UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE BELLAS ARTES
DEPARTAMENTO DE PINTURA

TESIS DOCTORAL

EL COLOR Y SU EXPRESION PLASTICA: ESTUDIO DE LA MEZCLA DE PINTURAS ACRILICAS DE FORMA CUBRIENTE Y HOMOGENEA

VOLUMEN I

ELOISA JIMENEZ MARTIN

UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE BELLAS ARTES
DEPARTAMENTO DE PINTURA

EL COLOR Y SU EXPRESION PLASTICA: ESTUDIO DE LA MEZCLA DE PINTURAS ACRILICAS DE FORMA CUBRIENTE Y HOMOGENEA

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
GRANADA
Nº Documento 304657
Nº Copia 304658

TESIS DOCTORAL

ELOISA JIMENEZ MARTIN

FACULTAD DE BELLAS ARTES
BIBLIOTECA
Sala TBA
Estante JIM
Número col

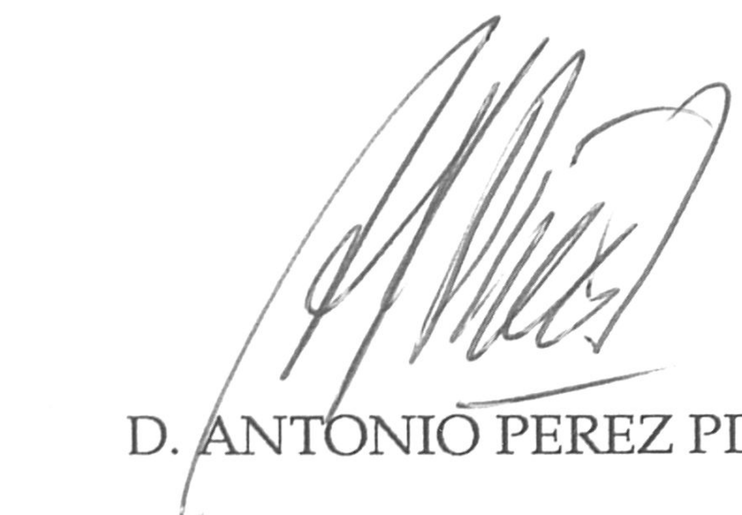
UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE BELLAS ARTES
ENTRADA
NUM. 633

- TOMO I -

EL COLOR Y SU EXPRESION PLASTICA:
ESTUDIO DE LA MEZCLA DE PINTURAS ACRILICAS
DE FORMA CUBRIENTE Y HOMOGENEA

Visado en Granada a 16 Mayo de 1994

LOS DIRECTORES DE LA MEMORIA



D. ANTONIO PEREZ PINEDA

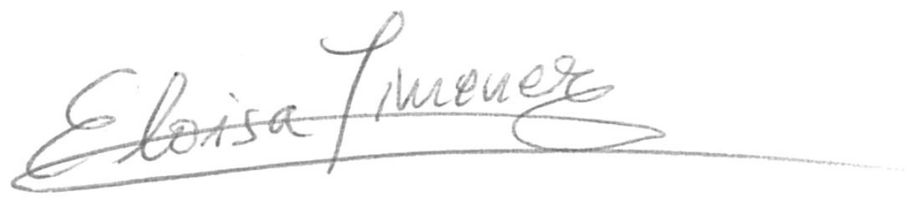
Catedrático de Pintura

D. FRANCISCO JAVIER ROMERO MORA

Catedrático de Optica

Memoria presentada para aspirar al grado de

DOCTOR EN BELLAS ARTES



ELOISA JIMENEZ MARTIN

Licenciada en Bellas Artes

(Especialidad de Pintura)

A mis hijas : Fátima y Eloisa

Antes de comentar la labor realizada quisiera expresar mi agradecimiento a todas las personas que han contribuido a que esta memoria pudiera llevarse a cabo.

En primer lugar, agradecer a los directores de tesis, Dr. Antonio Pérez Pineda y Dr. Francisco Javier Romero Mora, la fe depositada en mi. Haber aceptado, guiado y corregido con esmero, este trabajo interdisciplinar.

Mi agradecimiento y mi más considerada estima al Profesor, Catedrático y Director del Departamento de Optica, Dr. Enrique Hita Villaverde. Persona ejemplar y de gran sensibilidad, no sólo en cuanto a calidad humana se refiere, sino también en cuanto a sensibilidad artística. Persona por naturaleza inquieta y renovadora preocupada por las verdaderas raices y necesidades de la Universidad. Gracias a su apoyo, conseguí la Comisión de Servicio para impartir clases de Dibujo y Diseño en la Diplomatura de Optica (en la actualidad Diplomatura de Optica - Optometría) y por lo tanto, pertenecer al Departamento de Optica, en el cual he pasado tres años de intenso trabajo llenos de ilusión e ideas renovadoras en un ambiente de amistad más que de compañerismo.

Agradezco a todo el profesorado del Departamento de Optica su ayuda durante estos tres años, que en todo momento han sido generosos y han tenido un comportamiento de amistad no sólo conmigo sino entre sí; digno de mencionar como ejemplo dentro de la labor investigadora de la Universidad. Gracias : Luis Jiménez del Barco, Manuel Melgosa, José Antonio García, Manuel Rubiño, José Ramón Jiménez, Juan Luis Nieves, Ana Yebra, Francisco Pérez, etc. Y un agradecimiento muy especial para mis compañeros de labor investigadora Mª del Mar Pérez, quién me ha enseñado, a través del trabajo que hemos realizado conjuntamente, el uso del color en la mezcla aditiva; y agradecer a Antonio

García Beltrán, su paciencia en la espera para las muestras y su ayuda en la interpretación de las curvas de reflectancia espectral de dichas muestras.

Por último agradecer a Crisanto Porcel Martín, mi marido, su paciencia en la corrección de erratas, ayuda moral y compañía en todo momento.

- INDICE -

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I. LA LUZ COMO ESTIMULO DEL COLOR

1 LA LUZ 1

1.1 TEORIA ONDULATORIA 1

1.2 TEORIA CUANTICA 7

2 PROPIEDADES DE LA LUZ 9

2.1 REFLEXION Y REFRACCION 9

2.2 DIFRACCION E INTERFERENCIAS 13

3 FUENTES LUMINOSAS Y OBJETOS 17

3.1 FUENTES PRIMARIAS 17

3.2 OBJETOS 19

4 FOTOMETRIA 28

4.1 CURVA DE SENSIBILIDAD ESPECTRAL DE OJO 29

4.2 MAGNITUDES FOTOMETRICAS 31

4.3 UMBRAL ABSOLUTO Y DIFERENCIAL 34

5 COLORIMETRIA 35

5.1 MEZCLA DE LUCES . LEYES DE GRASSMANN 38

5.2 ECUACIONES TRICROMATICAS 40

5.3 SISTEMAS DE ESPECIFICACION DEL COLOR 42

A. TRIANGULO DE MAXWEL 42

B. TRIANGULO RGB 47

C. DIAGRAMA CROMATICO XYZ CIE 1931 48

D. DIAGRAMA CIE LUV. 55
E. DIAGRAMA CIE LAB. 57
5.4 COLORIMETRIA DIFERENCIAL.
DISCRIMINACION DEL COLOR 60
NOTAS BIBLIOGRAFICAS

CAPITULO II. VISION Y PERCEPCION DEL COLOR

1. ANATOMIA DEL OJO 66
1.1 EL GLOBO OCULAR 66
A. MEMBRANAS DE CUBIERTA 66
B. EL CONTENIDO 68
1.2 VIAS OPTICAS 70
1.3 ORGANOS ANEJOS 70
2 LA RETINA 72
2.1 FOTORRECEPTORES 75
2.2 PIGMENTOS VISUALES 77
3 TRANSPORTE DEL IMPULSO NERVIOSO 81
3.1 TRANSPORTE INTRARRETINIANO 84
3.2 TRANSPORTE POR LAS VIAS OPTICAS
AL CEREBRO 86
4 TEORIAS DE LA PERCEPCION DEL COLOR 96
4.1 TEORIA TRICROMATICA O DE YOUNG-HELMHOLTZ . . . 96
4.2 TEORIA DE COLORES OPONENTES O DE HERING 98
4.3 MODELOS ZONALES 100

A . TEORIA DE MULLER Y
MODELO MATEMATICO DE JUDD 100
B . MODELO DE HURVICH Y JAMESON 101
C . MODELOS ACTUALES 105
5 ANOMALIAS EN VISION DEL COLOR 108
5.1 SISTEMAS DE DETECCION 112
5.2 EXPLICACION DE LAS ANOMALIAS 113
6 EFECTOS PSICOLOGICOS DE LA PERCEPCION DEL COLOR
6.1. MEMORIA VISUAL 115
6.2. ADAPTACION DEL ORGANO VISUAL AL COLOR 117
A. LA CONSTANCIA DEL COLOR 118
B. EL FENOMENO LAND 119
C. EFECTO ABNEY Y BEZOLD-BRUCKE 121
D. LAS BANDAS DE MACH 123
E. INDUCCION DEL COLOR 126
1. CONTRASTE SUCESIVO 126
2. CONTRASTE SIMULTANEO 128
6.3. LA TRANSPARENCIA PERCEPTIVA 131
6.4. COLORES CALIDOS Y FRIOS 138
NOTAS BIBLIOGRAFICAS

- CAPITULO III - MEZCLAS Y REPRESENTACION DEL COLOR

INTRODUCCION 143
1.- DIMENSIONES DEL COLOR 146

2.- COLORES PRIMARIOS Y COLORES ELEMENTALES 148
3.- COLORES COMPLEMENTARIOS 151
4.- SISTEMAS DE MEZCLAS DEL COLOR: 152
4.1.- MEZCLA ADITIVA 152
4.2.- MEZCLA SUBSTRACTIVA 155
A TRANSPARENCIAS 155
B CUBRIENTES U OPACAS 159
4.3.- MEZCLA PARTITIVA 161
5.- SISTEMAS DE REPRESENTACION DEL COLOR 167
5.1.- BIDIMENSIONAL 168
5.2.- TRIDIMENSIONAL: 174
A. ESFERA DE OTTO RUNGE 176
B. EL DOBLE CONO DE OSTWALD 177
C. EL CUBO DE HICKETHIER 180
D. EL ROMBOEDRO DE HAROLD KUPPERS 184
E. SOLIDO IRREGULAR MUNSELL 191
F. S. ALEMAN O DIN 6164 DE RICHTER 197
G. N.C.S. SWEDISH NATURAL COLOR SYSTEM 199
H. OCTAEDRO-CUBICO.G. WYSKECKI
Y ESPACIO O.S.A. 202
NOTAS BIBLIOGRAFICAS

- CAPITULO IV.- ESTUDIO DE LA MEZCLA DE PINTURAS ACRILICAS DE FORMA CUBRIENTE Y HOMOGENEA

1.- BASES PRELIMINARES 206

2.- METODOLOGIA EMPLEADA 208

3.- MATERIALES Y CARACTERISTICAS TECNICAS 212

3.1 PINTURAS . ACRILICAS 212

A. PIGMENTOS 217

3.2 SOPORTE : PAPELES 223

3.3 PINCELES 225

A. CONCLUSIONES SOBRE EL USO

DE LOS PINCELES 227

3.4 GROSOR DE LAS CAPAS DE LAS MUESTRAS 229

3.5 NOMENCLATURA O CODIGO 233

3.6 CARACTERISTICAS DEL ESPECTROFOTOMETRO 236

4.- FASES Y DESARROLLO 240

4.1 COLORES BASICOS UTILIZADOS Y CURVAS DE

REFLECTANCIA ESPECTRAL CORESPONDIENTES 247

4.2. MEZCLA DE COLORES CON BLANCO Y NEGRO 258

A. MEZCLA DE BLANCO Y NEGRO 258

B. MEZCLA DE COLORES CON BLANCO 259

C. MEZCLA DE COLORES CON NEGRO 270

4.3 MEZCLA DE COLORES PRIMARIOS:

A. ROJOS Y AMARILLOS 278

B. AZULES Y ROJOS 281

C. AMARILLOS Y AZULES 286
4.4 MEZCLA DE COLORES COMPLEMENTARIOS : 294
A. AMARILLOS CON VIOLETAS 295
B. AZULES CON NARANJAS 301
C. ROJOS-PURPURAS CON VERDES 307
4.5 MEZCLA DE COLORES SECUNDARIOS : 312
4.6 MEZCLA DE COLORES CON GRIS 321
4.7. MEZCLA DE COLORES TERCIARIOS 324
NOTAS BIBLIOGRAFICAS

- CAPITULO V.- CONCLUSIONES 328
- CAPITULO VI.- BIBLIOGRAFIA 337
INDICE DE LAMINAS (TOMO II.OBRA GRAFICA).
INDICE DE DIAPOSITIVAS (TOMO II. OBRA GRAFICA).

INTRODUCCION

Mi interés por ampliar conocimientos sobre las diferentes áreas que confluyen en el tema del color, distintos a los usados normalmente en el campo artístico - mezcla de pigmentos-, se hizo patente en 1986, cuando presenté la Memoria de Licenciatura, titulada : " El Color: desde su naturaleza física y apreciación fisiológica, a su expresión psicológica y plástica ". En ella estudié el color desde :

- su aspecto físico (la luz como estímulo luminoso).

- su aspecto fisiológico (anatomía y funcionamiento del órgano visual, la recepción del estímulo luminoso y su posterior transmisión y codificación en el cerebro).

- su aspecto psicológico (relación de la percepción visual del color con otras sensaciones y percepciones del individuo).

- su aspecto plástico (sistemas de mezcla y de representación del color).

Esta introducción en estos campos, en vez de dejar satisfecha mi curiosidad y ampliar conocimientos, me produjeron mayor incertidumbre, más preguntas y mayores deseos de continuar con la investigación.

Las teorías y conceptos que utilizamos los artistas son diferentes a los utilizados en el campo del científico - físicos o psicólogos. Hay cierta confusión en los términos lingüísticos, y demasiada separación y desconocimiento de como se aborda el problema del color en los demás campos. La especialización de cada área de conocimiento produce

verdades parciales o de laboratorio que no pueden dar una respuesta satisfactoria cuando se sitúan en un ambiente normal o ecológico - si tenemos en cuenta las corrientes de la percepción más modernas. Si hay algún campo que no permita verse de forma aislada dentro de nuestras percepciones, este es el color. En la tesina me di cuenta que para avanzar en el campo el color, es necesario ahondar, aislando muy bien el problema que se quiera estudiar, pero partiendo y teniendo siempre en consideración, los demás campos que intervienen en este tema.

A lo largo de estos años, tanto mi labor en el campo artístico como en el campo teórico, ha estado destinada a un mayor conocimiento del color y la expresión plástica.

Pero la labor investigadora que constituye esta memoria viene dada por el planteamiento que en el año 1991, el Profesor Dr. F. Javier Romero Mora me cuestionó. La posibilidad de realizar sobre 2.500 muestras de distintos colores que estuvieran repartidas por todo el espacio cromático y que tuvieran unas dimensiones determinadas y presentaran un aspecto homogéneo cromáticamente. Este trabajo era esencial y necesario para realizar un Proyecto de Investigación - " Modelos de reflectancia espectral y reconocimiento e identificación"- solicitado a la CICYT, del Misnisterio de Educación y Ciencia. Este proyecto estaba destinado a la simulación de Visión Artificial del Color, y necesitaba una base de datos de colores - objeto , medidos por reflectancia espectral mediante un dispositivo llamado espectrofotómetro. Aunque la labor era ardua, iba a permitir realizar una función en distintos campos. El color de un objeto viene dado por la reflectancia espectral (composición espectral de la luz reflejada por

el objeto),la emisión espectral de la fuente que lo ilumina, y del entorno o contexto en el cual es percibido, según las últimas teorías de la percepción visual de un color, Teorías de los Gibson. ¡ Qué estudio podía resultar mejor sobre el color, su mezcla y percepción que uno en el que podamos saber el origen de los colores mezclados, su composición espectral y su percepción !. La idea era interesante y me permitía realizar la mezcla de colores basándome en un estudio donde, dejando fijas unas condiciones - homogeneidad, fácilidad en la reproducción, tamaño, localización de la procedencia del color y nomenclatura -, pudiéramos obtener un mayor concimiento de:

1º.- La mezcla de pinturas: extensión del espacio cromático o posibilidades de mezcla, características de las gamas dependiendo de los colores de partida, poder colorante, posibilidad de utilizar los colores de forma cubriente y homogénea para grandes extensiones, etc. Realizar un Atlas de color, en el que predomine la visualización de los distintos colores mezclados según las zonas establecidas de antemano: colores primarios, colores complementarios, colores secundarios. Escoger colores que puedan representar a todo el espacio cromático.

2º.- Se podrían estudiar otras características colorimétricas como la representación de las mezclas de pinturas (mezcla substractiva) y relacionarla con la mezclas de luces (mezcla aditiva). Dado que tenemos los datos necesarios para localizar la situación de cada color en los Sistemas de Especificación del color : CIE -1931, CIELUV, y CIELAB.

3º.- Al tener las curvas de reflectancia espectral y datos colorimétricos de cada uno de los colores, se puede realizar un estudio exahustivo, en el

cual se puede relacionar : la composición espectral del color, su percepción visual y la teoría de las mezclas de pigmentos. El estudio de estas características, por personas especializadas en cada uno de los campos, nos puede dar avances en la posible interpretación de como funciona el sistema humano de percepción del color. En general, los instrumentos físicos de medida del color, no poseen detectores de radiación luminosa de igual sensibilidad espectral que el sistema visual humano, lo que precisa una corrección mediante filtros o software para que la medida sea correcta. El instrumento utilizado, en este caso, presenta una curva de sensibilidad constante para todas las longitudes de onda del espectro y poca sensibilidad para bajas luminancias, cuando el sistema visual humano aún percibe diferencias de color. Estos diferentes comportamientos y su estudio puede darnos alguna luz para determinar nuestras caraccterísticas perceptivas.

Todas estas ideas son muy interesantes y necesitarían de especialistas en cada campo para poder resolverlos. Teniendo en cuenta que mi especialidad es la Pintura, el trabajo de investigación presentado queda determinado y especifica el primer punto.

Resumiendo, este trabajo consta de dos partes:

1ª.- Realización de un Atlas de la Mezcla de Pinturas Acrílicas (Vallejo) de forma Cubriente y Homogénea. Está formado por 3.000 ejemplares de dimensiones 4 X 4 cm, una en papel Geler Normal (textura lisa) y otra en papel Acuarela (textura rugosa). Es interesante indicar que no se trata de un único ejemplar, se puede disponer de seis originales.

2ª.- Una parte teórica, la memoria. Dividida en cuatro capítulos, constituyendo todos una base teórica, necesaria e imprescindible para comprender el trabajo en sí. Un primer capítulo que trata del aspecto físico de la luz como estímulo visual. Presenta los Sistemas de Especificación de un color y la Colorimetría Diferencial, como un gran avance para poder reproducir un color y tratarlo de forma industrial. Un segundo capítulo, Visión y Percepción del color, en el cual se expone y amplían conceptos estudiados en la tesina sobre el transporte y codificación de las señales luminosas hasta el cerebro, modelos y teorías actuales de la percepción del color, anomalías en la percepción del color, y por último efectos psicológicos de la percepción del color: la constancia, memoria visual, inducción del color, la transparencia perceptiva, etc. Un tercer capítulo, Mezclas y Representación del color, donde se establecen las bases para un lenguaje común, los tipos de mezcla más significativos, y los distintos Atlas o Sistemas de Ordenación del color, tanto bidimensional (de uso en el campo artístico) como tridimensioanl (de uso en el campo industrial). El cuarto capítulo, Estudio de la mezcla de pinturas Acrílicas de forma cubriente y homogénea; donde se especifica de forma más clara y detallada los planteamientos preliminares, la metodología empleada, los materiales, características técnicas, y las fases y desarrollo del trabajo. Las conclusiones están organizadas dentro de cada grupo o apartado de las fases y desarrollo de las mezclas con el fin de no repetir ideas y que la lectura fuera más ligera. El esquema planteado en las fases y desarrollo ha sido , por lo tanto, siempre el mismo:

- Un círculo cromático con las zonas o colores mezclados.

- Una tabla que presenta los colores mezclados según el orden establecido en el atlas.

- Las características y conclusiones más significativas de cada apartado en concreto.

Todos hacen referencia a una diapositiva, ya que el original, como es natural, no se puede adjuntar a cada texto de la memoria.

He escogido la diapositiva para la representación de los colores por los siguientes conceptos:

- 1º.- Mayor calidad en la reproducción.

