tamaño A4 y posteriormente se le realizan 6 fotografías para con ellas obtener los datos de histograma.

Figura 54. Colores rojo, verde y azul de referencia.

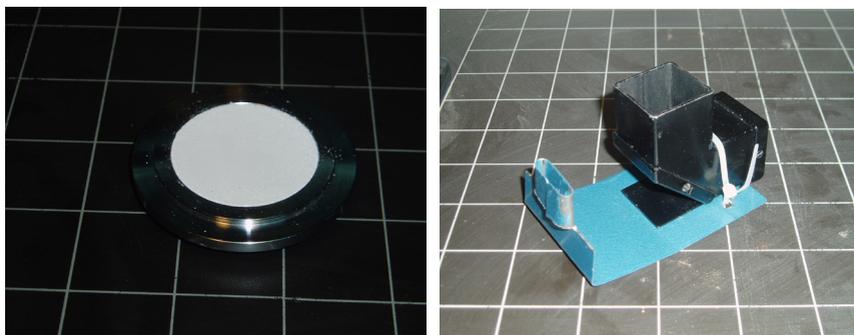


Fuente: Autoría propia.

Para tomar un color blanco de referencia se utiliza una muestra de sulfato de bario, que se utiliza para ensayos de luminotécnica y para el color negro se utiliza una trampa de luz (ausencia de luz) (figura 55).

Se incluyen en las tablas 39, 40, 41, 42 y 43, los resultados de la toma de datos realizados a los colores de referencia rojo, verde, azul, blanco y negro, indicando los valores de histograma, el valor de la media de las seis fotografías, el valor teórico y la desviación respecto a dicho valor.

Figura 55. Muestra de sulfato de bario y trampa de luz.



Fuente: Autoría propia.

Tabla 39. Valores de histograma del color de referencia rojo.

Color Rojo				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	45,48	136,20	7,13	7,37
2	43,75	128,10	7,43	9,62
3	43,69	127,92	7,43	9,56
4	45,76	132,50	8,49	10,59
5	43,08	26,54	7,16	9,14
6	45,11	131,18	8,14	10,14
Media aritmética	44,48	130,41	7,63	9,40
Valor teórico	63,00	206,00	0,00	12,00
% desviación	-7,26	-29,64	2,99	-1,02

Fuente: Autoría propia.

Tabla 40. Valores de histograma del color de referencia verde.

Color Verde				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	62,24	1,43	99,29	30,09
2	58,26	1,38	92,70	27,75

3	58,67	1,35	93,66	28,12
4	58,66	2,12	94,33	22,53
5	57,84	1,19	92,51	27,20
6	57,26	1,23	95,59	26,85
Media aritmética	58,82	1,45	94,68	27,09
Valor teórico	88,00	0,00	145,00	26,00
% desviación	-11,44	0,57	-19,73	0,43

Fuente: Autoría propia.

Tabla 41. Valores de histograma del color de referencia azul.

Color Azul				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	33,18	24,50	29,81	83,67
2	32,84	21,48	28,65	84,89
3	32,74	21,52	28,59	84,15
4	35,26	23,14	30,73	91,34
5	33,21	21,66	29,16	84,96
6	33,35	21,63	29,26	85,82
Media aritmética	33,43	22,32	29,37	85,81
Valor teórico	12,00	0,00	1,00	104,00
% desviación	8,40	8,75	11,12	-7,14

Fuente: Autoría propia.

Tabla 42. Valores de histograma del color de referencia blanco.

Color Blanco				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	245,99	241,97	248,19	243,77
2	245,99	241,95	248,19	244,19
3	246,06	242,02	248,30	243,75

4	246,82	242,77	248,23	249,96
5	246,30	242,26	248,33	246,33
6	245,99	241,99	248,23	243,58
Media aritmética	246,19	242,16	248,25	245,26
Valor teórico	255,00	255,00	255,00	255,00
% desviación	-3,45	-5,04	-2,65	-3,82

Fuente: Autoría propia.

Tabla 43. Valores de histograma del color de referencia negro.

Color Negro				
Foto N°	Luminos.	Rojo	Verde	Azul
1	12,57	12,64	11,85	16,12
2	12,44	12,36	11,77	16,14
3	12,05	11,44	11,76	15,73
4	12,26	12,32	11,66	15,30
5	12,11	11,38	11,55	17,69
6	12,31	12,19	11,63	16,29
Media aritmética	12,29	12,06	11,70	16,21
Valor teórico	0,00	0,00	0,00	0,00
% desviación	4,82	4,73	4,59	6,36

Fuente: Autoría propia.

Si la desviación es positiva indica que el color tiende al blanco o se aclara y si es negativa es lo contrario, tiende al negro o se oscurece. Se hace la desviación media, en porcentaje, de cada color de referencia obteniendo que el rojo tiene una desviación de -8,73% (se oscurece), el verde un -7,54% (se oscurece), el azul un 5,28% (se aclara), el blanco un -3,74% (se oscurece) y el negro un 5,12% (se aclara).

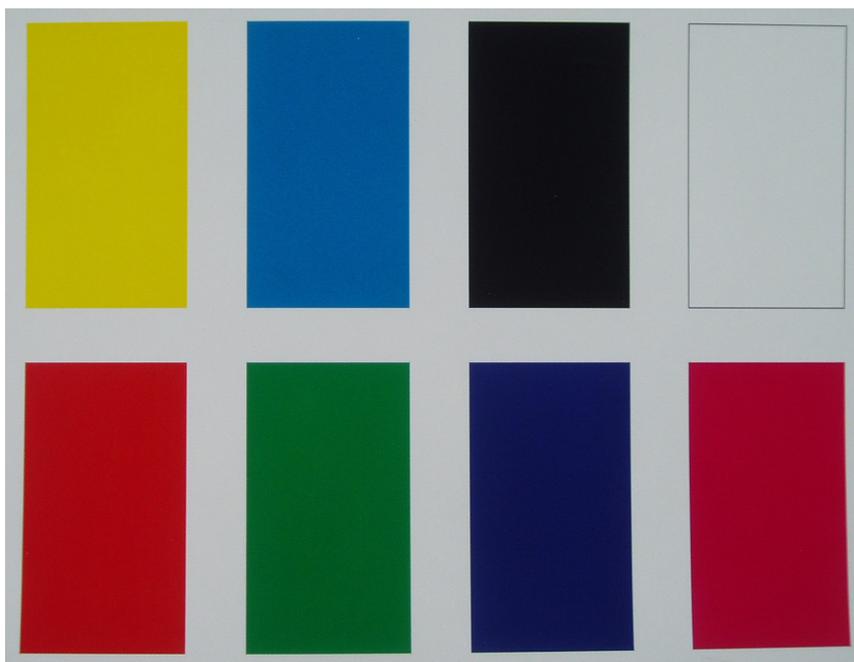
Con la totalidad de los valores obtenidos se realiza la desviación media de la cámara 1, teniendo un -1,92%, tiende al negro oscureciendo los datos.

Influencia de la fuente luminosa

En el apartado “técnicas de medición del color”, González y Vicente (2007) nos dicen cuales son los iluminantes estandar establecidos por la CIE. La norma UNE-EN 15886 incluye los iluminantes A, C y D65, siendo este último el recomendado para la realización de los ensayos de medición de color. En la metodología propuesta, la luz incluida son 4 lamparas de 75 w, obteniendo una iluminancia de 760 lux en la base de la mesa de reproducción.

En este apartado, se quiere ver como influye la luz en los resultados obtenidos con la cámara fotográfica. Se realizan dos tablas colorimétricas donde aparecen los colores rojo, amarillo, verde, cian, azul, negro, magenta y blanco obtenidos mediante el programa photoshop. La primera tabla (tabla 1) se obtiene con los colores puros en el espacio de color RGB, convirtiendo los valores al espacio CMYK para imprimirlos.

Figura 56. Tabla colorimétrica 1, incluyendo los ocho colores.



Fuente: Autoría propia.

La segunda tabla (tabla 2) se realiza de forma similar a la indicada en el apartado anterior "calibración del aparato de toma de datos" donde los colores se obtienen directamente en el espacio de color CMYK y se obtienen sus valores teóricos en el espacio RGB. Las tablas se imprimen en la impresora HP Photosmart C3180 en tamaño A4 y posteriormente se le realizan 6 fotografías para con ellas obtener los datos de histograma.

Una vez realizadas las tablas colorimétricas, se realiza la toma de datos (fotografías) aplicándole diferentes tipos de luz:

- 4 lámparas de 75 w con iluminancia de 760 lux.
- Flash electrónico de la cámara.
- Luz solar en día despajado con una iluminancia de 11.000 lux aprox.

Para cada una de las tablas con cada tipo de luz, se realizan seis fotografías de las que se obtiene la media aritmética de cada valor de histograma. Se muestra a continuación las tablas 44, 45, 46, 47, 48 y 49 con los valores obtenidos con cada tipo de luz, indicando los valores obtenidos en la toma de datos (R, G, B), los valores teóricos de cada uno de los colores (Teo.R, Teo. G, Teo. B), el porcentaje de desviación entre el valor teórico y el obtenido (%D R, %D G, %D B) y el porcentaje total de desviación (%Tot).

Tabla 44. Valores de la tabla colorimétrica 1 con luz de 4 lámparas de 75 w.

