

300627

24

24



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**COLABORACION AL ESTUDIO DE EVALUACION
DEL COLOR EN MEZCLAS BINARIAS**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA

P R E S E N T A :

VERONICA VEGA ROMERO

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. ARNULFO GERMAN ROMERO USCANGA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Señor, sin tu presencia nada hubiera sido posible.

A ti mamá:

Por tu gran cariño, gracias porque me escuchas y me alientas cuando conversamos, por darme tanto sin pedir nada, porque eres para mí una confidente leal, discreta y comprensiva. Gracias porque entiendes mis penas, las sientes conmigo, las sufres y me consuelas, porque disculpas mis fallas, no las repruebas, las disimulas y las perdonas, por callar con prudencia y no lastimarme nunca haciendo mofa de mis sentimientos. Y también gracias, muchas gracias por disfrutar mis disfrutes, gozar mis gozos y ser feliz con mi felicidad. Por tu risa alegre y tu carácter feliz que llenan de optimismo mi corazón y mi vida. Porque con tu ejemplo siempre me has enseñado a que nunca hay que rendirse, y que se debe luchar hasta alcanzar el ideal soñado. Porque sin reservas has compartido todo, no sólo lo material, sino también tus sabios consejos y experiencias. Siempre lucharé por no defraudarte. Gracias querida amiga, tú eres el tesoro más grande que poseo, gracias por el amor tan grande que me has brindado. Gracias, muchas gracias.

A ti papá porque siempre eres una columna fuerte que soporta la carga, aun cuando ésta sea muy pesada. Muchas Gracias.

A mis hermanos Alex y MaryTere, porque aún permanecemos unidos.

A la memoria de mis abuelitos. A ti abuelita Tere, porque tuve la enorme dicha de compartir contigo mis inolvidables años de niñez. A ti abuelito Enrique, muchas gracias, porque sin haberte conocido, indudablemente me dejaste tu mejor herencia: Mi Madre.

Con cariño a la memoria del tío Mike, porque compartimos el inicio de esta meta que antes sólo era un sueño y hoy es una realidad. Muchas gracias.

Al Colegio Guadalupe, lugar donde aprendí "algo" que va más allá de conocimientos académicos, y que de alguna u otra forma ha sido trascendental en mí.

A la memoria de Mother Mildred Knoeber, con cariño y eterno agradecimiento.

A miss O.F.B. Evangelina Barbosa Romero, con admiración y respeto.

A la Universidad La Salle y a la Escuela de Ciencias Químicas, con especial cariño para:

Dra. Araceli Sánchez de Corral
Dr. Johannes Bulbulián Garabedian
Q.F.B. Enrique Calderón García

por sus grandes e importantes enseñanzas, muchas gracias por su entrega profesionalismo.

A mi director de tesis, M. en C. Arnulfo Germán Romero Usconga, por su tiempo conocimientos, consejos, orientación, motivación y por lo que significó para mí haber sido su alumna... mil gracias.

A mis sinodales: O.F.B. Ma. de Jesús Ramírez Palomares
I.B.Q. Ma. Eugenia Martínez Salgado
O.F.B. Angelina Ochoa Islas
I.Q. Gerardo Mújica Zerecero

gracias por el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo.

A la Fábrica de Billeles del Banco de México por las facilidades que me otorgaron para la realización de esta tesis y a mis amigos del Laboratorio de Control de Calidad e Investigación: Glaria, Irma, Paty, Evelyn, Ma. Elena, Elsa, Alejandro, Martín, Pedro, Rubén, Evaristo y Don Fede.

Al Departamento de Administración Industrial, edificio D de la Facultad de Química de la U.N.A.M., que tuvieron a bien brindarme su valiosa colaboración para la terminación de este trabajo, en especial a aquellas que demostraron un especial interés y participación, mi sincero agradecimiento:

M. en C. Ma. del Rocío Cassaigne Hernández
I.Q. Nicolás Ruiz Fuentes
I.Q. Marcos Enriquez Rodríguez
L.E. Gumaro Viacoba Flores

A todos mis amigos ☺ por su apoyo, amistad y por compartir momentos tan especiales e importantes de nuestras vidas. Principalmente a:

Marcelo Vázquez, Marilaly Escárcega, Elsie Taledano, Fabiola Robles, Angélica de la Horta, Mireya González, Vero Zamudio, Rebeca Guevara, Zorya Rossette, Ariadna Sónson, Arontzatu Rizo, Tamara León, Josefina Flores, Laura Belancourt, por los inolvidables años de nuestra niñez y adolescencia que compartimos en el Colegio.

A Lili Torres y Lolo Zarzoza, porque siempre, siempre, formamos un gran equipo, por su paciencia, su alegría y sobre todo por su invaluable amistad. Gracias por todo.

A Sure, Chivita, Librado, Cathie, Molú, Chelito, Wanda, Angie, Pily, Rafael, Ramiro, Clous, Dulce, Trini, Selene, Soly, Sofía, por su agradable compañía durante los 4 años de la carrera.

Y con gran admiración a Mara Zepeda Amezcua, porque me enseñaste que siempre que se tiene valor, cualquier batalla es posible de vencer. Gracias por tu gran entereza.

Quien comprende todo y o TODO
es monarjal de VIDA.

Esta tesis se realizó en el Departamento de Control de Calidad e
Investigación de la Fábrica de Billetes, Banco de México.

ÍNDICE

	pág.
Introducción	ix
Objetivos	xi
Capítulo 1. El Color y la Luz	
1.1 El Color	13
1.1.1 Antecedentes	13
1.1.2 Física del Color	15
1.1.3 Química del Color	16
1.1.4 Fisiología del Color	17
1.1.5 Psicología del Color	19
1.2 La Luz	20
1.2.1 Antecedentes	20
1.2.2 Características	21
1.2.2.1 Reflexión	22
1.2.2.2 Absorción	22
1.2.2.3 Refracción	22
1.2.2.4 Difracción	23
Capítulo 2. Métodos para la Medición del Color	
2.1 Teorías para la Medición del Color	32
2.1.1 Sistema Munsell	32
2.1.2 Sistema de Tipo Oponente	34
2.1.3 Coordenadas Modificadas de MacAdam	35
2.1.4 Lenguaje Universal del Color	37
2.2 Equipos para la Medición del Color	39
2.2.1 Colorimetría	39
2.2.1.1 Fuentes e Iluminantes Estándar CIE	41
2.2.1.2 Observadores Estándar CIE	43
2.2.1.3 Diagrama de Cromacidad CIE	43
2.2.2 Colorímetros de Estímulo Triple	50
2.2.3 Espectrofotómetros	51

	pág.
Capítulo 3. Parte Experimental	
3.1 Metodología	54
3.2 Resultados	55
3.3 Análisis de Resultados	85
Capítulo 4. Conclusiones	95
Anexo	99
Referencias Bibliográficas	100

Introducción

La Fábrica de Billetes del Banco de México cuenta, dentro de la Superintendencia de Ingeniería Industrial, con el Departamento de Control de Calidad e Investigación, el cual tiene entre sus funciones realizar el control de calidad del color de las tintas que intervienen en la impresión de diversos documentos de alta seguridad, y que una de sus principales preocupaciones es conseguir que al agregar un color, éste dé el grado correcto de intensidad, que sea estable durante el almacenamiento, que no se "escurra" a otros colores cuando existe más de un color y que en el producto final, sea consistente. El color debe estar en una forma fácilmente medible para un control preciso de éste y que se disperse bien.

Para poder explicar por qué se efectúa un control de calidad del color de una tinta, primeramente tendremos que conocer qué es el Control de Calidad.

Control de Calidad es una recopilación de pruebas y resultados que se comparan con normas ya establecidas previamente, y que nos conducen a conocer si dichos resultados son satisfactorios para, de esta manera, poder evaluar el producto que se está estudiando.

Para entender lo que es el color y la relación que éste tiene con la luz y sus características, en el capítulo 1 de la presente tesis, se describen antecedentes y conceptos de éste.

Para determinar el comportamiento que presenta cada una de las combinaciones binarias que se estudiaron, se analizaron parámetros tales como: L (blancura), y, a, b (cromacidad), entre la muestra problema y su estándar, así como sus diferencias en forma de ΔL , Δa y Δb en un espectrofotómetro, los cuales se basan en el método de las Coordenadas Modificadas de MacAdam. Los datos especificados en este método se encuentran descritos en el capítulo 2.

La metodología desarrollada, así como los resultados obtenidos y el análisis de éstos, se explican en el capítulo 3.

También se hará mención de la importancia que tiene el efectuar cada una de las pruebas anteriores, así como el conocer las reservas de

cada mezcla binaria. Si no se efectuaran estas pruebas sobre cada una de las mezclas utilizadas en la impresión, se tendría una gran cantidad de problemas en el momento de aplicar dichas tintas, puesto que no se conocerían sus defectos y por lo tanto, no se podrían prevenir o corregirlos. Esta es la razón por la cual es recomendable tener información de este tipo para cada una de las combinaciones empleadas.

Hasta hace pocos años, mucha gente lograba aprender después de años de práctica, el arte de igualar los colores. Recientemente, el uso de sistemas computarizados y poderosos programas de cálculo, están convirtiendo este arte de igualar colores en una ciencia. Ciencia que se basa en los principios de la Física, la Colorimetría y el conocimiento Físico-químico del color.

Con el desarrollo de este tema, se pretende dar una visión de cuáles son los puntos principales que se deberán tomar en cuenta cuando se trabaja con equipo de este tipo y con estas mezclas binarias, utilizando los seis colores básicos: Amarillo, azul, naranja, rojo, verde y violeta, lo cual contribuye a disminuir el trabajo al tanteo que realiza un químico al tratar de igualar colores.

Todos los factores anteriores, constituyen motivos suficientes para considerarse como un tema de estudio y elaborar una tesis.

Objetivos

1. Aplicar aspectos generales de la Teoría del Color a la medición de variaciones cromáticas en tintas básicas.
2. Definir la variación cromática para los seis diferentes colores de tintas básicas, que frecuentemente se utilizan.
3. Realizar una recopilación gráfica del comportamiento que presentan las mezclas binarias estudiadas, y así poder efectuar el control de calidad del color.
4. Observar y estudiar la precisión de medida del espectrofotómetro Chromasensor ACS Modelo CS-5.

CAPÍTULO 1
EL COLOR Y LA LUZ

1.1 El Color

Para poder entender la pigmentación de los objetos se tiene que hacer un análisis de lo que es el color, principal característica que proporciona un pigmento. Los colores de casi todo lo que vemos son por acción de los pigmentos, éstos no son la fuente de los colores, sino sencillamente lo único que hacen es reflejar, absorber y hacer una transmisión selectiva de la luz, en otras palabras reflejan la longitud de onda del color que nosotros vemos. De tal manera, es necesario recurrir a ciertos conceptos físico-fisiológicos y químicos, para poder tener una mejor definición del color.

Una de las definiciones de color que más se ha utilizado es: "La impresión que causa en la retina del ojo la luz reflejada por los cuerpos". Analizando esta definición podríamos decir que color es lo que vemos y por lo tanto depende de la fuente de luz y de los objetos mismos, además de la naturaleza y del cerebro del observador. A continuación se realizará un breve análisis donde se podrá entender por qué el color está relacionado con las ciencias anteriormente mencionadas.

1.1.1 Antecedentes

Las diversas teorías del color se basan en el descubrimiento hecho por Isaac Newton en 1666, de que la luz solar es una luz blanca que contiene todos los colores del espectro. Sus famosos experimentos lo llevaron a decir que: "Un objeto toma su tono al absorber ciertos colores del espectro, reflejando otros".³⁶

Newton dedujo simplemente, que un prisma se limitaba a fragmentar la luz en sus componentes (los colores del espectro), y demostró su punto de vista haciendo pasar éstos nuevamente por otro prisma, formando así rayos de luz blanca.

Para 1704, Newton publica los primeros conceptos de cómo el ojo y el cerebro perciben los colores y aunque solamente fueron una serie de especulaciones expuestas en forma de "interrogantes", obligó a investigadores posteriores a confirmar sus suposiciones.

En 1801 Thomas Young dió las primeras respuestas a las interrogantes de Newton con la teoría de que los humanos tienen únicamente tres tipos de cromorreceptores, sensibles cada uno de ellos a determinado color; siendo los colores rojo, verde y violeta las bases de su Teoría Tricromática de la Visión.³⁸

Años más tarde, en 1851, correspondió al científico alemán Hermann Von Helmholtz, revivir y aclarar la Teoría Tricromática de Young. Explicó que los tres tipos de receptores reaccionaban a todos los colores en diverso grado y que la visión de éstos era la sensación total recibida en el cerebro.

Al mismo tiempo, Ewald Hering formula una teoría que, a diferencia de la expuesta por Young-Helmholtz, toma como punto de partida la percepción de cuatro colores: Rojo, verde, amarillo y azul, subrayando también la psicología de la percepción del color. Su hipótesis era que los receptores de la retina se limitan a absorber la luz y que el descubrimiento del color empieza en los mecanismos de interpretación del sistema óptico.

En 1964, mediante un proyecto precursor dirigido por E.F. Mac Nichol de la Universidad John Hopkins se dió un fuerte apoyo a las dos teorías con sus estudios al sistema cromovisual del ojo. E. F. Mac Nichol realizó con los conos de la retina su proyecto, enviando a través de éstos luz procedente de diferentes partes del espectro; la energía transmitida por ellos se analizó en una computadora, demostrándose que hay tres tipos de conos, cada uno particularmente sensible a una gama del espectro como lo habían dicho Young-Helmholtz, así también demostró que los conos pasan por un mecanismo dosificador semejante al relacionado por Hering con las fibras nerviosas.⁴⁰

Actualmente se siguen haciendo investigaciones de cómo llegan al cerebro las señales de color, principalmente las realizadas por Leo y Dorothea Jameson Hurvich, de la Universidad de Pennsylvania. Los Hurvich han contribuido a revivir el interés en la teoría de Hering al demostrar que muchas de sus ideas pueden sistematizarse y convertirse en un enfoque claro y preciso para la ciencia del color.³¹

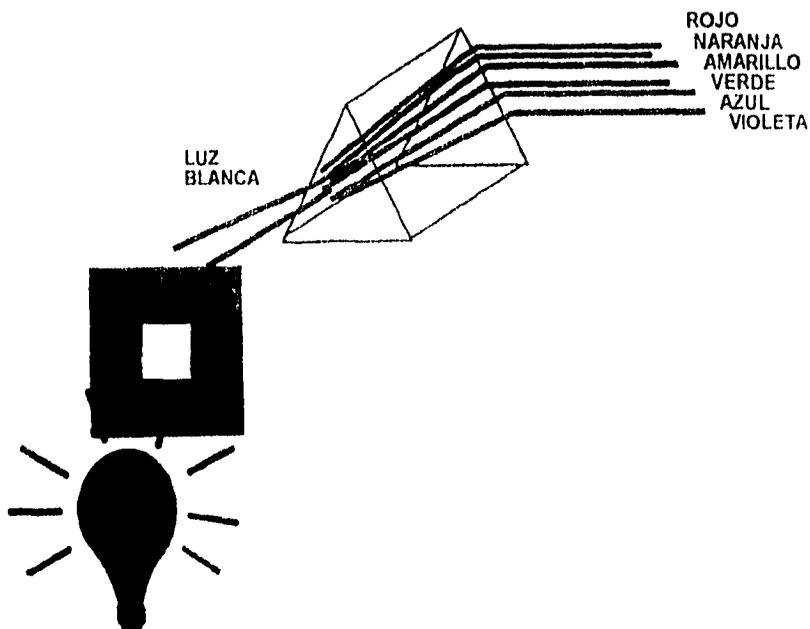


Figura 1-1.
Descomposición de un Rayo de Luz Blanca al pasar a través de un Prisma.⁴³

1.1.2 Física del Color

La luz y el color son inseparables, el color es luz y ésta es energía visible radiante, su espectro está situado en el intervalo de la banda espectral, entre el ultravioleta y el infrarrojo, está comprendido entre los 400 y 700 nanómetros.

Cada rayo de luz que llega en forma de luz blanca se descompone en una serie de colores con longitudes de onda diferentes. Cuando ese rayo de luz toca algún objeto parte de la radiación es reflejada, parte absorbida y parte transmitida. De lo anterior se entiende que los objetos no tienen color por sí mismos, sino que los visualizamos debido a que la luz reflejada por éstos, va hacia nuestros ojos.

La medida, forma y color de los objetos se determina por el mecanismo de la visión. El color reflejado por cualquier objeto depende tanto de la pigmentación de éste como de la naturaleza del pigmento. La luz puede ser únicamente reflejada en aquellas porciones del espectro que están presentes en la fuente luminosa.

1.1.3 Química del Color

El porcentaje de luz reflejada a diferente longitud de onda en el espectro visible, depende de la composición química de la superficie y no de la cantidad de luz incidente.

Los productos químicos orgánicos e inorgánicos que se usan como pigmentos tienen una propiedad en común:

"ABSORBEN LA LUZ EN FORMA SELECTIVA"

Cuando los electrones vibran a frecuencias superiores a las de la luz visible se absorbe únicamente luz ultravioleta, cambios ligeros en la estructura molecular ocasionan que las ondas luminosas de baja frecuencia sean absorbidas y se producen otros colores. Podemos ver algunos ejemplos en donde ligeros cambios en la estructura de la molécula producen diferentes colores:

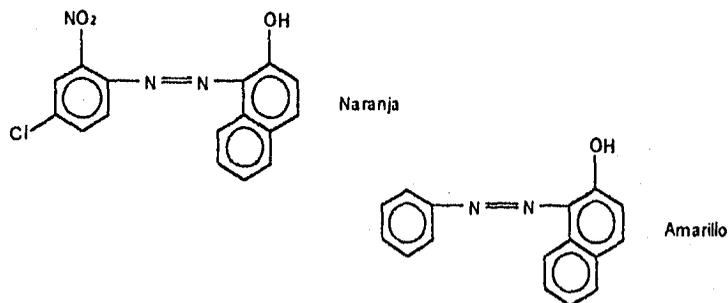


Figura 1-2.
Estructuras Químicas Semejantes que generan Distinto Color.

1.1.4 Fisiología del Color

El color es una sensación de tipo personal y es el resultado de la cantidad de estímulos producidos en el ojo por diferentes partes del espectro o por mezclas de éste.

El ojo sólo capta la luz reflejada cuya longitud de onda cae dentro del intervalo de espectro visible, convirtiendo cada longitud de onda en un color específico.

El mecanismo de visión o de captación de luz se trata a continuación:

Se produce una imagen óptica en la retina del ojo, es decir la luz reflejada por un objeto, se imprime en un panel de células fotosensitivas (fóvea) que forman parte de la retina. La córnea es un elemento primordial de enfoque en el ojo, pero la percepción de la imagen de un objeto se logra en el cristalino.

Después esa imagen óptica debe convertirse en un patrón de impulsos nerviosos, que se logra por medio de los conos y bastones o cilindros (células fotosensitivas) localizadas en la parte posterior de la retina.

Las señales de color en la forma de rápidas sucesiones de impulsos nerviosos para estímulos fuertes y menos rápido para débiles, son mandadas de los conos a los centros nerviosos del cerebro.

Ahora bien, la teoría más aceptada de cómo las células envían impulsos en forma preferente a lo largo de las fibras nerviosas es que cada célula contiene elementos fotosensitivos que establecen por lo menos tres trayectorias determinantes de color. Aquellas células altamente sensitivas al amarillo y al verde son conos, y aquellas altamente sensitivas al azul son bastones o cilindros.

Por último los impulsos nerviosos dejan al ojo por medio del nervio óptico. Los impulsos probablemente se forman dentro de un patrón en la corteza cerebral, el cual da la información del contenido de brillo y color de cada elemento de la imagen.³⁵

Sin embargo, las sensaciones de color producidas no son acordes a la respuesta óptica ni dependen directamente de ella, pero sí dependen de las diferencias en las respuestas de los receptores. Es probable que el blanco se perciba cuando todos los receptores estén respondiendo igualmente.

En el área de la fovea se encuentra un depósito denso de material colorante conocido como Pigmento Macular Amarillo que varía en espesor según el individuo y su objeto es filtrar algo de la luz que en otra forma alcanzaría las terminales de los conos. A ésta causa se deben las considerables diferencias en la visión de color de un individuo a otro.

Uno de los más importantes factores que determinará la intensidad real de un color en particular, es el grado de adaptación del ojo. Como todos los órganos sensitivos, los ojos no responden continuamente, pues se adaptan a estímulos constantes. La frecuencia de la recepción generalmente disminuye al aumentar la duración del estímulo. Si la intensidad de luz aumenta repentinamente el ojo se adapta al nuevo nivel en cuestión de segundos, pero si el estímulo disminuye, le tomará al ojo más tiempo adaptarse.