- 2º.- Menor precio, y densidad de la obra, que permite mostrar todas las gamas. Si hubiese escogido la fotocopia como medio de reproducción en color, solo sería posible representar dieciseis colores en cada formato DIN A 4. Así con la diapositiva con sólo 16 diapositivas se representan todos los colores. La proyección permite ver el color más o menos al tamaño original. Algunas diapositivas corresponden a tres formatos DIN A 0 (una dimensión de 100 X 210 cm).

- 3º.- Permite utilizarla para una labor docente.

Las demás ilustraciones en color, están formadas por fotografías o colores pegados, dependiendo del método que permitiera una mejor comprensión del concepto a expresar o representar.

La bibliografía de las citas utilizadas están situadas detrás de cada capítulo.

El último capítulo y de acuerdo a la normativa establecida para estos trabajos de investigación, está formado por unas hojas donde se expresan las conclusiones más generales del trabajo original realizado.

Después de éste se situan las láminas de forma ordenada según el número de aparición en los distintos capítulos.

Después de las láminas van las diapositivas con su indice correspondiente.

Para una mejor lectura, se ha encuadernado el trabajo en dos tomos: el primero, los cuatro capítulos y las conclusiones; y el segundo, las láminas y diapositivas.

- CAPITULO I -

LA LUZ COMO ESTIMULO DEL COLOR

" La Comisión Internacional de Iluminación - C.I.E.- ha definido el color como el aspecto de la percepción visual por el que un individuo puede distinguir dos objetos de la misma talla, forma y estructura por la diferencia causada en las descomposiciones espectrales de las radiaciones luminosas."

E. Hita. La visión del Color y sus Anomalías. p. 42.

1. LA LUZ

En todo el proceso de la percepción del color hay un elemento del cual se parte y cuyas características hacen que dicha percepción se vea modificada; este elemento es el estímulo luminoso. La luz es la energía radiante capaz de estimular la retina, es decir, las células fotosensibles del órgano visual. Una vez que estas células han sido estimuladas, crean una respuesta eléctrica, de forma que pasan a ser otro tipo de energía, la cual sigue procesando el estímulo luminoso hasta convertirse en sensación o percepción de color.

En la actualidad, se admite dos modelos generales para explicar la naturaleza de la luz: el ondulatorio y el cuántico. Este segundo, entendido como un modelo corpuscular de la luz, no debe confundirse con el modelo corpuscular elaborado por Newton. Se emplea un modelo u otro dependiendo del fenómeno luminoso que se trate de explicar. Así, la luz se comporta como onda en su propagación, y como corpúsculo en su emisión e interacción con la materia. Veamos ambas teorías.

1.1- TEORIA ONDULATORIA

Una de las formas de propagarse la energía es mediante ondas. *Una onda es una perturbación que se origina a partir de un estado de equilibrio y que se propaga a través del espacio sin transporte de materia* [1]. Un ejemplo sencillo son las ondas producidas en un estanque de aguas tranquilas al arrojar una piedra. Una perturbación localizada - movimiento del agua al

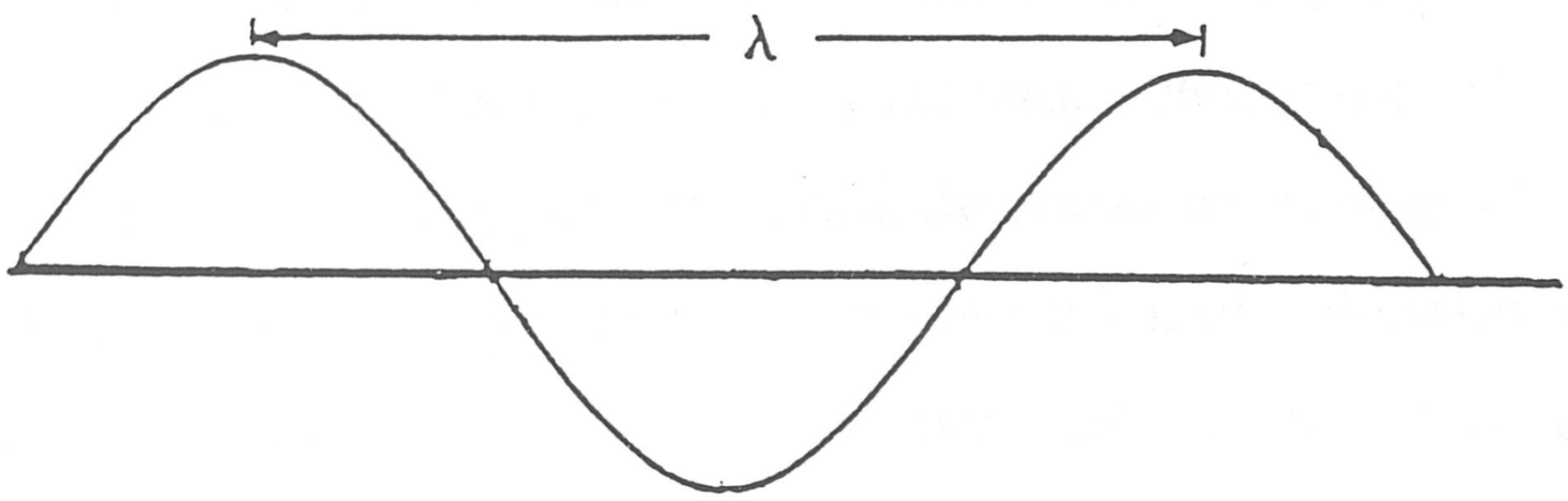
entrar la piedra - rompe el equilibrio existente, produciendo la onda al transmitirse la perturbación al resto de la superficie del agua. El movimiento de la onda es horizontal en todas las direcciones y las partículas del agua se desplazan verticalmente de forma repetitiva, produciendo lo que se llaman crestas y valles.

Este movimiento ondulatorio es doblemente periódico:

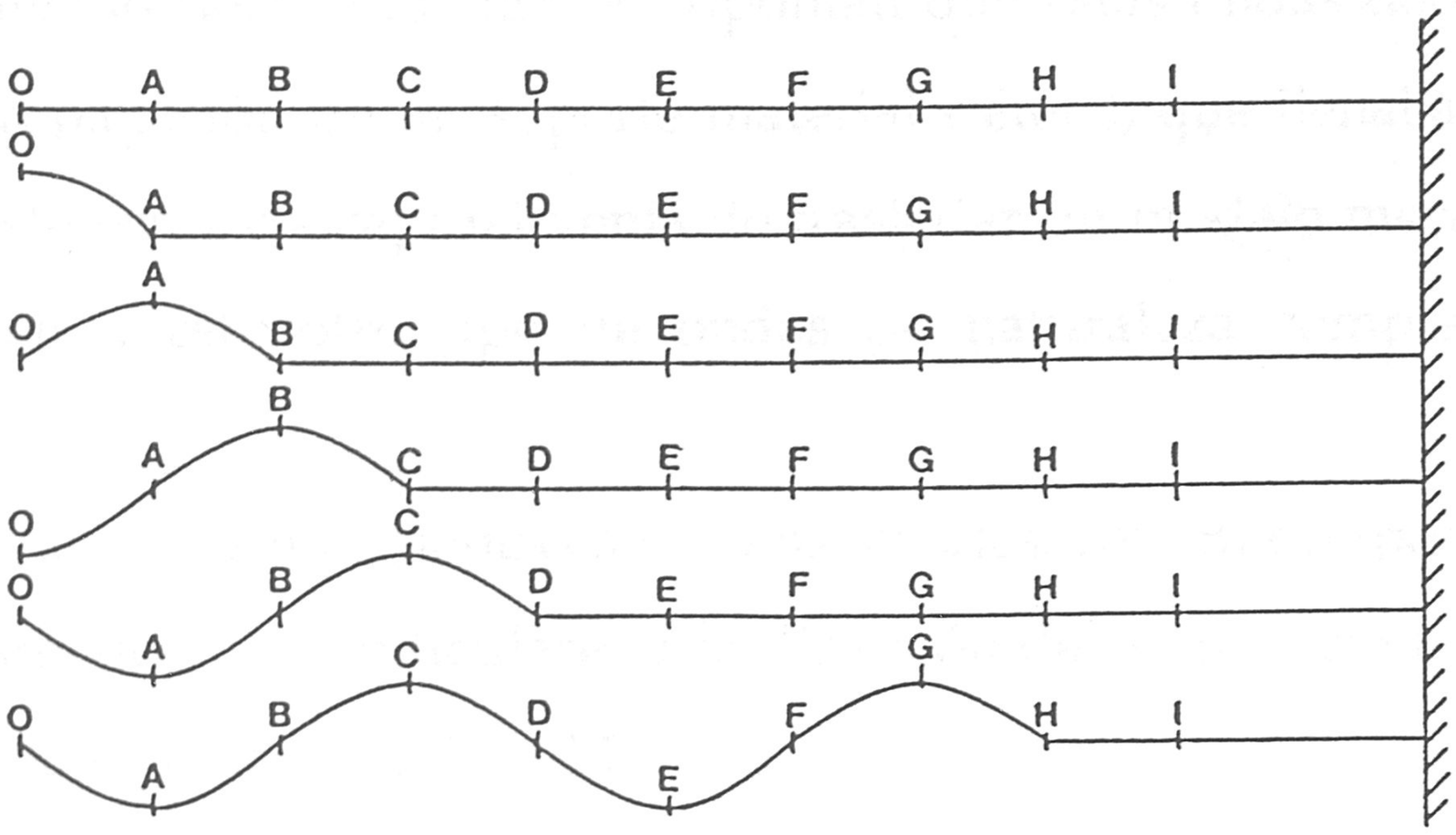
a) en el tiempo : Cualquier punto posee una elongación (distancia al punto de equilibrio) que se repite cíclicamente. El tiempo que tarda en dar una oscilación completa se llama periodo. Lo simbolizamos con la letra T. Para indicar la periodicidad en el tiempo también se usa la frecuencia, f , o inversa del periodo, que indica el número de oscilaciones por segundo.

b) en el espacio: Existe una serie de puntos en los que se repite la elongación, o amplitud en un instante determinado. La distancia que los separa se llama longitud de onda y la simbolizamos por la letra griega λ. En las siguientes gráficas (I.1) podemos ver una onda (I.1a)y su propagación(I.1b).

Gráfica I.1a



Gráfica I.1b



La velocidad de propagación de la onda vendrá dada por la ecuación: $v = \lambda / T$ o $v = \lambda f$ donde " f " es la frecuencia,inversa del periodo, puesto que la longitud de onda es la distancia recorrida por la onda mientras un punto da una oscilación completa.

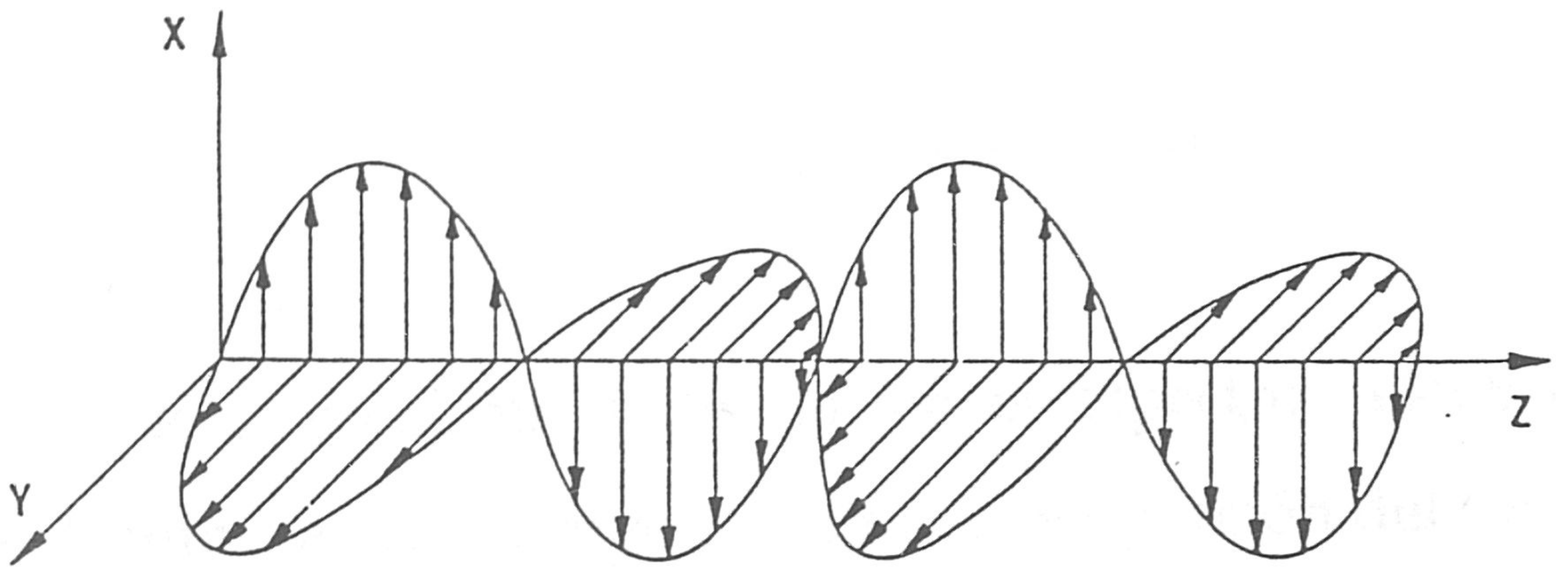
Cuando la perturbación posee la misma dirección que la propagación de la onda, ésta se llama longitudinal, y si posee dirección perpendicular a la propagación se llama transversal. Ejemplo de las primeras es el sonido y de las transversales son las olas y las ondas eletromagnéticas.

La energía radiante se propaga en forma de ondas eletromagnéticas,en las cuales la perturbación que se transmite es un campo eléctrico y otro magnético y no una perturbación elástica del medio. Las ondas electromagnéticas no necesitan de ningún soporte material para su

propagación, pudiendo hacerlo en ausencia total de materia (vacío). Durante mucho tiempo los físicos suponían que estas ondas necesitaban para su propagación de un soporte material (éter), que llenaba todo el espacio. Este error conceptual venía de trasladar un modelo mecánico de propagación a este otro tipo de ondas de naturaleza completamente distinta.

Estas ondas electromagnéticas son transversales, con un campo eléctrico y otro magnético perpendiculares a la dirección de propagación, como se aprecia en la siguiente gráfica (I.2).

Gráfica (I.2)



La velocidad en el vacío o en el aire de todas las ondas eletromagnéticas es de 300.000 km/sg y se simboliza por la letra "c".

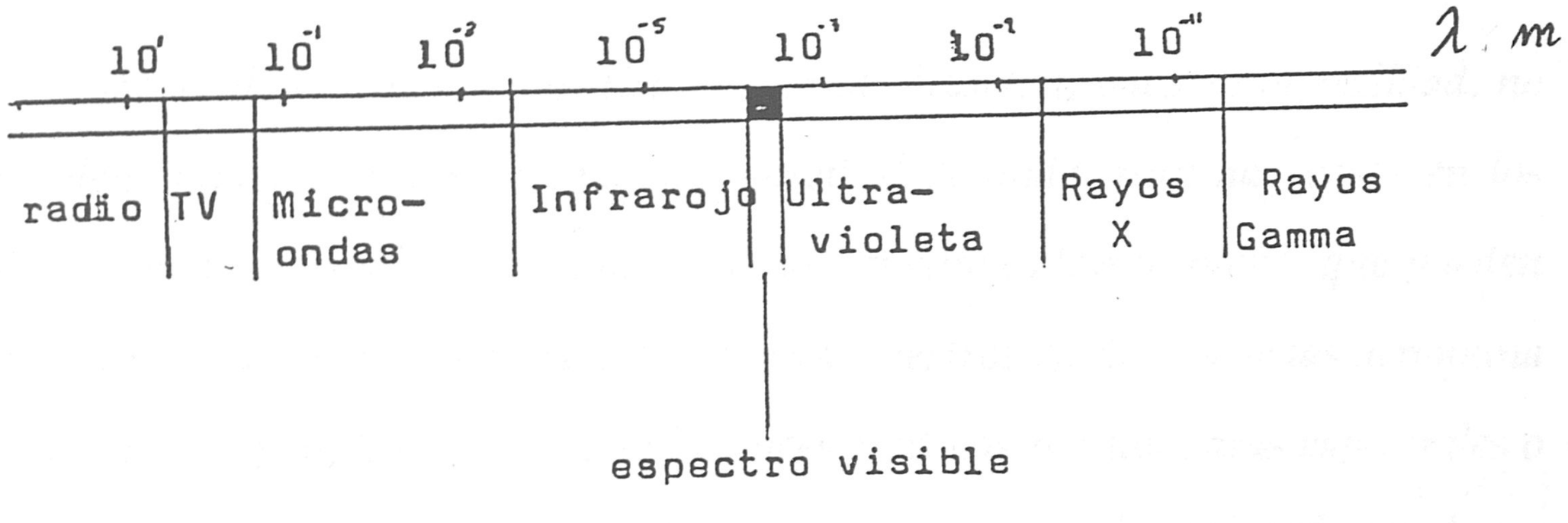
La longitud de onda puede variar desde cero hasta infinito. Dependiendo del valor de la longitud de onda, las ondas electromagnéticas reciben un nombre u otro.

De todas las longitudes de onda posibles, solo las comprendidas entre 380 nm y 760 nm (el nanometro es la millonésima parte del milímetro)

son capaces de estimular el mecanismo visual y constituyen el espetro visible , lo que llamamos luz. También se habla de luz ultravioleta y de infrarrojos aunque no sean propiamente luz , en el sentido de estimular la retina, debido a la similitud de tratamiento de estas radiaciones con la radiación visible.

La siguiente gráfica (I.3) nos muestra el espectro electromagnético ordenado según su longitud de onda.

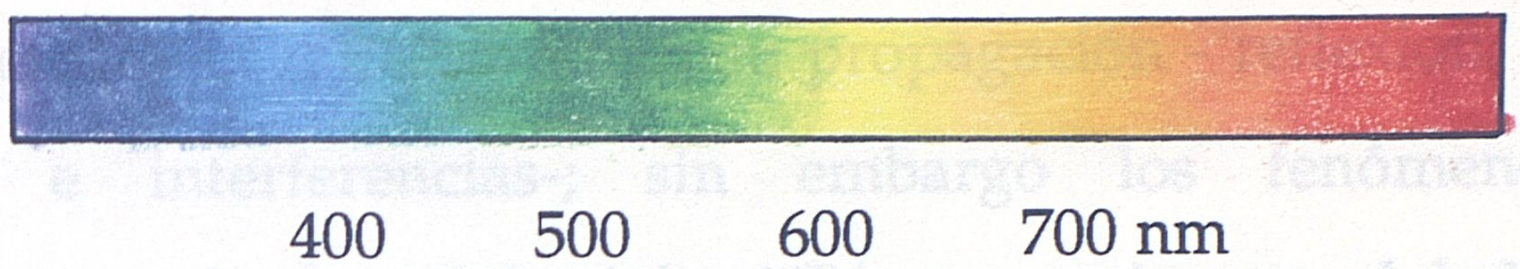
Gráfica I.3



Como se aprecia en el dibujo, en el espectro electromagnético, las ondas luminosas constituyen una pequeña porción del mismo y éstas son de la misma naturaleza que las ondas de radio , TV, Rayos X, etc; diferenciándose unas de otras solamente en su longitud de onda.

Aquellas radiaciones visibles que están formadas por ondas de igual λ, constituyen las luces monocromáticas y se visualizan como un color puro. Asi una luz monocromática de longitud de onda igual a 420 nm se ve como azul , una de 650 nm se ve roja, etc. En la siguiente gráfica (I.4) puede verse el espectro visible, es decir, el color correspondiente a cada luz monocromática dependiendo de la longitud de onda de la radiación.

Gráfica I.4



El concepto de luz monocromática es una idealización, pues en la realidad, no se pueden conseguir luces de una sola longitud de onda, pero hay casos en los cuales el ancho de banda en la emisión de una fuente es tan pequeño, que pueden considerarse practicamente monocromáticas a nuestros efectos , y se las denomina luces simples. Ejemplos de éstas son las luces emitidas por lámparas espectrales o láseres. En aquellos casos en los que la fuente emite con ancho de banda amplios o en todo el espectro visible , decimos que tenemos luces compuestas [2].