Tabla Colorimétrica 1. Luz 4 lámparas 75 w.								
	Rojo	Amarillo	Verde	Cian	Azul	Negro	Magenta	Blanco
R	126,1	146,5	15,3	4,2	29,1	19,7	164,3	163,0
G	5,1	148,7	76,2	81,4	30,4	19,5	80,1	170,6
B	16,6	1,0	35,1	153,7	75,6	21,6	127,9	164,9
Teo. R	206,0	253,0	0	1,0	0	0	209,0	247,0
Teo. G	0	242,0	145,0	152,0	1,0	0	0	247,0
Teo. B	12,0	30,0	26,0	241,0	104,0	0	109,0	245,0
%D R	38,8	42,1	6,0	1,3	11,4	7,7	21,4	34,0
%D G	2,0	38,6	47,5	46,4	11,6	7,7	31,4	30,9
%D B	1,9	12,9	4,0	36,2	27,3	8,5	17,3	32,6
%Tot	14,2	31,2	19,1	28,0	16,7	7,9	23,4	32,5

Fuente: Autoría propia.

Tabla 45. Valores de la tabla colorimétrica 1 con luz de flash electrónico.

Tabla Colorimétrica 1. Luz flash electrónico.								
	Rojo	Ama- rillo	Verde	Cian	Azul	Negro	Ma- genta	Blan- co
R	131,6	154,3	14,6	56,1	26,6	18,0	162,0	165,5
G	8,7	166,5	115,2	156,4	36,3	22,3	93,8	185,1
B	10,6	0,9	64,6	192,2	94,1	25,0	109,6	173,8
Teo. R	206,0	253,0	0	1,0	0	0	209,0	247,0
Teo. G	0	242,0	145,0	152,0	1,0	0	0	247,0
Teo. B	12,0	30,0	26,0	241,0	104,0	0	109,0	245,0
%D R	36,1	39,0	5,7	21,7	10,4	7,0	22,5	33,0
%D G	3,4	31,2	20,5	2,9	13,9	8,7	36,8	25,0
%D B	0,6	12,9	16,8	20,3	9,5	9,8	0,6	29,1
%Tot	13,4	27,7	14,4	14,9	11,3	8,5	19,9	29,0

Fuente: Autoría propia.

Tabla 46. Valores de la tabla colorimétrica 1 con luz solar.

Tabla Colorimétrica 1. Luz solar.								
	Rojo	Ama- rillo	Verde	Cian	Azul	Negro	Ma- genta	Blan- co
R	163,9	188,9	2,0	0,9	16,4	14,6	153,8	179,3
G	4,5	180,3	90,8	107,9	17,0	14,1	0,7	187,4
B	17,6	1,0	30,6	172,9	70,1	19,9	46,7	189,3
Teo. R	206,0	253,0	0	1,0	0	0	209,0	247,0
Teo. G	0	242,0	145,0	152,0	1,0	0	0	247,0
Teo. B	12,0	30,0	26,0	241,0	104,0	0	109,0	245,0
%D R	20,4	25,3	0,8	-0,02	6,4	5,7	26,4	27,4
%D G	1,8	25,5	37,4	29,0	6,3	5,5	0,3	24,1
%D B	2,3	12,9	2,0	28,2	32,5	7,8	57,2	22,7
%Tot	8,2	21,2	13,4	19,1	15,1	6,4	10,2	24,7

Fuente: Autoría propia.

Tabla 47. Valores de la tabla colorimétrica 2 con luz de 4 lamparas de 75 w.

Tabla Colorimétrica 2. Luz 4 lamparas 75 w.								
	Rojo	Ama- rillo	Verde	Cian	Azul	Negro	Ma- genta	Blan- co
R	28,2	46,0	22,3	12,7	37,4	19,8	60,1	61,4
G	9,6	52,5	83,0	83,8	32,4	20,4	54,8	63,4
B	18,3	1,0	28,9	44,4	62,7	20,7	88,4	56,6
Teo.R	24,00	249,0	0	0	62,00	0	28,00	50,93
Teo.G	0	245,0	159,0	169,0	16,0	0	0	249,0
Teo.B	36,00	0	61,0	236,0	124,0	0	123,0	250,0
%DR	42,8	41,4	8,7	5,0	12,7	7,8	29,8	35,7
%DG	3,8	37,8	47,8	50,4	6,9	8,0	21,5	34,4
%DB	8,1	0,4	16,5	38,8	49,5	8,1	28,1	37,4
%Tot	18,2	26,5	24,4	31,4	23,0	8,0	26,5	35,8

Fuente: Autoría propia.

Tabla 48. Valores de la tabla colorimétrica 2 con luz de 4 lamparas de 75 w.

Tabla Colorimétrica 2. Luz flash electrónico.								
	Rojo	Ama- rillo	Verde	Cian	Azul	Negro	Ma- genta	Blan- co
R	128,9	147,9	13,4	8,9	29,5	17,4	153,0	153,0
G	9,4	164,0	103,2	113,4	28,1	20,7	43,9	43,9
B	9,5	1,1	31,5	159,8	72,0	22,1	68,8	68,8
Teo. R	206,0	253,0	0	1,0	0	0	209,0	247,0
Teo. G	0	242,0	145,0	152,0	1,0	0	0	247,0
Teo. B	12,0	30,0	26,0	241,0	104,0	0	109,0	245,0
% DR	42,5	40,6	5,3	3,5	16,8	6,8	32,9	39,0
% DG	3,7	33,1	35,1	32,9	5,1	8,1	17,2	82,3
% DB	12,1	0,4	15,2	32,3	41,9	8,7	44,1	72,5
%Tot	19,4	24,7	18,5	22,9	21,3	7,9	31,4	64,6

Fuente: Autoría propia.

Tabla 49. Valores de la tabla colorimétrica 2 con luz solar.

Tabla Colorimétrica 2. Luz solar.								
	Rojo	Ama- rillo	Verde	Cian	Azul	Negro	Ma- genta	Blan- co
R	166,6	187,0	8,9	1,0	21,0	13,7	160,9	183,3
G	5,5	186,2	103,4	115,8	13,0	14,3	2,1	187,3
B	17,6	1,0	27,9	177,5	58,0	19,6	42,0	190,6
Teo.R	206,0	253,0	0	1,0	0	0	209,0	247,0
Teo.G	0	242,0	145,0	152,0	1,0	0	0	247,0
Teo.B	12,0	30,0	26,0	241,0	104,0	0	109,0	245,0
%DR	25,6	24,9	3,5	0,4	21,3	5,4	29,4	26,9
%DG	2,2	24,0	35,0	31,5	-1,3	5,6	0,8	24,8
%DB	8,4	0,4	17,0	24,8	53,3	7,7	65,9	23,8
%Tot	12,1	16,4	18,5	18,9	24,4	6,2	32,0	25,2

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 50, se muestra el resumen de los resultados de las anteriores tablas donde aparecen las medias aritméticas de las desviaciones obtenidas según la iluminación de las tablas colorimétricas y una desviación total.

Tabla 50. Desviaciones medias (%) en tabla colorimétrica según tipo de luz.

Desviaciones medias (%) en tabla colorimétrica según tipo de luz			
	4 lamparas	Flash	Luz solar
Tabla colorimétrica 1	21,6	17,4	12,2
Tabla colorimétrica 2	24,2	26,3	19,2
Total (%)	22,9	21,8	15,73

Fuente: Autoría propia.

Como se puede observar, la menor desviación sobre los valores teóricos de las tablas colorimétricas realizadas, se produce con la luz solar con una desviación total de 15,73%, siendo la luz con más desviación las 4 lamparas de 75 w, con un 7% aproximadamente mayor que la anterior.

Conclusiones sobre la metodología propuesta

Según el estudio realizado, se puede concluir que la medición del color de superficies de diferentes materiales en el espacio de color RGB se puede realizar con cualquier dispositivo fotográfico, pero se tiene que realizar en valores relativos, solo para cuantificar variaciones de color, no para medir valores absolutos.

La toma de datos de realizará tomando seis fotografías sin ningún tipo de aumentos (1x). Las imágenes obtenidas se analizan mediante programa informático, tomando una zona central representativa y de ésta se obtendrán los valores de histograma rojo, verde, azul y luminosidad. De los valores obtenidos de cada valor de histograma será el valor de referencia la media aritmética.

Después de cada toma de datos (realización de seis fotografías) la cámara se apagará y así, se prevendrá su calentamiento para que los datos obtenidos sean lo más fiables posible, evitando la alteración de éstos.

En el espacio de color RGB variaciones de dos unidades en cualquiera de sus variables son perceptibles por el ojo humano. Esto es aplicable a que en los datos de histograma obtenidos, variaciones de más de las dos unidades el ojo las percibe.

Para la realización de la medición del color se puede utilizar cualquier cámara, pero al no existir cámara patrón o de referencia, ésta tiene que ser calibrada para ver la desviación que tiene sobre los valores de referencia.

Se ha demostrado que la luz solar es la que provoca menor variación de cámara respecto a los valores de referencia de las tablas colorimétricas realizadas. Aunque esta luz es la idónea, no se puede garantizar que cuando se realice la medición del color, el día este soleado. Esto unto a que los valores a obtener son relativos, solo se cuantifican diferencias entre colores, se puede usar un tipo de luz que a lo largo del proceso mantenga la misma iluminación.