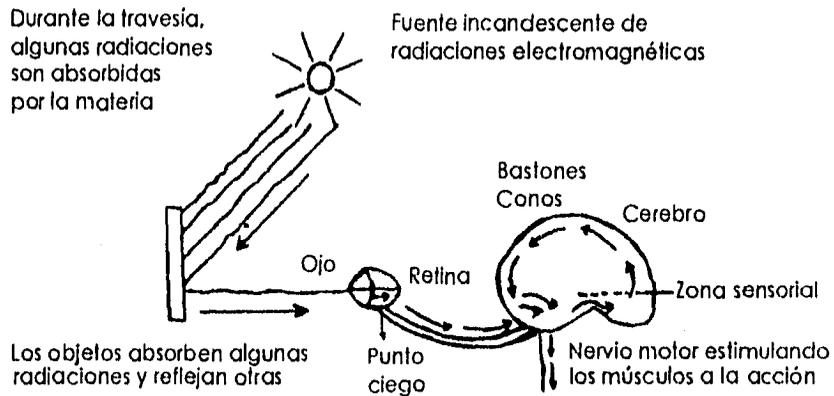


Figura 1-3.
Recepción del Color por medio del Ojo.

1.1.5 Psicología del Color

Los colores de la naturaleza tienen una gran influencia sobre el hombre, ya que se relacionan íntimamente con su constitución física y psicológica.

La preferencia por un color o el rechazo de otro significan algo muy determinado y reflejan un estado mental o de equilibrio glandular o bien las dos cosas. Por lo tanto el color se convierte en un factor fisiológico que influye en el ánimo y dicta diversas reacciones psíquicas de diferente índole, por el hecho de ser percibido por la vista y tener su repercusión en el cerebro. Es necesario estudiar la influencia constante de los colores de la naturaleza sobre el hombre para entender cómo se produce dicha asociación.

El uso cada vez mayor de los colores y la competencia siempre en aumento que existe entre los productores que buscan incrementar su mercado han llevado a un gran desarrollo de la psicología de los colores. Independientemente de las preferencias particulares, los colores causan efectos que podríamos decir universales en el ser humano:

- *El color amarillo es el color más luminoso. Sugiere dinamismo, fuerza, poder y dominio, y expresa la necesidad psíquica de abrirse.
- *El color azul es un color frío. Sugiere reposo, recogimiento, lejanía. Simboliza para muchos intérpretes, la inteligencia y la ciencia. Espiritualidad sensible.
- *El color naranja excita la imaginación. Sugiere juventud, dinamismo y estímulo.
- *El color rojo es altamente atrayente. Sugiere calor, energía vital, excitación y peligro.
- *El color verde representa el equilibrio. Sugiere calma, estatismo, pasividad, es un color sedante.
- *El color violeta es un color oscuro. Sugiere experiencia y sabiduría, dolor y tristeza, simboliza la melancolía.³⁸

1.2 La Luz

La luz y el color tienen una estrecha relación por lo que no podríamos seguir hablando de color sin antes hablar de luz.

1.2.1 Antecedentes

Los griegos meditaron acerca de ella y llegaron a diferentes conclusiones. Pitágoras concluyó que todo objeto visible emite una corriente constante de partículas. Aristóteles dedujo que la luz viaja parecido a las ondas de agua. Aunque estos conceptos se fueron modificando gradualmente, al empezarse a estudiar el fenómeno de la luz con equipo más complejo, unos 20 siglos más tarde, seguía vigente el debate iniciado por los griegos.

Herón de Alejandría hizo el segundo descubrimiento de importancia en relación a la luz y observó que todo rayo de luz dirigido en ángulo hacia un espejo se refleja siguiendo el mismo ángulo con lo cual dedujo: "El ángulo de incidencia y el de reflexión son siempre iguales".⁴³

En 1621, Willebrord Snell, matemático holandés, halló que cuando un rayo de luz sale de un medio transparente y penetra en un medio distinto suele dividirse en la superficie. Una parte se refleja y la otra entra en el nuevo medio. Snell midió esta desviación en diversas sustancias y encontró que en cada una variaba el grado de desviación de la luz, llamándole a este fenómeno refracción.

En 1678, otro holandés Christian Huygens, siguiendo los estudios de Snell, elaboró su teoría de que el índice de refracción de un material está determinado por la velocidad con que lo traspasa la luz. Huygens consideró la luz como un fenómeno ondulatorio y por lo tanto dijo: "En cuanto mayor fuera el índice de refracción, más lento sería el paso de la luz por dicho medio".⁴³

El mismo Huygens dijo acerca de la refracción: "El grado de desviación de la luz dependerá no sólo de la sustancia que atraviese, sino también del color de la misma".

Años después, Thomas Young partidario de la Teoría Ondulatoria, dedujo que si la luz se movía como las ondas en el agua, tenía que producirse cierta acción recíproca al juntarse dos ondas.

A principios del siglo XIX Francisco Grimaldi hizo pasar un rayo de luz por una estrecha ranura y observó que la luz se dispersaba del otro lado formando una sombra indefinida. A este fenómeno se le llamó difracción.⁴⁰

Para mediados del mismo siglo se habían establecido las leyes físicas que rigen el comportamiento de la luz, estableciendo su carácter ondulatorio, pero no se había hallado la respuesta fundamental a ¿Qué es la luz?.

Tocó al gran físico teórico inglés James Clerk Maxwell identificar la luz como parte de un vasto y continuo espectro de radiaciones electromagnéticas. "Si percibimos la luz, ello se debe naturalmente a que el ojo es sensible a ella".

En 1905 Albert Einstein, aplicando la Teoría de los Cuantos de Max Planck, lanzó el postulado de que la Teoría Ondulatoria quizá estuviera incompleta y que, después de todo tal vez tuviera algunas de las características de onda y partícula.

Para 1923, el físico norteamericano Arthur H. Crompton había demostrado que los fotones tienen impulso y en consecuencia masa, lo que redundó en firme apoyo de la teoría de Einstein.

1.2.2 Características

La luz es un pequeño fragmento visible del espectro electromagnético y que está formada por ondas y partículas, siendo estas dos cualidades aspectos complementarios de una misma fuente. Siendo ésta la única fuente de color.

Sus principales características: Reflexión, absorción, refracción y difracción están íntimamente relacionadas con lo que vemos como color y por lo tanto es necesario considerarlas.

1.2.2.1 Reflexión

Como ya se mencionó, Herón de Alejandría dedujo que el ángulo de incidencia y de reflexión son siempre iguales.

No olvidemos, sin embargo, que la luz también es de naturaleza ondulatoria y que consiste en ondas transversales, es decir, normales a la dirección de propagación.

Las cosas nos resultan visibles porque la luz se refleja sobre ellas. Basta con que un objeto refleje en su totalidad la luz que lo alcanza para que nos parezca tan brillante como la propia, siendo éste el caso de un espejo; pero si el objeto lo absorbe en su totalidad, lo veríamos negro.

1.2.2.2 Absorción

Cualquier objeto refleja una fracción más o menos grande de la luz incidente y absorbe el resto, pero no puede conservarla, dado que la luz es energía y si el objeto la continuara almacenando se energizaría indefinidamente (degradación, descomposición, oxidación, envejecimiento). Cuando se establece cierto equilibrio con la energía del ambiente, el objeto devuelve la energía luminosa que tiene en demasía y no necesariamente en la forma en que la recibió, a menudo sucede que sus moléculas cambian la longitud de onda, variando con esto de color.

1.2.2.3 Refracción

Cuando la luz incide en un medio transparente y penetra en un medio distinto, suele dividirse en la superficie. Una parte se refleja, la otra parte entra en el nuevo medio. En cada sustancia translúcida varía el grado de desviación de la luz incidente debido a la composición y color de éstas.

1.2.2.4 Difracción

Cuando las ondas de un punto de luz distante llegan a un objeto opaco, se desvían rodeando las orillas, curvándose tanto hacia la sombra como hacia la ruta de otras ondas de la misma fuente luminosa.

Las ondas que dan vuelta al objeto crean una franja brillante donde normalmente debería empezar la sombra, pero las ondas que avanzan en dirección opuesta se superponen a las que van a su encuentro.

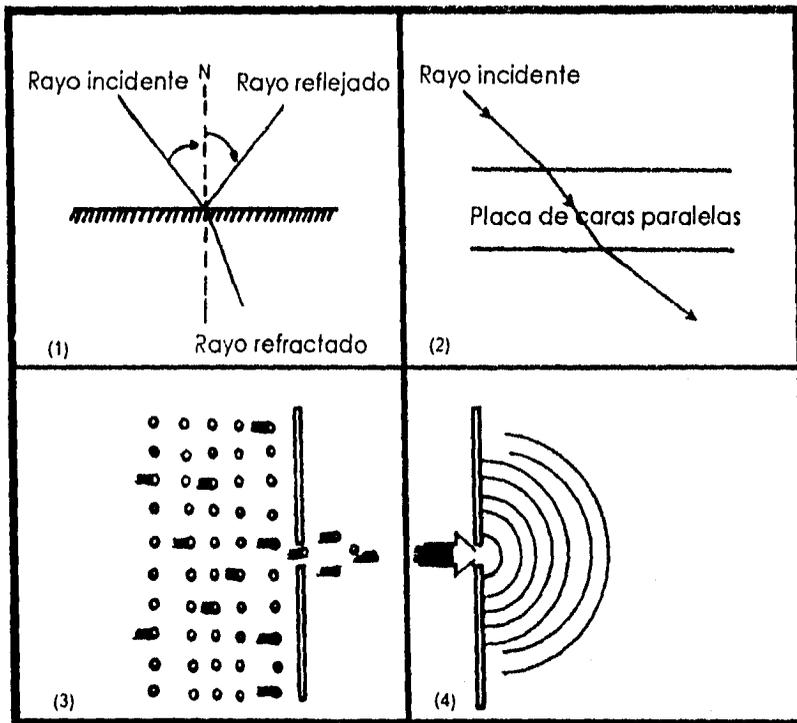


Figura 1-4.

Las Propiedades de la Luz.⁴³

- (1) Rayo Incidente, Reflejado y Refractado.
- (2) Propagación de un Rayo a través de una Placa de Caras Paralelas.
- (3) Comportamiento de un Chorro de Partículas que Incide sobre una Pantalla que tiene una Pequeña Abertura.
- (4) Comportamiento de una Onda que Incide sobre una Pantalla que tiene una Pequeña Abertura.

Ahora bien, la luz visible no es más que una fracción ínfima del campo de las radiaciones electromagnéticas y éstas son vibraciones transversales de aspecto sinusoidal de un doble campo eléctrico y magnético (Teoría de Maxwell). Su longitud de onda (λ) y su frecuencia (η) están ligadas por la fórmula conocida como: $c = \eta\lambda$ donde c es la velocidad de la luz y que la velocidad e intensidad de ésta dependen estrechamente del medio donde se propagan. Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias o de longitudes de onda y pueden clasificarse según su principal fuente. La clasificación no tiene límites precisos, ya que fuentes diferentes pueden producir ondas en intervalos de frecuencia superpuestos parcialmente. La clasificación habitual del espectro electromagnético es la siguiente:

1. Ondas de Radiofrecuencia
2. Microondas
3. Espectro Infrarrojo
4. Luz o Espectro Visible
5. Rayos Ultravioleta
6. Rayos χ
7. Rayos γ
8. Rayos Cósmicos

La visión es el resultado de señales transmitidas al cerebro por dos elementos presentes en la retina, la cual está en el fondo del ojo, estos elementos son los conos y los bastones. Los conos son los elementos activos en presencia de luz intensa, como la que hay durante las horas del sol, y son sensibles al color. Los bastones por otra parte, son elementos capaces de actuar con una iluminación muy tenue, como la que hay en una habitación en penumbra y son insensibles al color. La visión debida a los conos se llama fotópica y la debida a los bastones se denomina escotópica.

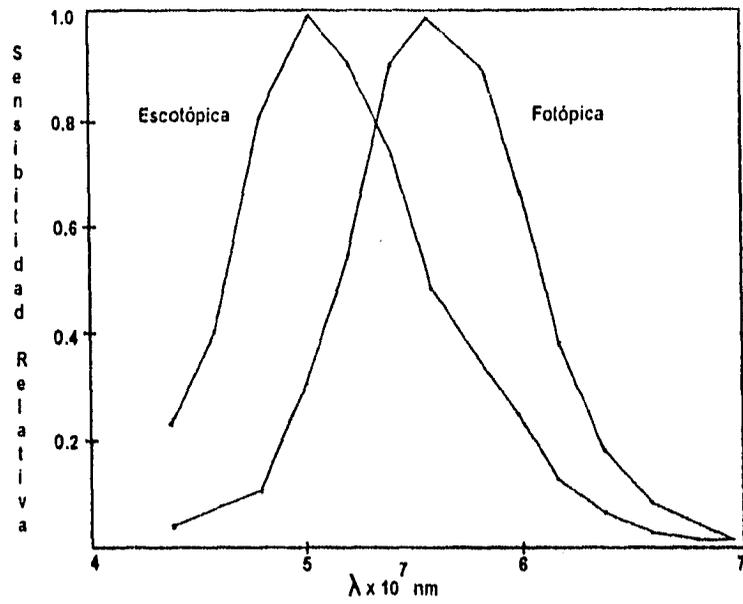


Figura 1-5. Sensibilidad del Ojo para la Visión Escotópica y para la Fotópica.⁴³

CAPÍTULO 2
MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DEL COLOR

El color está asociado con la longitud de onda, por lo tanto podrá medirse fácilmente mediante un espectrofotómetro que pueda obtener lecturas de reflectancia en una banda de longitudes de onda entre 400 y 700 nanómetros. Se pueden observar las curvas para cada determinado color en las figuras 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8.

Color	Longitud de Onda (nanómetros)
Violeta	380 - 450
Azul	450 - 495
Verde	495 - 570
Amarillo	570 - 590
Naranja	590 - 620
Rojo	620 - 750

1 nanómetro (nm.) = 10^{-6} mm. = 10^{-5} cm.

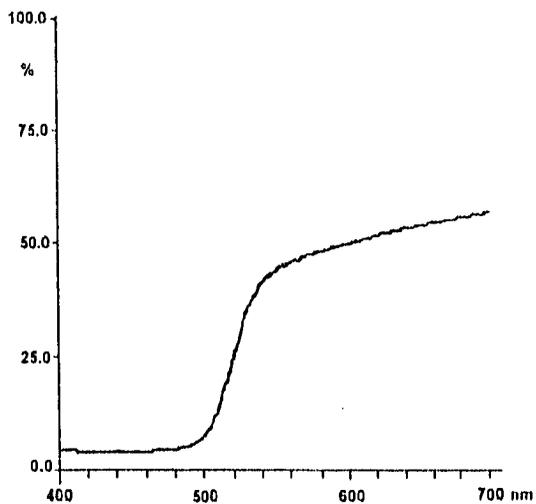


Figura 2-1.
% Reflectancia vs. Longitud de Onda del Color Amarillo.

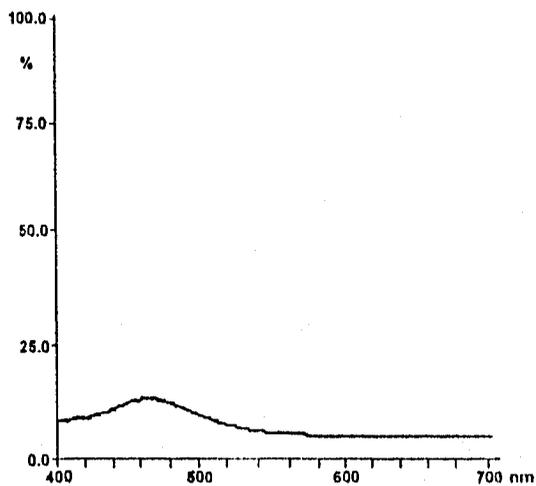


Figura 2-2.
% Reflectancia vs. Longitud de Onda del Color Azul.

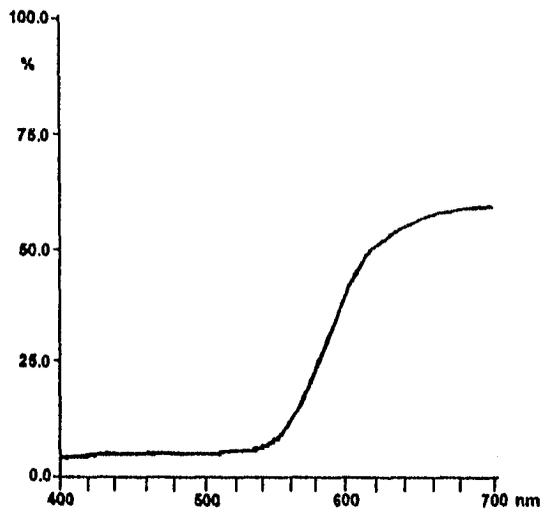


Figura 2-3.
% Reflectancia vs. Longitud de Onda del Color Naranja.

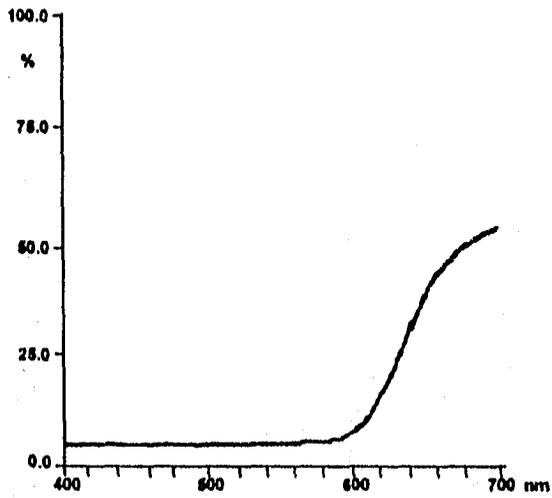


Figura 2-4.
% Reflectancia vs. Longitud de Onda del Color Rojo.

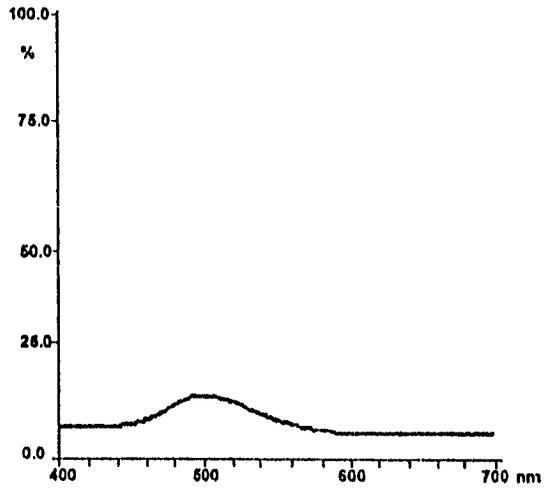


Figura 2-5.
% Reflectancia vs. Longitud de Onda del Color Verde.

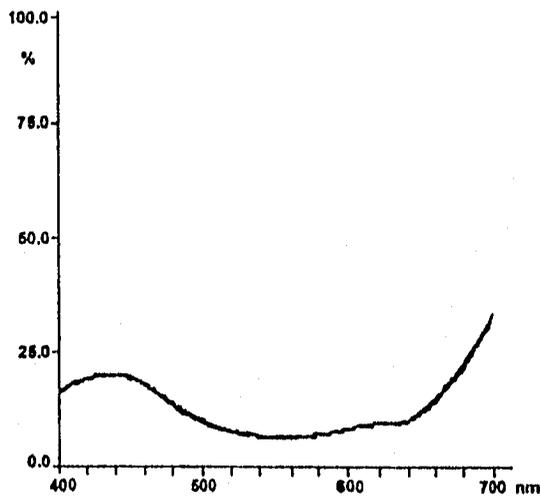


Figura 2-6.
% Reflectancia vs. Longitud de Onda del Color Violeta.

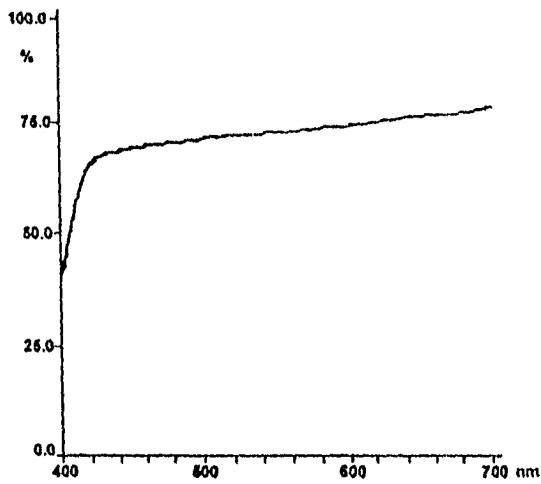


Figura 2-7.
% Reflectancia vs. Longitud de Onda del Blanco.