1.2. TEORIA CUANTICA

Durante todo el siglo XlX el modelo ondulatorio de la luz adquirió gran relevancia ya que explicaba satisfactoriamente un gran número de propiedades de la luz referentes a su propagación - reflexión, refracción, difracción e interferencias-; sin embargo los fenómenos físicos descubiertos a finales del siglo XIX y comienzos del XX- efecto fotoeléctrico , radiación del cuerpo negro, espectros atómicos - obligaron a desarrollar una nueva concepción sobre la naturaleza de la luz, ya que la teoría ondulatoria era insuficiente para explicarlos.

En 1900 el físico Max Planck propuso la Teoría Cuántica ,en cuyo marco , la luz, y de hecho todas las formas de energía, eran concebidas como si estuviesen compuestas de pequeños paquetes discretos que Planck llamó "cuantos" [3] .

Einstein en 1905, apoyandose en la hipotesis de Planck, supuso que la luz se emitía en paquetes concentrados de energía- equivalentes a los *cuantos* de Max Planck - que llamó fotones (el prefijo"fot"deriva de la palabra griega luz y el sufijo "on" se usa para partículas subatómicas).

Estos paquetes de energía se producen si una fuente de luz pasa de un estado de energía E_2 a otro de energía menor E_1 emitiendo un fotón cuyo contenido energético es la diferencia entre ambas energías.

Los fotones se propagan a la velocidad de la luz y su energía es inversamente proporcional a la longitud de onda de la radiación. Así, un fotón correspondiente a la luz violeta, es mucho más energético que un fotón de luz roja. De hecho, para longitudes de onda inferiores a la de la luz ultravioleta (U-V lejano, Rayos X , Rayos γ) los fotones son lo

suficientemente energéticos como para romper moléculas y por ende para destruir las células. Por esto, el cáncer de piel tiene uno de sus orígenes en largas exposiciones de la misma a la luz solar, que posee una pequeña cantidad de luz U-V que no ha sido filtrada por la atmósfera.

Einstein no puso en duda la naturaleza ondulatoria de la radiación, admitiendo que los fotónes no se propagan, desde que son emitidos, como corpúsculos materiales. Tenemos por tanto un comportamiento dual, unas veces como onda y otra como partícula. La interpretación completa de la dualidad onda-partícula de la radiación, no quedó del todo realizada hasta que se extendió a todas las partículas. Efectivamente *en 1924, Luis de Broglie sugirió que toda partícula tiene asociada una onda que rige su movimiento. Esto se confirmó en 1926 con los experimentos de difracción de electrones. Por tanto la dualidad onda - partícula se aplica tanto a la radiación como a la materia* [4].

Niels Bohr resumió esta situación en su principio de complementariedad. Los modelos corpuscular y ondulatorio son complementarios, si un experimento demuestra la naturaleza corpuscular, es imposible probar la naturaleza ondulatoria en el mismo experimento y viceversa [5]. El comportamiento de la luz, el electrón y otras partículas subatómicas, queda perfectamente descrito mediante la moderna teoría de la Mecánica Cuántica.

FACULTAD DE BELLAS ARTES - BIBLIOTECA -

2. PROPIEDADES DE LA LUZ

De las propiedades de la luz relacionadas con su propagación vamos a comentar : la reflexión, la refracción ,la difracción y las interferencias.

2.1. REFLEXION Y REFRACCION

Cuando una onda incide sobre la superficie de separación de dos medios , se originan dos ondas; una de ellas retrocede hacia el primer medio de donde proviene y constituye la onda reflejada , mientras la segunda se propaga en el otro medio y recibe el nombre de refractada. *A veces uno de estos dos fenómenos es despreciable frente al otro , como sucede cuando la luz llega a un espejo , donde la energía que se refracta (siendo absorbida por el espejo),es prácticamente nula , ya que la mayor parte es reflejada. De todos modos es necesario insistir en que la reflexión y la refracción son fenómenos inseparables que tienen lugar simultáneamente* [6].

Si representamos las trayectorias de la luz por rayos luminosos, sabemos que éstos, en medios homogéneos, se corresponden con rectas. Las leyes que rigen el comportamiento de los rayos incidente y reflejado son de sobra conocidas : el ángulo de incidencia (el que forma el rayo con la normal a la superficie) y el ángulo de reflexión (el que forma el rayo reflejado con la normal) son iguales. Además el rayo incidente , la normal y el rayo reflejado están en el mismo plano.

En la siguiente página representamos en la gráfica (I.5) la reflexión y refracción de una onda.

Gráfica I.5. Reflexión y Refración de una onda

R.I.= Rayo Incidente

N = Normal

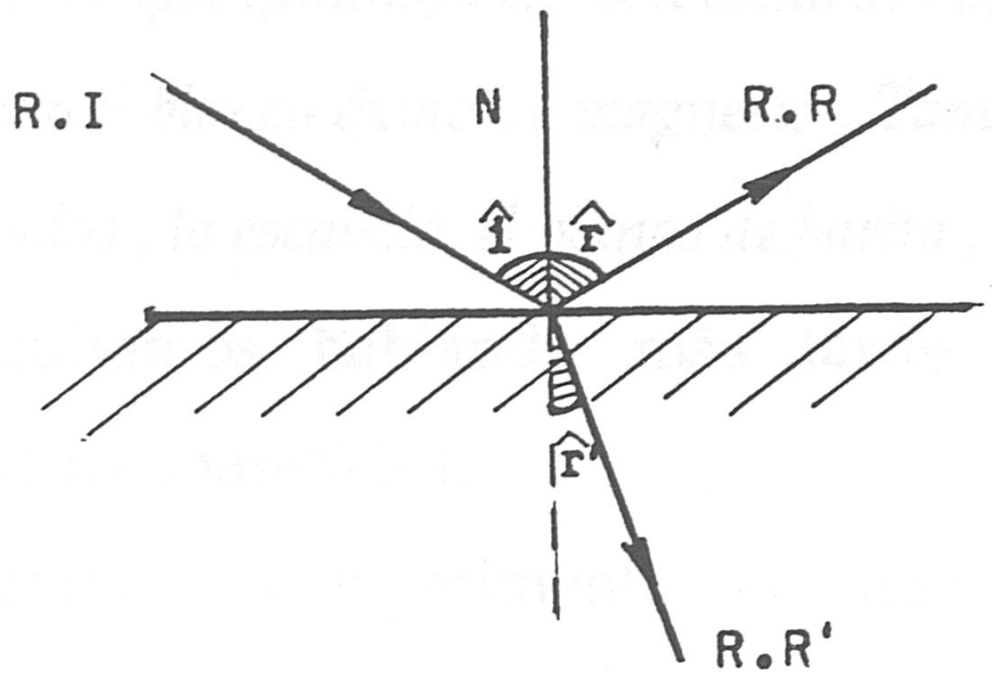
R.R = Rayo Reflejado

R.R'= Rayo Refractado

$\hat{i}$= ángulo de incidencia

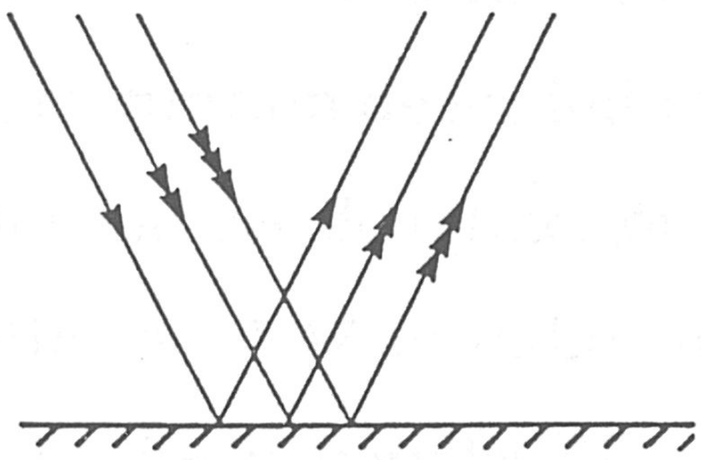
$\hat{r}$ = ángulo de reflexión

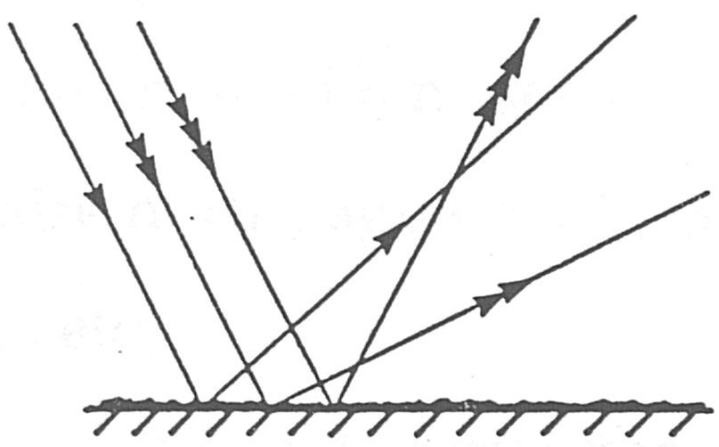
$\hat{r}'$ = ángulo de refracción



La reflexión puede producirse sobre una superficie lisa o rugosa, en el primer caso, los rayos serán devueltos en una dirección determinada constituyendo la reflexión especular ; en las superficies rugosas, los rayos son reflejados en todas las direcciones, produciéndose una reflexión difusa. En las siguiente gráficas (I.6a y 6b) se aprecia la diferencia entre ambas reflexiones.

G.I.6 a: Reflexión Especular. G. I.6 b: Reflexión Difusa





Existen superficies difusoras perfectas, que reflejan uniformemente la luz que les llega. En estos, la claridad que presentan es independiente del ángulo de observación ; por esta razón, las esferas opal luminosas se ven como discos planos. Como difusor patrón se suele utilizar el blanco óxido de magnesio . También son buenos difusores los vidrios esmerilados , la escayola, el blanco de barita , etc [7].

De la reflexión difusa seguiremos hablando más tarde cuando comentemos las características de los materiales.

La refracción consiste en el cambio que experimenta una onda al pasar de un medio a otro, debido a la diferencia de velocidad de propagación de la onda en los dos medios.

La ley que nos determina la direción del rayo refratado es :

$$\text{sen } i/\text{sen } r = v/v'$$

donde v y v' son las velocidades de la luz en los medios incidente y refractado respectivamente.

Se llama índice de refracción del medio, al cociente de la velocidad de la luz en el vacío , c , respeto a la que tiene en el medio que se propaga, es decir , $n = c/v$.

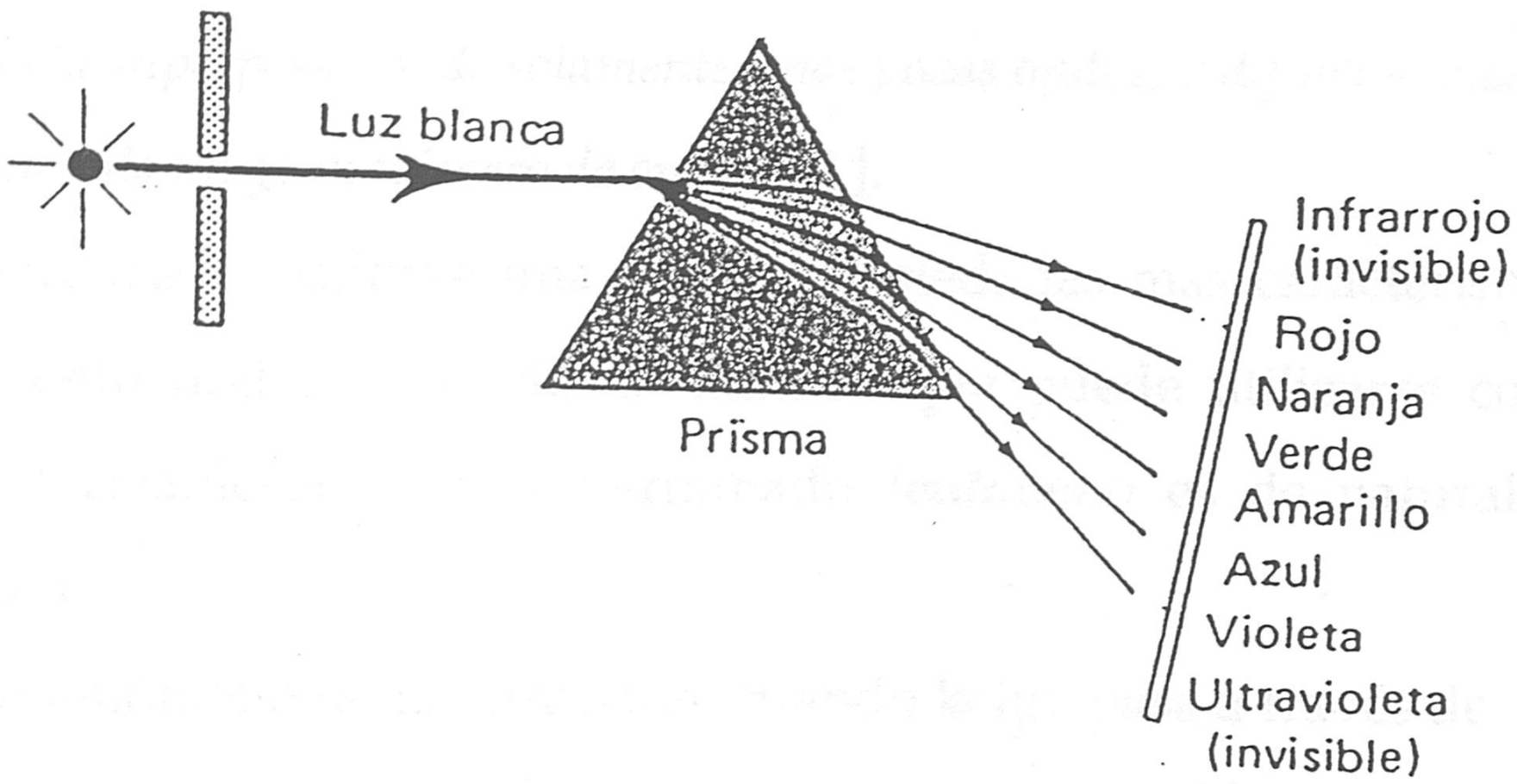
Puesto que la velocidad de la luz en cualquier medio transparente será menor que c, resultará siempre que n es mayor que la unidad . La ley de refracción, en función de los índices, queda: $n \cdot \text{sen } i = n' \cdot \text{sen } r'$.

Algunos índices de refracción son : aire n = 1 , agua n = 1,33 , esencia de trementina n = 1,47; cristalino n = 1,42; etc.

En los medios materiales dispersivos, el índice de refracción varia con la longitud de onda, pues la velocidad de propagación para las distintas luces monocromáticas es diferente. Esto da lugar al fenómeno de

descomposición de la luz blanca . Newton fue el primero en comprobar como la luz blanca se descomponía en luces simples al atravesar el prisma óptico. Como se aprecia en el gráfico (I.7) , cada una de las luces que componen la luz blanca sufre un ángulo de refracción distinto al atravesar el prisma. Como se puede apreciar la luz roja - correspondiente a longitudes de onda largas- es la que menos se desvía y las luces violetas- correspondientes a longitudes de onda más cortas - son las que más se desvían.

Gráfica I.7



2.2. DIFRACCION E INTERFERENCIAS

El trabajo de Francesco Grimaldi, en el siglo XVII, fue el primer estudio que se publicó sobre esta desviación de la luz de su propagación rectilínea, algo que se llamó , " diffractio ". El efecto es una característica general de los fenómenos ondulatorios que ocurren donde quiera que un frente de onda - sea sonido, onda material o luz - es obstruido de alguna manera...*Los frentes de onda que se propagan más allá del obstáculo interfieren para producir la distribución de densidad de energía particular conocida como patrón de difracción. No hay distinción física significativa entre interferencia y difracción...Se ha vuelto común, hablar de interferencia cuando se está considerando la superposición de solamente unas pocas ondas, y difración cuando se está tratando de un gran número de ondas* [8].

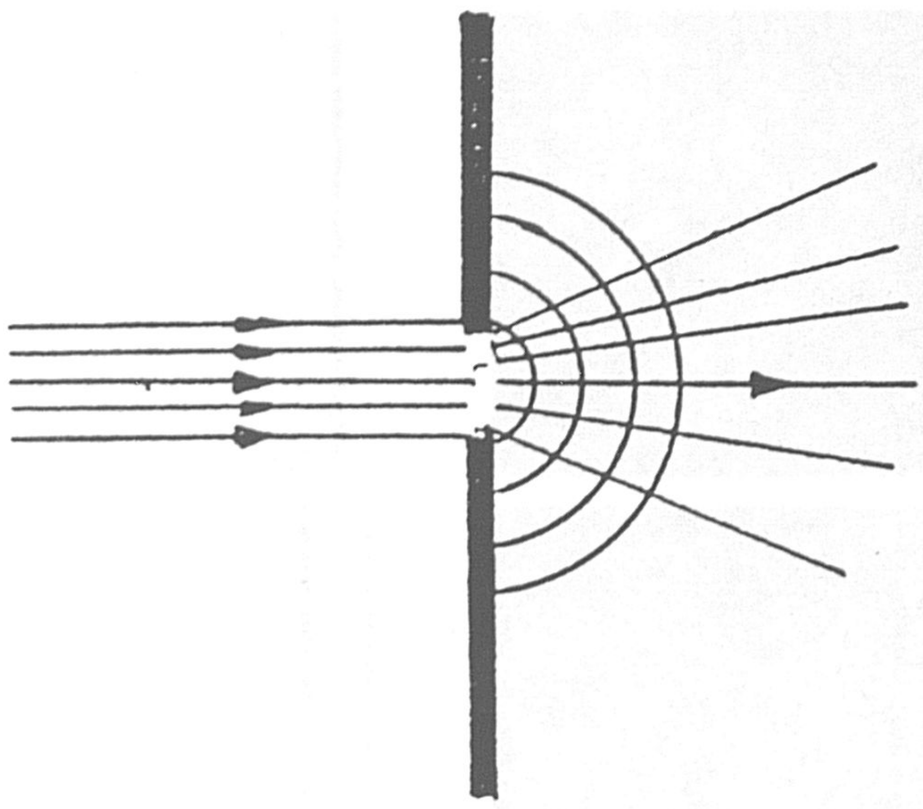
La interferencia constituye una de las propiedades más características del movimiento ondulatorio, de tal manera que puede utilizarse como criterio para establecer si un determinado fenómeno es de naturaleza ondulatoria o no.

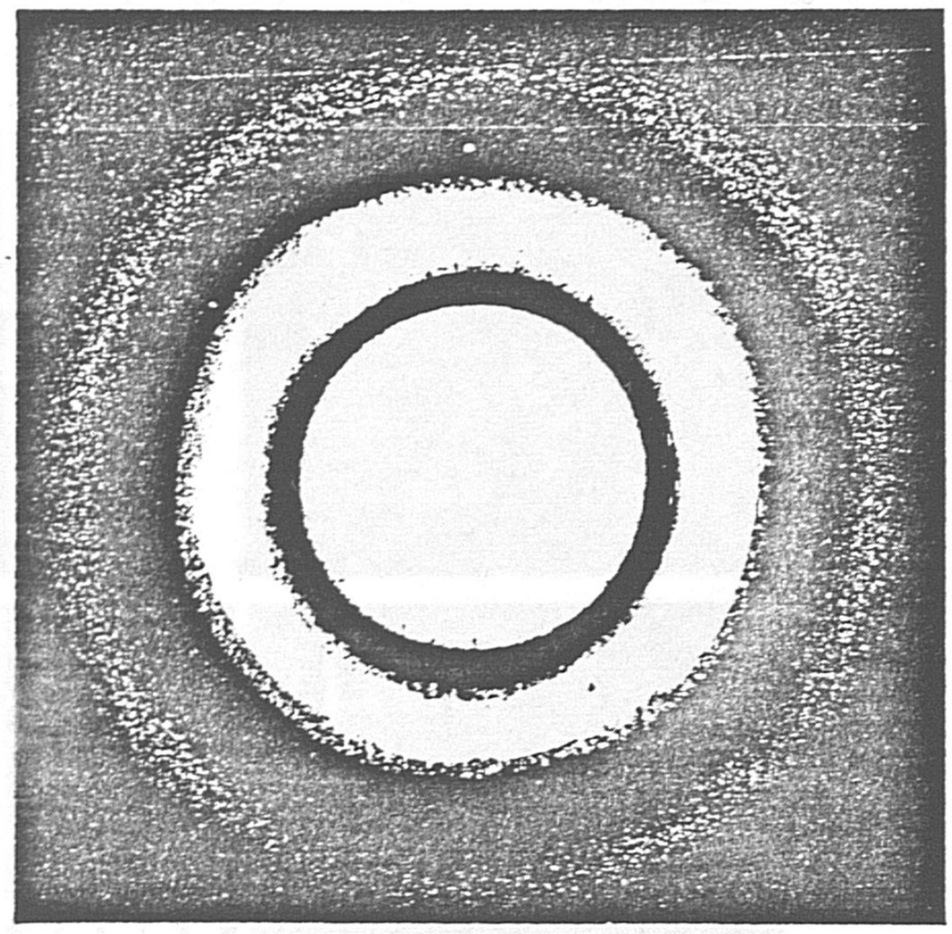
Debido al fenómeno de la difracción, cuando la luz pasa a través de una abertura muy pequeña, cuyas dimensiones son comparables a las de su longitud de onda, y observamos su imagen en una pantalla, veremos una mancha luminosa difusa, compuesta de anillos luminosos y oscuros que se alternan y enmascaran por completo la forma de la abertura.