Lo más recomendable es usar fuentes de luz similares a las usadas en esta metodología y en número de lámparas pares para que no provoquen sombras sobre las muestras. La luz del flash puede hacer que las muestras arrojen sombra y altere la medición. Debido a esto, se recomienda el uso de 4 lámparas de 75 w (o de potencia similar) como se ha descrito en esta metodología.

Capítulo 4

Aplicaciones

La colorimetría tiene múltiples aplicaciones hoy en día, como el control de calidad de los alimentos o la conservación del patrimonio arquitectónico. La variación de determinados parámetros colorimétricos de un objeto nos puede dar información muy importante, ya sea estética o posibles patologías de determinados materiales.

Algunas de las aplicaciones más relevantes se enmarcan en las siguientes categorías:

- Patrimonio Arquitectónico.
- Artes plásticas.
- Control de calidad de los alimentos.
- Aplicaciones a la enología.
- Otras aplicaciones.

Aplicaciones en el Patrimonio Arquitectónico

En este campo, la colorimetría se usa para la conservación del Patrimonio, ya que la variación de parámetros colorimétricos además de indicar una variación estética, puede estar relacionada con patologías de la construcción como humedades, corrosión en metales, etc.

Ya que una inmensa mayoría del patrimonio arquitectónico está construido con material pétreo, se ha estudiado mucho la variación de color en este material. Esbert et al. (1997) afirma que en los materiales pétreos, el color depende de la textura y de las fase minerales, que aunque estén en proporciones bajas son las que dan la coloración al material. El tamaño de partícula y su disposición influyen en el color, siendo las de grano fino las que presentan colores más homogéneos.

Los monumentos, debido a la exposición a agentes atmosféricos, presentan alteraciones cromáticas superficiales por la acción de gases contaminantes que provocan ensuciamiento formando patinas o costras negras (Derbez y Lefevre, 1996), patinas biológicas formadas por la presencia de microorganismos (Paleri y Curri, 1976; Warscheid y Braams, 2000) y por acción del agua, por fenómenos de disolución (Cultrone et al., 2002). El grado de alteración de las patologías mencionadas se puede cuantificar a través de variaciones cromáticas que nos indican el grado de deterioro del material expuesto o el grado de contaminación que existe en el ambiente (Esbert et al., 1997).

El crecimiento de las ciudades, en los últimos años, provoca el incremento de la contaminación atmosférica afectando directamente a los monumentos que se concentran en ellas provocando su deterioro (Rodríguez y Sebastián, 1994 y 1996). El dióxido de azufre SO_2 que proviene del residuo de la combustión de la gasolina y el gasoil de los vehículos a motor que se encuentra en la superficie de los monumentos, en disolución con el agua de lluvia o de la humedad del aire provoca uno de los efectos más indeables respecto al cambio estético que produce (Fassina, 1976).

En muchas ocasiones las variaciones de color dependen del ensuciamiento de la fachada al realizar obras de restauración incorporando otros materiales o por la reposición o sustitución de algunos materiales, ya sea de la misma o de otra cantera teniendo que hacer una valoración del color de las piezas repuestas para que no exista demasiada variación y agrada visual y estéticamente al monumento. Otra causa muy frecuente es la aplicación superficial para protección de materiales la utilización de consolidantes e hidrofugantes, teóricamente incoloros, que modifican la coloración original del material base apreciándose variaciones cromáticas desde el momento de su aplicación, acentuándose más con el envejecimiento del producto aplicado al degradarse debido a la radiación solar.

Existen multitud de investigaciones de medición del color aplicadas a casos concretos de patrimonio. Como ejemplo Álvarez de Buergo, Vázquez-Calvo; López-Arce, y Fort (2013) en su ponencia **Evaluación de técnicas de limpieza y desalinización en la catedral de Segovia, España** del 3er congreso iberoamericano y XI jornada técnica de restauración y conservación del patrimonio celebrado en La Plata (Argentina), estudiando la eficacia del uso de apósitos absorbentes en la eliminación de las sales existentes en los muros pétreos del claustro y la eficacia de varios sistemas de limpieza.

El color se midió con espectrofotómetro y software COLOR DATA SPECTRAMAGICTM NX CM-S100W, utilizando iluminante Standard D65 (equivalente a luz diurna con radiación ultravioleta y una temperatura de color de 6504°K) y un ángulo de visión o ángulo del observador de 10°, utilizando el espacio de color $\text{CIE}^*a^*b^*$, obteniendo la variación de color global con ΔE .

Se concluye que las variaciones ambientales que causan la cristalización-disolución e hidratación y deshidratación las sales en los poros de los materiales han provocado el deterioro de los materiales de construcción, dando lugar a su descamación, laminación, arenización, pulverización y desintegración, siendo la limpieza recomendada con proyección de partículas de óxido de aluminio 150 (105 μm) a menos de 1 atm.

Un primer paso de aplicación de la metodología para la medición del color expuesta en este libro, se aplica en la investigación de Beltramone, García y García (2003) **Modificaciones de las propiedades superficiales en el hormigón**

visto, por la utilización de diferentes tipos de desencofrantes y aditivos plásticos donde se estudian las variaciones de color que presenta el hormigón visto según el desencofrante utilizado.

La toma de muestras se realiza con cámara digital obteniendo imágenes en formato jpg, tomando una zona representativa central para hacer el análisis mediante programa informático (Photoshop) en el espacio de color HSB (H tonalidad, color reflejado a través de un objeto; S saturación, corresponde a la fuerza de pureza del color; B brillo, es el grado de luminosidad u oscuridad de un color medido en porcentaje), concluyendo que el desencofrante que mejor respeta el color del cemento es el parafínico seguido del de aceite mineral que provoca una mínima variación del tono, casi imperceptible, siendo el aceite de automóvil el que mayor variación del tono produce tendiendo hacia colores más oscuros.

García y Conci (2005) en su artículo **Variación del color del soporte cerámico tratado con pintura antigraffiti** analizan la variación de propiedades superficiales, color y luminosidad, que sufre el soporte cerámico protegido con pinturas transparentes antigraffiti. No existía normativa para la realización de ensayos a color en el momento de la redacción del artículo, por lo que se estableció una metodología que permitía cuantificar los parámetros colorimétricos. Las imágenes se obtuvieron con una lupa modelo MARES, marca CARTON con cámara digital Moticam 480 y para el análisis se usó el software MOTIC IMAGES 2000 1.2 y Photoshop.

Se utiliza el espacio de color RGB para obtener los parámetros de color mediante los histogramas de imagen. Las conclusiones indican que la superficie de las piezas cerámicas adoptan tonos distintos a los originales de la pieza sin tratar, siendo esta variación determinada por el tipo de pintura y fundamentalmente de acuerdo al material base.

Todas las cerámicas ensayadas modifican su color tendiendo hacia los tonos llamado "fríos" por la presencia de azul y pérdida del rojo. Comenta además que ante una misma pintura, se observó una mayor alteración de tonos y luminosidad en la cerámica rústica en comparación con las cerámicas industriales.

La medición de las variaciones cromáticas que realizan Coronado y García (2011) en La influencia de los productos hidrofugantes en las modificaciones cromáticas del ladrillo cerámico se realizan con la obtención de imágenes mediante cámara digital en formato jpg, proponiendo una metodología nueva, basada en el modelo RGB donde se obtienen valores cuantificables de cada muestra cerámica mediante medición digital del color (histogramas de imagen), tomándose como base el mismo tipo de cerámica sin hidrofugar.

En esta investigación se analiza el ladrillo cerámico en función de su proceso de fabricación: manual, prensado y extrusionado, y se clasifican los productos hidrofugantes, teóricamente incoloros, en mono-componente (siliconatos, sila-

nos, siloxanos y resinas) y bi-componente (silanos/siloxanos). La mitad de la cara vista del ladrillo se hidrofuga con cada uno de los hidrofugantes y se obtienen datos cromáticos del ladrillo tratado y sin tratar, comparandose para poder cuantificar la variación de color que se produce con cada uno de los productos.

Figura 57. Valores RGB y luminosidad del ladrillo hidrofugado y sin tratar.