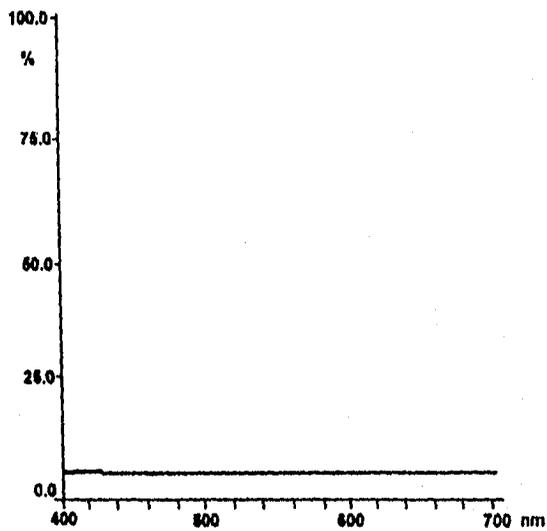


Figura 2-8.
% Reflectancia vs. Longitud de Onda del Negro.

2.1 Teorías para la Medición del Color

Antes de poder detallar la medición del color con instrumentos, se deben considerar los sistemas más importantes para describir el color en términos cuantitativos, los cuales se obtienen de la comparación visual con los estándares. Además de proporcionar descripciones útiles y universales del color, estos sistemas proporcionan una serie de resultados con los cuales se pueden comparar las mediciones de color.

Se utilizan algunos sistemas colorimétricos, los más importantes se describen a continuación:

2.1.1 Sistema Munsell

Se basa en la representación del espacio del color en coordenadas cilíndricas. Es usado internacionalmente desde principios de siglo, describe al color en términos de tono, claridad y saturación en unidades llamadas Tono, Valor y Croma Munsell, respectivamente. Se distribuyen como se muestra en la figura 2-9.

El tono Munsell está señalado, como se observa, por letras que representan los cinco tonos principales: Rojo (R), Amarillo (Y), Verde (G), Azul (B) y Púrpura (P), y cinco tonos intermedios que junto con los números del 1 al 10 resultan en un círculo de tonos equitativamente espaciados visualmente de 100 etapas. El valor Munsell (claridad-obscuridad en el eje blanco-negro y limpieza de tono en las regiones de color) va de 0 para el negro hasta 10 para el blanco en etapas visuales iguales. El cromatismo Munsell (saturación, fuerza colorante o concentración de color) comienza en 0 para el gris y se aleja según sea necesario en etapas, de manera que 2 etapas de cromatismo = 1 etapa de valor.²⁷

Consta aproximadamente de 1500 fichas de colores. Se agrupan en el "Munsell Book of Color", y a cada una se le asigna un número según su matiz, saturación e intensidad luminosa. Los cambios de color entre ficha y ficha son totalmente discontinuos, lo que origina que no sea posible realizar mediciones instrumentales de color.

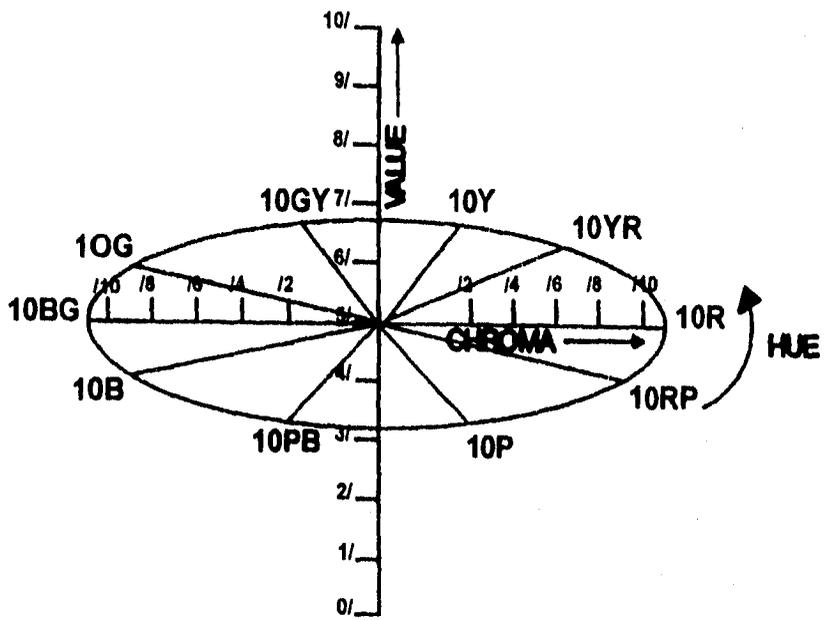


Figura 2-9.

Sistema Munsell.

2.1.2 Sistema de Tipo Oponente

Una manera diferente de describir los colores se basa en las teorías de la Visión en Color que exponen que las señales enviadas desde el ojo al cerebro llevan información sobre el rojo o verde, lo amarillo o azul y la claridad. Este sistema utiliza esas tres cantidades para describir el color, como se muestra en la figura 2-10. Por lo general a la claridad se le designa "L"; el coordinado rojo-verde "a" (que es positivo para los rojos y negativo para los verdes), y el coordinado amarillo-azul "b" (positivo para los amarillos y negativo para los azules).

Esta descripción con L, a y b ha sido utilizada por Hunter, en sus instrumentos para medir el color proporcionando magnitudes directas de L, a y b. La Sociedad de Óptica de los Estados Unidos (OSA, por sus siglas en inglés) ha diseñado este tipo de sistema, y se cree que sus coordenadas representan mejor que ninguno el Dimensionamiento Visual del Color, aunque por muchos años el sistema Munsell se ha tomado como el estándar en este respecto.

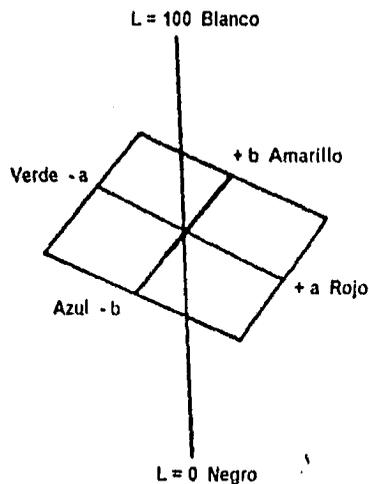


Figura 2-10.

Sistema de Tipo Oponente.

2.1.3 Coordenadas Modificadas de MacAdam

Es un método actualmente muy utilizado por los aparatos de medición de color como son los espectrofotómetros.

En este método se utilizan tres variables las cuales se representan en tres dimensiones:

L representa la blancura
a y b representan la cromacidad

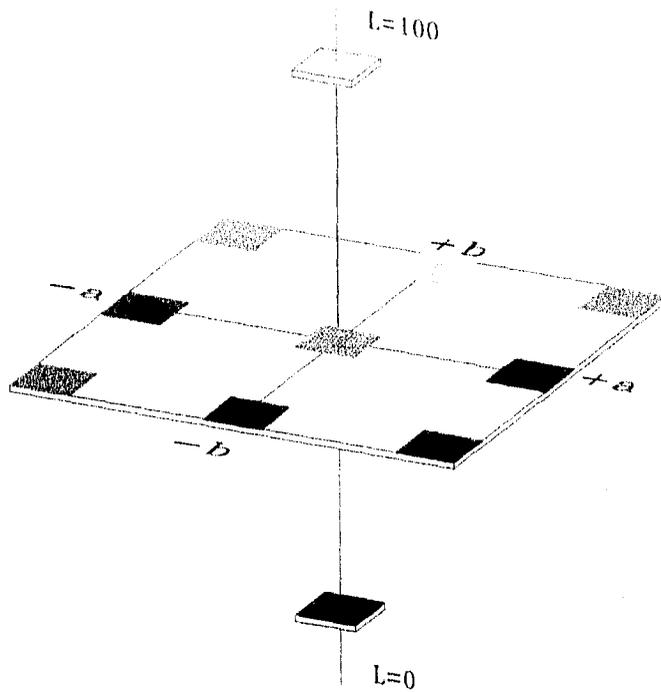
L = 100 blanco
L = 0 negro
a > 0 rojo
a < 0 verde
b > 0 amarillo
b < 0 azul

Con este método se pueden obtener medidas de color entre muestra y su estándar, así como sus diferencias en forma de ΔL , Δa y Δb , en un espectrofotómetro se obtiene la diferencia total de color como ΔE .

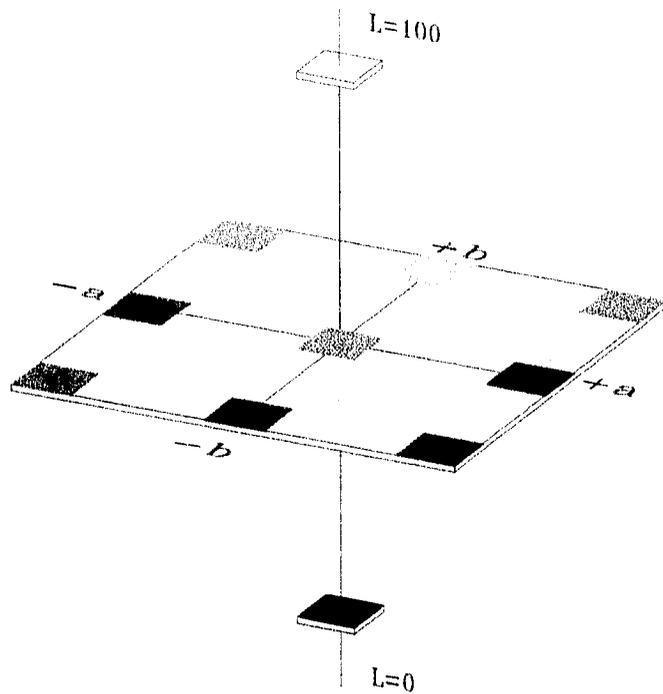
Su expresión matemática es:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

L se mide en 100 unidades NBS (National Bureau of Standards), significa que una unidad de diferencia de color en cualquier sitio del espacio de color, es idéntica para el ojo humano promedio a una unidad de cualquier otro sitio del espacio de color sin importar, si es a lo largo del eje L-L, a-a, ó b-b.²⁰



Gráfica 2-1. Coordenadas Modificadas de MacAdam.



Gráfica 2-1. Coordenadas Modificadas de MacAdam.

2.1.4 Lenguaje Universal del Color

El sistema Munsell también es parte de un lenguaje universal del color diseñado para proporcionar descripciones estándar y fáciles de entender en varios niveles, donde la selección depende del grado de complejidad necesario, esto es, de la manera en que diferentes colores se deban describir.

El nivel más sencillo del Lenguaje Universal del Color (Nivel 1) usa sólo las siguientes palabras para describir los colores: Rosa, rojo, naranja, café, amarillo, verde olivo, amarillo-verde, verde, azul, púrpura, blanco, gris y negro. El nivel 2 agrega tono a los nombres para un total de 29. Un ejemplo sería una muestra de papel denominado naranja para el nivel 1, y para el nivel 2 sería naranja rojizo.

El nivel 3 del Lenguaje consiste del sistema ISCC-NBS (Consejo Intersociedades del Color/Oficina Nacional de Estándares) en el cual se usan 267 nombres para colores. La gráfica tridimensional de color del sistema Munsell está dividida en secciones (una de ellas se muestra en la figura 2-11) de acuerdo a su tono y después a su claridad y saturación. En el nombre del color se usan adjetivos que describen el tono como se muestra en dicha figura. En este nivel, el ejemplo anterior sería mejor descrito como naranja rojizo oscuro. El sistema ISCC-NBS se ilustra con los colores centroides que muestran los colores reales de los centros de cada una de las 267 regiones.

El nivel 4 del Lenguaje consiste de las designaciones de aproximadamente 1,500 muestras del Libro del Color de Munsell. Aquí, nuestra muestra se describiría como 8R-4/10 y su color sería el más cercano al correspondiente en el Libro Munsell.

Para usar el nivel 5 del Lenguaje, se requiere un juicio visual de la manera en que exactamente el color de nuestra muestra se diferencia de los más cercanos de las muestras en el Libro del Color de Munsell, y la asignación de una designación Munsell interpolada como 8.1R 4.1/9.3. Quizá 100,000 colores diferentes se podrían distinguir por tal designación.

El nivel 6 del Lenguaje requiere de la medición exacta con instrumentos de la muestra de nuestro papel y su designación se expresa

en términos numéricos (tales como $x=0.527$, $y=0.343$, $Y=12.5$) con métodos que se describen posteriormente. Se pueden especificar muchos millones de colores diferentes con este método.²⁷

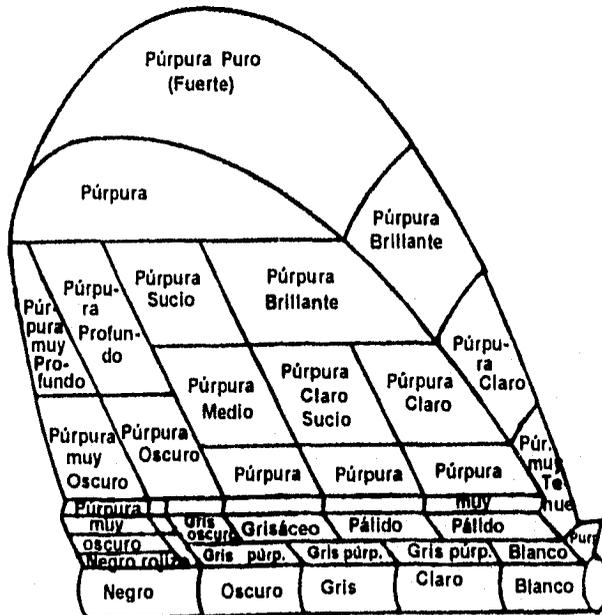


Figura 2-11. Lenguaje Universal del Color.¹⁸

Existen muchas maneras de describir el color y muchos conjuntos de muestras basadas en ella, pero son menos relevantes para el tema que estamos tratando en este trabajo.

Varias compañías que producen artículos de color tales como pinturas o tintas para imprenta han diseñado sus propios sistemas en forma de muestrarios hechos por combinación en las proporciones de un pequeño número de colorantes. Estos sistemas no ilustran los principios básicos de la ciencia del color, su finalidad no es técnica, sino publicitaria o mercantil.

2.2 Equipos para la Medición del Color

2.2.1 Colorimetría

A la medición del color con instrumentos se le conoce como Colorimetría. Con esto, se entiende la medición de los aspectos físicos relacionados con el color antes descritos, ya que no hay forma alguna de medir la interpretación de la información del color en el cerebro.

Antes de considerar los instrumentos, se describirán los métodos y la información estándar sobre la cual se basan las mediciones. Estos fueron recomendados por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) en 1931, y hasta la fecha son vigentes con pequeñas modificaciones.

El sistema de la CIE elabora sobre la base de que un color se describe con tres números, llamados valores de estímulo triple y se les designa X, Y y Z. Si dos colores tienen los mismos valores de estímulo triple, se combinan; si ocurre de otra forma, no se combinan. El sistema CIE, es funcional pero no menciona nada acerca de la forma en que los colores se ven o cuán grande es la diferencia si no combinan. Estos problemas, bastante severos, no tienen aún respuesta.

El sistema CIE da mayor énfasis a los objetos involucrados y se usa para determinar si las dos muestras corresponden cuando se les observa bajo un iluminante específico y con un **observador** específico. Para la mayoría de los problemas de medición, es conveniente suponer que la iluminación de las muestras se lleva a cabo con uno de los

Iluminantes Estándar de la CIE, y que las muestras así iluminadas las ve un Observador Estándar CIE, ambos términos se explican a continuación.

De acuerdo con la importancia de la muestra en el sistema CIE, la medición que proporciona la información más útil es la secuencia de números que representa la curva de reflectancia espectral de la muestra (o su curva de transmisión espectral, aunque sólo se toma en cuenta el caso de reflejo por considerarlo más sencillo). Ya que el Iluminante Estándar y el Observador Estándar son los mismos, también se les puede usar en forma de tablas o series numéricas. Todos los instrumentos modernos de medición de color tienen computadoras integradas que combinan todos los números de manera apropiada para obtener los valores de estímulo triple. La forma en que esto se realiza se describe y se detalla en la figura 2-12.

La curva de reflectancia espectral se muestra en la parte superior izquierda, y la curva de distribución de energía espectral del Iluminante Estándar en la parte superior derecha. En cada longitud de onda los números de estas curvas se multiplican juntos; al conjuntarse, dan por resultado la curva "E x R". Las siguientes curvas, marcadas \bar{x} , \bar{y} y \bar{z} representan al Observador Estándar. La curva E x R se multiplica, a su vez, por cada una de éstas para obtener las tres curvas al final. Las áreas debajo de estas curvas se miden, son los valores X, Y y Z del estímulo triple. Un dato adicional, que no se ilustra es: Los valores de estímulo triple tienen que ajustarse a una escala estándar. Esto siempre se realiza al hacer que el valor "Y" del estímulo triple sea igual a 100 para un blanco perfecto o cuya reflectancia sea 100% en todas las longitudes de onda. (Para muestras transmisoras se asigna Y=100, cuando no hay una muestra disponible la transmisión es 100% en todas las longitudes de onda). Se selecciona el valor "Y" porque se escogieron los datos del Observador Estándar para hacer que "Y" se correlacione con la claridad de la muestra. A "Y" algunas veces se le llama Reflectancia Luminosa.¹³

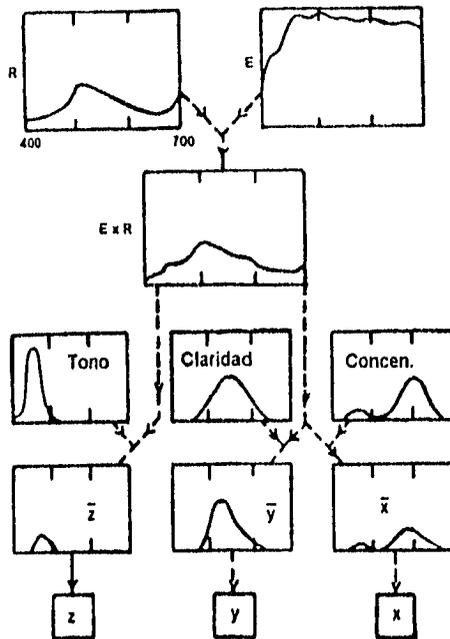


Figura 2-12.
 La Manera en que la Información de un Iluminante Estándar CIE, el Objeto y un Observador Estándar CIE se conjuntan para obtener los Valores de Estimulo Triple de la CIE.¹⁸

2.2.1.1 Fuentes e Iluminantes Estándar CIE

En 1931, la CIE recomendó el uso de las Fuentes Estándar A (considerada en la figura 2-13), B y C. La Fuente A es una lámpara incandescente operada bajo condiciones estándar; para obtener B y C, se colocaron distintos filtros azulosos frente a A para obtener una luz semejantes a la luz solar de medio día y a la luz de día del hemisferio norte (luz de horizonte). Todas son fuentes reales, pero B y C no son muy convenientes y por lo tanto casi nunca se usan.

B y C tienen una gran desventaja, no contienen igual cantidad de luz ultravioleta que la luz de día natural. Esto se ha hecho importante en años recientes porque se ha incrementado el uso de abrigantadores fluorescentes que absorben la luz ultravioleta y emiten la luz fluorescente visible y dan una apariencia que depende de la cantidad de energía ultravioleta de la fuente. La mayoría de las muestras que incorporan abrigantadores fluorescentes se diseñan para observarse en la luz de día.

En 1964, la CIE recomendó el uso de una serie de Iluminaciones Estándar basadas en la luz de día natural, de los cuales el más importante es D_{65} , que también se consideró en la figura 2-13. Ninguna de las fuentes reales que correspondan exactamente a D_{65} u otros iluminantes "D" está disponible en forma conveniente y que por los métodos de cálculo que en la actualidad se perfeccionan, se harán innecesarios. La CIE ha declarado que en futuro se espera que los iluminantes A y D_{65} serán los únicos que se utilicen.

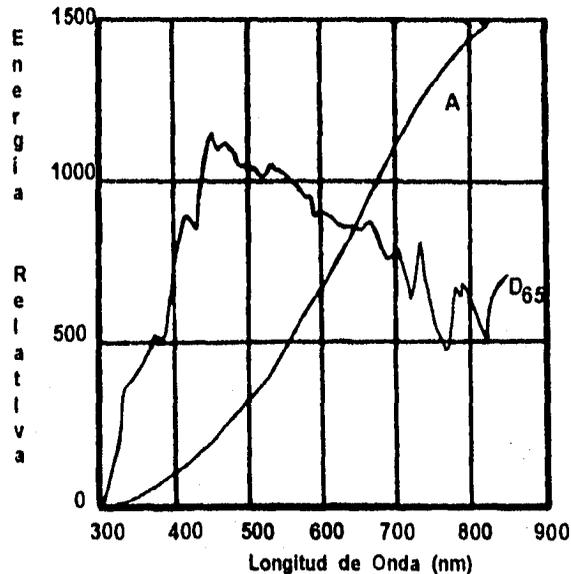


Figura 2-13.
Curvas de Distribución de Energía Espectral de una Fuente Incandescente (A) y la Luz del Día Natural (D_{65}).