Este efecto de la propagación de la luz, la podemos esquematizar en el siguiente gráfico (I.8 a-b); la imagen 8a, corresponde a un orificio circular de una abertura de 0.5 mm de diámetro, y la imagen 8b corresponde a

una fotografía de la mancha luminosa producida por ésta sobre una pantalla.

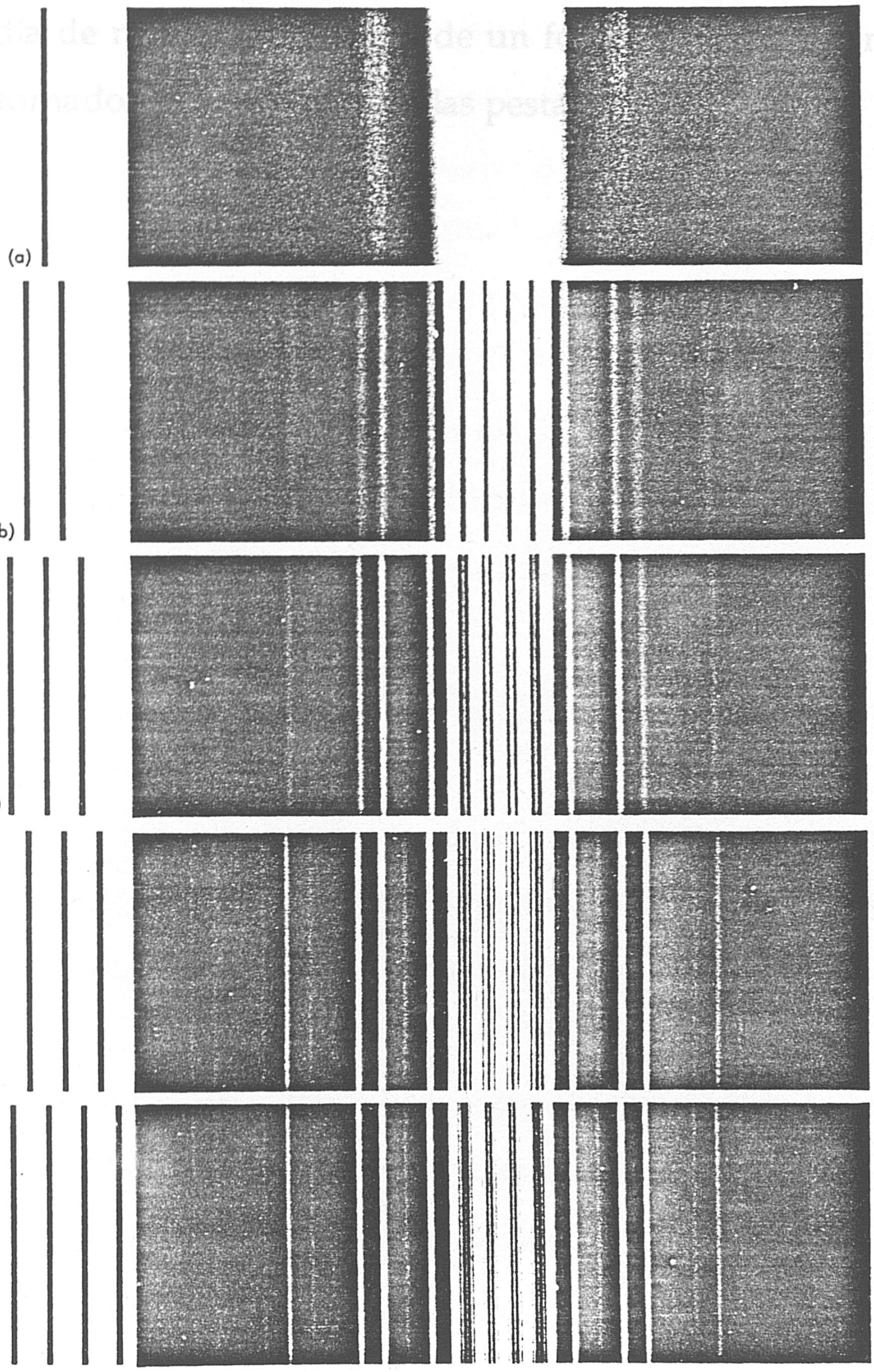
Gráfica I.8a Esquema 8b. Anillos de Airy [9] .





La siguiente Gráfica (I.9) nos muestran fenómenos de difracción cuando la abertura es una rendija en (a), dos en (b) , y asi sucesivamente hasta cinco rendijas en (e) [10].

Gráfica I.9 . La difracción a través de rendijas.



Este fenómeno, lo podemos observar cuando en una habitación oscura penetran los rayos solares a través de una rendija de la persiana. El rayo de luz se abre, se dispersa, proyectando sobre la pared una imagen de la rendija sin contornos definidos. Son fenómenos de difracción luminosa: los halos de la luna , los que se observan alrededor de un farol en un día de niebla y la imagen de un foco luminoso observado con los ojos entornados (la difracción en las pestañas).

3. FUENTES LUMINOSAS Y OBJETOS

Como hemos visto, la luz que emiten las fuentes luminosas es energía y, para caracterizarla, es necesario conocer el reparto de dicha energía en las distintas longitudes de onda, es decir, la curva de emisión espectral.

Para especificar esta distribución espectral es necesario disponer de instrumentos que nos permitan medir la energía luminosa como son los fotómetros y dispositivos que permiten separar una luz compleja en luces simples, como es el caso del prisma; ya que el ojo no es capaz de analizar la composición de la luz que le llega.

Las fuentes de luz, las podemos clasificar en primarias y secundarias. Siendo las primarias auténticas fuentes de luz y las secundarias los objetos iluminados que a su vez actúan como fuentes de luz.

3.1. FUENTES PRIMARIAS

Las fuentes primarias pueden clasificarse en : naturales y artificiales. Ejemplo de fuente natural de luz es el Sol, y de fuentes de luz artificial : lámpara de incandescencia (de filamento), de descarga de sodio u otro elemento, etc.

Hay que hacer una distinción entre fuente de luz e iluminante. La fuente de luz es un ente físico real, y un iluminante es una representación que hace la C.I.E. (Comite Internacional de Iluminación) de lo que pueden ser unas condiciones de iluminación, sin que en realidad exista o

no, ese iluminante . El gráfico (I. 10) corresponde a las curvas de emisión espectral de los iluminantes, definidos por la CIE como: A, B, C y D65.

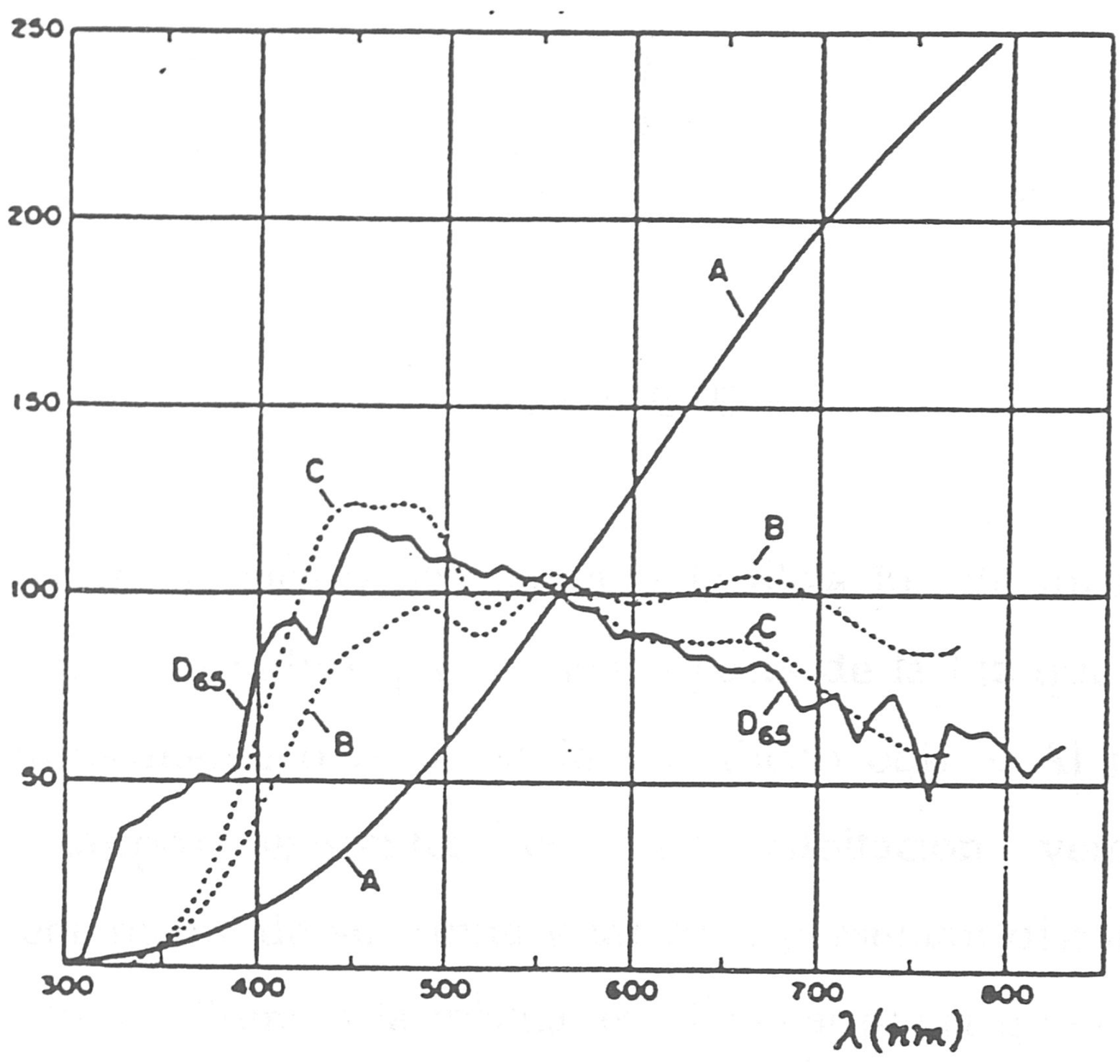
A = Lámpara de Incandescencia

B = Luz Solar

C = luz diurna con cielo nublado

D = D65 , Promedio de las dos últimas

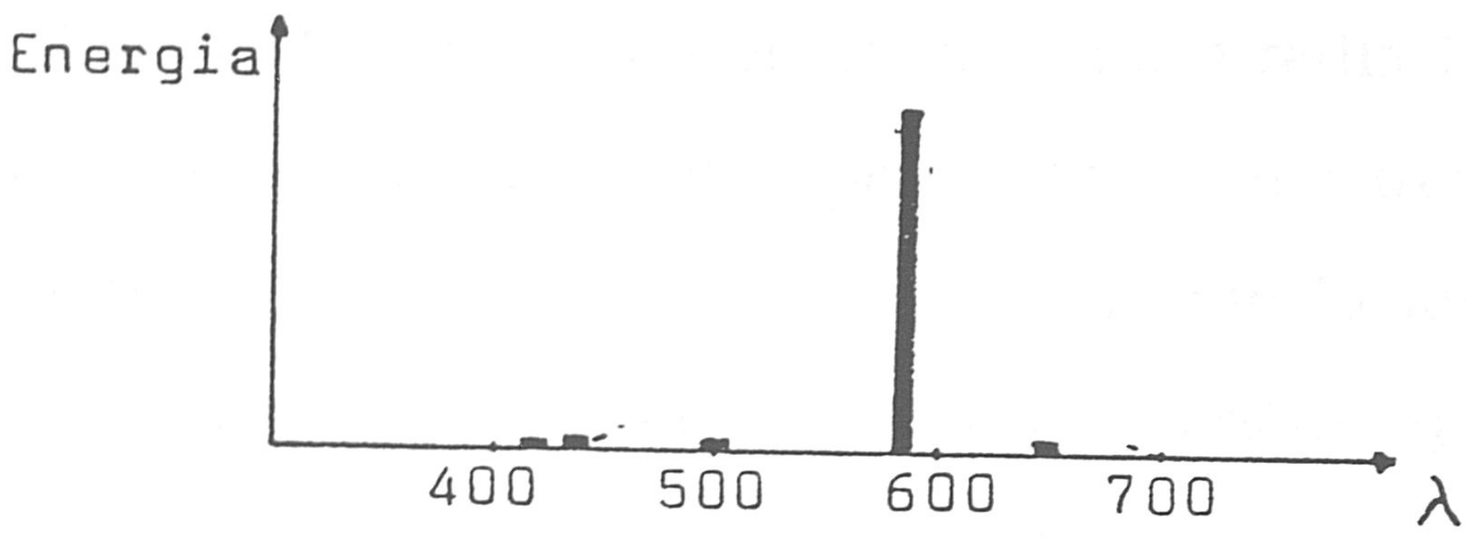
Gráfica I.10 Curvas de emisión relativas de los iluminantes



Como hemos observado, los espectros anteriores son continuos. También existen fuentes luminosas que poseen un espectro en bandas, es

decir, que emiten en ciertas longitudes de onda de bandas muy estrechas. El láser, la lámpara de sodio y las de vapor de mercurio, entre otras, son de espectro a bandas. La siguiente gráfica (I.11) muestra un espectro de emisión de una lámpara de sodio: el 90% de la energía se encuentra en longitudes de onda que corresponden a la luz amarilla.

Gráfica I. 11. Emisión de la lámpara de sodio.



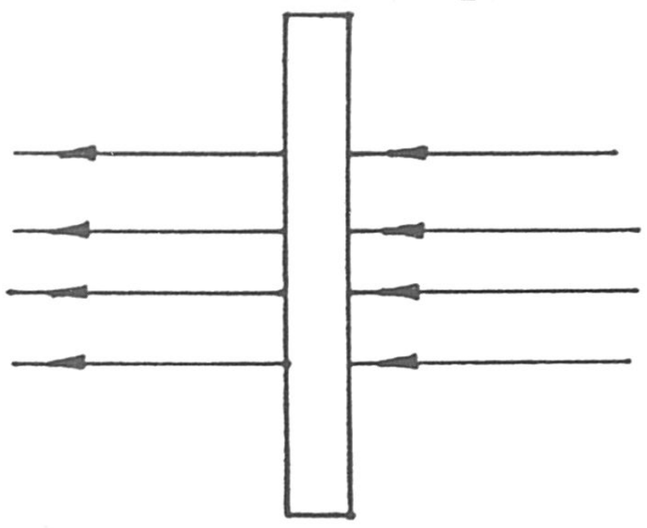
3.2 OBJETOS

Todo objeto se hace visible cuando le llega luz de un manantial o fuente de luz; esto indica que al menos parte de la luz que le incide es reflejada difusamente o transmitida por dicho objeto. Al observar los distintos cuerpos existentes en una habitación vemos que , independientemente de su forma y tamaño, presentan distinto color. Al ser la luz que los ilumina la misma, es lógico suponer que existe alguna característica de estos objetos distinta para cada uno de ellos y que le hace ser visto de distinto color. En este sentido podemos distinguir tres tipos de objetos : transparentes , translúcidos y opacos.

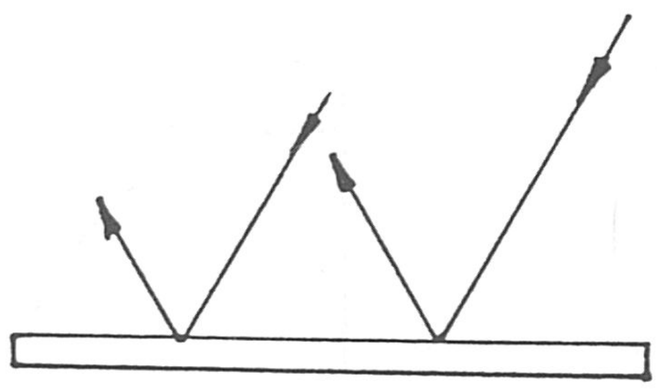
Los objetos transparentes dejan pasar la energía incidente tal y como llega, siguiendo las leyes de la refracción. Si presentan un determinado color, es debido a que presentan una absorción selectiva para una determinada composición espectral. Los objetos translúcidos absorben parte de las radiaciones que le llegan y dejan pasar otras a través de ellas, pero presentan una transmisión difusa, de forma que cuando se mira a través de ellos, no se ven las formas de los objetos que se encuentran al otro lado. Los objetos opacos absorben parte de la radiación que les llega y reflejan la otra parte, no dejando pasar radiación a través de ellos. La relación entre los materiales transparentes y translúcidos la podemos equiparar con la relación existente entre los materiales opacos de textura lisa y rugosa , representados en la gráfica (I.12) en la izquierda materiales transparentes (I.12 a) y translúcidos (I.12 b) y a la derecha los materiales opacos lisos (I.12 c) y rugosos (I.12 d).