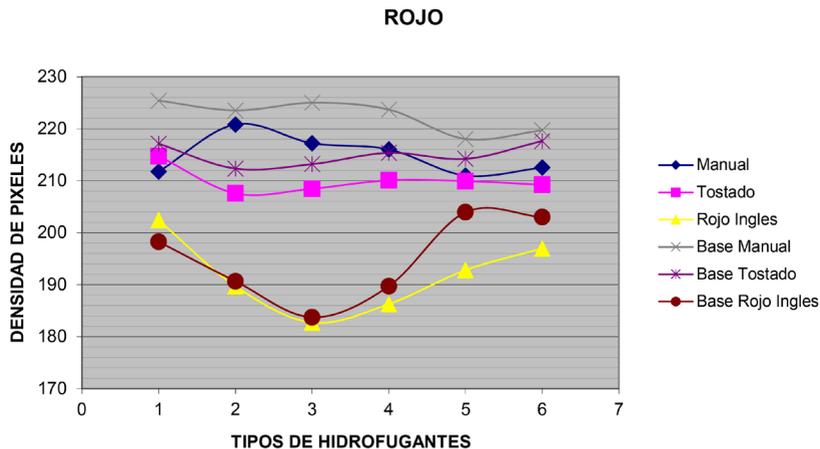
HIDROFUGANTE/WATER REPELLENT N°1: COMPONENTE SILICONATOS/SILICONATES COMPONENT			
PROBETA BASE/ MATERIAL TEST TUBE	M1FI	PROBETA HIDROFUGADA/WATER REPELLENT TEST TUBE	M1FD
			
Valores Histograma/Values Histogram		Valores Histograma/Values Histogram	
Luminosidad/Luminosity	203,29	Luminosidad/Luminosity	187,37
Rojo/Red	225,41	Rojo/Red	211,77
Verde/Green	203,26	Verde/Green	187,06
Azul/Blue	144,12	Azul/Blue	123,57

Fuente: Coronado y García (2011)

Las imagenes originales se obtienen mediante cámara digital, en formato jpg, en mesa de reproducción con iluminadas con 4 lámparas de 75 w. obteniendo una iluminancia de 760 lux. Estas imagenes se pasan a programa informático (photoshop) tomando una zona central representativa de la muestra que es la que se analiza (imagen anlizada) de la que se obtienen los valores del color en el espacio RGB, rojo, verde, azul y luminosidad a partir del histograma. En la figura 56 aparece en la parte izquierda la zona del ladrillo sin tratar y en la derecha la hidrofugada, ambas con sus respectivos valores de histograma. Los valores de histograma representativos de cada muestra se obtienen con la media aritmética de los valores obtenidos de seis toma de muestras (fotografías). Los resultados obtenidos se representan graficamente, por cada valor de histograma, comparando el ladrillo sin tratar y el hidrofugado con cada producto.

En la figura 58 se muestra la gráfica del color rojo comparando los valores de la zona sin tratar con la hidrofugada con cada uno de los productos aplicados.

Figura 58. Representación gráfica del color rojo comparando los valores de la zona sin tratar con la hidrofugada con cada uno de los productos.



Fuente: Coronado y García (2011)

Al analizar los resultados obtenidos se concluye que todos los ladrillos tratados con productos hidrofugantes, teóricamente incoloros, adoptan tonos distintos a los originales de la pieza sin tratar. Esta variación está determinada por el tipo de hidrofugante, pero fundamentalmente de acuerdo al material de base.

Sobre el material cerámico se puede sugerir que para superficies de fachadas construidas con piezas cerámicas, que debieran tratarse con productos hidrofugantes, es recomendable la elección de ladrillo prensado, ya que en este tipo de ladrillo las variaciones de luminosidad y tonalidad son, en general, de valores más bajos que en los otros tipos de ladrillo (manual y tostado). Sobre los productos hidrofugantes se sugiere que si se tienen que hidrofugar una fachada en las que el tipo de ladrillo está determinado, se recomienda que si el ladrillo es manual se debe aplicar hidrofugante base de resina porque provoca menor variación cromática produce a en este tipo de ladrillo y si el ladrillo es extrusionado o prensado se debe tratar con hidrofugante de componente siliconatos ya que, es el producto que menor variación de color provoca en este tipo de cerámica.

Coronado (2012) en su tesis **Influencia de los productos hidrofugantes en las propiedades superficiales de las cerámicas porosas utilizadas en cerra-**

mientos exteriores cara vista cuantifica en el espacio RGB las variaciones de color que producen los productos hidrofugantes, teóricamente incoloros, aplicados en la cerámica porosa cara vista. Se aplica la metodología obteniendo imágenes digitales jpg que se analizan mediante histogramas de imagen obteniendo los valores R, G, B y luminosidad.

Cada valor de histograma se representan gráficamente, colocando en el eje horizontal los valores de la cerámica sin tratar y en el eje vertical los valores de la cerámica hidrofugada. La representación de los valores iniciales y finales es una nube de puntos, calculándose la ecuación de la línea de tendencia y el coeficiente de determinación R2 (nos indica si existe relación entre variables ensayadas, valores superiores a 0,5 indican que existe relación entre las variables representadas). La conclusión es que todos los productos hidrofugantes, teóricamente incoloros modifican, en mayor o menor medida, las características superficiales del material cerámico adoptando tonos distintos a los originales de la pieza sin hidrofugar, siendo posible predecir el color final de la cerámica sin necesidad de aplicar el producto hidrofugante. Se obtiene una relación lineal entre los valores de histograma, inicial y final, del color de la cerámica dependiendo del producto hidrofugante que se aplique. Se puede predecir matemáticamente el color de una cerámica que va a ser tratada con un determinado producto hidrofugante, sin necesidad de aplicar el producto. De igual manera, se puede obtener el color que tenía inicialmente una cerámica antes de ser hidrofugada con un determinado producto.

Tabla 51. Modelo matemático de predicción del color de tres hidrofugantes

Relación entre el color inicial y el final dependiendo del hidrofugante			
	H1 Siliconatos	H2 Silanos	H3 Siloxanos
Luminosidad	$y = 0,7235x + 46,767$	$y = 0,9466x + 1,7542$	$y = 1,0007x - 8,037$
Rojo	$y = 0,7717x + 45,096$	$y = 0,8957x + 16,825$	$y = 1,032x - 13,33$
Verde	$y = 0,7254x + 46,119$	$y = 0,9297x + 4,9704$	$y = 0,962x - 0,771$
Azul	$y = 0,7652x + 22,731$	$y = 0,9707x + 9,889$	$y = 0,979x - 8,875$

Fuente: Coronado (2012).

Rodríguez (2012) utiliza la metodología de medición del color en el espacio RGB en su tesis **Influencias de los barnices incoloros en las propiedades superficiales de las maderas de construcción**, para cuantificar la variación cromática que producen los barnices incoloros en los diferentes tipos de maderas de construcción, analizando las prestaciones de dieciséis barnices aplicados sobre veinte tipos de maderas, angiospermas y gimnospermas, de distintas densidades y latitudes. Se utilizan técnicas de descomposición cromática, mediante el empleo de microscopio óptico de reflexión, para poder obtener un abanico gráfico de histogramas con valores numéricos de luminosidad y valores cromática, y de esta forma comprobar que los supuestos barnices que se venden como incoloros, no son totalmente incoloros sino que muestran tendencias a virar hacia alguno de los colores básicos.

Las maderas son barnizadas en el año 2006, siendo analizados y comparados los efectos producidos sobre la madera sin barnizar y los producidos por el paso del tiempo (envejecimiento) en el año 2011. Se busca en la composición del barniz la explicación a cada comportamiento y se evalúa su idoneidad para una madera determinada, se está ponderando también la fiabilidad, la utilidad y la rapidez, del procedimiento empleado. Se obtiene un modelo matemático que permite predecir el color final de la madera tratada en función del color inicial de la madera sin barnizar. Se propone una recomendación de los productos a utilizar en cada uno de los tipos de madera en base a su color inicial.

Figura 59. Representación de las especies de maderas gimnospermas

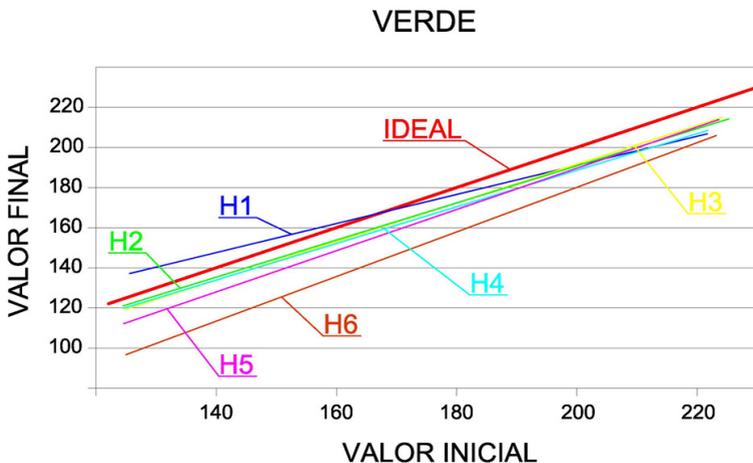


Fuente: Rodríguez (2012)

El artículo **Hidrofugante que menor variación cromática produce en la cerámica porosa cara vista** de Coronado y García (2014) aplica la metodología de medición de color en el espacio RGB para clasificar la cerámica en función de su color, obteniendo cinco colores: blanco, gris, ocre, rojo y marrón, indicando de cada uno su rango de valores RGB. Esta investigación analiza la variación cromática que se produce en la cerámica al aplicarle superficialmente hidrofugantes, teóricamente incoloros, y determinar cuál es el hidrofugante que menor variación produce.

Los resultados que se obtienen son los valores de histograma de las cerámicas sin tratar y de cada cerámica hidrofugada con cada producto, llamando a los primeros valores iniciales y los segundos, valores finales. Se representan gráficamente los valores R, G, B y luminosidad, colocando en el eje X los valores de la cerámica sin tratar y en el eje Y los valores de la cerámica hidrofugada. El resultado de la representación de estos valores es una nube de puntos y se calcula la línea de tendencia junto con su ecuación y el coeficiente de determinación R² (nos indica si existe relación entre variables ensayadas, valores superiores a 0,5 indican que existe relación entre las variables representadas). En la figura 60 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos del color verde donde se puede observar las líneas de tendencia de cada uno de los productos aplicados (denominados H1, H2, ...H6) junto con la línea de tendencia del hidrofugante ideal (el que no varía el color de la cerámica, siendo el valor inicial y el final el mismo).