2.2.1.2 Observadores Estándar CIE

En 1931, la CIE recomendó los datos \bar{x} , \bar{y} y \bar{z} que representan las propiedades de correspondencia de color de la población promedio de observadores normales. Los datos de 1931 se referían a las correspondencias vistas, como en todo, con la parte central de la retina, que es donde la luz cae cuando fijamos la mirada en un punto pequeño. Las propiedades de la retina cambian si se ubica un poco fuera de este punto, y en 1964, la CIE recomendó el uso de un Observador Estándar Complementario para los casos en que la correspondencia se juzga con muestras grandes. A la fecha, los datos del Observador Complementario no se usan con frecuencia, y la frase "Observador Estándar" significa conforme a los datos de 1931. El uso del observador de 1964 quizá se incremente en el futuro. Para el Observador Estándar de 1931, "Y" se seleccionaba como de valor igual al de la respuesta del ojo a la energía entrante en función de la longitud de onda. Esto tiene el efecto de hacer que "Y" sea una medida de la claridad de la muestra.⁶

2.2.1.3 Diagrama de Cromacidad CIE

Los valores de estímulo triple de la CIE pueden usarse directamente para ver si los colores corresponden, para probar un color en contraste con una especificación, o para derivar mayor información como las diferencias de color; pero quizá son más utilizados en los "mapas" de espacio de color llamados diagramas de cromacidad. Lo que se pretende es separar la información del tono y saturación de las muestras -o su cromacidad- y establecer un conjunto que muestre estas cualidades. Esto se hace a través de calcular las coordenadas de cromacidad, donde:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

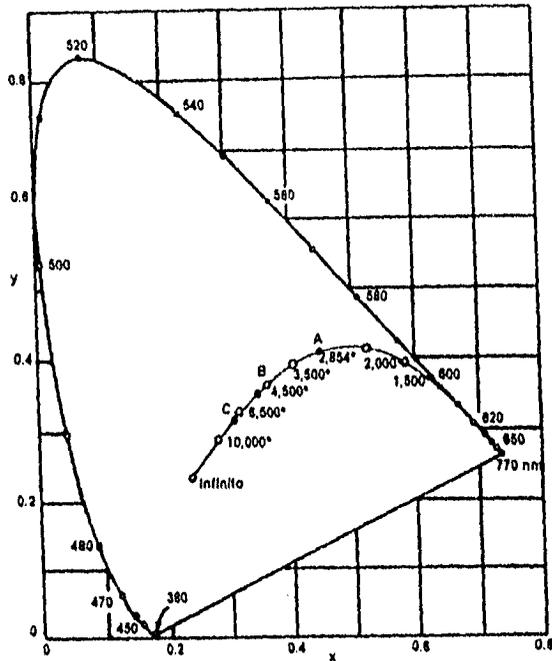


Figura 2-14.
Diagrama de Cromacidad X, Y de la CIE.¹⁸

Una tercera coordenada de cromacidad (z) puede obtenerse a partir de éstas: $z = 1 - x - y$. El diagrama de cromacidad de 1931 de la CIE, mostrado en la figura 2-14, es un mapa hecho por comparación de X y Y .

El diagrama de cromacidad tiene la propiedad de que todos los colores se arreglan en una línea en forma de herradura, sobre la cual los colores del espectro se distribuyen de acuerdo a sus longitudes de onda. Los extremos de esta línea son spectrum locus, que se unen por una línea en el fondo donde coinciden los colores púrpura. La línea curva que va al centro del diagrama es el locus antirradiante, sobre el que se distribuyen las cromacidades de los antirradiantes. Se muestra la

ubicación de las Fuentes Estándar A, B y C, y la D₆₅ se localiza justo en el punto rotulado 6,500 °.

El propósito principal del diagrama de cromacidad es, una vez más, señalar el punto en que los colores corresponden: Corresponden dos colores que tienen los mismos valores X, Y y Z. El sistema no indica la apariencia de los colores, sin embargo, es cierto que los colores iluminados por una fuente estándar tienen una cromacidad que corresponde a la apariencia de su color si son vistos por un observador estándar; otros usan el diagrama de cromacidad CIE para mostrar en dónde se encuentran los diferentes colores. La figura 2-15 muestra dónde se encuentran algunos de los colores más comunes cuando C es la fuente. Pero se debe tener en cuenta que el uso del diagrama es muy limitado.

Un ejemplo específico del uso de las coordenadas de cromacidad CIE, y un diagrama de particular interés para la industria del papel, se ilustra en la figura 2-16. Este diagrama muestra las fronteras dentro de las cuales los colores de las luces de señalización de los automóviles deben estar. Por ejemplo, el color emitido por una luz roja trasera debe tener una cromacidad dentro del área marcada "rojo" cuyas líneas límite son $Y = 0.33$ (en la parte superior-"frontera amarilla") y $Y = 0.98 - X$ ó su equivalente $Z = 0.02$ (a la izquierda-"frontera azul").¹⁸

El área marcada "blanco" en la figura 2-16 señala claramente el peligro de hacer mal uso del diagrama de cromacidad.

Si se centra en la cromacidad de la Fuente A, una luz incandescente, para un observador cuyos ojos están adaptados a la lámpara incandescente, los colores de esta área no parecen blancos, pero un observador cuyos ojos están adaptados a la luz de horizonte como la Fuente C, para quien el diagrama de la figura 2-15 es más correcto, los colores "blancos" en la figura 2-16 parecerían amarillentos.

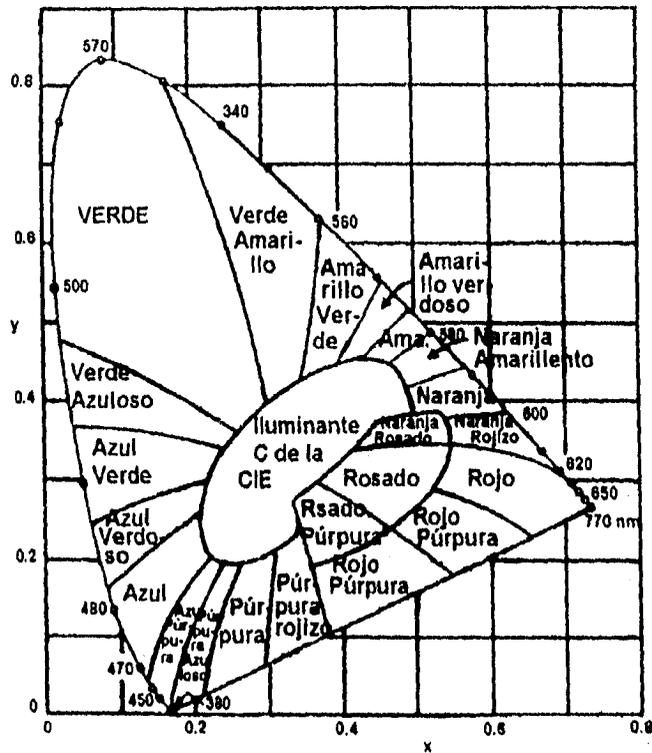


Figura 2-15.
 Diagrama de Cromacidad CIE que muestra los Nombres de los Colores.
 Note que la Ubicación de los Colores depende de la Fuente de Luz y el
 Estado de Adaptación del Ojo y del Observador.¹⁸

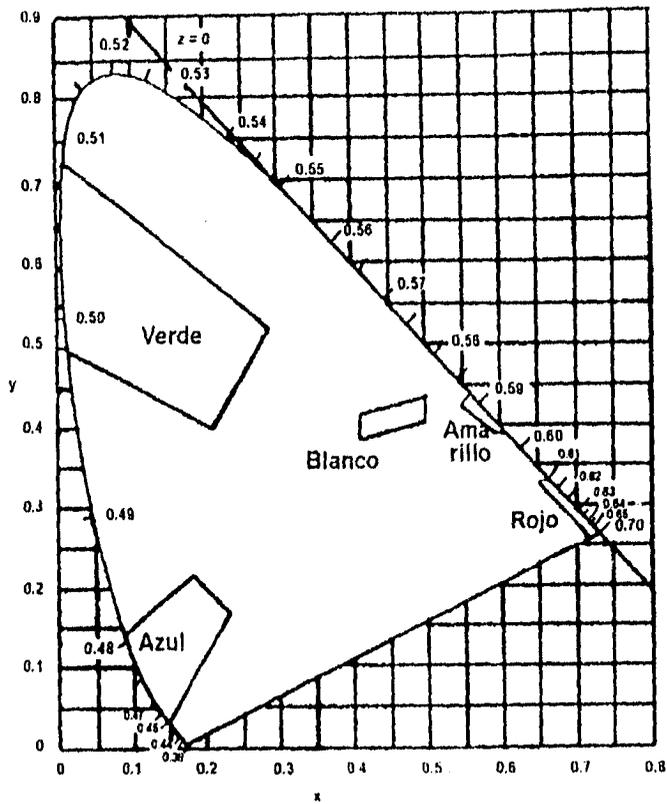


Figura 2-16.
 Diagrama de Cromacidad CIE que muestra la Ubicación de la Áreas de Especificación para los Colores de Luces Automovilísticas.¹⁸

Las razones para usar los instrumentos para medir el color ahora deben ser claras. Proporcionan información permanente y contundente del color en forma de curvas de reflectancia espectral, derivando valores estándar de estímulo triple, así como coordenadas de cromacidad para complementar los juicios subjetivos y visuales de un observador que podrían no ser constantes al observar las muestras con una iluminación quizá mal definida y a menudo irreproducible. Es lógico entonces, que la industria del papel, al igual que muchas otras, abogan cada vez más por la evaluación con instrumentos.

Los instrumentos tienen una desventaja: Miden muestras con una geometría sencilla y fija de iluminación y visión, mientras que el observador humano compara su muestra estándar de varias maneras antes de decidir si corresponde. Casi todos los instrumentos usan una o dos geometrías estándar CIE, ilustradas en la figura 2-17. La figura 2-17a muestra el uso de una esfera de integración, pintada de blanco por dentro, para captar toda la luz reflejada por la muestra. El reflejo especular puede incluirse o excluirse con el uso de una superficie blanca o negra, respectivamente, en el "puerto especular" o "trampa de brillo" cónicos. Si se desea que los resultados describan el color de una muestra de alto brillo en la forma usual, evitando el reflejo de éste, se mide con el componente especular excluido (puerto negro). Si se van a utilizar los resultados para hacer corresponder los colores por computadora, se debe tomar en cuenta toda la luz, por ello se deberá medir con el componente especular incluido (puerto blanco). El programa de la computadora corrige el brillo según sea necesario. Para las muestras totalmente mates no hay mucha diferencia: El instrumento será más objetivo si se usa el puerto blanco. Para las muestras con brillo intermedio, los mejores resultados se obtendrán con el uso del puerto blanco, pero será difícil asegurar si los resultados coinciden con lo que se ve.⁴⁶

También se puede medir la transmisión con la mayoría de los instrumentos con esfera de integración, con sólo poner un estándar de reflejo blanco en lugar de la muestra reflejante y colocar la muestra transmisora en el otro extremo de la esfera de integración (donde la luz entra en la figura 2-17a).

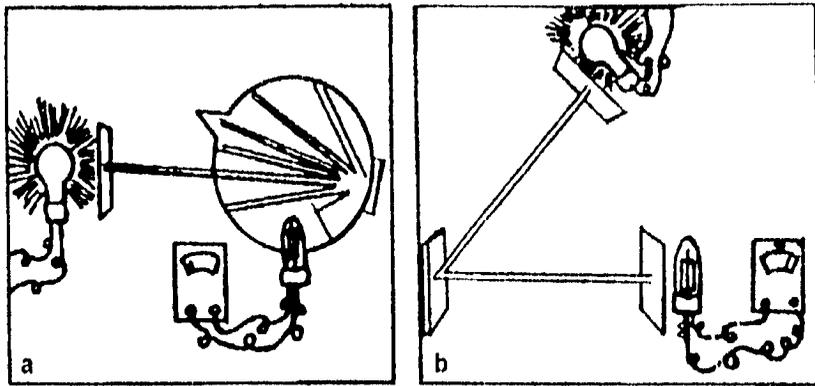


Figura 2-17.
Acomodo de los Componentes de (a) Esfera de Integración y (b)
Geometría de Iluminación Visión $45^{\circ}/0^{\circ}$.⁴⁶

La geometría alternativa para la medición del color, ilustrada en la figura 2-17b, se llama $45^{\circ}/0^{\circ}$. A menudo se intercambian la fuente y el detector, y se vuelve $0^{\circ}/45^{\circ}$. El primer número representa el ángulo entre el rayo iluminante y la normal (perpendicular) a la muestra; el segundo, el ángulo entre la normal y el plano de la visión. El arreglo $45^{\circ}/0^{\circ}$ permite que el reflejo de brillo sea atrapado con facilidad a 45° en el lado opuesto al rayo iluminante.

Todos los fotómetros y espectrofotómetros constan de los siguientes elementos:

1. Fuente de Radiación (constante)
2. Sistema Óptico (monocromadores, prismas, filtros, etc.)
3. Celdas para Muestras
4. Sistema Detector

2.2.2 Colorímetros de Estímulo Triple

Son los aparatos más sencillos y su distribución básica es:

Fuente de Radiación ⇒ Diafragma ⇒ Filtro ⇒ Celda ⇒ Detector

Los colorímetros de estímulo triple son instrumentos que usan una técnica análoga óptica que envuelve los filtros de banda amplia en lugar de un monocromador para proporcionar (en versiones modernas con capacidad de computadora intra-construida) una lectura directa de los valores de estímulo triple de la CIE aproximados, las coordenadas de cromacidad y las coordenadas "oponentes" tipo L, a, b. La aproximación se debe a la dificultad que existe para hacer que la técnica análoga óptica sea exacta. Esto es, los instrumentos no proporcionan valores de estímulo triple exactos, a pesar de que sí proporcionan diferencias exactas en dichos valores por lo tanto pueden utilizarse exclusivamente como medidores de diferencias en color. No miden la curva de reflectancia espectral. Son de poco valor para hacer corresponder colores. Quizá sea por esto y por el hecho de que su costo inferior al de los espectrofotómetros ya no es una ventaja válida, que pronto estos instrumentos serán obsoletos.

Varios instrumentos excelentes de este tipo están disponibles en los Estados Unidos, sin embargo, sobre salen, con una variedad de geometrías de iluminación y visión y con capacidad de computadora, los de Hunter y los de los Laboratorios Gardner. El kollmorgen MC-1010 es igual al espectrofotómetro MS-2045, pero con capacidad de computadora más limitada por aparatos ópticos.

El diafragma tiene la finalidad de controlar la intensidad luminosa, obteniendo un haz de luz paralela, la que se controla utilizando filtros o monocromadores.

Los filtros son sistemas absorbentes que tienen una transmisión apreciada en algún dominio del espectro emitido por la fuente de radiación.

Los monocromadores son sistemas dispersivos, por ejemplo, una red de difracción, al pasar un haz de luz a través de estrechas rendijas y espejos, consiguiendo un haz de luz con longitud de onda específica.

2.2.3 Espectrofotómetros

Su distribución es prácticamente la misma que la del colorímetro, sólo que en lugar de usar filtros, se utilizan prismas los cuales proporcionan una gama de haces de luz con longitud de onda bien definidas:

Fuente de radiación \Rightarrow Control de Intensidad \Rightarrow Prisma \Rightarrow Celda \Rightarrow Detector

Ya que la información básica para obtener los valores de estímulo triple de la muestra es su curva de reflectancia espectral, el instrumento básico para la medición del color es el espectrofotómetro. La operación de este tipo de instrumento se ilustra con la figura 2-18. Aquí, la luz emitida por la fuente pasa por un prisma o monocromador para ser separada. El espectro obtenido es proyectado sobre una pantalla de selección que permite el paso a un reducido intervalo (banda) de longitudes de onda hasta que incidan sobre la muestra a analizar. Conforme se seleccionan las longitudes de onda, se traza la curva de reflectancia espectral. En las figuras 2-17 y 2-18 las posiciones de las fuentes de luz y el detector pueden intercambiarse. No hay diferencia alguna al usarlos, excepto que para obtener resultados correctos con muestras fluorescentes, éstas se deben iluminar directamente con la luz de la fuente.

Con sólo una excepción, todos los espectrofotómetros para medir el color en años recientes han utilizado la geometría de esfera de integración.

Entre los espectrofotómetros designados para la medición del color en Estados Unidos están:

1. El espectrofotómetro Diano-Hardy, basado en el diseño de A.C. Hardy en 1930's que por mucho tiempo fue el instrumento clave para la

medición del color. El diseño original no es adecuado para medir muestras fluorescentes, pero una variante, el Diano-Hardy II, sí lo es.

2. El Diano Match-Scan, un instrumento más económico de diseño reciente.

3. El Hunter D-54, un instrumento sencillo que utiliza una cuña de interferencia circular en lugar de un monocromador convencional.

4. El Kollmorgen MS-2000 (con geometría de esfera de integración) y el MS-2045 (con geometría $45^\circ/0^\circ$). Estos son espectrofotómetros simplificados por el hecho de que se registra el espectro sólo en 18 puntos espaciados por 20 nm. a lo largo del espectro.

5. El Zeiss DMC-26, un instrumento de investigación muy versátil.

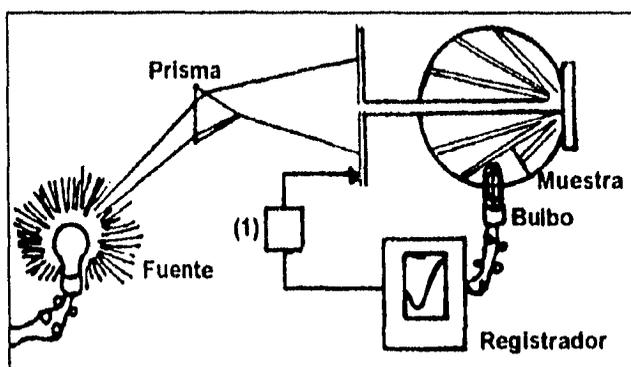


Figura 2-18.
Arreglo de los Componentes de un Espectrofotómetro Común.⁴⁶

Para los estudios de absorción se usa una fuente de radiación que emita un espectro continuo sobre un intervalo de longitudes de onda, tan grande como sea posible. De 350 - 1300 nm. se utilizan lámparas incandescentes con bulbo de vidrio. En la región ultravioleta se usan lámparas de hidrógeno con bulbo de cuarzo, en el infrarrojo se usan lámparas de mercurio o deuterio.

Las celdas son normalmente de vidrio, excepto en el ultravioleta donde son de cuarzo. Como detectores se utilizan celdas fotoeléctricas que operan transformando energía luminosa que reciben, en energía eléctrica variando la transformación de acuerdo con la luz recibida.

CAPÍTULO 3
PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Metodología

Se trabajó con seis muestras de tinta de diferentes colores: Amarillo, azul, naranja, rojo, verde y violeta. Se hicieron mezclas binarias entre ellas utilizando un total de diez gramos de tinta por cada mezcla. Para la impresión de estas combinaciones binarias, se utilizó un mismo lote de papel para evitar que se presentaran variaciones en las características de éste.

Se tomó como base en primer lugar el color amarillo, al cual se le agregó 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% y 1% de cada uno de los colores restantes. Se hizo lo mismo con los colores azul, naranja, rojo, verde y violeta, obteniéndose un total de 150 mezclas binarias, las cuales quedaron impresas sobre el mismo lote de papel. También se imprimieron los seis colores estándares que consistieron en colocar cada uno de los colores al 100%, y se tomaron como punto de partida para realizar las mediciones de L, a, b en el espectrofotómetro.

Una vez que se terminó la impresión de las 150 combinaciones binarias y de los seis colores estándares, éstos se dieron a leer al espectrofotómetro Chromasensor ACS Modelo CS-5, (Las características de este equipo se señalan en el anexo) el cual estuvo previamente calibrado para obtener los valores de las tres variables que se estudiaron: L, a, b.

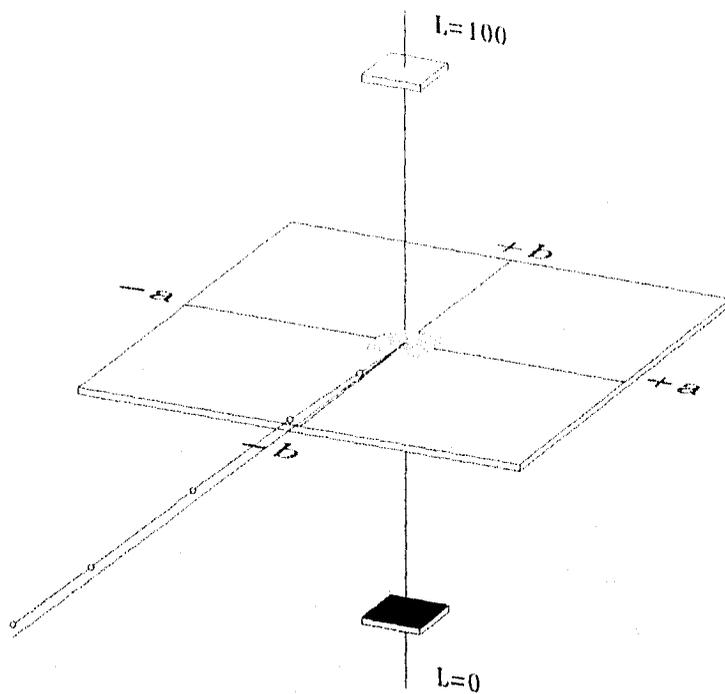
Con los valores de L, a, b a las concentraciones de 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% y 1% de cada mezcla binaria de tinta, se realizó una gráfica en tercera dimensión, obteniéndose un vector formado por cinco puntos.