Gráfica I.12

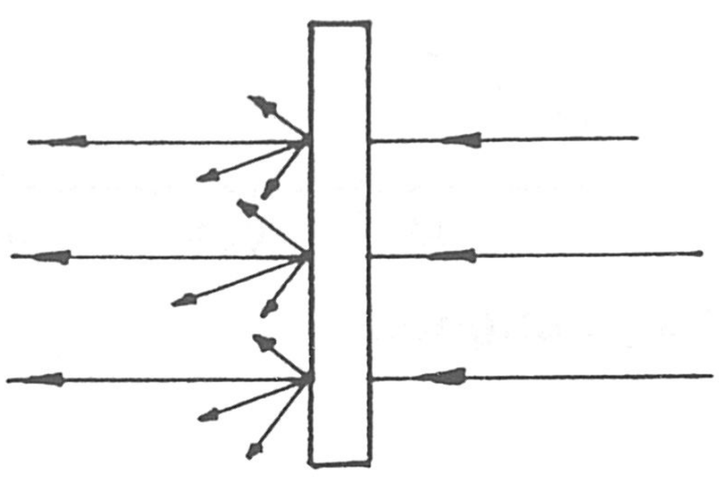
I.12 a M. trasparentes



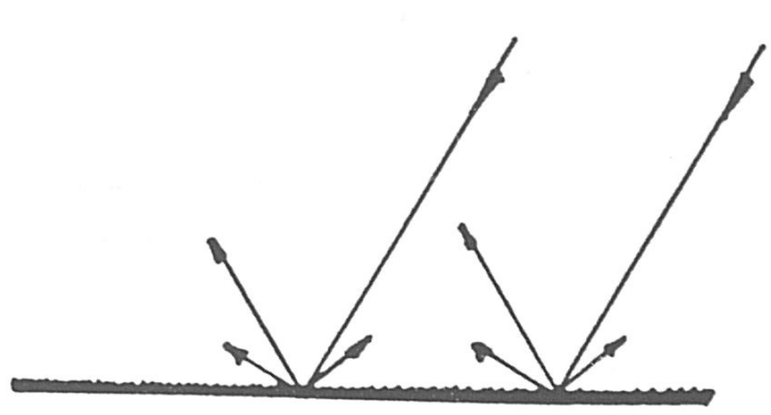
I.12 b M.Opacos lisos



I.12 c M. Translúcidos



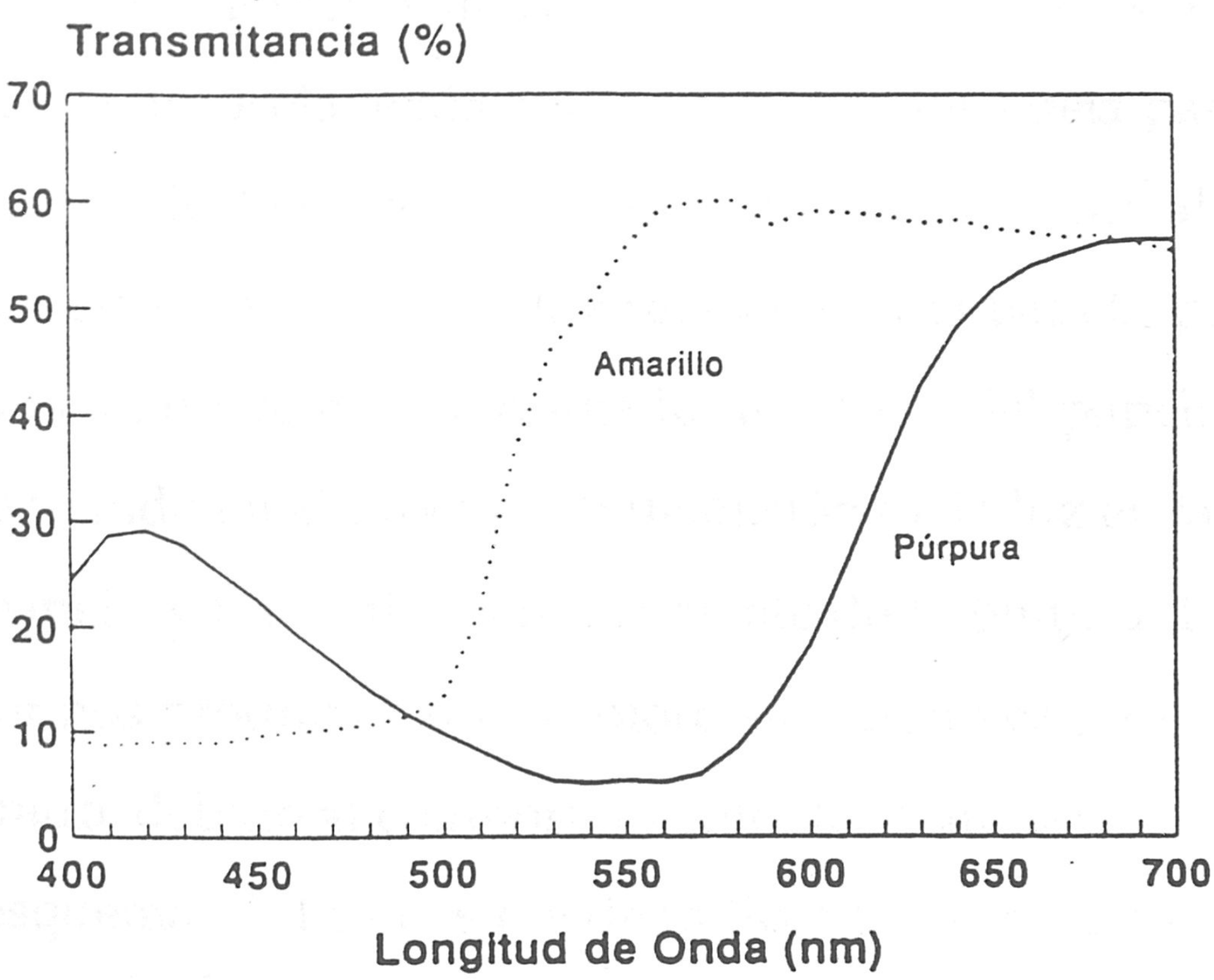
I.12 d M. Opacos rugosos



Cuando se trata de objetos transparentes -por ejemplo , láminas de caras paralelas de vidrio coloreado -,la luz incidente atraviesa el medio sin modificar su dirección de propagación , pero parte de su energía se va a absorber. Si es coloreado, la absorción no será la misma para todas las longitudes de onda y dejará pasar unas si y otras no. Estos materiales se caraterizan por su transmitancia espectral, que es la razón entre la energía radiante que emerge de la lámina transparente y la que incide en ella para cada longitud de onda.

Por lo tanto, la característica de estos materiales es la luz que transmiten. En el siguiente gráfico (I.13), podemos ver las curvas de transmisión de un cuerpo transparente amarillo y de otro púrpura.

G.I.13.Curvas de transmitancia de un filtro amarillo y otro púrpura.

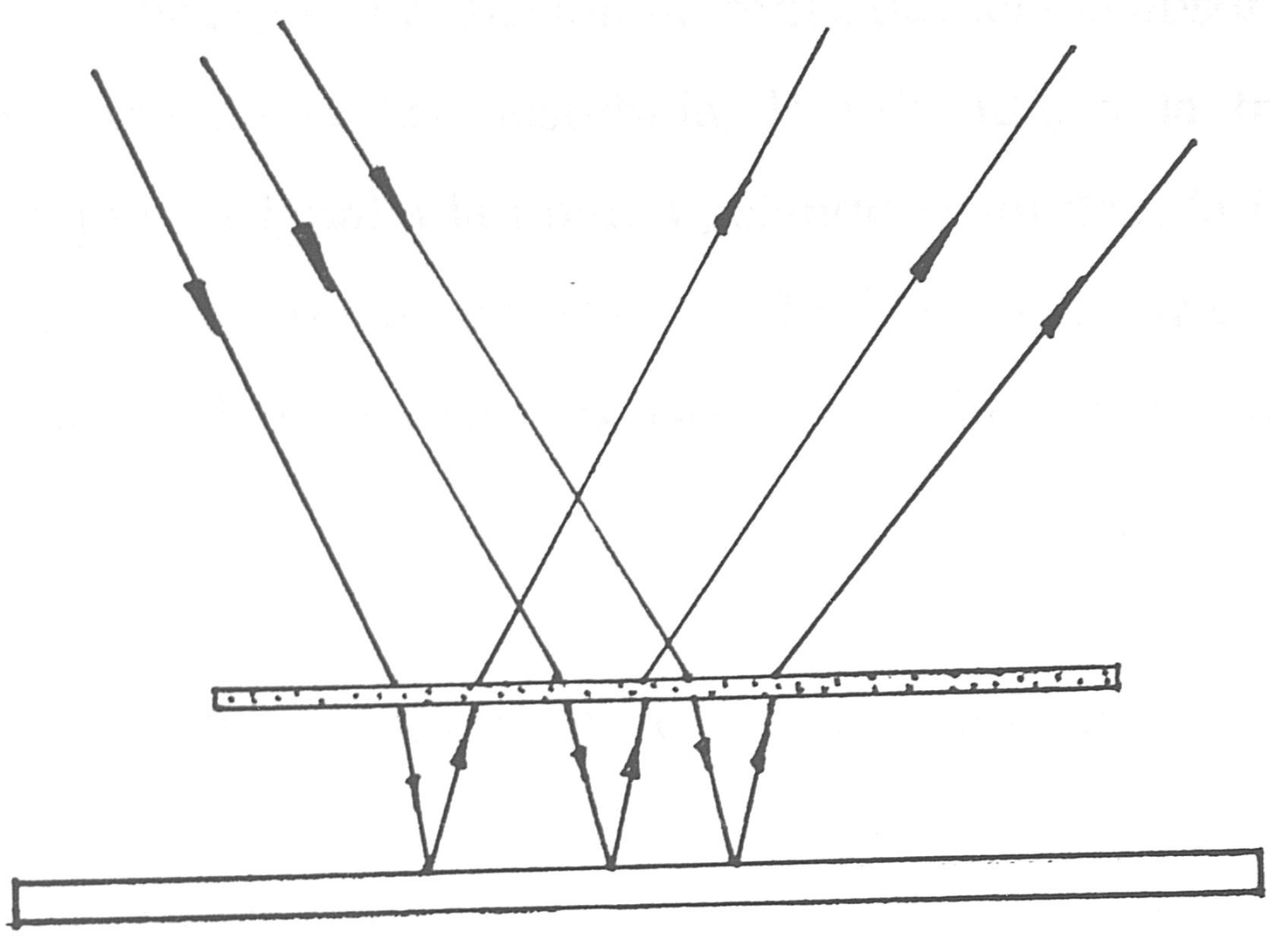


Si la lámina de vidrio, o cualquier otro material, es perfectamente transparente la estructura interna del material está desordenada de forma que no hay absorción selectiva y deja pasar la luz con su distinta composición espectral por igual, saliendo o transmitiendo luz blanca o de la misma distribución espectral con que se ilumina. Sin embargo, si el material es coloreado - por ejemplo , amarillo -, la estructura del material hace que las longitudes de onda cortas, complementarias del color que presenta el material, sean absorbidas. Por lo tanto, un material que sea transparente y coloreado se convierte en una fuente de luz de igual composición espectral con la que es visto. A estos materiales se les suele llamar filtros de color.

Es interesante, y no conviene olvidar este comportamiento, ya que , en el campo de la pintura, hay muchos materiales y técnicas que permiten tratar las mezclas de colores, no como objetos opacos que en principio parece ser más lógico, sino como filtros transparentes. En este sentido, por ejemplo, la acuarela actúa como filtro. Primero deja pasar la radiación de una fuente de luz blanca filtrandola , hasta llegar al papel blanco del soporte. De nuevo, filtra la luz reflejada en el papel , por lo que si hemos pintado con un color determinado una zona del papel; ésta presentará el color obtenido en el proceso : transmisión de la luz en la pintura- reflexión en el papel - y transmisión nuevamente de la pintura. Las sucesivas capas de color nos producirá zonas coloreadas cada vez de amarillo más intenso o saturado, debido al comportamiento del material como filtro.

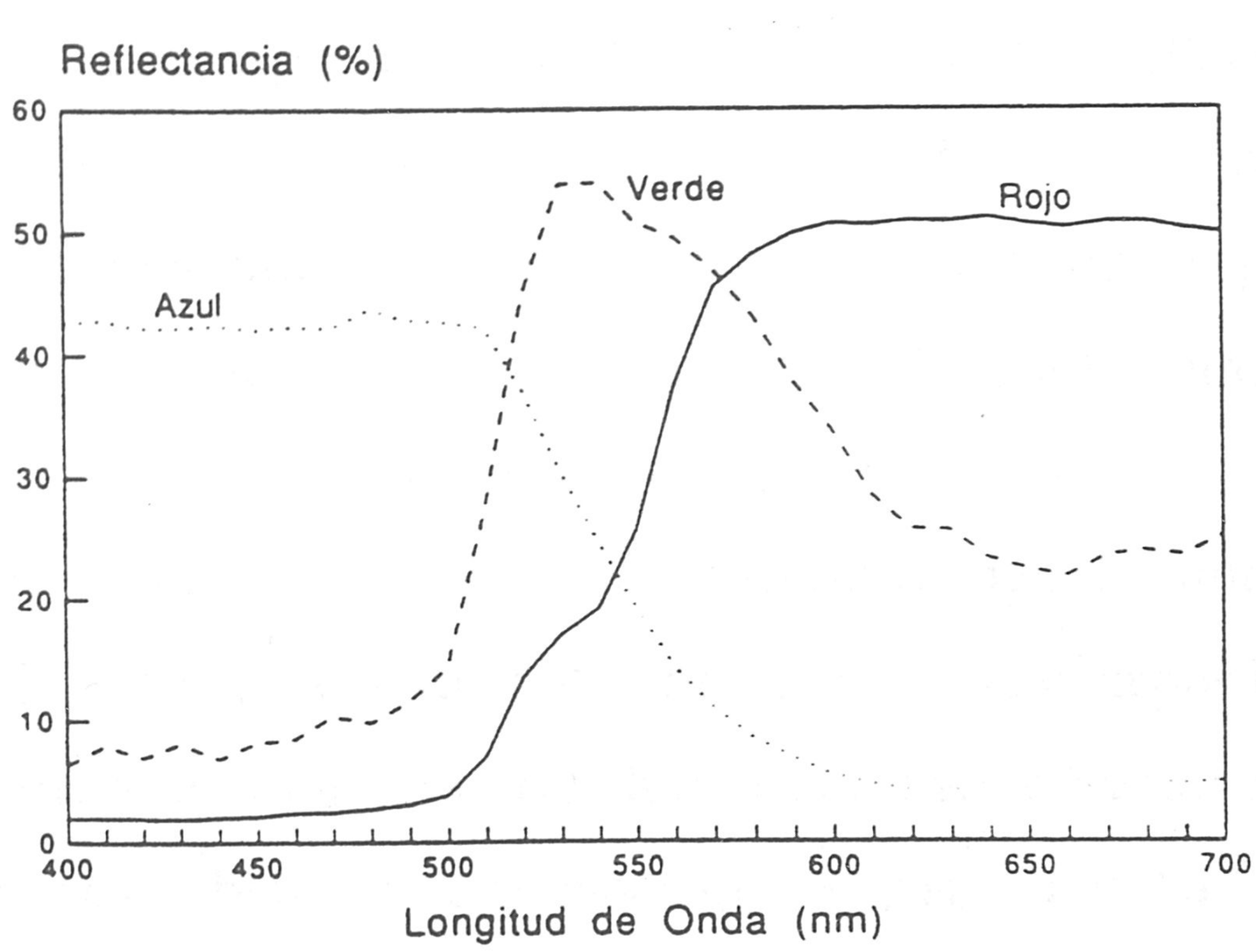
El esquema (I. 14) nos puede indicar estas trayectorias y cambios en la superposición de las capas de color transparentes de amarillo.

Gráfica I. 14



Los objetos opacos se caraterizan por su curva de reflectancia espectral, que nos indica el porcentaje de luz reflejada para cada longitud de onda. Si la luz con que se ilumina el objeto es blanca, y el objeto se ve de distinto color; esto nos indica que la radiación no reflejada, será la absorbida por el material. La suma de la luz absorbida, la reflejada, y la transmitida, siempre tiene que ser igual a la unidad ; siendo la unidad, la luz emitida por la fuente. La siguiente gráfica (I. 15) muestra tres curvas de reflectancia espectral de los colores asociados a los objetos respectivos: azul, verde, y rojo .

Gráfica I.15.Curvas de reflectancia espectral.

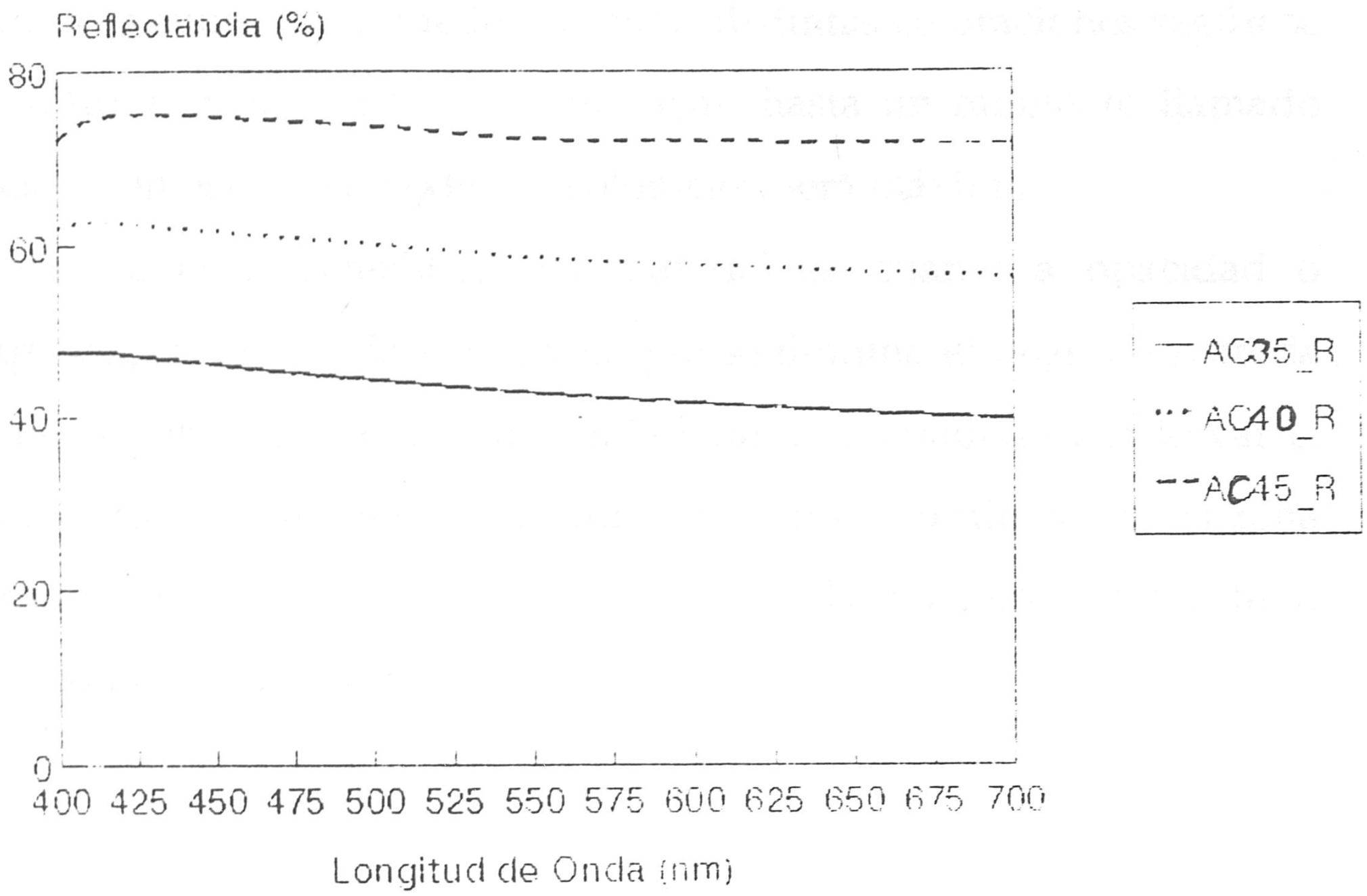


Los colores indicados corresponden a grandes anchos de banda de longitudes de onda. Así , el azul refleja de los 400 nm a los 530 nm en un 42 %, decae y no emite nada de los 600 nm a los 700 nm. Esto nos indica que es un azul saturado, pues no emite nada de su complementario el rojo, el cual viene señalado en la línea continua. Estas curvas son representativas de lo que más adelante trataremos como la ondas cortas, medias y largas del espectro correspondientes al azul, verde y al rojo. El color verde representado no está muy saturado pues de los 630 nm a los 700 nm refleja un 25%. Para que fuera un verde representativo de las longitudes de ondas medias tendría que tener su pico más alto en los 550 nm, y no tener reflexión de luz ninguna para las ondas cortas y largas. El rojo corresponde a un rojo-anaranjado. El nivel de luminosidad de las muestras, se puede apreciar por el porcenteje de luz reflejada; en estos tres materiales, no sube del 60 %, lo cual indica que corresponden a colores de luminosidad media. Las curvas de reflectancia espectral, serán representadas y estudiadas más adelante, donde mostraremos las curvas correspondientes a distintos pigmentos acrílicos..

Cuando la reflectancia espectral es constante e igual a uno, es decir, el cuerpo refleja el 100% de la luz incidente, se trata de cuerpos blancos; si es constante o presenta una curva casi horizontal pero de valor menor que la unidad entonces hablamos de cuerpos grises; y si es igual a cero, tenemos los cuerpos negros.

La siguiente gráfica (I.16), nos indica las curvas de reflectancia de una pintura opaca blanca, y dos acromáticos o grises correspondientes a pinturas acrílicas .

Gráfica II.16.Reflectancias de tres grises: Ac 35,Ac 40,y Ac 45.



Al carácter opaco de las pinturas, se les suele llamar poder cubrientes, ya que no dejan ver el color de la superficie sobre las que se aplica. Pero esta propiedad, no es completamente exhaustiva. Toda pintura se compone de un polvo de color ,llamado pigmento, que es lo que le da la característica de coloración, y de un medio transparente, llamado aglutinante. Dependiendo del aglutinante tendremos los distintos tipos de pintura (aceite de linaza o adormideras en el óleo, goma dextrina en la acuarela, etc).

Normalmente, la pintura que viene preparada de fábrica tiene unas condiciones idóneas para su uso, es decir, la suficiente fluidez para ser aplicada sobre la superficie, pero esto no impide que quién las utiliza no emplee un material, llamado disolvente o vehículo, para diluirlas y

transportarlas. En este sentido, podemos encontrarnos que una pintura de características cubrientes, puede presentar distintas coloraciones según se aplique diluida o no, y en capas sucesivas, hasta un momento llamado "saturación", en el cual su poder de coloración será máximo.

Además de la característica del material en cuanto a opacidad o transparencia, la fuente de luz con la que se ilumina el objeto o materia influye en la percepción del color. En la lámina **1** , podemos observar la distinta coloración que presenta un mismo material iluminado; en la zona de la izquierda, con una luz de día de 6800 Kelvín y , en la zona de la derecha , con una luz eléctrica de 2800 Kelvín.