Figura 60. Representación de las líneas de tendencia de cada hidrofugante aplicado y la línea de tendencia ideal del color verde.



Fuente: Coronado y García (2014)

Al tener todas las representaciones gráficas coeficientes de determinación R^2 superiores a 0,7 y mayores de 0,5, existe mucha relación entre los parámetros del color inicial y final. Existe un modelo matemático que relaciona las dos variables ensayadas, siendo este modelo las ecuaciones de las líneas de tendencia de cada representación de cada producto hidrofugante aplicado. Por ejemplo, del hidrofugante de componente silanos en el color rojo se obtiene la ecuación $y = 0,8957x + 16,825$ con un $R^2 = 0,9328$ y del color azul $y = 0,9707x + 9,889$ con un $R^2 = 0,9432$.

Analizando las representaciones gráficas se concluye que todos los productos hidrofugantes, teóricamente incoloros, producen variación de los valores de histograma en la cerámica base, teniendo un modelo matemático que relaciona el color inicial y el final. Esta variación de color puede ser positiva (aumento de los valores de histograma) o negativa (disminución de los valores de histograma). Se propone qué productos son los recomendables utilizar en base al color inicial de la cerámica, clasificada en blanca, gris, ocre, roja y marrón.

El único hidrofugante que aumenta los valores de histograma, es el de componente siliconatos, en las cerámicas clasificadas como rojas y marrones. Los productos hidrofugantes que menor disminución de los valores de histograma producen en la cerámica según su color son los siguientes:

- Color de la cerámica blanco: el hidrofugante que menor variación produce es el producto de componente siloxanos oligoméricos.
- Color gris: el hidrofugante siliconatos es el que menor variación produce en el rango de valores RGB: $182 < R < 224$, $166 < G < 198$, $136 < B < 147$, y el hidrofugante de siloxanos oligoméricos en el rango de valores RGB: $224 < R < 232$, $198 < G < 221$, $147 < B < 196$.
- Color ocre: el hidrofugante que menor variación produce es el producto de componente siliconatos.
- Color rojo: el hidrofugante de componente silanos es el que menor variación produce en el rango de valores RGB: $204 < R < 229$, $126 < G < 167$, $54 < B < 96$, y el hidrofugante de componente siliconatos en el rango de valores RGB: $204 < R < 229$, $167 < G < 188$, $96 < B < 108$.
- Color marrón: el hidrofugante de componente silanos es el que menor variación produce en el rango de valores RGB: $163 < R < 197$, $124 < G < 167$, $49 < B < 96$, y el hidrofugante de componente siliconatos en el rango de valores RGB: $197 < R < 209$, $167 < G < 180$, $96 < B < 139$.

Sarabia y García (2015) aplican la metodología en el artículo **Variation of the surface chromatic properties of exposed concrete façades treated with anti-graffiti products (Variación de las propiedades cromáticas superficiales de las fachadas de hormigón visto tratadas con productos antigrafiti)** donde analizan la variación de color superficial, tonalidad y luminosidad, que sufre el soporte de mortero de cemento portland por la aplicación de tratamientos protectores antigrafiti. Se analiza el color mediante imágenes digitales en programa informático en el espacio de color RGB, obteniendo los valores de histograma de cada muestra tratada y tomando como base el mismo tipo de mortero sin protección.

La variación cromática superficial depende del tipo de tratamiento antigrafiti utilizado y del material sobre el que se aplica, concluyendo que todos los productos antigrafiti producen variación de los valores rojo, verde, azul y luminosidad en los soportes, siendo el mortero elaborado con cemento portland gris de tipo CEM II/B-M(V-L) 32,5 N el que presenta menor variación cromática una vez tratado. Además, el antigrafiti de componente acrilato con copolímeros de flúor es el que produce la menor variación de los valores absolutos de tonalidad y luminosidad en las muestras analizadas.

Coronado y García (2017) en la investigación **Parameters that influence the chromatic variation of porous face ceramic waterproofed with organosilicic products (Parámetros que influyen en la variación cromática de la cerámica porosa cara vista hidrofugada con productos organosilícicos)** analizan los factores de los que depende la variación cromática de la cerámica tratada con hidrofugantes, teóricamente incoloros. Los tipos de cerámica manual, prensada y extrusionada, se caracterizan en función de los parámetros del coeficiente de absorción, porosidad abierta, acabado superficial (liso y rugoso) y color inicial. Se utiliza la metodología de medición del color en el espacio RGB y mediante parámetros estadísticos, se relaciona el color final de la cerámica hidrofugada con los parámetros obtenidos de la caracterización de la cerámica (coef. absorción, rugosidad, color inicial, etc). Para ver si existe relación entre los parámetros se representan gráficamente, colocando en el eje horizontal el valor del color inicial de la cerámica y en el eje vertical los valores obtenidos de los parámetros ensayados. Se calcula la ecuación de la línea de tendencia y el coeficiente de determinación R^2 (nos indica si existe relación entre variables ensayadas, valores superiores a 0,5 indican que existe relación entre las variables representadas).

Tras el análisis realizado se observa que todos los productos hidrofugantes, teóricamente incoloros, producen variación de los valores de histograma en la cerámica. Esta variación cromática no depende ni del coeficiente de absorción, ni de la porosidad abierta, ni del acabado superficial y solo depende del color inicial de la cerámica. La relación entre el color inicial y final de la cerámica es lineal, definida por las ecuaciones de la línea de tendencia, y depende de la composición del hidrofugante aplicado.

Al existir una relación lineal entre color inicial y final de una cerámica, se puede predecir el color final de una cerámica, conociendo su color inicial, según sus valores RGB, dependiendo de la composición del producto hidrofugante aplicado.

En la investigación **Modelo matemático de predicción del color en el envejecimiento de la cerámica porosa cara vista hidrofugada** de Coronado, Rodríguez y Santos (actualmente no publicada) se aplica la metodología para analizar el efecto que produce el envejecimiento natural en la variación cromática de la cerámica porosa cara vista tratada con hidrofugantes, teóricamente incoloros. La cerámica se hidrofuga con cada producto y se envejece en ambiente natural durante un año, cuantificando cada mes los valores de histograma (espacio de color RGB) y analizando la variación cromática producida.

Como conclusión se indica que todos los productos hidrofugantes producen variación de color con el envejecimiento en un año de la cerámica, existiendo una tendencia generalizada en todos los productos a la pérdida del color rojo y ganancia del azul, tendiendo a los tonos "fríos", aumentando este efecto en las cerámicas manuales y extrusionadas por el aumento generalizado del color verde.

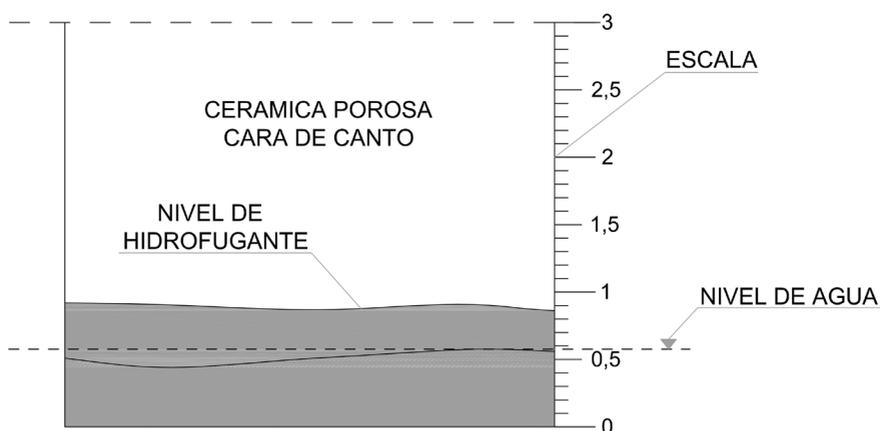
En cada mes, existe una relación lineal definida por las ecuaciones de la línea de tendencia de los valores de histograma del color inicial y final de la cerámica hidrofugada con cada uno de los productos aplicados. Esto nos lleva a que si se conoce el color inicial de una cerámica, se puede predecir el color que se obtiene con el envejecimiento de ésta en cada uno de los meses y dependiendo del producto aplicado. Esto se aplica directamente al patrimonio construido con cerámica porosa previamente tratada con hidrofugantes, pudiendo conocer el color original de la cerámica a través de las relaciones lineales existentes, conociendo dos parámetros: la composición del producto y el tiempo que ha envejecido.

También se utiliza parte de esta metodología para analizar imágenes y obtener datos no relacionados con el color. En las investigaciones de Coronado, García y Padial (2013) **La influencia de los productos hidrofugantes en la succión del ladrillo cerámico cara vista y de Coronado y García (2014), Application method of water repellent products and its influence on the suction process on the facade of ceramic brick** se utiliza para la obtención del nivel de agua superficial al estar la cerámica hidrofugada con diferentes productos hidrofugantes.