De esta forma se realizaron 30 gráficas en tercera dimensión, con la ayuda del paquete AutoCAD, a las cuales se les graficó su correspondiente regresión lineal.

3.2 Resultados

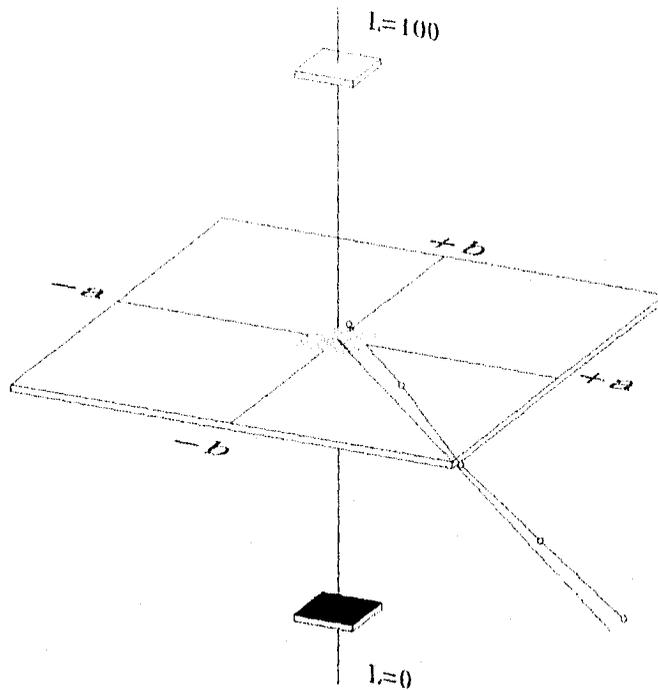
A continuación se presentan las 30 gráficas en tercera dimensión con su correspondiente regresión lineal.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Amarillo 100	78.83	14.63	82.54
Azul 0.2	73.30	0.28	73.77
Azul 0.4	70.81	2.71	67.88
Azul 0.6	66.49	-1.36	60.91
Azul 0.8	65.83	-1.96	59.47
Azul 1.0	64.10	-4.28	56.59



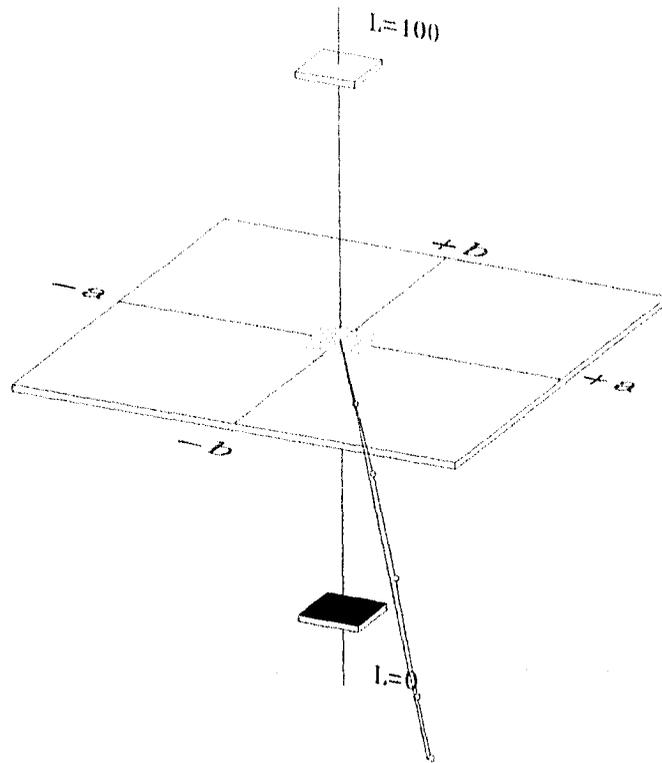
Gráfica 3-1. Amarillo, agregando Azul.

Color %	l (z)	a (x)	b (y)
Amarillo 100	78.83	44.63	82.54
Naranja 0.2	80.00	15.26	83.23
Naranja 0.4	77.38	19.81	79.50
Naranja 0.6	76.68	26.73	78.51
Naranja 0.8	76.82	21.86	79.29
Naranja 1.0	70.76	22.08	79.16



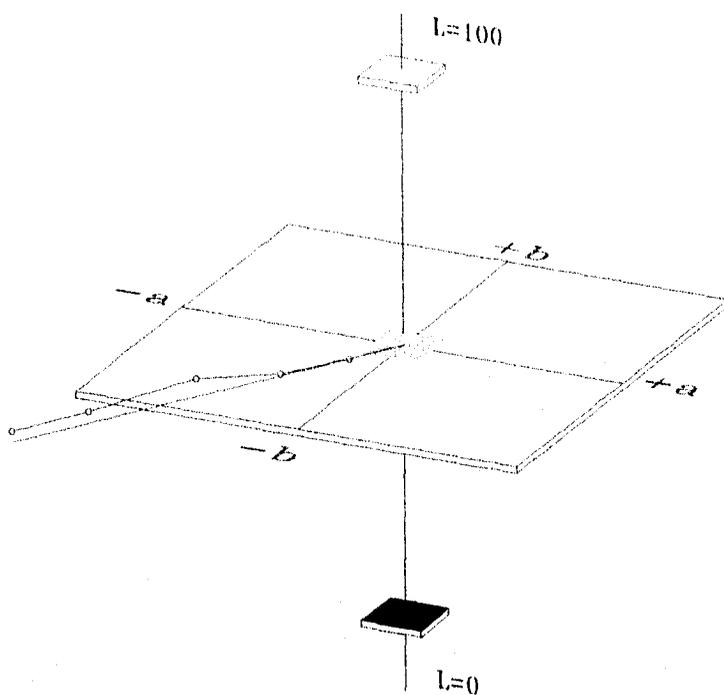
Gráfica 3-2. Amarillo, agregando Naranja.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Amarillo 100	78.83	14.63	82.54
Rojo 0.2	73.67	21.58	72.89
Rojo 0.4	73.10	22.49	72.43
Rojo 0.6	70.03	25.66	67.35
Rojo 0.8	66.88	26.16	65.05
Rojo 1.0	70.27	25.46	67.90



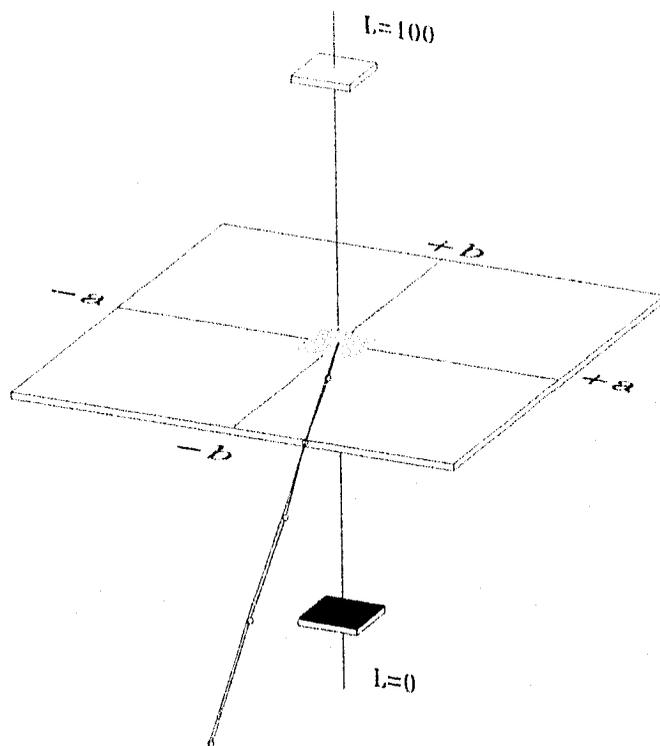
Gráfica 3-3. Amarillo, agregando Rojo.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Amarillo 100	78.83	11.63	82.54
Verde 0.2	77.24	7.86	79.41
Verde 0.4	76.65	5.86	78.85
Verde 0.6	77.95	3.05	78.71
Verde 0.8	74.92	1.53	75.49
Verde 1.0	75.28	0.57	75.53



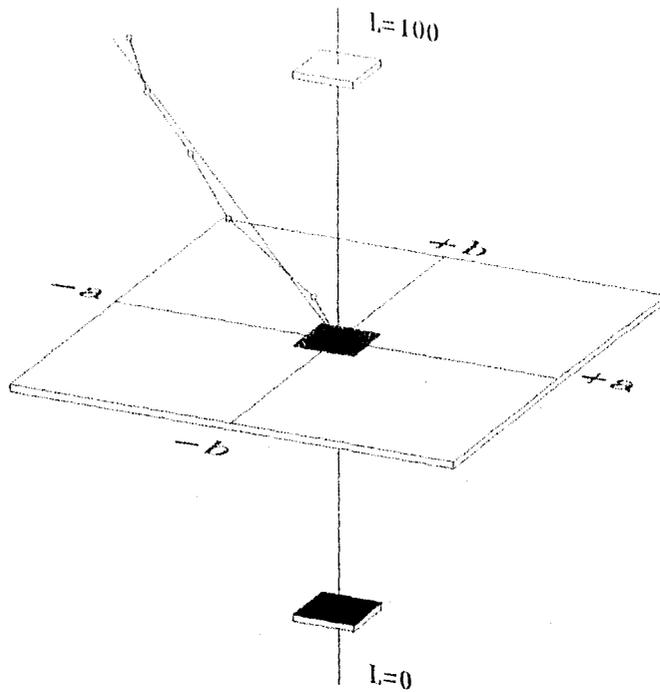
Gráfica 3-4. Amarillo, agregando Verde.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Amarillo 100	78.83	14.63	82.54
Violeta 0.2	73.47	16.05	73.08
Violeta 0.4	68.75	16.11	65.93
Violeta 0.6	67.09	17.91	62.21
Violeta 0.8	62.40	17.77	51.70
Violeta 1.0	59.27	18.15	49.53



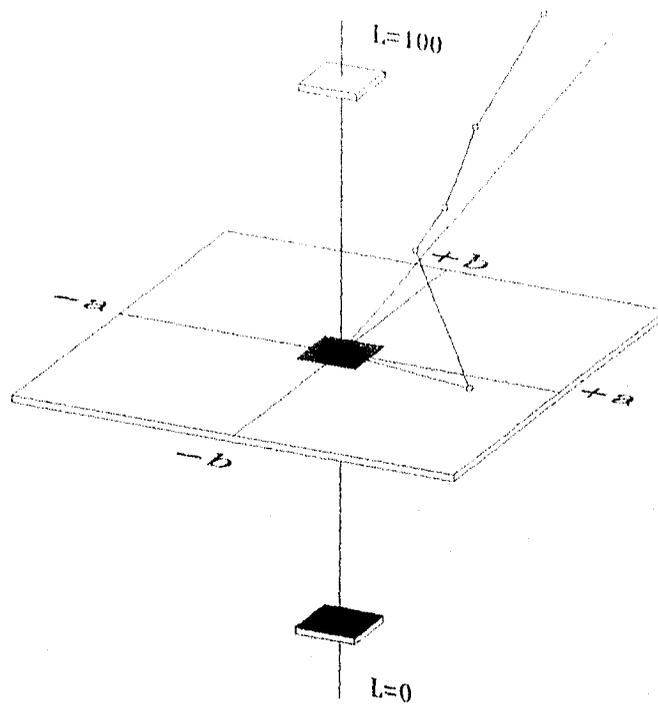
Gráfica 3-5. Amarillo, agregando Violeta.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Azul 100	33.63	-0.09	-33.13
Amarillo 0.2	34.27	-1.51	31.80
Amarillo 0.4	35.04	-3.59	31.94
Amarillo 0.6	34.46	-2.45	-30.76
Amarillo 0.8	33.45	-5.71	-28.69
Amarillo 1.0	32.74	-3.62	-27.11



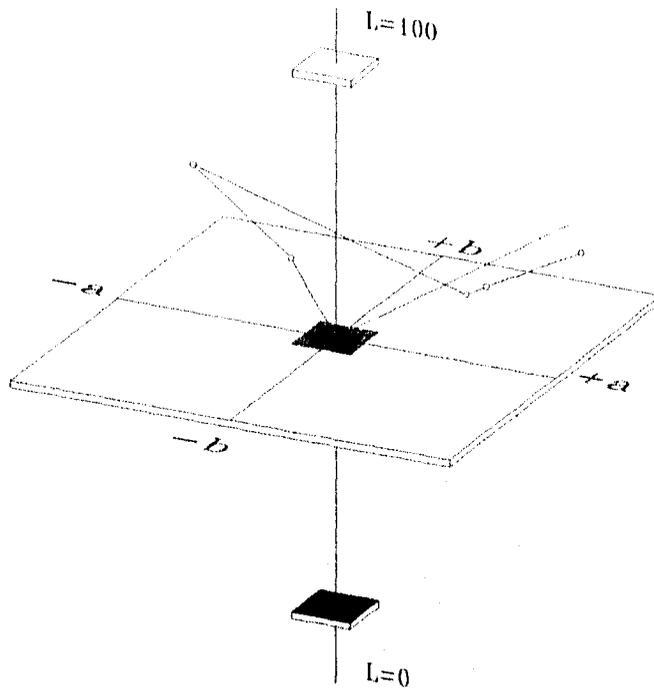
Gráfica 3-6. Azul, agregando Amarillo.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Azul 100	33.63	-0.09	-33.13
Naranja 0.2	31.95	0.52	-29.89
Naranja 0.4	34.67	-1.88	-31.42
Naranja 0.6	32.90	-1.12	-30.02
Naranja 0.8	32.88	-1.81	-28.57
Naranja 1.0	33.13	-1.60	-27.68



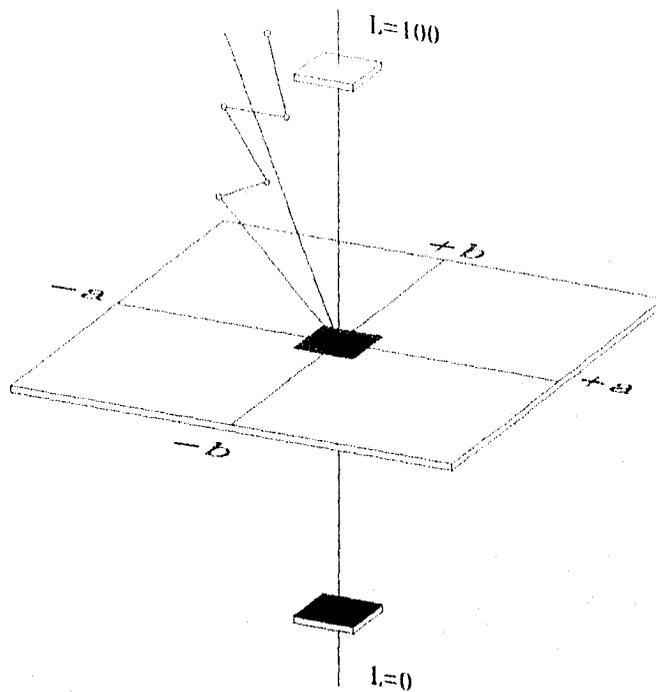
Gráfica 3-7. Azul, agregando Naranja.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Azul 100	34.63	-0.09	-33.13
Rojo 0.2	34.44	-0.76	-33.10
Rojo 0.4	34.87	-1.24	-34.05
Rojo 0.6	30.38	2.55	-20.73
Rojo 0.8	33.45	0.25	-32.66
Rojo 1.0	33.32	0.63	-31.13



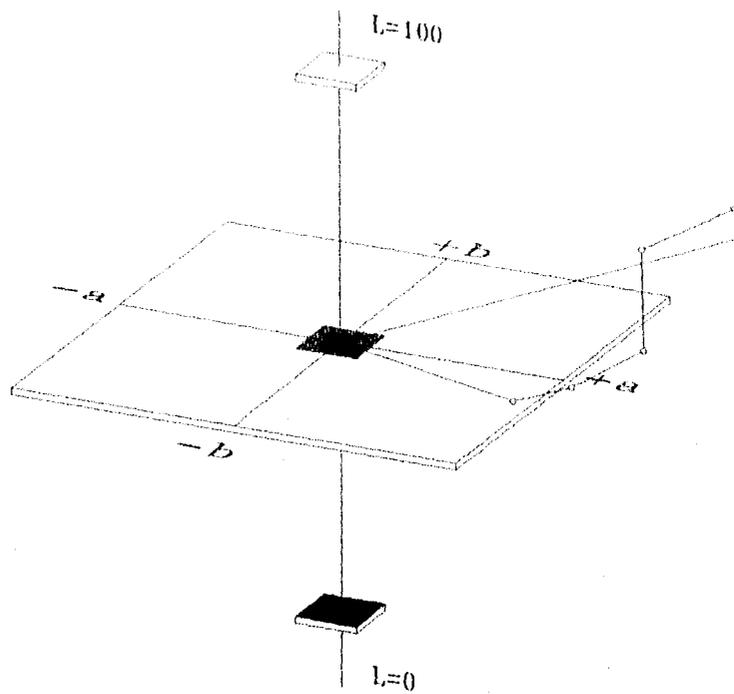
Gráfica 3-8. Azul, agregando Rojo.

Color %	$I (z)$	$a (x)$	$b (y)$
Azul 100	33.03	-0.09	-33.13
Verde 0.2	35.61	-1.61	-33.89
Verde 0.4	33.24	0.17	-31.77
Verde 0.6	34.37	-0.81	-32.96
Verde 0.8	32.80	0.31	-31.54
Verde 1.0	34.17	-0.87	-34.99



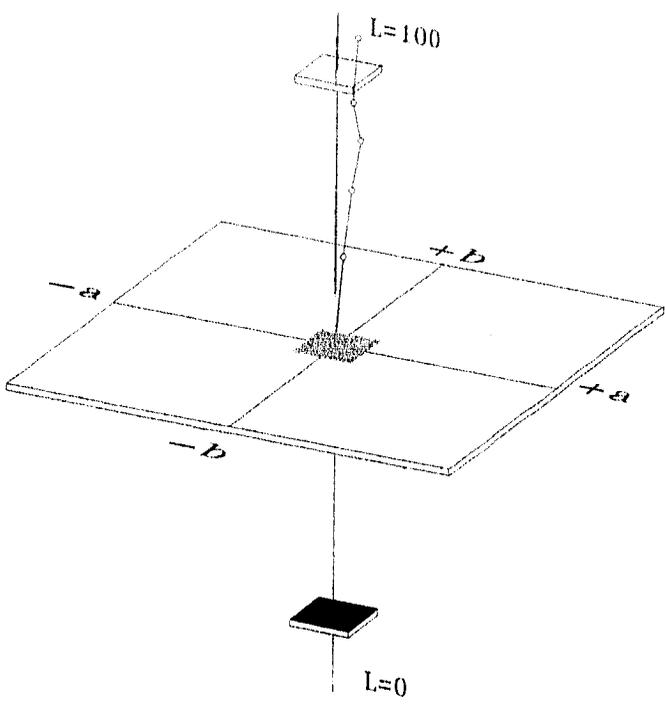
Gráfica 3-9. Azul, agregando Verde.