4. FOTOMETRIA

El estudio de la energía radiante, desde el punto de vista energético, forma parte de la radiometría, pero cuando se estudia esta energía en relación a la capacidad de producir la sensación visual de claridad, se llama fotometría. Y cuando se estudia esta energía radiante en cuanto a la capacidad de producir sensación de color, se llama colorimetría.

Cuando en una habitación encendemos una bombilla, la radiación se extiende por toda la habitación; así podemos notar, que si acercamos la mano a la bombilla esta desprende calor. Este calor es una forma de energía radiante. Si cerramos los ojos dejaremos de percibir la luz que ilumina a los objetos y los objetos en si.

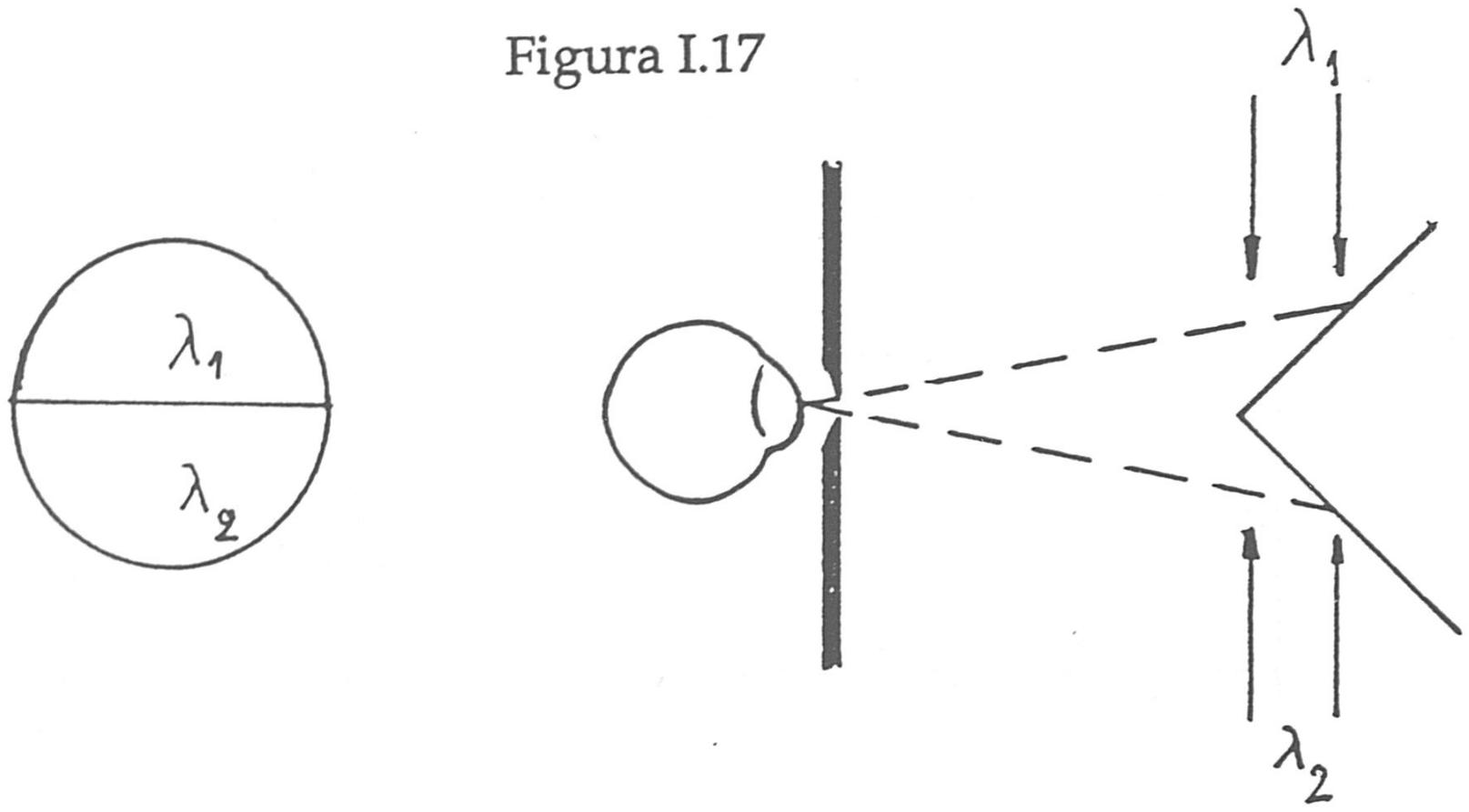
El problema está en que la luz, es un ente físico, mientras que el efecto es un ente psicológico. El estímulo luminoso se puede medir, pero el observador humano sólo puede saber, dentro de ciertos límites, si una sensación es mayor que otra , pero no si es doble o triple. El sistema visual sólo se puede utilizar como intrumento de comparación. Se sabe que el sistema visual no da la misma respuesta, o no tiene la misma sensibilidad, ante las distintas radiaciones monocromáticas de igual cantidad de energía. La máxima sensibilidad del ojo humano se presenta para una longitud de onda de $\lambda = 555$ nm. Las magnitudes de la energía radiante bajo la influencia de la eficiencia luminosa espectral, V_λ , constituyen las magnitudes fotométricas. Esto hace que una sensación pueda ser medible.

4.1 CURVAS DE SENSIBILIDAD DEL OJO

No todas las luces monocromáticas tienen la misma capacidad para producir sensación de luminosidad, de aquí la curva de sensibilidad espectral del ojo humano.

Si sobre un diedro , como el que muestra la figura (I.17), enviamos luces monocromáticas de longitudes de onda λ_1 y λ_2, es decir, luz roja y luz verde, dependiendo de la cantidad de energía wat/m^2 que enviemos, cada superficie se verá, además de con distinto color, con igual o distinta claridad.

Figura I.17

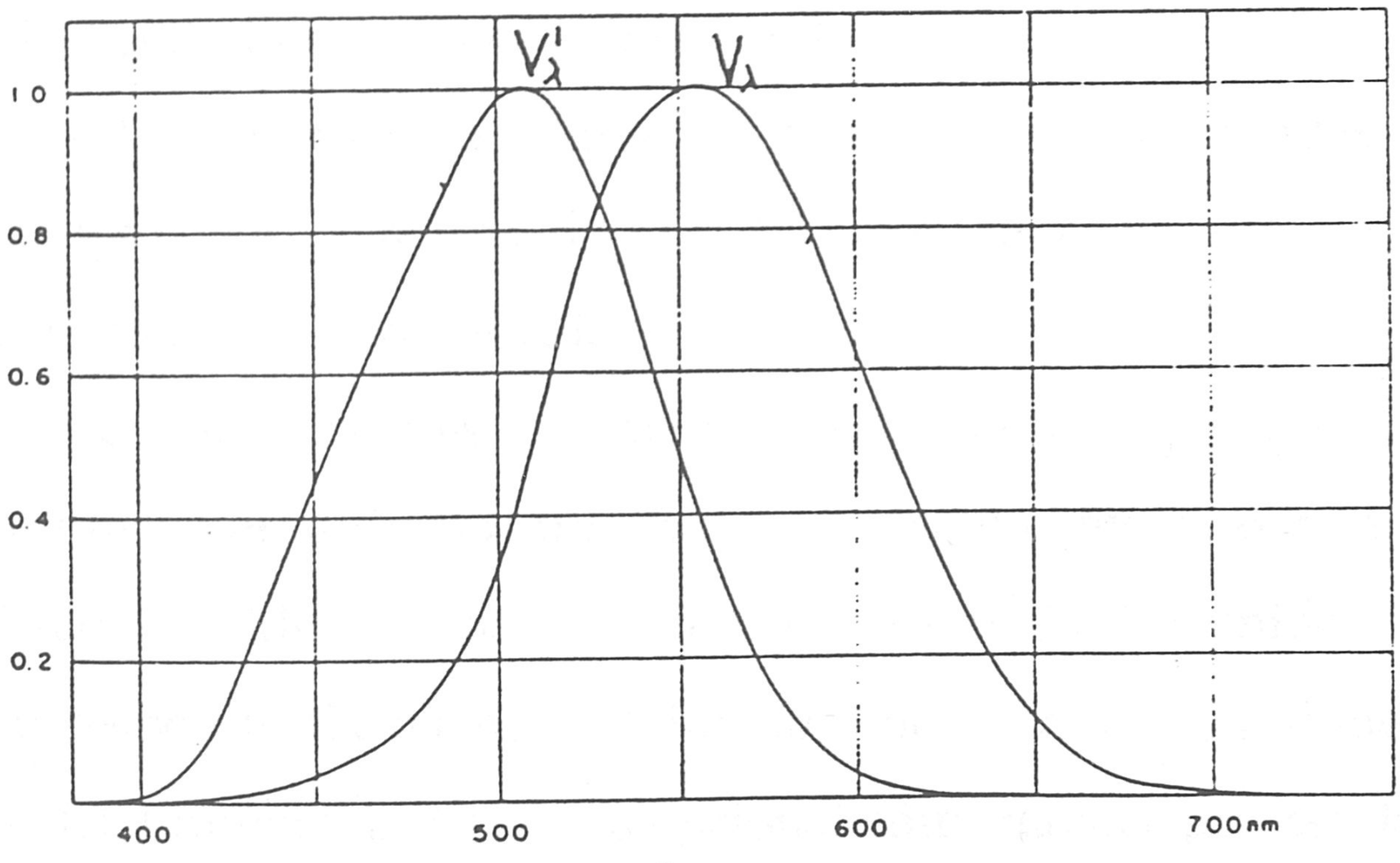


Si usamos , en ambos casos, la misma cantidad de energía, vemos que cada color nos produce una determinada sensación de claridad; dependiendo de esta sensación, diremos que un color es más eficiente que el otro.

La eficiencia luminosa , representada por V_λ , para cada longitud de onda o determinado color, muestra la curva de sensibilidad espectral del ojo que tiene su valor máximo para longitudes de onda de λ = 555 nm,

es decir, la máxima sensibilidad corresponde a una luz amarillo-verdosa. Esto sucede en visión fotópica o altas luminosidades (10 cd/m^2). Sin embargo, para bajas luminosidades o visión escotópica, se encuentra una curva análoga pero desplazada hacia las ondas cortas, con un máximo hacia los λ = 505nm, que corresponde a una luz verde-azulada. Este desplazamiento de la sensibilidad espectral hacia las ondas cortas, se conoce con el nombre de efecto Purkinge.

Gráfica I.18. Representación de las curvas de sensibilidad espectral del ojo.(V_λ) Visión diurna o fotópica y (V'_λ) Visión nocturna o escotópica.



4.2. MAGNITUDES FOTOMETRICAS

Podemos señalar las siguientes magnitudes:

- El flujo luminoso, es la magnitud derivada del flujo radiante al evaluar la radiación según su acción sobre el sistema visual. Su unidad es el lumen (lm) .

- La iluminancia es el flujo luminoso recibido por unidad de área. Su unidad, el lux, es la iluminancia producida por un flujo luminoso de un lumen, que se distribuye uniformemente sobre una superficie de un metro cuadrado : $1lx = 1\ lm\ /\ m^2$

- La cantidad de luz es el producto del flujo luminoso por su duración . La unidad es el lumen por segundo.

- La eficiencia luminosa es la sensación de claridad producida en comparación con una de l = 555 nm. Es adimensional y puede estar comprendida entre el valor 0 y 1.

-La luminancia es una magnitud fotométrica que nos da idea del flujo luminoso emitido por una fuente u objeto extenso, por unidad de área y ángulo sólido en una dirección determinada. Su unidad es el nit, que corresponde al cociente del flujo luminoso, candelas por metro cuadrado.

La luminancia tiene excepcional importancia por ser la variable que aprecia el ojo cuando observa fuentes extensas (objetos), y se corresponde con la sensación subjetiva de luminosidad.

En el campo científico, la luminosidad de una muestra se puede medir en términos de candela partido por unidad de superficie (cd/m^2). Cuando la luminosidad de la muestra de color se mide comparando la

cantidad de luz emitida por la muestra, en relación a una muestra blanca, bajo las mismas característica de iluminación y superficie, se dice que presenta una determinada claridad, expresada en un porcentaje, por ejemplo 50%.

La terminología inglesa emplea la expresión " *lightness* ", para claridad, y " *brightness* " para luminosidad o brillo. *La claridad es el atributo de la sensación visual respecto al cual , el área en el cual el estímulo visual se presenta, parece emitir más o menos luz en proporción al emitido por un área similar percibida como blanco. Las variaciones de claridad van de claro (light), a oscuro (dark). La luminosidad es el atributo de la sensación visual respecto al cual, un estímulo visual dado se presenta más o menos intenso, o parece como emitir más o menos luz. Las variaciones en la luminosidad, van de brillante o claro (brigth) a oscuro (dim)* [11].

En el campo artístico se emplea el término claridad y luminosidad para designar la misma variable de la pecepción psicologica visual, que se traduce por los términos de claro - oscuro . Si bien esta variable se puede aplicar a la luz ambiental como a la cantidad de luz que se percibe de un objeto. Al comparar objetos siempre podemos apreciar unas diferencias, sin contar con las cromáticas, formales y texturales, y debido al contexto en el cual sean percibidos , nos producirán sensaciones de claridad distintas a las percibidas en otro contexto o a la medida real de la cantidad de luz reflejada. Pongamos un ejemplo, si observamos la lámina 2 , que representa dos colores grises de la misma luminosidad en dos ambientes distintos, rodeado de una zona blanca y el otro rodeado de una zona negra. Es indiscutible que ambos grises presentan la misma

luminancia , es decir, luminosidad, sin embargo la percepción de los dos grises es distinta, uno resulta más claro (el rodeado por un entorno negro) y otro resulta más oscuro (el rodeado por un entorno blanco); la luminosidad percibida o claridad es distinta. Esta característica se debe a la inducción del color como veremos en el capítulo II.

La luminosidad de un objeto o muestra depende del flujo luminoso y éste, a su vez, de la composición de la fuente de luz. Por otra parte, la luz reflejada por la muestra depende de la absorción selectiva o reflectancia espetral del material, en consecuencia, en muestras coloreadas se presenta que el iluminante y la reflectancia espectral de la muestra hacen que la luminosidad sea distinta o igual.

Comparar las luminosidades en objetos o muestras grises, siendo el caso límite el blanco y el negro, es una característica sencilla de evaluar. Sin embargo para objetos o muestras de color es más difícil hacer esta valoración, pues bajo un iluminante determinado, dos muestras de color pueden darnos sensaciones de claridad distinta, y bajo otro iluminante ser iguales. En la Lámina 1 podemos observar como no sólo cambia el color percibido , al iluminar con distinta fuente de luz las distintas bandas, sino que también cambia la percepción de claridad.

Cuando se quiere valorar la claridad de una muestra de color, se compara con una escala formada por muestras grises que van del negro (nivel mínimo), hasta el blanco (nivel máximo). Normalmente, en el campo artístico, esta valoración se realiza entornando un ojo y cerrando el otro, de forma que al cerrar la pupila bastante, se pierde la sensación

cromática de la muestra y se aprecia mejor la cantidad de luz, la luminosidad.

4.2 UMBRAL ABSOLUTO Y UMBRAL DIFERENCIAL

El umbral absoluto es la luminancia mínima perceptible o la mínima cantidad de luz que produce una sensación luminosa. Hay diversos factores de los que depende el umbral absoluto; entre ellos está el estado de adaptación previa del ojo a los distintos niveles de iluminación (este punto lo veremos más adelante), el color de la luz con que se ilumine el objeto, el tamaño del elemento observado, siendo éste menor cuanto mayor sea la zona observada.

Dado un nivel luminoso ,la sensibilidad para detectar cambios en él, se llama umbral diferencial. Este se puede medir comparando dos zonas de luminosidades (claridades) diferentes, el incremento de luminosidad que debe haber para que las dos zonas se vean con distinta claridad es el umbral diferencial. De éste depende el reconocimiento de formas, y del umbral absoluto, el poder orientarnos durante la noche .

5. COLORIMETRIA

La colorimetría tiene por objeto evaluar la energía radiante en cuanto a producir sensación de color.

Cuando un observador ve un color, puede discernir tres atributos perceptivos: el tono , la saturación y la claridad. Respecto a la claridad, ya hemos comentado que depende de la luminancia y según ésta, un color puede verse correspondido en una escala de grises, del blanco al negro, independiente de las otras dos variables. El tono es el atributo que adjudica al color una cualidad que se define como : amarillo, rojo, naranja, verde, azul, violeta, púrpura, o cualquier combinación de ellas. En el aspecto físico se corresponde con la longitud de onda dominante de la radiación. La saturación o pureza depende de la similitud del estímulo con el color espectral puro de igual tono. Esta relación nos dará un color más o menos saturado. Un color poco saturado, nos producirá la sensación de gris o acromático.

Por lo tanto, las cualidades cromáticas del color son el tono y la saturación.

En este sentido , cabe apuntar que en el mundo en el cual nos movemos , no vemos colores puros espectrales . Consideramos colores puros, aquellos que tienen una composición espectral con predominio de unas longitudes de onda sobre otras. Si viesemos los distintos tonos discernibles en el espectro, tendríamos que tener un vocabulario o terminología mucho más extensa para los tonos básicos; sin embargo , como vemos colores correspondientes a zonas de amplio ancho de bandas

de longitudes de onda, con seís , cinco , siete tonos distintos, es suficiente para entenderse.

Nuestro sistema visual del color no permite al observador discernir sobre la composición espectral de la luz que le llega y solo aprecia el resultado. Por lo tanto para especificar un color es necesario compararlo con otro color en sus tres variables.

Esta característica, es decir, el que un color se pueda igualar con luces de distinta composición espectral , se llama físicamente metamerismo. Los colores así conseguidos se llaman metámeros. Isomeros serían los colores que se vieran igual y además tuvieran la misma composición espectral.

El concepto de metamerismo está intimamente ligado a la realización de las igualaciones de color, y estas se llevan a cabo mediante la realización de mezlas de color. Las igualaciones de color son necesarias en los campos: científico, artístico e industrial.

La lámina 3 , muestra las diferentes composiciones espectrales de la misma sensación cromática: a la derecha, A y C; y, a la izquierda, B y D . Abajo en E y F se ven las curvas de reemisión de estas luces de colores. Los colores A y C , y B y D son por lo tanto metámeros.

La explicación del metamerismo, según el profesor de Optica Fisiológica D. Javier Romero , encuentra su explicación a nivel receptoral : *El metamerismo encuentra su primera explicación a nivel receptoral. Para ello conviene recordar el principio de univarianza de Naka-Ruston, según el cuál, las señales generadas en los receptores no están etiquetadas conforme a la composición espectral de la luz que les llega , es decir, el impulso nervioso obtenido no lleva información de la composición de la luz que lo generó. Según*

esto , dos estímulos de color de distinta composición espectral pueden generar las mismas señales a la salida de los tres tipos de conos receptores, y en consecuencia, ser indistinguibles para el observador [12].

Por otra parte, un color se puede igualar con la mezcla de otros tres colores considerados primarios. Lo importante es que, es posible determinar las cantidades de esos estímulos primarios que lo igualan, sin especificar la sensación en sí, y sin contar con la codificación y envio de las señales al cerebro.

La tridimensionalidad del color, y el que cualquier color pueda ser igualado por la mezcla de otros tres colores, es lo que permite establacer el algebra del color o las bases de la Colorimetría Tricromática.

5.1- MEZCLAS DE LUCES DE COLORES. LEYES DE GRASSMAN

Ya en el Renacimiento, Leonardo Da Vinci, señaló que con tres colores fundamentales bien elegidos, un pintor podía obtener casi todos los colores naturales. Posteriormente, Newton (1672) y Young(1802) estudiaban las igualaciones de luces y señalaban que cualquier color podía ser conseguido por la suma de tres colores bien elegidos.