La metodología de toma de datos se realiza de la siguiente manera: al hidrofugar la cerámica un determinado tiempo, se pesa y se coloca en la mesa de reproducción, tomando una fotografía de la cara de canto que es donde se ve el nivel que ha alcanzado el hidrofugante y donde se puede ver el nivel alcanzado por el agua al realizar el ensayo de succión.

Para la toma de datos se coloca la cámara a 40 cm de la cara de canto de la cerámica que se quiere fotografiar, colocando una escala para posteriormente tener la referencia para poder medir el aumento del nivel del agua de la superficie de la cerámica. Para todos los tiempos estimados en el ensayo, se toman fotografías que posteriormente se analizan mediante programa informático. En la figura 61 se muestra el resultado del análisis de una cerámica donde se indica el nivel de hidrofugante y el nivel de agua alcanzado para su posterior comparación.

Figura 61. Analisis de imagen obtenida donde se indica el nivel de agua superficial de una cerámica ensayada.



Fuente: Coronado y García (2014)

Aplicaciones en las Artes Plásticas

El color en las Artes Plásticas es fundamental ya que, toda creación en cualquier disciplina (escultura, pintura, grabado, etc.) está presente y transmite una determinada sensación en el espectador.

Artistas como **Angelica Dass** realizan obras como **Humanæ: los pantones de**

la piel humana (Osuna, 2017) comparando rostros diferentes personas según su color, desplegando una gama cromática de los diferentes colores de la piel humana. El trabajo se adapta a las cartas cromáticas Pantone, dando un grado de horizontalidad jerárquica para que no haya predominancia de ninguna raza sobre otras basadas en el color de la piel o la condición social.

Se elige la carta pantone para su obra/estudio no es coincidencia, ya que estas directrices se han convertido en uno de los principales sistemas de clasificación de color, representados mediante un código alfanumérico, que permite recrearlos con precisión en cualquier medio: es un estándar técnico industrial.

Humanæ al igual que la guía pantone de color, también es riguroso y sistemático: el fondo de cada retrato está teñido con un tono de color idéntico a una muestra de 11 x 11 píxeles tomado de la cara del fotografiado. Alineada como en las famosas muestras, su horizontalidad no sólo es formal sino también ética

En la restauración de obras pictóricas es de aplicación inmediata, ya que las obras de arte cuando están deterioradas se realizan labores de limpieza y de aplicación de colores originales en las partes más afectadas. La aplicación de esos nuevos colores es una labor minuciosa en la que la elección del color exacto es fundamental para que el resultado de la restauración sea satisfactorio.

Los personajes son voluntarios, no hay selección previa de participantes y no hay clasificaciones relacionadas con la nacionalidad, género, edad, raza, clase social o religión, es un proyecto tan amplio como la humanidad, según la artista por lo que el único límite sería alcanzar completando a toda la población del mundo. En la figura 62 se muestra una parte de la obra donde se indica el color de la piel y su correspondiente pantone.

Figura 62. Humanæ: los pantones de la piel humana de Angelica Dass.





Fuente: Osuna (2017).

De la Roja (1999) en su tesis doctoral titulada **Sistema de reintegración cromática asistido por medio transferibles obtenidos por procedimientos fotomecánicos. Aplicación en la restauración de pintura de caballete** nos indica que ante una situación de deterioro o ruina de una obra de arte se intervine de manera que el proceso de restauración se integra la que llama etapa de reintegración cromática que tiene como objetivo restablecer el potencial estético de la obra de arte, mermado por los deterioros sufridos por el transcurso del tiempo y que impiden realizar su correcta lectura y que consiste en realizar una integración cromática en aquellas zonas de la obra donde existen pérdidas del estrato pictórico, y cuyo color afecta de forma negativa al conjunto general.

Para realizar la reintegración existen diferentes técnicas como son, el *tratteggio*, el puntillismo y la abstracción cromática. Se diferencian fundamentalmente en el método de ejecución (puntos, trazos o rayados, veladuras); si bien todas ellas se realizan manualmente con pincel, por aplicación de distintas capas y colores sobre el área a reintegrar.

A priori no se conoce el resultado cromático que se va a obtener de la reintegración con los colores utilizados, por lo que es clave la elección de dichos colores para que el resultado final sea el deseado.

Raggio (2011) en su tesis **Aplicación de técnicas de restauración a 3 pinturas de caballete según su estado de conservación** elige tres obras de diferentes estilos, ideando para cada una un plan donde se determinan las necesidades de cada una y sus posibles soluciones. Además, se hicieron registros fotográficos antes, durante y después de la intervención para registrar los cambios producidos.

Uno de los principios de la restauración es el respeto por el original, no teniendo que inventar partes de las obras, incluyendo colores ya que estos afectan y pueden desvirtuar la lectura inicial de la obra por el artista.

El reintegro cromático es una técnica de restauración que permite integrar estéticamente la obra para que se contemple de forma correcta, completando las pérdidas que tenga en su capa pictórica. Se limita a lagunas existentes y se

debe realizar con materiales inocuos, reversibles y reconocibles respetando el original. En la figura 63 se muestra la restauración del cuadro Santa Dominica de autor anónimo del siglo XVIII antes y después de su restauración.

Figura 63. Pintura Santa Dominica del siglo XVIII antes y después de su restauración.



Fuente: Raggio (2011).

En la figura 64, se muestra la obra *Ecce Homo* de Elías García Martínez, una pintura del siglo XIX de 50x40 cm, que como se ve en la figura de la izquierda presenta un estado de conservación pésimo. Una mujer quiso restaurar la obra “con buena intención” y “sin pedir permiso a nadie”, con el resultado que se ve en la imagen de la derecha (Huertas, 2012).

Como se puede observar, para realizar una restauración, esta tiene que realizarla personal cualificado ya que, en el ejemplo que se expone ni forma, ni color coincide con la imagen original teniendo el resultado que se puede apreciar.

Figura 64. El antes y el después de la restauración de la pintura Ecce Homo del artista Elías García Martínez



Fuente: Huertas (2012).

Aplicaciones en el control de calidad de los alimentos

Todos a simple vista controlamos en el supermercado el color de algunos alimentos, como el de la fruta que si está con color marrón no la compramos. Se quiere obtener información al instante, precisa sobre la calidad y la composición de determinados alimentos. Si con la colorimetría se detectan calidades y composiciones, se pueden evitar análisis químicos, para reducir costos.

Mathias-Rettig y Ah-Hen (2014) en su investigación **El color en los alimentos un criterio de calidad medible** habla sobre la importancia del color como una característica de valoración física y de calidad en los alimentos, hace necesario disponer de métodos objetivos de medición que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles. El color es afectado por muchos factores, tales como la iluminación, el observador, el espectro, la presencia de pigmentos o las propias características de superficie, tamaño, textura y brillo de la muestra analizada. Las expectativas impuestas en los alimentos por las normativas

de calidad y seguridad, surge la necesidad de determinar la calidad precisa, rápida y objetiva. La visión por sistemas computarizados proporciona una alternativa para una técnica automatizada, no destructiva y rentable para lograr estos requisitos.

En la industria de alimentos la medición instrumental del color sirve como herramienta de control de calidad. Existen diferentes formas de cuantificar el color, las cuales han ido evolucionando a métodos cada vez más rápido y no invasivos. Dentro de los métodos con mayor proyección se encuentra la visión digital comprobándose su eficacia en las industrias. Esta metodología es reconocida como rápida, eficiente, barata y no destructiva, pudiéndose usar en la inspección de la calidad.

Mathias-Rettig y Ah-Hen (2014) describen en su artículo, algunas aplicaciones del color en la industria de los alimentos para el control de calidad y la seguridad alimentaria, como son: la determinación del color de la carne de las aves de corral durante el procesamiento, para determinar si es corte claro u oscuro, el cual tiene incidencia directa con la retención de agua (Petracci et al., 2004); el estudio del color en las hojas del cultivo de maíz para caracterizar los niveles de estrés debido a las deficiencias de agua y nitrógeno en hojas (Ahmad y Reid, 1996); el control de calidad en alimento en cuanto a forma, color y distribución de ingredientes, mediante análisis de imágenes por computador (Brosnan y Sun, 2004); la determinación del color y la blancura del azúcar como parámetro de calidad (Figura y Teixeira, 2007); la evaluación del proceso de secado en cuanto al color de los productos deshidratados, tales como manzana, plátano, patata o zanahoria (Krokida et al., 2001); la medición del color por la imagen digital de la superficie de los alimentos (Yam y Papadakis, 2004); la visión digital con imágenes de radar de los alimentos para obtener las propiedades físicas (Abdullah et al., 2004); la detección de defectos en la superficie por análisis de imagen en frutas (Davenel et al., 1998); la distribución y tamaños de las burbujas en la cerveza a través de visión digital (Hepworth et al., 2004); la clasificación de la textura del músculo de la carne bovina a través de imágenes (Basset et al., 1999); el colorímetro de tomate (Hunter y Yeatman, 1961); los atributos visuales de calidad de los camarones por visión digital (Luzuriaga et al., 1997); la cinética de cambios en la textura y el color de espárragos verdes durante los tratamientos térmicos (Lau et al., 2000) y las mediciones de color con cámaras CCD (Charge-Coupled Device – dispositivo de carga acoplado) y las imágenes digitales (Mendoza et al., 2006).