Color %	l (z)	a (x)	b (y)
Azul 100	31.63	-0.09	-33.13
Violeta 0.2	32.27	1.52	-31.42
Violeta 0.4	31.28	0.66	-32.54
Violeta 0.6	33.46	0.74	-32.28
Violeta 0.8	34.18	0.06	-32.73
Violeta 1.0	32.44	1.07	-31.05



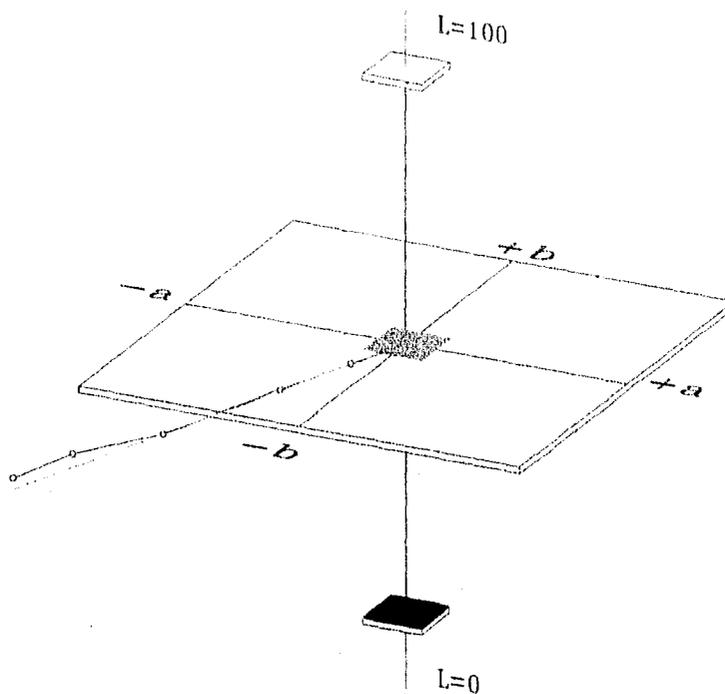
Gráfica 3-10. Azul, agregando Violeta.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Naranja 100	54.78	52.78	49.50
Amarillo 0.2	50.73	52.15	51.29
Amarillo 0.4	50.39	52.39	50.81
Amarillo 0.6	55.93	52.61	50.40
Amarillo 0.8	55.68	52.25	50.03
Amarillo 1.0	50.20	52.25	50.81



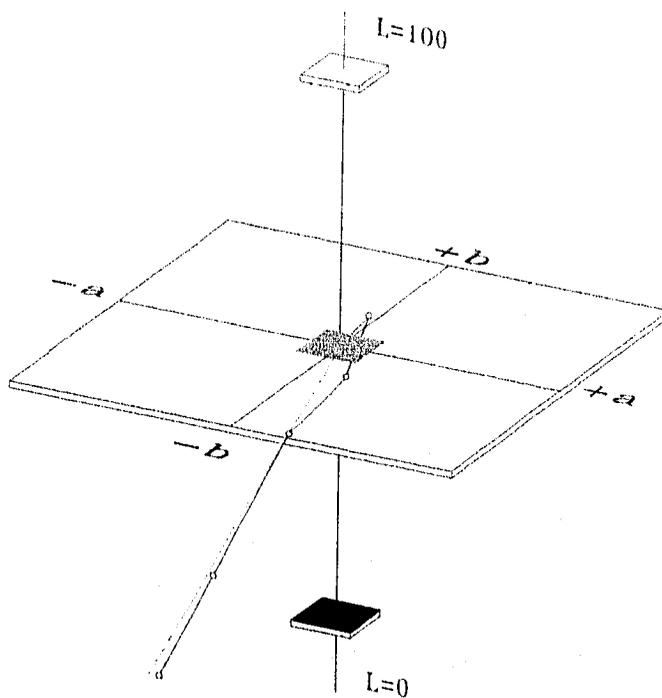
Gráfica 3-11. Naranja, agregando Amarillo.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Naranja 100	51.78	52.78	49.50
Azul 0.2	52.45	45.55	44.31
Azul 0.4	51.64	43.92	43.09
Azul 0.6	49.07	37.46	39.11
Azul 0.8	52.28	40.30	42.45
Azul 1.0	47.24	34.42	35.92



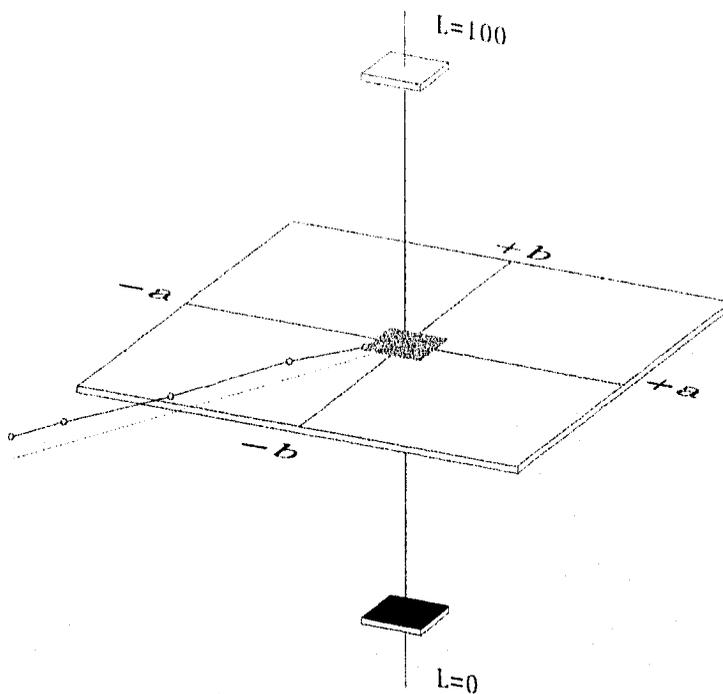
Gráfica 3-12. Naranja, agregando Azul.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Naranja 100	54.78	52.78	49.50
Rojo 0.2	56.41	52.75	51.76
Rojo 0.1	55.58	52.58	50.57
Rojo 0.8	55.79	52.37	49.95
Rojo 0.8	55.08	52.82	48.88
Rojo 1.0	54.72	52.84	48.13



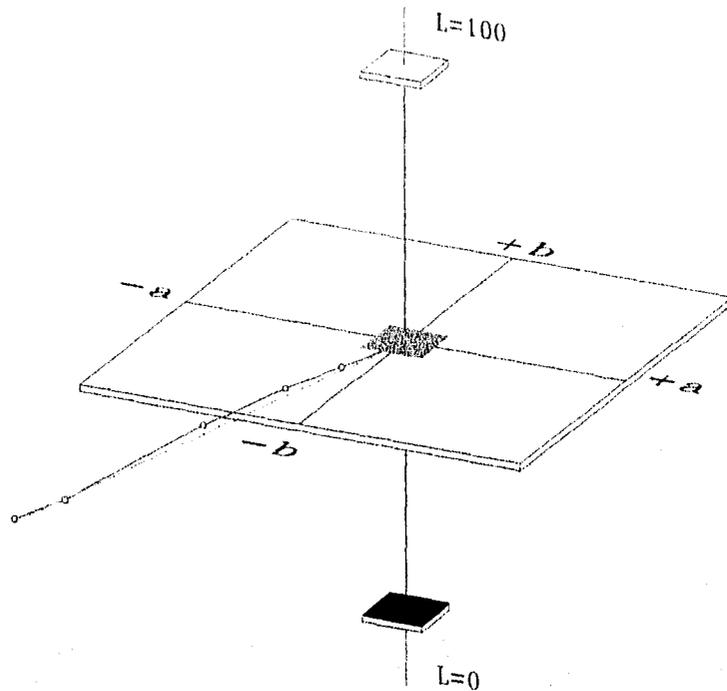
Gráfica 3-13. Naranja, agregando Rojo.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Naranja 100	54.73	52.76	49.50
Verde 0.2	51.25	48.41	48.05
Verde 0.1	53.95	41.86	46.53
Verde 0.6	51.29	41.33	43.44
Verde 0.8	52.09	42.34	44.55
Verde 1.0	50.73	39.40	42.03



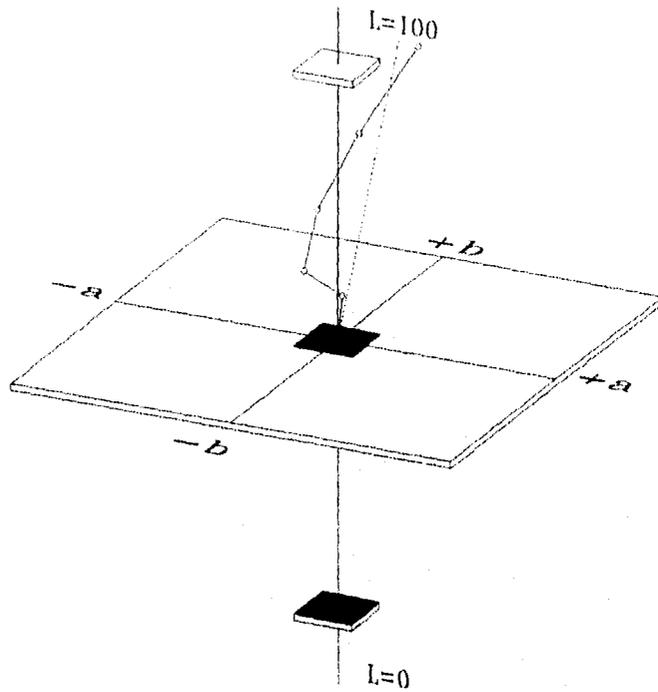
Gráfica 3-14. Naranja, agregando Verde.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Naranja 100	51.70	52.76	49.50
Violeta 0.2	52.57	47.33	45.22
Violeta 0.1	52.09	47.04	45.08
Violeta 0.0	51.72	45.70	43.05
Violeta 0.8	48.89	41.44	39.10
Violeta 1.0	51.46	44.24	43.57



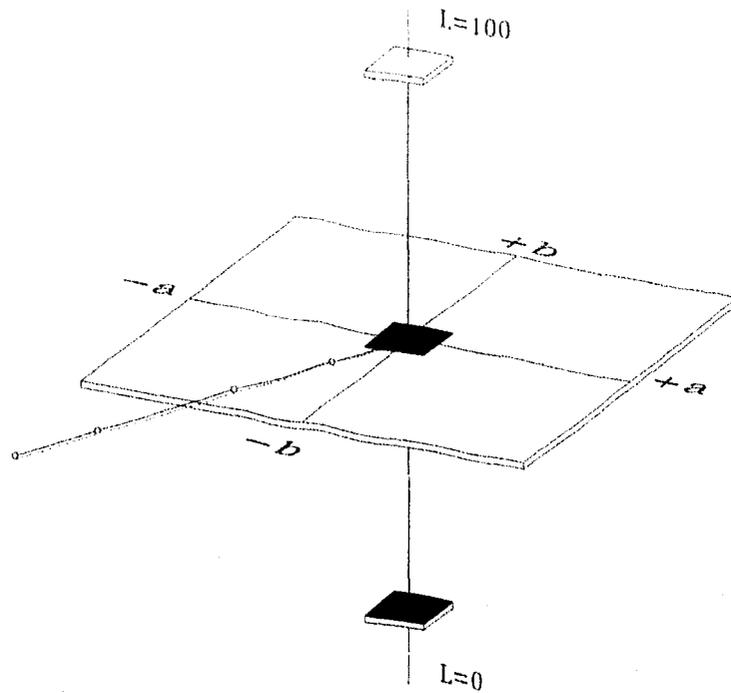
Gráfica 3-15. Naranja, agregando Violeta.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Rojo 100	40.90	51.51	25.01
Amarillo 0.2	41.58	51.74	24.63
Amarillo 0.4	41.09	51.01	25.12
Amarillo 0.6	41.00	51.06	24.90
Amarillo 0.8	41.78	51.96	25.02
Amarillo 1.0	41.65	51.89	25.66



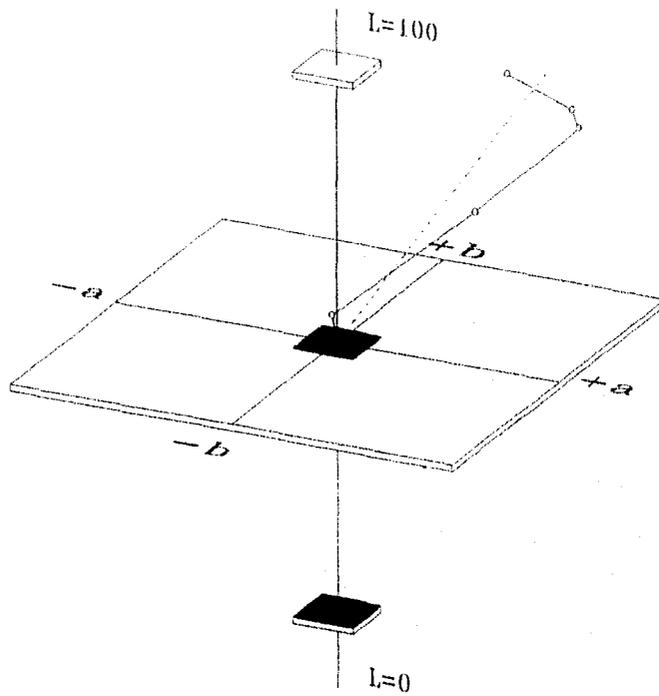
Gráfica 3-16. Rojo, agregando Amarillo.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Rojo 100	40.98	51.51	25.01
Azul 0.2	39.99	49.00	24.56
Azul 0.4	38.60	45.41	22.32
Azul 0.6	36.6	42.62	18.24
Azul 0.8	37.01	38.96	16.91
Azul 1.0	36.90	38.11	15.65



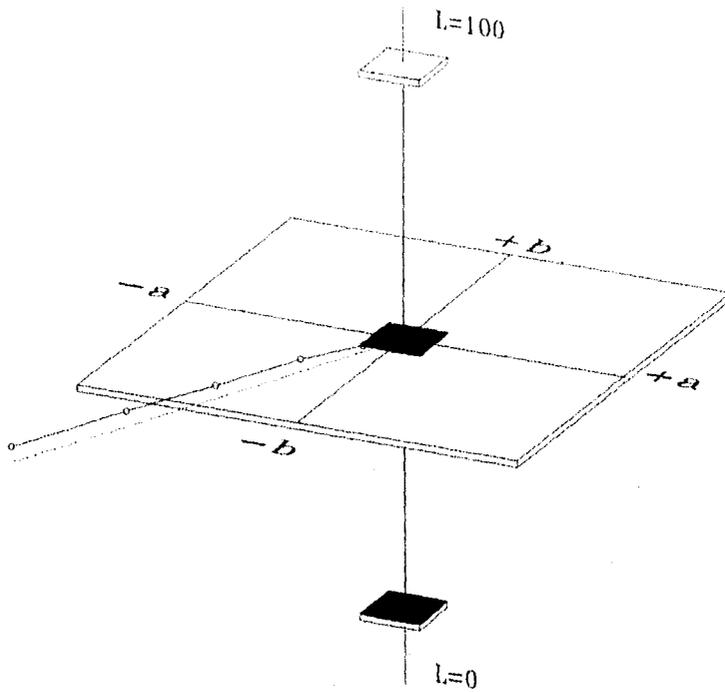
Gráfica 3-17. Rojo, agregando Azul.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Rojo 100	40.90	51.51	25.01
Naranja 0.2	40.85	50.92	25.69
Naranja 0.4	41.96	52.91	26.74
Naranja 0.6	41.51	52.19	26.85
Naranja 0.8	40.81	50.76	25.95
Naranja 1.0	41.51	50.70	24.04



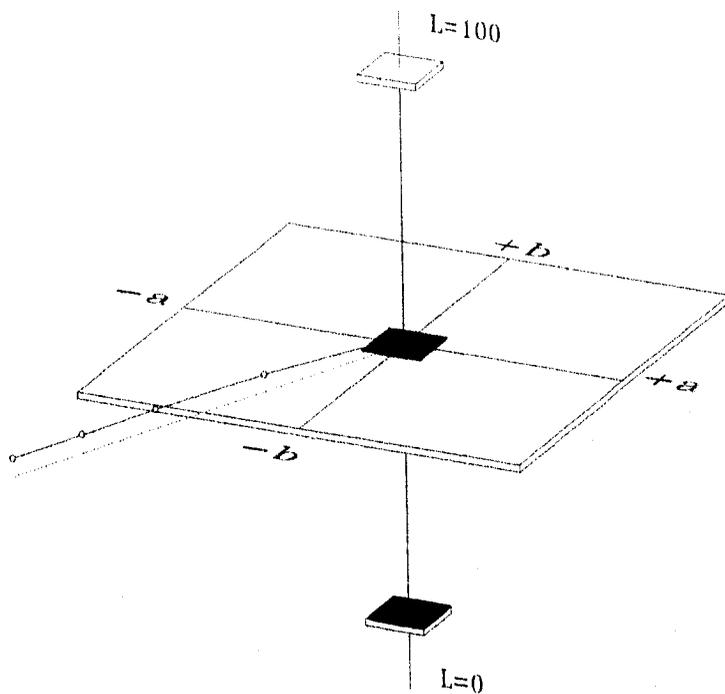
Gráfica 3-18. Rojo, agregando Naranja.

Color %	l (z)	a (x)	b (y)
Rojo 100	40.96	51.51	25.91
Verde 0.2	43.30	46.01	22.44
Verde 0.4	39.34	45.74	22.66
Verde 0.6	38.53	44.07	21.24
Verde 0.8	38.74	44.06	20.61
Verde 1.0	37.04	41.62	19.90



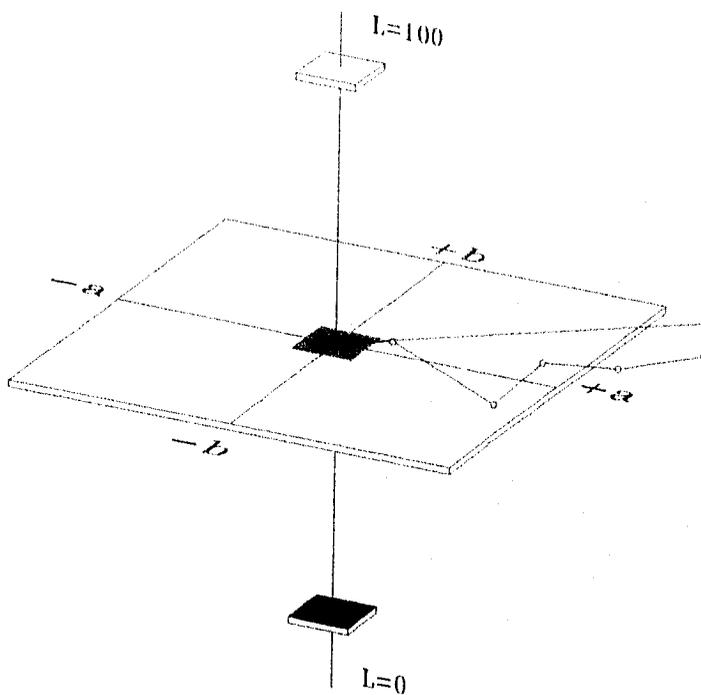
Gráfica 3-19. Rojo, agregando Verde.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Rojo 100	40.96	51.51	35.01
Violeta 0.2	40.76	49.84	23.80
Violeta 0.4	39.53	46.83	22.32
Violeta 0.6	39.18	46.58	22.58
Violeta 0.8	38.89	45.47	21.05
Violeta 1.0	38.00	44.72	20.10



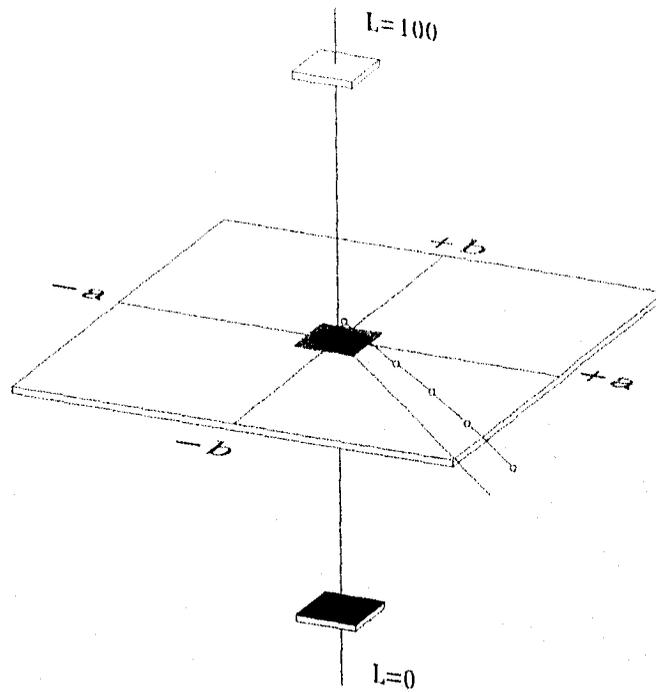
Gráfica 3-20. Rojo, agregando Violeta.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Verde 100	47.63	-52.64	8.57
Amarillo 0.2	48.17	-50.02	8.62
Amarillo 0.4	45.86	-47.91	9.00
Amarillo 0.6	49.25	-51.02	9.89
Amarillo 0.8	47.38	-48.84	10.13
Amarillo 1.0	48.08	-49.56	10.55



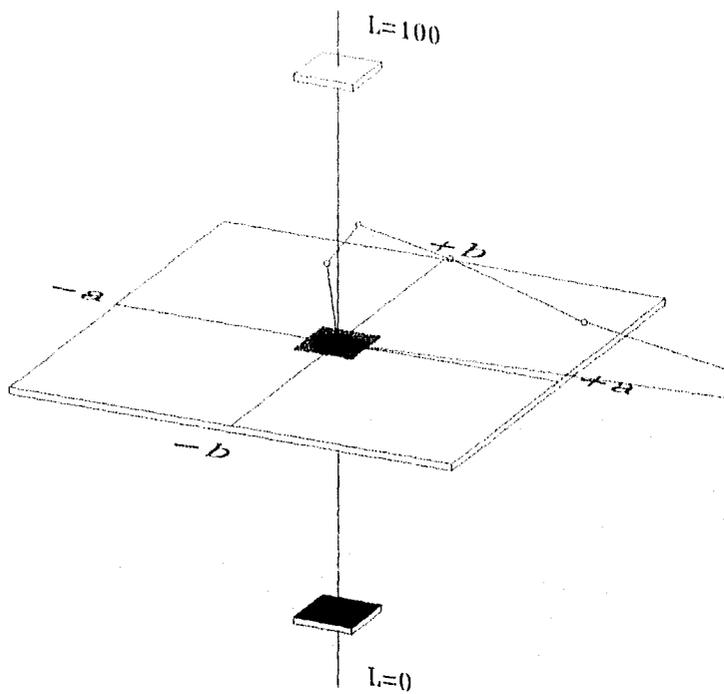
Gráfica 3-21. Verde, agregando Amarillo.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Verde 100	47.63	-52.64	8.57
Azul 0.2	49.65	-52.25	8.08
Azul 0.4	45.99	-48.01	7.10
Azul 0.6	46.65	-49.30	7.28
Azul 0.8	46.71	-49.17	6.96
Azul 1.0	45.07	-48.30	6.72