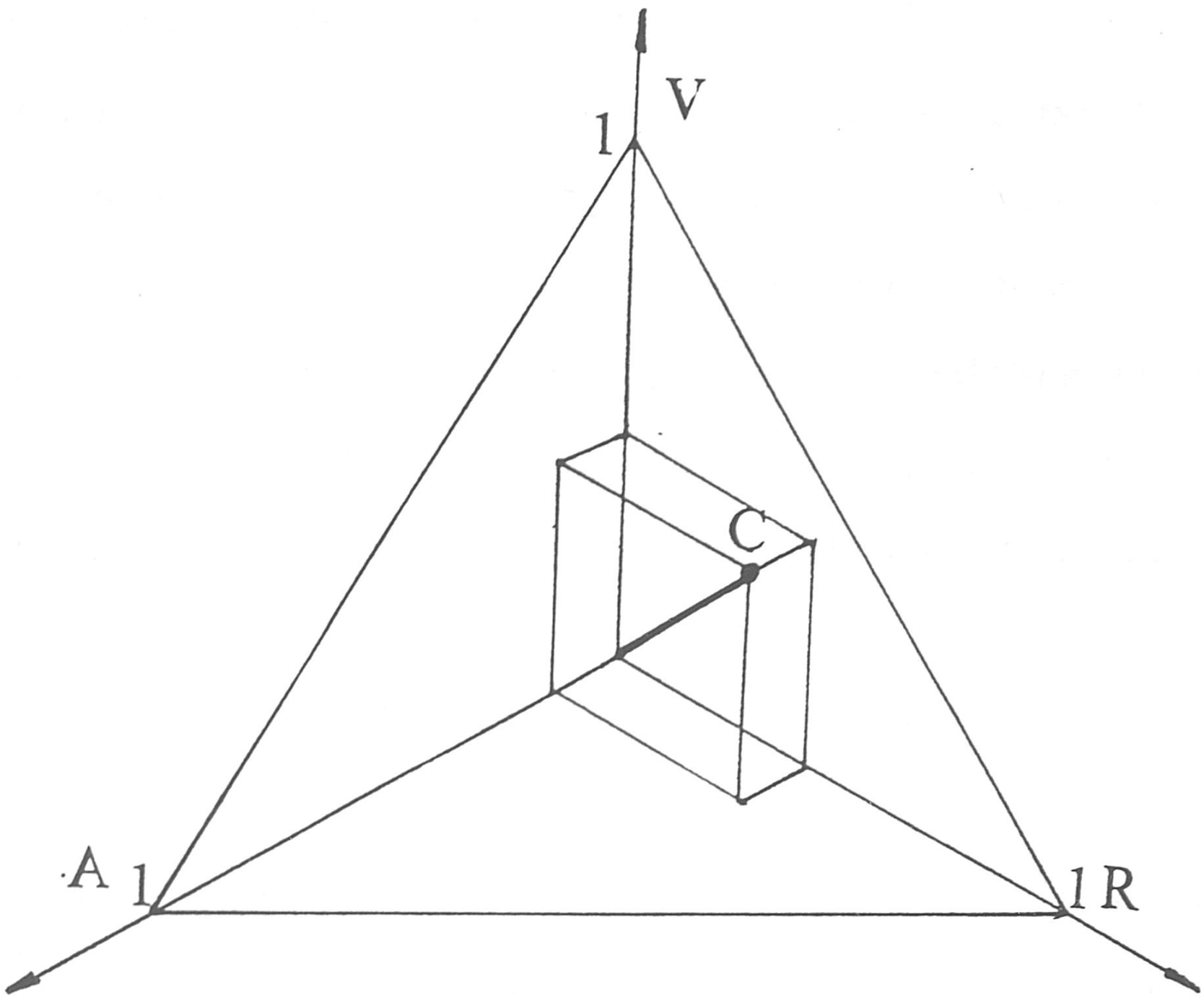
En 1853 , el físico Grassmann, establece las leyes experimentales para conseguir la mezcla aditiva de luces, a los efectos de producir sensación de color. Estas leyes son las siguientes:

1ª - Cualquier color puede ser igualado por la suma de tres colores primarios bien elegidos. *Lo esencial de esta ley, es que existe una, y solo una combinación de tres primarios que iguala perceptualmente cualquier color real* [13].

Esta ley se puede expresar de forma geométrica, en un espacio de tres dimensiones, representando en cada eje la componente de cada primario (rojo, verde, y azul); y los colores a obtener, como combinación lineal de cada uno de ellos representado en un plano, cuyos puntos corresponden al vector que nos da la combinación de los componentes tricromáticos de los puntos utilizados . Los puntos tienen que cumplir la condición de que la suma de sus componentes tricromáticas tiene que ser la unidad, matemáticamente, r+ v+ a = 1.

En la gráfica (I.19) podemos apreciar la representación del color " C ". El color, C, tendría que cumplir la ecuación $c\,C = r\,R + v\,V + a\,A$

Gráfica I.19



2ª - Si la intensidad de la radiación que produce una sensación de color dada, se multiplica por una constante cualquiera , sin cambiar la composición espectral relativa, el valor de la sensación no cambia. Algebraicamente sería: nc C= nrR + nvV + naA

3ª -Si se suman dos estímulos de color cualesquiera, evaluados en términos de estímulos de referencia, la suma algebraica de ambos es equivalente a la suma algebraica de las cantidades de los estímulos de referencia necesarios para igualar los colores en cuestión. Es decir, si un estímulo de color A, es igual al estímulo B, aunque ambas tengan distinta composición espectral, y el estímulo C es igual al D , entonces la suma o mezcla aditiva, de A y C, produce la misma sensación de color que B y D.

En base a la tercera ley de Grassmann se construye toda la estrutura técnico-científica de la colorimetría actual.

Estas leyes han sido revisadas en posteriores experimentos y tienen algunas salvedades como: *El segundo postulado es válido en tanto que n, no sea mayor de cierto límite, pués el fenómeno de Bezold- Brücke muestra el no cumplimiento de este principio.El tercer postulado también es limitado, pues deja de cumplirse para determinadas igualaciones realizadas con un campo visual amplio y la primera no es válida para describir el fenómeno de Land* [14].

5.2 - ECUACIONES TRICROMATICAS

Por lo que hemos dicho anteriormente , en la mezcla aditiva o de luces, un color C , viene dado de la suma en unas cantidades determinadas de tres colores (luces) primarias fundamentales, que se corresponde con la ecuación tricromática siguiente : $c\,C = rR + vV + aA$

En esta ecuación, la letras mayúsculas no representan cantidad alguna, sino cualidad. Los coeficientes o letras minúsculas, representan magnitudes fotométricas, como lúmenes, y se llaman componentes tricromáticas.

Mantenemos las letras R para al rojo , aunque este difiera del rojo para el artista, el rojo sería un rojo - anaranjado y corresponde a las longitudes de onda largas del espectro , si éste estuviera dividido en tres zonas, el verde se corresponde con las longitudes de onda medias y el A , azul, es un azul-violáceo y corresponde a las longitudes de ondas cortas.

Estas mezclas de luces coloreadas se han realizado enviando sobre una especie de diedro, llamado dado o cabezal fotométrico, que presenta dos caras en distinta dirección, un flujo de luz c, del color C, y sobre la otra cara o mitad del campo, flujos variables de los primarios(R, V, A), hasta que se produzca la igualación de las dos playas o campos.

El instrumento para realizar las mezclas de luces se llaman colorímetros, y más adelante veremos como es uno de estos dispositivos experimentales (ver gráfica I.31).

5.3 SISTEMAS DE ESPECIFICACION DEL COLOR

A. TRIANGULO DE MAXWELL

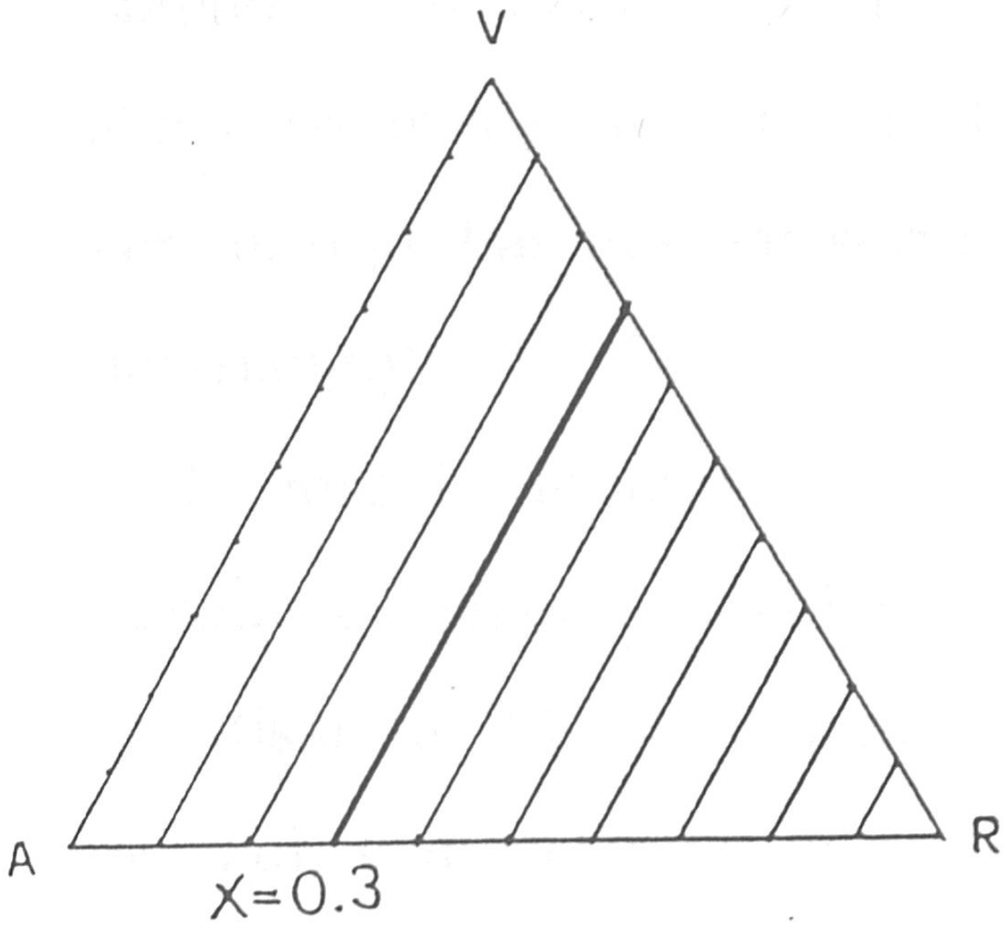
El primer sistema de representación de las leyes de la mezcla aditiva fue el triángulo de Maxwel. Se usan sistemas planos de representación, ya que según la segunda ley de Grassmann, si los dos miembros de la ecuación tricromática se multiplican o dividen por un mismo número, la ecuación no varía. Por lo tanto, se divide todo por el mismo número ,es decir, por la luminancia o flujo que se envía a cada playa de cada color primario, con lo cual no se altera ni el tono, ni la saturación. Entonces dividimos todos los miembros por r + v + a, y la ecuación se queda:

$$1C = (r / r+a+v) R + (v / r+a+v) V + (a / r+v+a) A$$

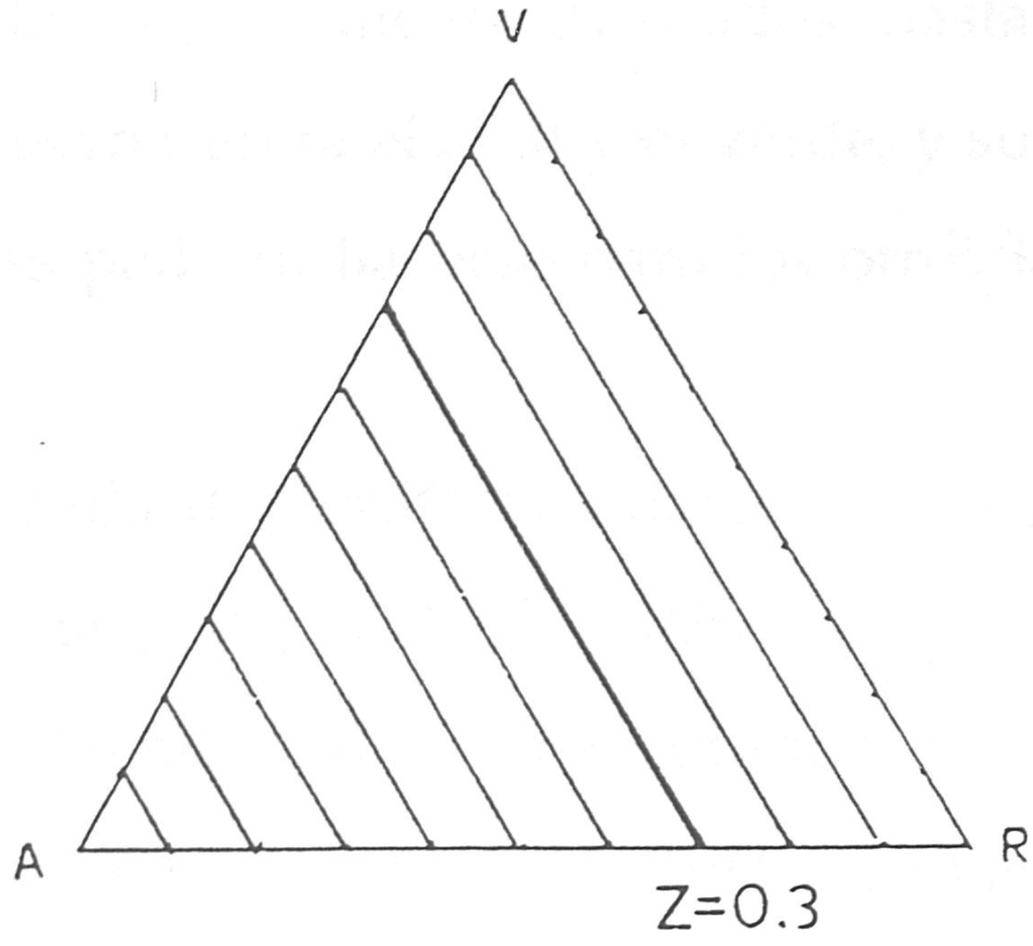
Con esto, convertimos el espacio en un plano, en este caso un triángulo equilátero cuyos vértices son los primarios R, V, y A ; cuyo lado es la unidad. Si se divide la unidad en diez partes iguales , podemos obtener un color , P , cuyas coordenadas de primarios serían : x = 0.3 , y = 0.4, y z = 0.3 ; P = (0.3,0.4,0.3).

Las líneas paralelas nos indican que los colores de los vértices pemanecen constantes y solo cambia la cantidad del primario opuesto al vértice. Si dejamos la coordenada roja constante, es decir, de rojo - nada (r= 0), y mezclamos el azul y el verde en partes iguales , es decir , a = 0.5 y v = 0.5, entonces tendremos el color llamado azul cyan , C = (0, 0.5, 0.5). Como podemos ver en los gráficos (I.20 a, b, c, d).