Delmoro, Muñoz, Nadal y Pranzetti (2010) en su artículo **El color en los alimentos: Determinación de color en mieles** afirman que color de la miel depende de varios factores y tiene extrema importancia desde el punto de vista comercial, ya que determina su precio. Internacionalmente el método estandarizado para la medición del color de la miel está basado en la comparación óptica usando comparadores Pfund o Lovibond, siendo su disponibilidad escasa. El colorímetro Hanna se utiliza actualmente por los exportadores por su dispo-

nibilidad, versatilidad y practicidad. Se comparan el color de 70 muestras de miel analizadas por ambos colorímetros, concluyendo que las determinaciones efectuadas mantienen una relación lineal cuyo coeficiente de determinación ($R^2=0.961$) que indica que ambos métodos arrojan resultados similares, siendo factible obtener mediciones confiables con el colorímetro Hanna e implementar su uso, en virtud de las ventajas prácticas que ofrece, frente al colorímetro Pfund. Se advierte que en el rango de color de mieles blanco agua, extra blanco y ámbar oscuro, ambas mediciones se alejan de la linealidad.

Aplicaciones a la Enología

Relacionado con el apartado anterior, se puede considerar el estudio de los vinos incluido en estudio de la calidad de los alimentos. Parametros de coloración de los vinos indican condicones de calidad de los mismos.

Casassa y Sari (2006) estudian la **Aplicación del sistema CIE-Lab a los vinos tintos. Correlación con algunos parámetros tradicionales** donde indican que el color es uno de los primeros atributos que se evalúan en un vino. Las diferencias climáticas que existen a lo largo del año y entre años, influyen el el color del vino aunque provenga del mismo viñedo. Un determinado vino debe mantener sus características organolépticas constantes y regulares a lo largo del tiempo para garantizar la calidad frente al consumidor. Se presenta un nuevo sistema para una medida más objetiva del color en comparación con los actuales métodos colorimétricos utilizados.

El estudio se realizó sobre vinos tintos argentinos, de distintas cosechas (1989 a 2006), variedades, zonas de producción y técnicas de elaboración y analizadas en el año 2006. Se analiza el color mediante el espacio de color $CieL^*a^*b^*$ y se compara con parámetros de medición de color clásicos, demostrando que el espacio $CieL^*a^*b^*$ es más preciso. Cuando se comparan los datos colorimétricos de un vino de una línea y cosecha determinada en el momento de la puesta en botella, con los de la misma línea pero de una cosecha subsiguiente, puede haber alteraciones cromáticas. Por esto, puede ser recomendable conocer de antemano si el consumidor detectará o no posibles diferencias de color de un vino a otro, y en tal caso, de que magnitud será esta diferencia. El método estudiado es útil para evaluar el efecto de blendings o cortes sobre el color perceptible por el ojo humano, o bien para estandarizar y mantener el color de una línea de vinos a lo largo de varios ciclos de producción, y en caso de variaciones del mismo, poder establecer si estas serán perceptibles o no por el degustador. El empleo del método puede resultar útil para evaluar el efecto de distintas prácticas enológicas o como un posible complemento en la toma de decisión, a la hora de definir el paquete enológico más adecuado para la obtención de vinos con colores estándares y constantes.

En el artículo **Efecto del empleo de chips de roble y del tipo de tostado sobre la composición polifenólica y las características cromáticas y organolépticas de vinos merlot** de los autores Casassa, Sari, Avagnina y Catania (2008), se estudia el efecto a largo plazo de la adición de chips con distintos grados de tostado en vinos Merlot, comparando este efecto con el mismo vino sin tratar, empleándose métodos espectrofotométricos y se evaluaron sensorialmente los vinos resultantes.

Utilizando colorimetría triestímulo, los tratamientos solo se diferenciaron en el parámetro L^* . En el plano visual y aromático, los vinos tratados presentaron aumentos significativos del matiz violeta y la intensidad aromática global, esta última siendo más evidente para mayores grados de tostado. El aporte de chips mejoró el aspecto cromático de los vinos tratados, resultando esta mejora visualmente perceptible (diferencia de color Cie-Lab).

Otras aplicaciones

El uso cotidiano del color se suele realizar con cartas de colores Pantone o RAL, debido a que los colores de las pinturas comercializadas pertenecen a dichas cartas. Estas cartas están muy extendidas en las tiendas de venta de pinturas. Cuando se quiere pintar algo, inmediatamente te enseñan una carta de color para que le indiques cual es el color deseado.

A través de la colorimetría, se pueden detectar defectos cuando queremos mezcla de colores para obtener uno en concreto, en diversos campos como por ejemplo, para la predicción de un determinado color de una mezcla o cuando se añade un determinado pigmento, para detección de defectos en la fabricación de azulejos, etc.

Se aplica a la producción de pinturas goniocromáticas, que con la variación de la dirección de la mirada se perciben colores diferentes. Además, se están diseñando materiales termocrómicos que con los cambios de temperatura, varían el color teniendo aplicaciones inmediatas para la construcción de viviendas sustentables ya que, cuando aumenta el calor se oscurecen impidiendo el paso de radiación y viceversa, cuando baja la temperatura se aclaran para que pase más radiación.

Bibliografía

- Abdullah, M. Z., Guan, L. C., Lim, K. C. y Karim, A. A. (2004). The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 125-135.
- Aguilera, J. M. (2011). *Ingeniería gastronómica*. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile.
- Ahmad, I. S. y Reid, J. F. (1996). Evaluation of colour representations for maize images. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(3): 185-195.
- Álvarez de Buergo, M.; Vázquez-Calvo, C.; López-Arce, P. y Fort, R. (2013). Evaluación de técnicas de limpieza y desalinización en la catedral de Segovia, España. 3er congreso iberoamericano y XI jornada técnica de restauración y conservación del patrimonio. La Plata (Argentina).
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos*, 4ed. México: Pearson educación.
- Basset, O., Dupont, F., Hernandez, A., Odet, C. y Culioli, J. (1999). Texture image analysis: application to the classification of bovine muscles from meat slice images. *Optical Engineering*, 38(11), 1950-1959.

- Beltramone, A.; García Cruz, A. y García Santos A. (2003). Modificaciones de las propiedades superficiales en el hormigón visto, por la utilización de diferentes tipos de desencofrantes y aditivos plásticos. *Materiales de Construcción*, 53 (270), 71-78.
- Belvederessi, D. (2007). Síntesis aditiva y sustractiva. Consultado en octubre 26, 2017 de <http://dianabelvederessi.blogspot.com/2007/09/sintesis-aditiva-y-sustractiva.html>
- Boscarol, M. (2007). El círculo de Newton. Consultado en octubre 23, 2017, de http://www.gusgsm.com/circulo_color_newton.
- Brosnan, T. y Sun, D. W. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision-a review. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 3-16.
- Caivano, J. L. (1995). *Sistemas de orden del color* (Vol. 12). Buenos Aires: Ed. José Luis Caivano. Facultad de Arquitectura, Diseño y urbanismo, Universidad de Buenos Aires.
- Calvo, C. y Durán, L. (1997). *Propiedades físicas II: Ópticas y color*. Temas en Tecnología de Alimentos. México: Editado por J. M. Aguilera. Instituto Politécnico Nacional.
- Calvo Ivanovic, I. (s.f.). El árbol de Munsell. Consultado en octubre 23, 2017, de <http://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/mo-delos-de-color/el-arbol-de-munsell/>.
- Casassa, F. y Sari, S. (2007). Aplicación del sistema CIE-Lab a los vinos tintos. Correlación con algunos parámetros tradicionales. *Enología*, 5, 1-15.
- Casassa, F.; Sari, S.; Avagnina, S., y Catania, C. (2008). Efecto del empleo de chips de roble y del tipo de tostado sobre la composición polifenólica y las características cromáticas y organolépticas de vinos merlot. *Enologia*, 2, 1-17.
- Colorsystem (s.f.). Moses Harris. Consultado en octubre 23, 2017, de https://www.colorsistem.com/?page_id=743&lang=en.

- Coronado Martín, J. A. (2012). Influencia de los productos hidrofugantes en las propiedades superficiales de las cerámicas porosas utilizadas en cerramientos exteriores cara vista (tesis doctoral). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Coronado Martín, J. A. y García Santos, A. (2011). La influencia de los productos hidrofugantes en las modificaciones cromáticas del ladrillo cerámico. *Materiales de Construcción*, 61(304), 597–611. <https://doi.org/doi>: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2011.57810>.
- Coronado Martín, J. A. y García Santos, A. (2014). Application method of water repellent products and its influence on the suction process on the facade of ceramic brick. *Revista de La Construcción*, 13(3), 3–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2014000300001>.
- Coronado Martín, J. Á. y García Santos, A. (2014). Hidrofugante que menor variación cromática produce en la cerámica porosa cara vista. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 53(5), i–vi. [https://doi.org/DOI: 10.3989 / cyv.2014.v53.i5](https://doi.org/DOI:10.3989/cyv.2014.v53.i5).
- Coronado Martín, J. Á. y García Santos, A. (2017). Parameters that influence the chromatic variation of porous face ceramic water-proofed with organosilicic products. *Revista de La Construcción*, 16(2), 295–306. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.2.295>.
- Coronado Martín, J. Á., García Santos, A. y Padiál Molina, J. F. (2013). La influencia de los productos hidrofugantes en la succión del ladrillo cerámico cara vista. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 52(4). <https://doi.org/10.3989/cyv.2013.v52.i4.1221>.
- Cultrone, G.; Sebastián, E.; Cazalla, O.; Rodríguez Navarro, C. y De la Torre, M. J. (2002). Decay behaviour of bricks and its evaluation using colorimetry. En: *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities*. Lisse: Swets & Zeitlinger, p.145-152.
- Davenel, A., Guizard, C. H., Labarre, T. y Sevilla, F. (1988). Automatic detection of surface defects on fruit by using a vision system. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 41(1), 1-9.