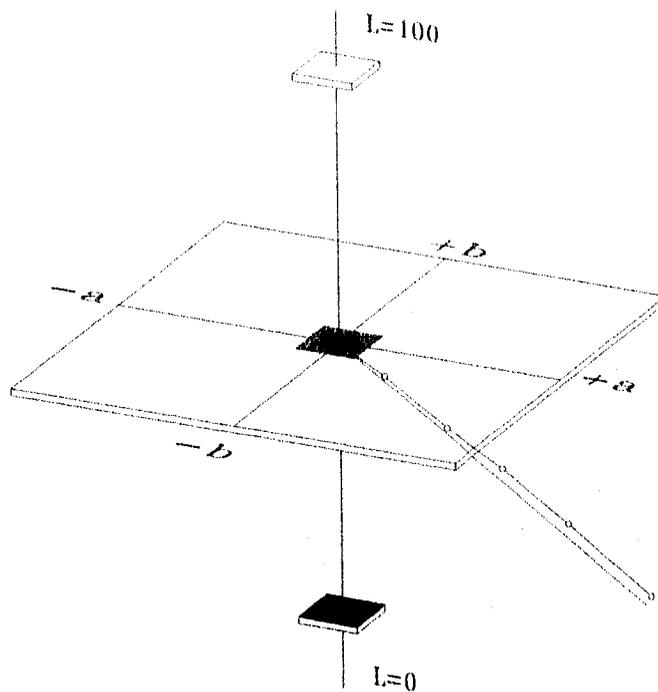
Gráfica 3-22. Verde, agregando Azul.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Verde 100	17.63	-52.64	8.57
Naranja 0.2	40.59	-49.98	8.30
Naranja 0.4	46.90	-47.17	8.07
Naranja 0.6	43.52	-43.51	7.94
Naranja 0.8	42.68	-40.61	7.30
Naranja 1.0	41.51	-40.00	7.52



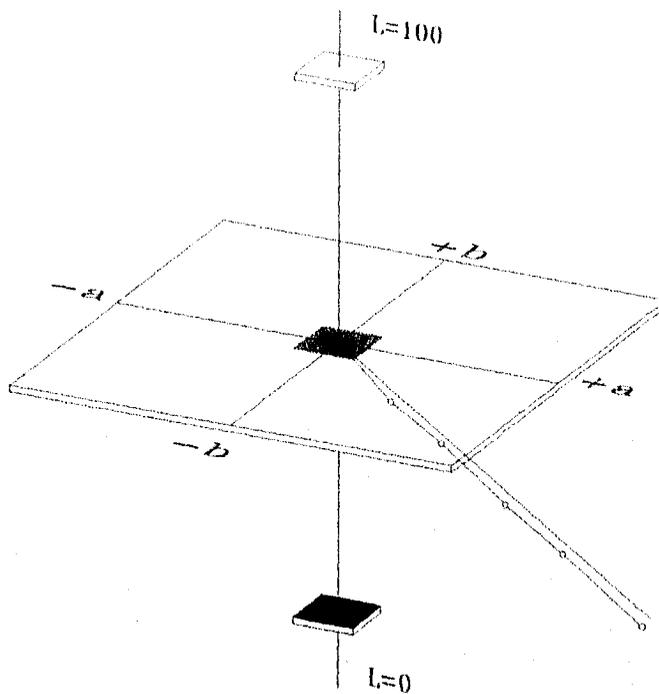
Gráfica 3-23. Verde, agregando Naranja.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Verde 100	47.63	-52.64	8.57
Rojo 0.2	45.54	-46.29	6.80
Rojo 0.4	44.01	-44.09	6.32
Rojo 0.6	45.26	-44.63	5.98
Rojo 0.8	44.01	-42.83	5.27
Rojo 1.0	42.63	-40.15	4.19



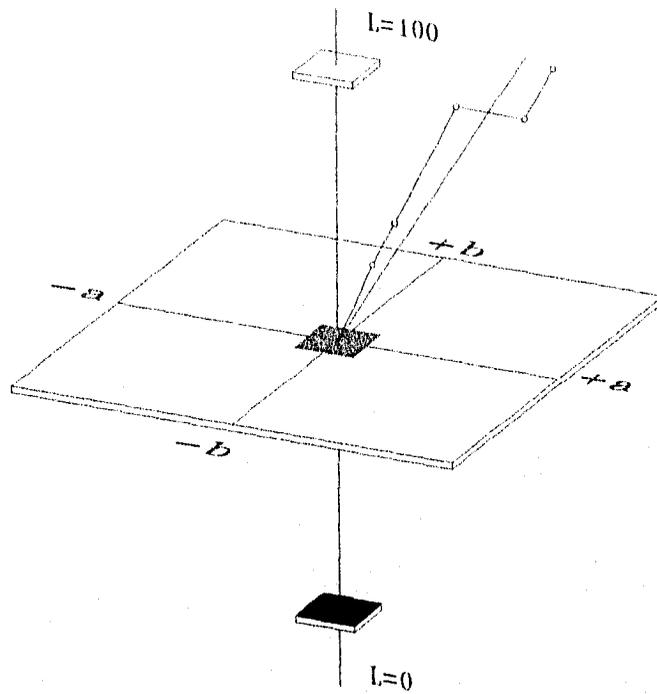
Gráfica 3-24. Verde, agregando Rojo.

Color %	$l(z)$	$a(x)$	$b(y)$
Verde 100	47.63	-52.64	8.57
Violeta 0.2	42.90	-44.62	6.14
Violeta 0.4	45.13	-44.77	5.53
Violeta 0.6	43.63	-42.05	3.97
Violeta 0.8	41.98	-42.77	3.77
Violeta 1.0	43.18	-39.40	2.65



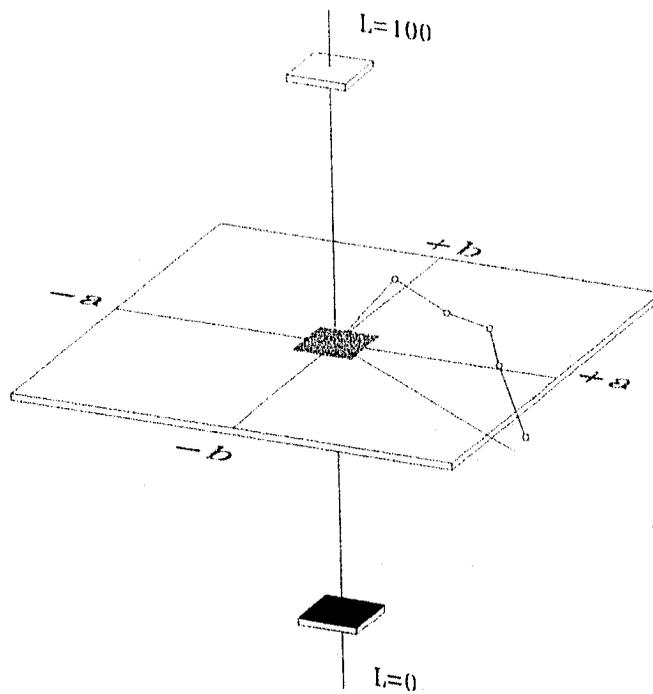
Gráfica 3-25. Verde, agregando Violeta.

Color %	l (z)	a (x)	b (y)
Violeta 100	28.16	13.69	-10.95
Amarillo 0.2	27.55	12.39	- 7.42
Amarillo 0.4	27.64	12.79	- 8.55
Amarillo 0.6	27.21	11.73	- 5.41
Amarillo 0.8	27.21	13.36	- 0.07
Amarillo 1.0	27.50	12.56	- 7.93



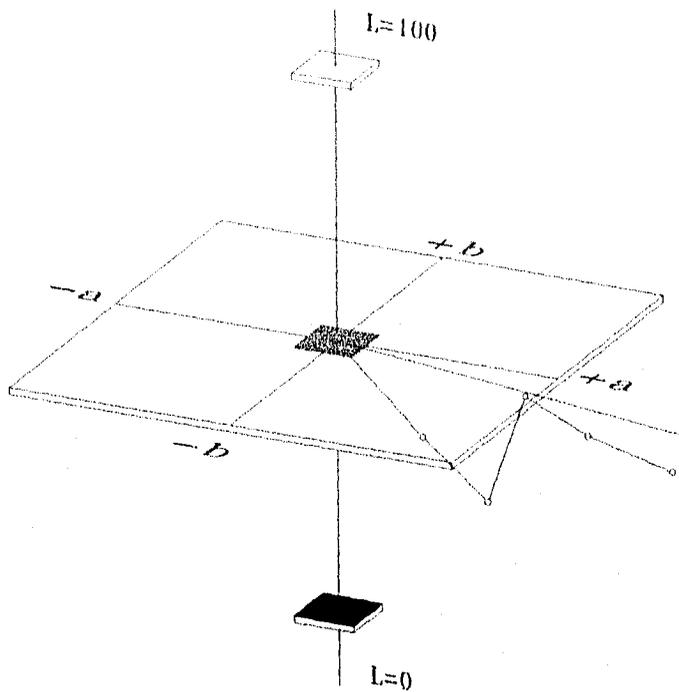
Gráfica 3-26. Violeta, agregando Amarillo.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Violeta 100	28.16	13.69	-10.95
Azul 0.2	27.71	13.13	- 8.95
Azul 0.4	27.10	13.20	- 9.26
Azul 0.6	26.89	12.73	- 8.41
Azul 0.8	27.28	13.15	- 9.92
Azul 1.0	27.60	13.95	-11.30



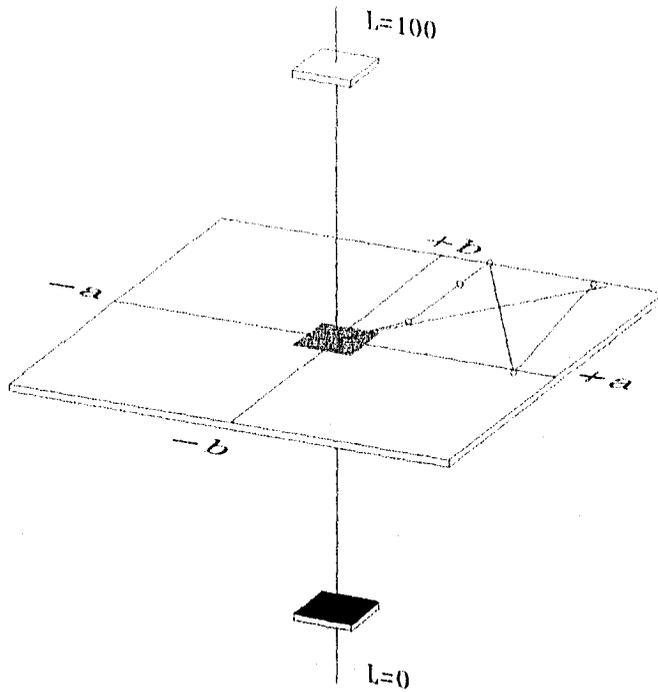
Gráfica 3-27. Violeta, agregando Azul.

Color %	l (z)	a (x)	b (y)
Violeta 100	26.16	13.69	-10.95
Naranja 0.2	26.28	15.51	-12.91
Naranja 0.4	26.20	14.92	-12.13
Naranja 0.6	27.91	12.70	- 0.00
Naranja 0.8	20.72	15.26	-12.00
Naranja 1.0	20.28	14.89	-11.63



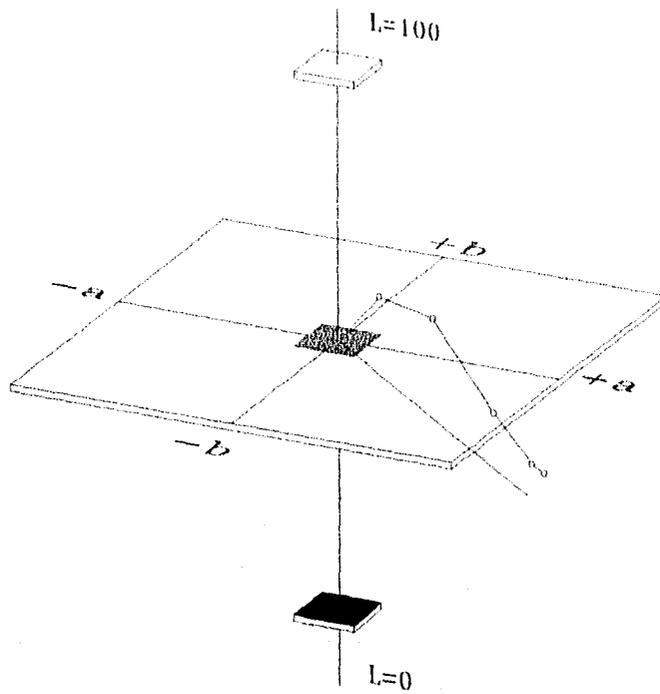
Gráfica 3-28. Violeta, agregando Naranja.

Color λ	L (z)	a (x)	b (y)
Violeta 100	28.16	13.69	-10.95
Rojo 0.2	27.75	13.80	-10.83
Rojo 0.4	27.71	13.48	- 9.64
Rojo 0.6	27.45	13.17	- 9.38
Rojo 0.8	28.38	15.39	-14.10
Rojo 1.0	28.01	13.60	- 9.38



Gráfica 3-29. Violeta, agregando Rojo.

Color %	L (z)	a (x)	b (y)
Violeta 100	28.16	13.69	-10.95
Verde 0.2	28.09	13.65	-10.14
Verde 0.4	27.90	13.50	- 9.61
Verde 0.6	27.58	11.40	-11.36
Verde 0.8	27.99	14.34	-13.85
Verde 1.0	27.82	13.01	-10.54



Gráfica 3-30. Violeta, agregando Verde.

3.3 Análisis de Resultados

El análisis a través de la regresión lineal es útil para determinar la forma probable de la relación entre las variables dependientes y las variables independientes cuando hay un fenómeno de causa y efecto, y su objetivo principal es el de predecir o estimar el valor de una variable dependiente correspondiente al valor dado de la otra variable independiente.

En este análisis de regresión el % de color (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1) representó la variable independiente y los valores de L, a, b (z, x, y) la variable dependiente.

El análisis de regresión que se utilizó fue de tipo lineal simple, porque consistió de tres variables dependientes y una variable independiente dentro de un espacio tridimensional.

Se procedió a ajustar una recta llamada recta de regresión o recta de ajuste por medio de mínimos cuadrados. La ecuación de regresión se estimó con la ecuación:

$$y = a + bx$$

donde las constantes a y b son la ordenada al origen y la pendiente respectivamente, y ambos valores se obtuvieron con la ayuda de la hoja de cálculo Lotus.

Gráfica 3-1 Amarillo, agregando Azul.

$$L: y = 75.08 + (-11.75) 1 = 63.33$$

$$a: y = 8.01 + (-12.89) 1 = - 4.88$$

$$b: y = 76.55 + (-21.38) 1 = 55.17$$

Cuando se agregó color azul al amarillo, el eje L se desplazó hacia el negro (L=0); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-2 Amarillo, agregando Naranja.

$$L: y = 79.64 + (-3.52) 1 = 76.12$$

$$a: y = 15.24 + (7.82) 1 = 23.06$$

$$b: y = 82.44 + (-4.17) 1 = 78.27$$

Cuando se agregó color naranja al amarillo, el eje L se desplazó hacia el negro (L=0); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad intensa. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los cuatro últimos puntos.

Gráfica 3-3 Amarillo, agregando Rojo.

$$L: y = 74.49 + (-5.51) 1 = 68.98$$

$$a: y = 20.81 + (5.86) 1 = 26.67$$

$$b: y = 74.33 + (-8.68) 1 = 65.65$$

Cuando se agregó color rojo al amarillo, el eje L se desplazó hacia el negro (L=0); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad intensa. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-4 Amarillo, agregando Verde.

$$L: y = 78.20 + (-2.92) 1 = 75.28$$

$$a: y = 9.58 + (-9.47) 1 = 0.11$$

$$b: y = 80.94 + (-5.56) 1 = 75.38$$

Cuando se agregó color verde al amarillo, el eje L se desplazó hacia el negro (L=0); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-5 Amarillo, agregando Violeta.

$$L: y = 76.61 + (-17.33) 1 = 59.28$$

$$a: y = 15.44 + (2.93) 1 = 18.37$$

$$b: y = 78.13 + (-28.71) 1 = 49.42$$

Cuando se agregó color violeta al amarillo, el eje L se desplazó hacia el negro (L=0); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos

cuadrados se ajustó a todos los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-6 Azul, agregando Amarillo.

$$L: y = 35.38 + (-2.32) 1 = 33.06$$

$$a: y = -1.67 + (-2.17) 1 = -3.84$$

$$b: y = -33.84 + (6.31) 1 = -27.53$$

Cuando se agregó color amarillo al azul, el eje L se desplazó hacia el blanco ($L=100$); el eje a hacia el verde ($-a$) y el eje b hacia el amarillo ($+b$), obteniéndose una tonalidad pálida. Se observó que la recta de mínimos cuadrados sólo se ajustó al primer punto (0.2%). Los cuatro puntos restantes sólo presentaron la misma tendencia, que los datos calculados teóricamente.

Gráfica 3-7 Azul, agregando Naranja.

$$L: y = 32.93 + (0.28) 1 = 33.21$$

$$a: y = 0.07 + (-2.08) 1 = -2.01$$

$$b: y = -31.69 + (3.63) 1 = -28.06$$

Cuando se agregó color naranja al azul, el eje L se desplazó hacia el blanco ($L=100$); el eje a hacia el verde ($-a$) y el eje b hacia el amarillo ($+b$), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos.

Gráfica 3-8 Azul, agregando Rojo.

$$L: y = 34.39 + (-1.83) 1 = 32.56$$

$$a: y = -0.98 + (2.12) 1 = 1.14$$

$$b: y = -33.51 + (2.55) 1 = -30.96$$

Cuando se agregó color rojo al azul, el eje L se desplazó hacia el blanco ($L=100$); el eje a hacia el rojo ($+a$) y el eje b hacia el amarillo ($+b$), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos.

Gráfica 3-9 Azul, agregando Verde.

$$L: y = 35.03 + (-1.66) 1 = 33.37$$

$$a: y = - 1.07 + (0.84) 1 = - 0.23$$

$$b: y = -33.63 + (2.01) 1 = -31.62$$

Cuando se agregó color verde al azul, el eje L se desplazó hacia el blanco (L=100); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad clara. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos.

Gráfica 3-10 Azul, agregando Violeta.

$$L: y = 32.75 + (0.62) 1 = 33.37$$

$$a: y = 0.95 + (0.04) 1 = 0.99$$

$$b: y = -31.83 + (-0.54) 1 = -32.37$$

Cuando se agregó color violeta al azul, el eje L se desplazó hacia el blanco (L=100); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados sólo se ajustó en el quinto punto (1%), los cuatro primeros puntos presentaron mucha variación.

Gráfica 3-11 Naranja, agregando Amarillo.

$$L: y = 56.66 + (-0.84) 1 = 55.82$$

$$a: y = 52.31 + (0.03) 1 = 52.34$$

$$b: y = 51.17 + (-0.84) 1 = 50.33$$

Cuando se agregó color amarillo al naranja, el eje L se desplazó hacia el blanco (L=100); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad clara. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-12 Naranja, agregando Azul.

$$L: y = 53.47 + (- 4.89) 1 = 48.58$$

$$a: y = 47.79 + (-12.64) 1 = 35.15$$

$$b: y = 46.24 + (- 8.81) 1 = 37.43$$

Cuando se agregó color azul al naranja, el eje L se desplazó hacia el negro (L=0); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el azul (-b),

obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-13 Naranja, agregando Rojo.

$$L: y = 56.68 + (-1.95) 1 = 54.73$$

$$a: y = 52.64 + (-0.09) 1 = 52.55$$

$$b: y = 52.54 + (-4.47) 1 = 48.07$$

Cuando se agregó color rojo al naranja, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad clara. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los cuatro últimos puntos.

Gráfica 3-14 Naranja, agregando Verde.

$$L: y = 54.68 + (- 4.00) 1 = 50.68$$

$$a: y = 49.43 + (-10.27) 1 = 39.16$$

$$b: y = 49.12 + (- 7.01) 1 = 42.11$$

Cuando se agregó color verde al naranja, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-15 Naranja, agregando Violeta.

$$L: y = 53.37 + (-3.11) 1 = 50.26$$

$$a: y = 49.00 + (-6.22) 1 = 42.78$$

$$b: y = 46.50 + (-5.04) 1 = 41.46$$

Cuando se agregó color violeta al naranja, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-16 Rojo, agregando Amarillo.

$$L: y = 41.27 + (0.43) 1 = 41.70$$

$$a: y = 51.27 + (0.62) 1 = 51.89$$

$$b: y = 24.49 + (0.98) 1 = 25.47$$

Cuando se agregó color amarillo al rojo, el eje L se desplazó hacia el blanco ($L=100$); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos, aunque éstos presentaron la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

Gráfica 3-17 Rojo, agregando Azul.

$$L: y = 40.55 + (-3.88) 1 = 36.67$$

$$a: y = 51.28 + (-14.11) 1 = 37.17$$

$$b: y = 26.50 + (-11.61) 1 = 14.89$$

Cuando se agregó color azul al rojo, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a todos los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-18 Rojo, agregando Naranja.

$$L: y = 41.29 + (-0.01) 1 = 41.28$$

$$a: y = 52.27 + (-1.29) 1 = 50.98$$

$$b: y = 27.08 + (-2.04) 1 = 25.04$$

Cuando se agregó color naranja al rojo, el eje L se desplazó hacia el blanco ($L=100$); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a los puntos.

Gráfica 3-19 Rojo, agregando Verde.

$$L: y = 40.75 + (-3.05) 1 = 37.70$$

$$a: y = 49.03 + (-7.23) 1 = 41.80$$

$$b: y = 23.66 + (-3.76) 1 = 19.90$$

Cuando se agregó color verde al rojo, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos

cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-20 Rojo, agregando Violeta.

$$L: y = 40.76 + (-2.18) 1 = 38.58$$

$$a: y = 50.06 + (-5.70) 1 = 44.36$$

$$b: y = 24.54 + (-4.27) 1 = 20.27$$

Cuando se agregó color violeta al rojo, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el verde ($-a$) y el eje b hacia el azul ($-b$), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-21 Verde, agregando Amarillo.

$$L: y = 47.24 + (0.77) 1 = 48.01$$

$$a: y = -49.36 + (-0.50) 1 = -49.86$$

$$b: y = 8.14 + (2.49) 1 = 10.63$$

Cuando se agregó color amarillo al verde, el eje L se desplazó hacia el blanco ($L=100$); el eje a hacia el rojo ($+a$) y el eje b hacia el amarillo ($+b$), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados sólo se ajustó al primer punto. Los cuatro puntos restantes sólo presentaron la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

Gráfica 3-22 Verde, agregando Azul.

$$L: y = 49.02 + (-3.32) 1 = 45.70$$

$$a: y = -51.42 + (3.37) 1 = -48.05$$

$$b: y = 8.12 + (-1.47) 1 = 6.65$$

Cuando se agregó color azul al verde, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el rojo ($+a$) y el eje b hacia el azul ($-b$), obteniéndose una tonalidad clara. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los cuatro últimos puntos, los cuales presentaron una tonalidad intensa. El primer punto presentó una tendencia hacia arriba lo cual indicó que al agregar 0.2% de color azul al verde, se presentó una tonalidad clara.

Gráfica 3-23 Verde, agregando Naranja.

$$L: y = 49.35 + (-7.19) 1 = 42.16$$

$$a: y = -52.19 + (13.24) 1 = -38.95$$

$$b: y = 8.52 + (-1.16) 1 = 7.36$$

Cuando se agregó color naranja al verde, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad intensa. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos, aunque los tres últimos puntos presentaron la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

Gráfica 3-24 Verde, agregando Rojo.

$$L: y = 46.03 + (-2.91) 1 = 43.12$$

$$a: y = -47.66 + (6.77) 1 = -40.89$$

$$b: y = 7.42 + (-2.78) 1 = 4.64$$

Cuando se agregó color rojo al verde, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-25 Verde, agregando Violeta.

$$L: y = 43.84 + (0.20) 1 = 44.04$$

$$a: y = -46.45 + (6.22) 1 = -40.23$$

$$b: y = 7.03 + (-4.37) 1 = 2.66$$

Cuando se agregó color violeta al verde, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad oscura. Se observó que la recta de mínimos cuadrados se ajustó a los puntos, es decir, existió una concordancia entre los datos experimentales y los calculados teóricamente.

Gráfica 3-26 Violeta, agregando Amarillo.

$$L: y = 27.57 + (-0.25) 1 = 27.32$$

$$a: y = 12.28 + (0.47) 1 = 12.75$$

$$b: y = -7.26 + (-0.57) 1 = -7.83$$

Cuando se agregó color amarillo al violeta, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos, aunque éstos presentaron casi la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

Gráfica 3-27 Violeta, agregando Azul.

$$L: y = 27.32 + (-0.02) 1 = 27.30$$

$$a: y = 12.75 + (0.79) 1 = 13.54$$

$$b: y = -7.96 + (-2.68) 1 = -10.64$$

Cuando se agregó color azul al violeta, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad intensa. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos, aunque los dos últimos puntos presentaron la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

Gráfica 3-28 Violeta, agregando Naranja.

$$L: y = 28.13 + (0.26) 1 = 28.39$$

$$a: y = 14.92 + (-0.44) 1 = 14.48$$

$$b: y = -12.06 + (0.89) 1 = -11.17$$

Cuando se agregó color naranja al violeta, el eje L se desplazó hacia el blanco ($L=100$); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el azul (-b), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos, y éstos tampoco presentaron la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

Gráfica 3-29 Violeta, agregando Rojo.

$$L: y = 27.50 + (0.59) 1 = 28.09$$

$$a: y = 13.48 + (0.69) 1 = 14.17$$

$$b: y = -9.55 + (-1.58) 1 = -11.13$$

Cuando se agregó color rojo al violeta, el eje L se desplazó hacia el blanco ($L=100$); el eje a hacia el rojo (+a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad brillante. Se observó que la recta de mínimos cuadrados sólo se ajustó al primer punto (0.2%). Los cuatro puntos restantes tampoco presentaron la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

Gráfica 3-30 Violeta, agregando Verde.

$$L: y = 27.76 + (0.02) 1 = 27.78$$

$$a: y = 13.67 + (0.38) 1 = 14.05$$

$$b: y = -9.80 + (-1.42) 1 = -11.22$$

Cuando se agregó color verde al violeta, el eje L se desplazó hacia el negro ($L=0$); el eje a hacia el verde (-a) y el eje b hacia el amarillo (+b), obteniéndose una tonalidad intensa. Se observó que la recta de mínimos cuadrados no se ajustó a ninguno de los puntos, aunque los tres últimos puntos presentaron la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

CAPÍTULO 4
CONCLUSIONES

Se dieron a conocer algunos aspectos importantes desde el punto de vista práctico de la Teoría del Color, mencionando la importancia de evaluar cuantitativamente y cualitativamente su impacto mediante el uso de aparatos de medición como es el espectrofotómetro.

El estudio que se desarrolló en esta tesis permitió conocer el comportamiento de cada color al ser agregado para formar una mezcla binaria, y se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1.1 Al agregar color amarillo el 80% de las mezclas binarias presentaron un desplazamiento sobre el eje L hacia el blanco ($L=100$); el 60% hacia el verde (-a), y el 100% hacia el amarillo (+b).

1.2 Al agregar color azul el 100% de las mezclas binarias presentaron un desplazamiento sobre el eje L hacia el negro ($L=0$); el 60% hacia el verde (-a), y el 80% hacia el azul (-b).

1.3 Al agregar color naranja el 60% de las mezclas binarias presentaron un desplazamiento sobre el eje L hacia el blanco ($L=100$); el 60% hacia el rojo (+a), y el 60% hacia el azul (-b).

1.4 Al agregar color rojo el 60% de las mezclas binarias presentaron un desplazamiento sobre el eje L hacia el negro ($L=0$); el 100% hacia el rojo (+a), y el 60% hacia el azul (-b).

1.5 Al agregar color verde el 80% de las mezclas binarias presentaron un desplazamiento sobre el eje L hacia el negro ($L=0$); el 80% hacia el verde (-a), y el 60% hacia el azul (-b).

1.6 Al agregar color violeta el 80% de las mezclas binarias presentaron un desplazamiento sobre el eje L hacia el negro ($L=0$); el 60% hacia el rojo (+a), y el 80% hacia el azul (-b).

De lo expuesto anteriormente, en resumen se establece que:

2.1 Los colores amarillo y naranja al ser agregados para formar una mezcla binaria, generan desplazamiento sobre el eje L hacia el blanco ($L=100$).

2.2 Los colores azul, rojo, verde y violeta al ser agregados para formar una mezcla binaria, generan desplazamiento sobre el eje L hacia el negro ($L=0$).

2.3 Los colores naranja, rojo y violeta al ser agregados para formar una mezcla binaria, generan desplazamiento sobre el eje a hacia el rojo (+a).

2.4 Los colores amarillo, azul y verde al ser agregados para formar una mezcla binaria, generan desplazamiento sobre el eje a hacia el verde (-a).

2.5 El color amarillo, es el único que al ser agregado para formar una mezcla binaria, genera desplazamiento sobre el eje b hacia el amarillo (+b).

2.6 Los colores azul, naranja, rojo, verde y violeta al ser agregados para formar una mezcla binaria, generan desplazamiento sobre el eje b hacia el azul (-b).

También es necesario hacer notar que los colores que más variaciones cromáticas presentaron en las lecturas de L, a, b, que registró el espectrofotómetro, Chromasensor ACS Modelo CS-5, fueron el azul y el violeta, aunque en la impresión de los diferentes porcentajes (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1) no se observe a simple vista. Lo cual nos sugiere poner extremo cuidado al trabajar con estos colores, sobre todo si se quiere hacer una igualación de color.

Para que un experimento sea confiable, éste debe ser reproducible y el estudio que se realizó es 100% reproducible y tiene un margen de exactitud del 64%, ya que sólo 11 de 30 gráficas no tuvieron concordancia con la regresión lineal que se estimó, pero sí presentan la misma tendencia que los datos calculados teóricamente.

Es importante recordar que ningún instrumento de ningún tipo puede dar resultados satisfactorios sin estandarización. Para la medición del color con espectrofotómetros debe tenerse especial cuidado para asegurar la exactitud de las escalas de longitud de onda y reflectancia o transmisión y para seleccionar y mantener el estándar de referencia blanco. Varios filtros y lozas reflejantes para verificar la estandarización están disponibles y deben utilizarse con regularidad.

Después de los estudios realizados con el espectrofotómetro, Chromasensor ACS Modelo CS-5, se observó que éste tiene un rango de variación mínima en su precisión de ± 0.10 y un rango de variación máxima de ± 0.13 , lo que se puede considerar como aceptable y por lo tanto las lecturas de L, a, b, obtenidas son confiables.

Una buena medida para mantener el espectrofotómetro en condiciones óptimas de trabajo es evitar que sea susceptible a movimientos bruscos, cambios de temperatura y humedad ya que estos factores contribuyen a que existan variaciones considerables en la precisión de las lecturas.

Debe hacerse hincapié en que los resultados de cualquier medición dependen totalmente de la muestra. La preparación adecuada de la muestra y las pruebas apropiadas para asegurarse de que la muestra es representativa deben realizarse con un alto índice de reproducción y ser adecuadas para la medición. Los instrumentos para la medición del color son excelentes; sin embargo, los puntos débiles de su aplicación son la preparación de las muestras y la interpretación fiel de los resultados de la medición.

En la actualidad, es común que la igualación de colores se realice visualmente por un técnico adiestrado, con varios años de experiencia en ello, sin embargo, esto no siempre es confiable. El método que se siguió permite una determinación más certera de las cantidades que son necesarias mezclar para la igualación de colores.

Cabe mencionar que este estudio está limitado a mezclas binarias, siendo necesario profundizar más en el estudio de mezclas ternarias y, posteriormente, mezclas cuaternarias.

Anexo

Equipo que se utilizó en el trabajo experimental:

-Aparato I.G.T. (Instituut Voor Grafische Techniek) Modelo AIC2-5 Tipo N de velocidad constante y rango de presión de 0 a 100 kg-fuerza o bien de 0 a 1000 N. Integrado de un dispositivo de entintado Tipo AE con 2 cilindros de acero y un rodillo de poliuretano y una rueda o disco de impresión de aluminio cubierto de goma de caucho rojo. País de origen: Holanda.

-Espectrofotómetro Chromasensor ACS (Applied Color System) Modelo CS-5 (Colorimeter/Spectrophotometer), con una fuente de luz formada de la combinación de una lámpara arco de xenon, simulando la luz de día, también conocida como D_{65} y una lámpara ultravioleta, que emite la luz ultravioleta del espectro. Estas dos fuentes de luz son usadas al mismo tiempo.

-Balanza Electrónica Digital Modelo 300, Marca OHAUS con capacidad de 300 g. y sensibilidad de 0.01 g.

-Balanza Analítica Modelo No. 414/10, Marca SAUTER con capacidad de 200 g. y sensibilidad de 1/10 mg.

Referencias Bibliográficas

◆ Artículos:

1. De Vries, H.L.
"The Quantum Character of Light and its Bearing upon Threshold of Vision, the Differential Sensitivity and Visual Acuity of the Eye". *Physica*. 1943, 10:553-564.
2. MacAdam, D. L.
"Specification of Small Chromaticity Differences". *J. Opt. Soc. Am.* 1943, 33:18-26.
3. Pitt, F.H.G.
"The Nature of Normal Trichromatic and Dichromatic Vision". *Proc. Roy. Soc.* 1944, 132:101-106.
4. Rose, A.
"The Sensitivity Performance of the Human Eye on an Absolute Scale". *J. Opt. Soc. Am.* 1948, 38:196-208.
5. Middleton, W.E., Mayo, E.G.
"The Appearance of Colors in Twilight". *J. Opt. Soc. Am.* 1951, 42(1): 116-121.
6. Hurvich, L.M., Jameson, D.
"Some Quantitative Aspects of an Opponent-Colors Theory II. Brightness, Saturation and Hue in Normal and Dichromatic Vision". *J. Opt. Soc. Am.* 1955, 45(2):602-616.
7. Brindley, G.S.
"A Photochemical Reaction in the Human Retina". *Proc. Phys. Soc.* 1955, 68:862-866.
8. Boynton, R.M.
"Rapid Chromatic Adaptation and the Sensitivity Functions of Human Color Vision". *J. Opt. Soc. Am.* 1956, 46(3):172-179.

9. MacAdam, D.L.
"Chromatic Adaptation". *J. Opt. Soc. Am.* 1956, 46(7):500-513.
10. Burnham, R.W., Evans, R.M., Newhall, S.M.
"Prediction of Color Appearance with Different Adaptation Illuminations". *J. Opt. Soc. Am.* 1957, 47(1):35-42.
11. Hurvich, L.M., Jameson, D.
"An Opponent-Process Theory of Color Vision". *Psychol Rev.* 1957, 64:384-404.
12. Walraren, P.L., Bouman, M. A.
"Relation Between Directional Sensitivity and Spectral Response Curves in Human Cone Vision". *J. Opt. Soc. Am.* 1960, 50(7):780-785.
13. Boynton, R.M.
"Theory of Color Vision". *J. Opt. Soc. Am.* 1960, 50(8):929-944.
14. Harte, R.A.
"Receptor Elements of the Human Retina as Semiconductors". *J. Opt. Soc. Am.* 1961, 51(10):1275-1279.
15. Boynton, R.M.
"Trichromatic Analysis of the Munsell Book of Color". *J. Opt. Soc. Am.* 1963, 238-239.
16. MacAdam, D.L.
"Nonlinear Relations of Psychometric Scale Values to Chromaticity Differences". *J. Opt. Soc. Am.* 1963, 53(6):754-757.
17. MacAdam, D.L.
"Chromatic Adaptation. II. Nonlinear Hypothesis". *J. Opt. Soc. Am.* 1963, 53(12):1441-1445.
18. MacAdam, D.L.
"Color Science and Color Photography". *Phys. Today.* 1967, 20(1): 27-39.

19. MacAdam, D.L.
"Linear-Programming Approach to Color-Recipe Formulations". *J. Opt. Soc. Am.* 1974, 64(11):1541-1548.
20. MacAdam, D.L.
"Uniform Color Scales". *J. Opt. Soc. Am.* 1974, 64(12):1691-1702.
21. Styne, F.
"Color and Appearance-Bridging the Gap from Concept to Products". *Color Res. Appl.* 1976, 1:79-86.
22. Gordon, J., Abramov, I.
"Color Vision in the Peripheral Retina II. Hue and Saturation". *J. Opt. Soc. Am.* 1977, 67(1):202-207.
23. MacAdam, D.L.
"Colorimetric Data for Samples of OSA Uniform Color Scales". *J. Opt. Soc. Am.* 1978, 68(1):121-130.
24. Ramachandran, V.S., Gregory, R.L.
"Does Colour provide an Input to Human Motion Perception". *Nature* 1978, 275:55-56.
25. Young, T.
"On the Theory of Light and Colours". *Roy. Soc.* 1982, 12-48.
26. MacAdam, D.L., Man T.M.
"Three-Dimensional Scaling of the Uniform Color Scales of the Optical Society of America". *J. Opt. Soc. Am.* 1989, 6(1):128-138.
27. Parkkinen, J.P.S., Hallikainen, J., Jaaskelainen, T.
"Characteristic Spectra of Munsell Colors". *J. Opt. Soc. Am.* 1989, 6(2):318-322.
28. Gorea, A., Papathomas, T. V.
"Motion Processing by Chromatic and Achromatic Visual Pathways". *J. Opt. Soc. Am.* 1989, 6(4):590-602.

29. MacAdam, D.L.
"Redetermination of Colors for Uniform Scales". *J. Opt. Soc. Am.* 1990, 7(1):113-115.
30. Mouroulis, P., Gyukim, T., Zhao, G.
"Transverse Color Tolerances for Visual Optical Systems". *Applied Optics*. 1993, 32-34.
31. Hawken, M.J., Gegenfurtner, K.R.,
"Contrast Dependence of Colour and Illuminance Motion Mechanisms in Human Vision". *J. Opt. Soc. Am.* 1994, 367(20):268-270.

◆ Libros:

32. Beaumont, M.
"Type & Colour". Madrid. 1985.
33. Billmeyer, W., Saltzamn, M.
"Principles of Color Technology Intersciencia". New York. 1966.
34. Colour Index U.S.A. Society of Dyers and Colourists. 1982.
35. Evans, R. M.
"Eye, Film and Camera in Color Photography". New York, John Wiley & Sons, Inc. 1990.
36. Gleibler, G.
"El Origen del Color". Impreso en Alemania, Marketing Pigmente. 1986.
37. Hunter, R.
"The Measurement of Appearance". John Wiley & Sons, Inc. 1975.
38. Lushex, M.
"La Psicología del Color". Ed. Argentina. 1976.

39. Matas, A., Villegas, L.
"Tecnología de Pinturas y Recubrimientos Orgánicos". Ed. Química.
1975.
40. Minnaert, M.
"The Nature of Light and Colour in the Open Air". New York, Dover
Publications Inc. 1984.
41. Munsell Book of Color. Matte Finish Collection. Baltimore, 1976.
42. Programa Técnico para la Industria de Pinturas, Lacas, Tintas y
Plásticos. Hoechst. Marketing Pigmente.
43. Rousseau, P.
"La Luz". Ed. El Ateneo. 1978.
44. Technical Manual of the American Association of Textile Chemists
and Colorists. 1968, 44.
45. Webber, T.
"Coloring of Plastics". John Wiley & Sons, Inc. 1979.
46. Willard, H., Hobart, & Col.
"Métodos Instrumentales de Análisis". México, D.F. Ed. Continental.
1981.
47. Yalú, Pardo, G.
"Colorantes I Apuntes". México, D.F. Ed. E.S.I.T. 1990.

◆ **Revistas:**

48. Artes Gráficas. Revista Mensual para la Industria Gráfica en Toda
América Latina. 1995, 29(9):30-36.
49. Artes Gráficas. Revista Mensual para la Industria Gráfica en Toda
América Latina. 1995, 29(10):14-18,24-28,34-35.

50. Artes Gráficas. Revista Mensual para la Industria Gráfica en Toda América Latina. 1995, 29(12).
51. Artes Gráficas. Revista Mensual para la Industria Gráfica en Toda América Latina. 1996, 30(1):26-35, 55-56, 76-79.
52. Artes Gráficas. Revista Mensual para la Industria Gráfica en Toda América Latina. 1996, 30(2):12-16, 40-41.
53. Artes Gráficas. Revista Mensual para la Industria Gráfica en Toda América Latina. 1996, 30(3):22, 42-44.
54. Artes Gráficas. Revista Mensual para la Industria Gráfica en Toda América Latina. 1996, 30(4):16-19, 33, 36-38.

Q.F.B.
1990-1994