- De la Roja de la Roja, J. M. (1999). Sistema de reintegración cromática asistido por medio transferibles obtenidos por procedimientos fotomecánicos. Aplicación en la restauración de pintura de caballete (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Retrieved from <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19972000/H/1/H1014601.pdf>.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V. y Pranzetti, V. (2010). El color en los alimentos: Determinación de color en mieles. *Invenio*, 13(25), 145–152.
- Derbez, M. y Lefevre, R. A. (1996). Le contenu microparticulaire des croutes gypseuses de la cathédrale Saint-Gatien de Tours. Comparaison avec l'air et la pluie. 8th International Congress on Deterioration and Conservation of stone. Berlín, 359-370.
- Esbert, R. M.; Ordaz, J.; Alonso, F. J.; Montoto, M.; González Limón, T y Álvarez de Buergo Ballester, M. (1997). Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. Barcelona: Col·legi d'Apparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.
- Fallola, M. (2015). Una tesis de la UEx recibe el premio "Mejor Tesis de Doctorado Ibérico en Sistemas y Tecnologías de la Información" . Consultado en noviembre 18, 2017, de <https://investigaliacc.wordpress.com/tag/hiperespectral/>.
- Fassina, V. (1976). A recent survey on air pollution in Venice in relation to the deterioration of marble and stone. *Lithoclastia*, 2, 33-43.
- Figura, O. y Teixeira, A. (2007). Food Physics: Physical Properties, Measurement and Applications. Berlin, New York: Heidelberg, Springer-Verlag.
- Francis, F. J. y Clydesdale, F. M. (1975). Food colorimetry: Theory and Applications. Connecticut: AVI Publishing Co. Inc., Westport.
- García Santos A. y Conci Rinaudo M. (2005). Variación del color del soporte cerámico tratado con pintura antigraffiti. *Materiales de Construcción*, 55(278), 55-68.
- Giese, J. (1995). Measuring physical properties of foods. *Food Technology*, 49(2): 53-63.

- Gilabert, E. (1992). Medida del color. Valencia: Servicio de publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gonnet, J. F. (1998). Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited-1. A colorimetric definition using CIELAB scale. *Food Chemistry*, 63, 409-415.
- González, A. M. y Vicente, I. (2007). El color en la industria de los alimentos. La Habana: Editorial Universitaria.
- Guzman Galarza, M. (2011). Teoría y práctica del color. Cuenca (Ecuador).
- Hepworth, N. J., Hammond, J. R. M. y Varley, J. (2004). Novel application of computer vision to determine bubble size distributions in beer. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 119-124.
- Huerta, R. (2012). La restauración de un eccehomo se convierte en un sainete mundial. *El país*. Consultado en diciembre 4, 2017, de https://elpais.com/cultura/2012/08/23/actualidad/1345709139_149007.html
- Hunt R. W. (1991). A brief look back. *Color Research & Application*, 16(1): 57-60.
- Hunter, R. S. y Yeatman, J. N. (1961). Direct-Reading Tomato Colorimeter. *Journal of the Optical Society of America*, 51(5), 552-554.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B. y Saravacos, G. D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of rehydrated products. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(1), 53-59.
- Lacie (2004). Libro blanco de la gestión del color 3. Espacios de color y conversión de colores. Consultado en octubre 30, 2017 de <https://mediatecnicaeo.files.wordpress.com/2012/02/la-cie-com31.pdf>.
- Lau, M. H., Tang, J. y Swanson, B. G. (2000). Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments. *Journal of Food Engineering*, 45(4), 231-236.
- Lozano, R. D. (1978). El color y su medición. Buenos Aires: American-lee S.R.L.

- Luzuriaga, D. A., Balaban, M. O. y Yeralan, S. (1997). Analysis of visual quality attributes of white shrimp by machine vision. *Journal of Food Science*, 62(1), 113-118.
- Mathias-Rettig, K., y Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Color. AgroSur. Universidad Austral de Chile*, 42(2), 39–48. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>.
- Mendoza, F., Dejmek, P. y Aguilera, J. M. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 285-295.
- Mínguez, H. (2013). Circulo cromático de Goethe, (1809-1810). Consultado en octubre 23, 2017, de <http://teoriadelcoloruacj.blogspot.com/2011/11/circulo-cromatico-de-goethe-1809-1810.html>.
- Mínguez, H. (2016). Circulo cromático de Michel Eugene Chevreul (1989). Consultado el octubre 23, 2017, de <http://teoriadelcoloruacj.blogspot.com/2011/11/circulo-cromatico-de-michel-eugene.html>.
- Monteagudo Valdivia, P. (2002). La imagen digital, una mirada interna. *Revista Cubana Informática Médica*. Consultado en noviembre 14, 2017 de http://www.rcim.sld.cu/revista_3/articulos_html/articulo_pedro.htm.
- Moreno, L. (2004). Propiedades de los colores. Consultado en octubre 27, 2017 de <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1503.php>
- Muriel, E. C. (2011). La esfera cromática. Consultado en octubre 23, 2017, de <http://missgati.blogspot.com/2011/09/la-esfera-cromatica.html>.
- Paleni, A. y Curri, S. B. (1976). La contaminazione biologica sulla superficie delle opere d'arte. *Proceeding of the International Symposium "The Conservation of Stone"*. Bologna, 281-293.
- Osuna, A. (2017). *Humanæ: Los pantones de la piel humana*. Eter magazine. Consultado en diciembre 4, 2017, de <http://etermagazine.com/arte/humanae-los-pantones-la-piel-humana/>.

- Parramón, J. M. (1988). Teoría y práctica del color. Badalona: Parramón.
- Perez-Magarino, S. y Gonzalez-Sanjose, M. L. (2003). Application of absorbance values used in wineries for estimating CIELAB parameters in red wines. *Food Chemistry*, 81, 301-306.
- Pérez, M. (2011). Todo sobre el formato RAW: ventajas e inconvenientes. Consultado en noviembre 14, 2017 de <http://www.blog-delfotografo.com/todo-sobre-el-formato-raw-ventajas-e-inconvenientes/>.
- Petracci, M., Betti, M., Bianchi, M. y Cavani, C. (2004). Color variation and characterization of broiler breast meat during processing in Italy. *Poultry Science*, 83(12), 2086-2092.
- Raggio, P. (2011). Aplicación de técnicas de restauración a 3 pinturas de caballete según su estado de conservación (Tesis doctoral). Universidad de Chile. Retrieved from http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/ar-raggio_p/pdfAmont/ar-raggio_p.pdf.
- Rodríguez, H. (2003). Iniciación a la imagen digital. Consultado en noviembre 14, 2017 de http://www.hugorodriguez.com/cursos/curso-idigital_01.htm.
- Rodríguez Navarro, C. y Sebastián Pardo, E. (1994). Pollution-derived heavy metal enrichment on decayed building stones. *Mineralogical Magazine*, 59A, 781-782.
- Rodríguez Navarro, C. y Sebastián Pardo, E. (1996). Role of particulate matter from vehicle exhaust on porous building stones (limestone) sulfation. *Science of the Total Environment*, 187, 79-91.
- Rodríguez Rodríguez, A. (2012). Influencias de los barnices incoloros en las propiedades superficiales de las maderas de construcción (tesis doctoral). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Román-Gonzalez, A. y Vargas-Cuentas, N. I. (2013). Análisis de imágenes hiperespectrales. *Revista Ingeniería & Desarrollo*, 35, 14-17.

- Sands, S. (2017). Munsell notations for golden and williamsburg paints. Consultado en octubre 31, 2017 de <http://www.justpaint.org/munsell-notations-for-golden-and-williamsburg-paints/>
- Sarabia Castelló, E. y García Santos, A. (2015). Variation of the surface chromatic properties of exposed concrete façades treated with anti-graffiti products. *Revista de La Construcción. Journal of Construction*, 15(1), 51–60. Retrieved from <http://rdlc.alerta.cl/index.php/rdlc/article/view/593/130>.
- Schmidhofer, T. (1994). Métodos analíticos. Tecnología e higiene de la carne, Parte E. Zaragoza: Acribia.
- Warris, P. D. y Brown, S. N. (1995). The relationship between reflectance (EEL value) and colour (L*) in pork loins. *Animal Science*, 61(1): 145-148.
- Warscheid, T. y Braams, J. (2000). Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46, 343-368.
- Wu, D. y Sun, D. W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control. A Review. *Trends in Food. Science & Technology*, 29(1), 5-20.
- Yam, K. L. y Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 137-142.



ISBN: 978-9942-784-79-7



9 789942 784797