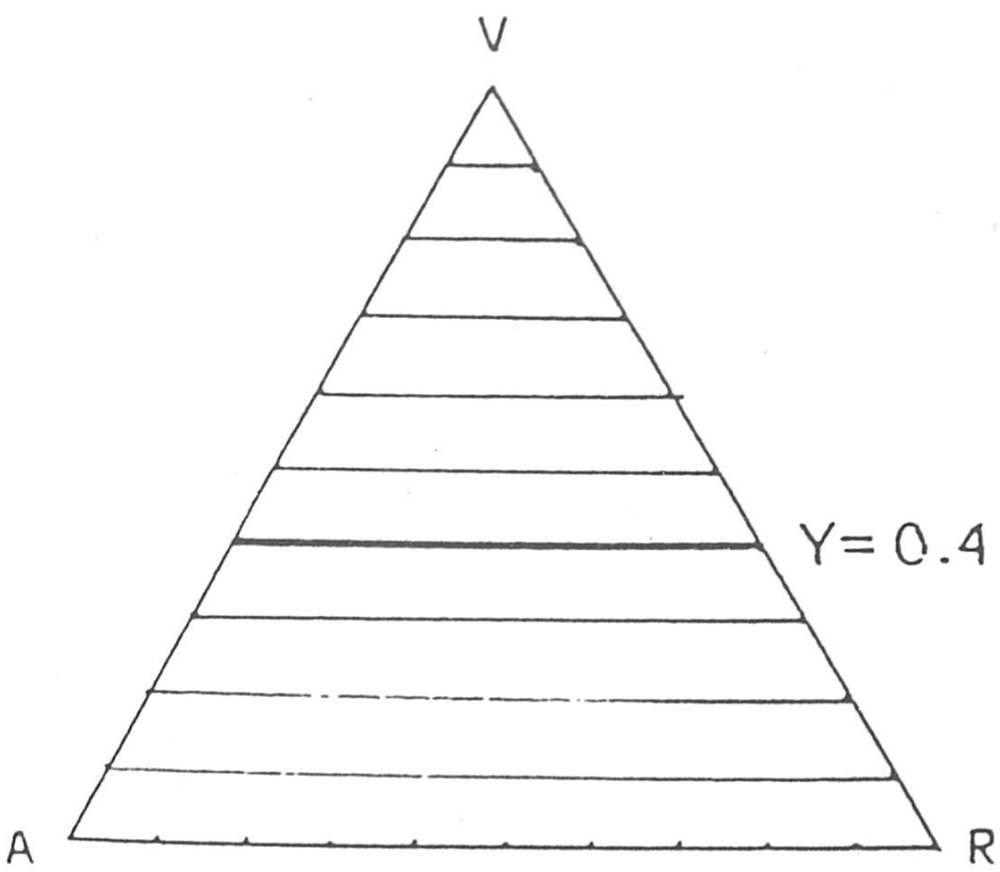
Gráfico I.20



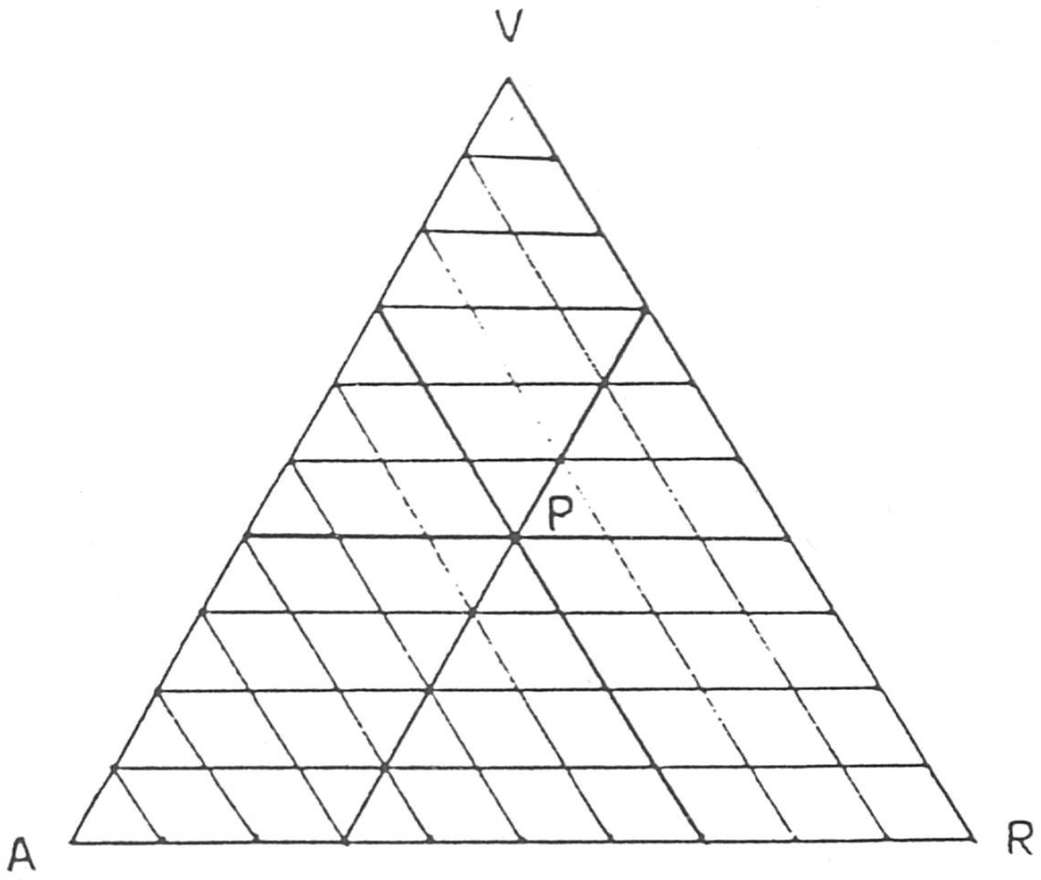
a. El rojo permanece constante



b. El azul permanece constante



c. El verde permanece constante

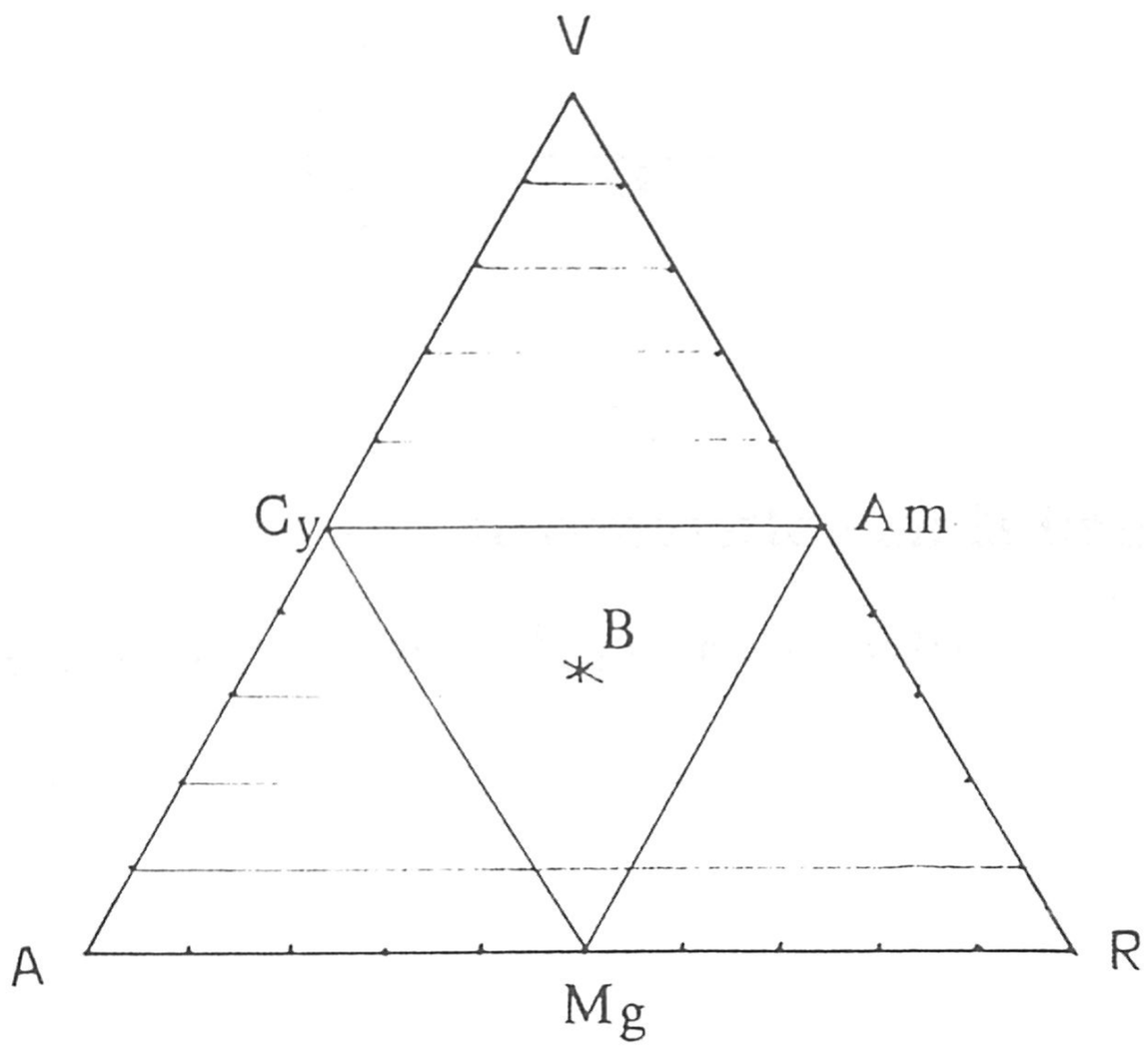


d. Situación del color P.

Al movernos a lo largo de esta recta obtendremos colores más azulados o más verdes, pero todos saturados o puros . Si tomamos la línea x = 0.3, obtendremos distintos azules verdosos pero menos saturados, hasta que al hacerse el rojo máximo , r= 1 , desaparecerá el azul y el verde, y solo se verá el rojo. Las mismas secuencias podrían hacerse para los otros lados del triángulo.

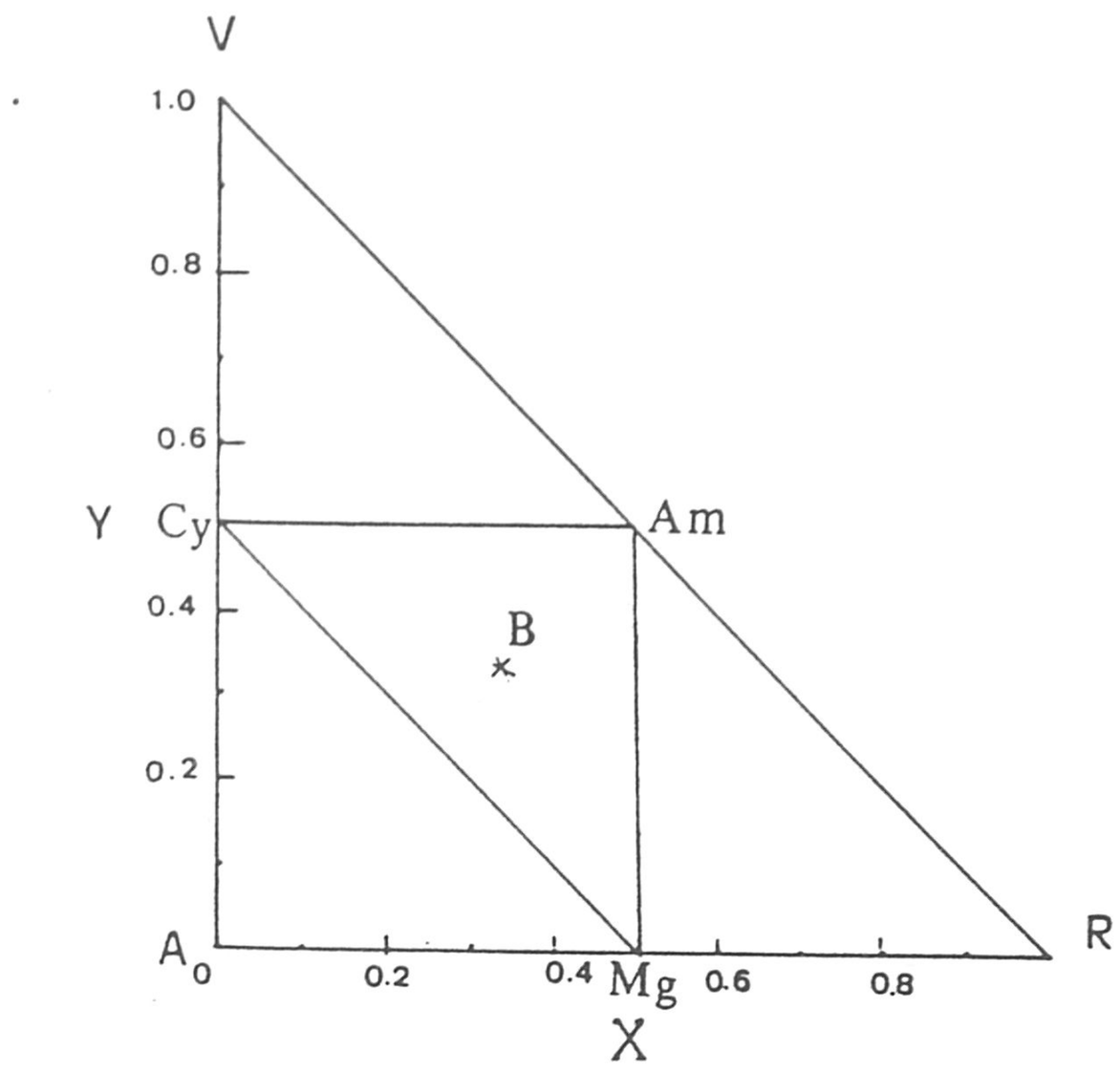
La mezcla de azul y rojo, sin nada de verde, nos daría los distintos púrpuras , siendo el color magenta , Mg = (0.5, 0, 0.5) , el púrpura equidistante . El color amarillo se obtendría, de forma saturada, sin nada de azul, y mezclando en partes iguales el verde y el rojo. El blanco o acromático, se conseguiría con la misma participación de los tres colores o luces primarias, rojo, verde y azul,como se puede observar en la gráfica (I.21). No olvidemos que nos encontramos en la mezcla de luces , mezcla aditiva.

Gráfica I.21.Triángulo de Maxwell.



Podemos ver que con sólo dos coordenadas es suficiente para poder representar un punto en el plano. Por lo que, de este triángulo equilátero se ha pasado al triángulo rectángulo, cuya representación viene determinada por la siguiente gráfica (I.22). Se puede apreciar como en esta otra representación, el centro del triángulo sigue siendo el blanco, y que uniendo los puntos medios de los lados obtenemos el triángulo complementario del anterior; es decir, el triángulo Cyan, Magenta y Amarillo. Este es el triángulo de primarios para la mezcla substractiva.

Gráfica I.22. Triángulo rectángulo (x,y).



Las medianas de los triángulos se convierten en la línea recta que une a los colores complementarios. Todas las características cromáticas del color quedan así definidas.

La mezcla de dos colores siempre da en el diagrama otro alineado con ellos, siguiendo la ley del centro de masas, es decir , los colores fundamentales : rojo, verde y azul , pueden ser cualesquiera y, fijados estos , obtendremos siempre un triángulo de primarios en cuya superficie interior se encontrarán todos los posibles colores a realizar con esos primarios escogidos.

B SISTEMA R. G. B.

Este sistema se debe a los trasbajos de Guild y Wright que sentaron las bases experimentales para establecer un sistema internacional de especificación del color y definieron el observador patrón en colorimetría. Hallaron experimentalmente las ecuaciones tricromáticas para todos los colores puros espectrales desde 350 a 780 nm , tomados de 5 en 5 nm, para tres primarios situados el rojo (R) en los 700 nm , el verde (G) en los 546 nm ,y el azul- violáceo (B) en los 453 nm. Las unidades de estos primarios se fijaron con la condición de que el iluminante equienergético E, ocupara el centro de gravedad del triángulo rectángulo de primarios, es decir , que su ecuación unitaria fuera

$$1E = 0{,}333\ R + 0{,}333\ G + 0{,}333\ B$$

Con este criterio, y hechos los cálculos , apareció que las unidades de lúmenes para los tres primarios, deberían tomarse en las proporción

$$L(R): L(G): L(B) = 1:4{,}59: 0{,}061$$

Esto es debido a que todas las longitudes de onda no son lo mismo de eficientes para producir la misma cantidad de luz.

Al sistema RGB se le encontró el inconveniente de que todos los colores espectrales puros y muchos otros, tienen alguna coordenada negativa por estar situados fuera del triángulo de primarios, por lo que se pensó en cambiar este sistema a otro que no tuviera estos inconvenientes.Esto repercute sólo a la hora de su representación.

C. SISTEMA XYZ O CIE 1931

Este sistema de representación se produce buscando que los valores sean positivos, utilizando para ello estímulos irreales, pero esto carece de importancia, pues no se trata de utilizarlos como estímulos físicos , sino como un sistema de referencia que dentro del lugar del espectro funciona ajustandose a la realidad visual. Se hace una transformación lineal correspondiente a un cambio de ejes con un cambio de escala. También se necesitaba que el nuevo diagrama evaluara la luminosidad de las muestras sin calculos extras. De todo esto resulta el diagrama de la figura, en la cual las coordenadas cromáticas se representan por (x, y, Y), representandose en un plano la coordenada" x", en abscisa y la coordenada" y", en el eje de ordenadas. Las coordenadas vienen dadas por las siguientes ecuaciones:

$$x = X / (X+Y+Z) \qquad y = Y / (X+Y+Z)$$

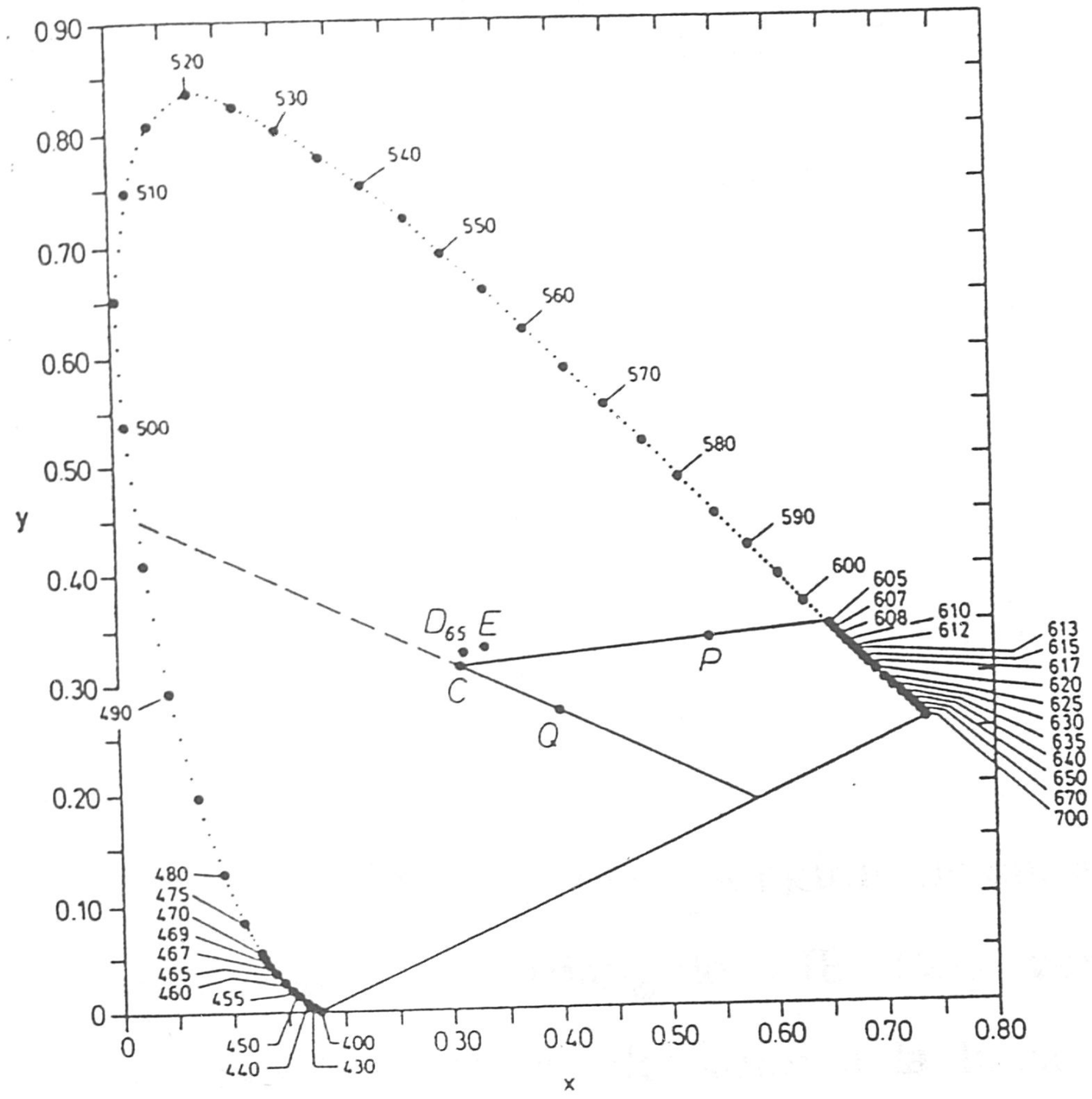
donde X,Y, Z, son los valores triestímulos, es decir, las cantidades de cada primario necesarias para igualar un color dado. Un color viene determinado por sus coordenadas de cromaticidad (x,y) y por el valor triestímulo Y, donde Y corresponde a la luminancia del estímulo de color . Estas funciones se realizan para el observador patrón y para un campo visual foveal de 2º

La gráfica (I.23), presenta el diagrama cromático CIE 1931, que consiste en un triángulo mixtilíneo, cuyos lados curvos se corresponden con las luces espectrales puras y la línea recta, con los púrpuras. Estos se definen por la radiación complementaria. En el centro se representan los

FACULTAD DE BELLAS ARTES
BIBLIOTECA

iluminantes D65 y C y el blanco equienergético, E. Un color P, al unirlo con el iluminante por una recta, nos proyecta la longitud de onda dominante, en este caso λ =605nm. El color Q , al unirlo con el iluminante por ser púrpura, se caracteriza por la longitud de onda complementaria , en este caso λ = 496,5 (14).

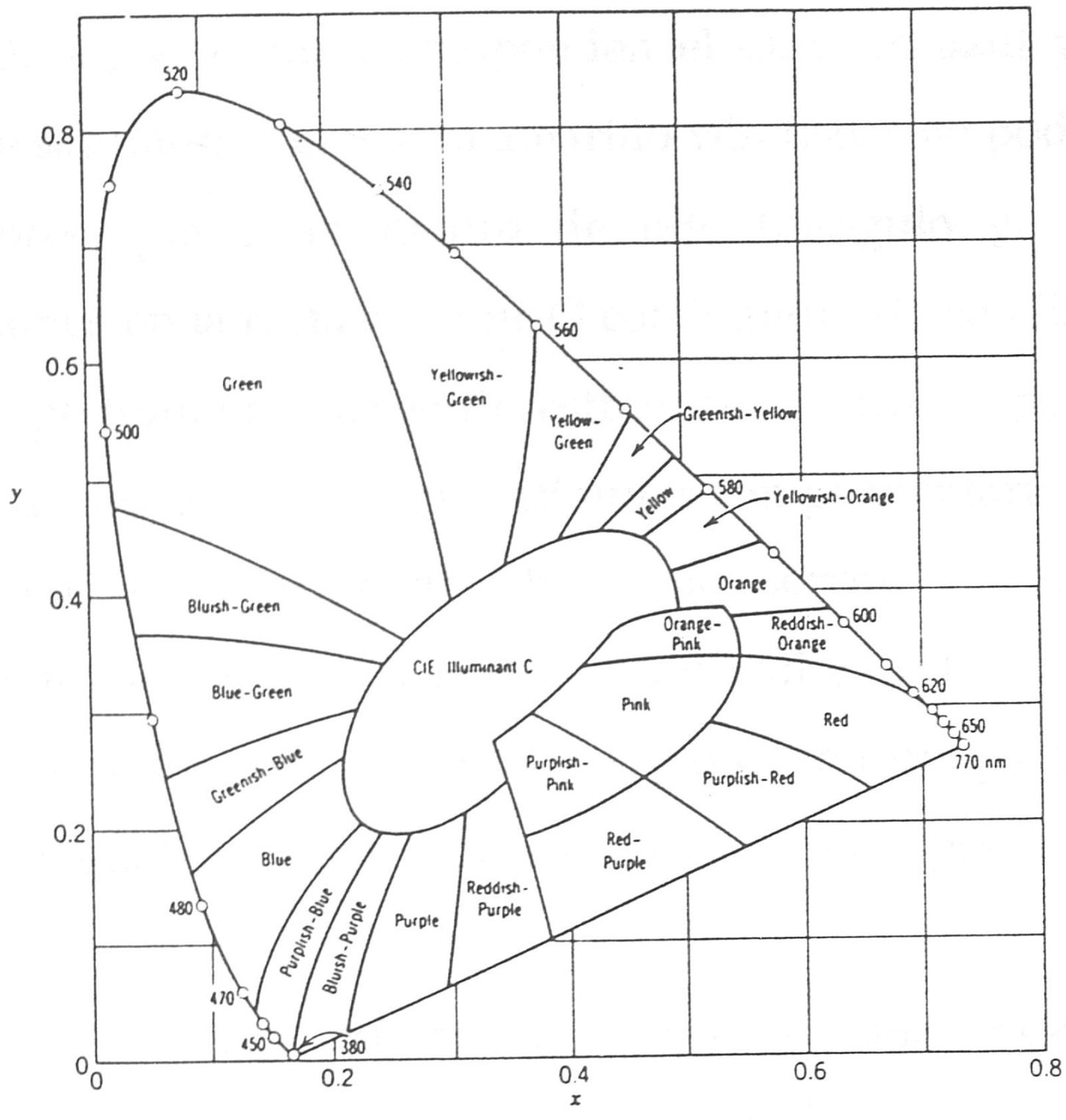
Gráfica I.23. Diagrama cromático CIE 1931.



Puede observarse, que la distancia entre las distintas longitudes de onda, no es constante, siendo los espacios mayores para los colores verdes-azulados y verdes, y muy reducido para los correspondientes a longitudes de onda cortas (azules) y largas (rojos).

En la gráfica (I.24), de la siguiente página, podemos ver como se reparten los tonos y en la lámina 4 aparece este diagrama en colores.

Gráfica I.24.Disposición de los colores en el Diagrama CIE 1931.



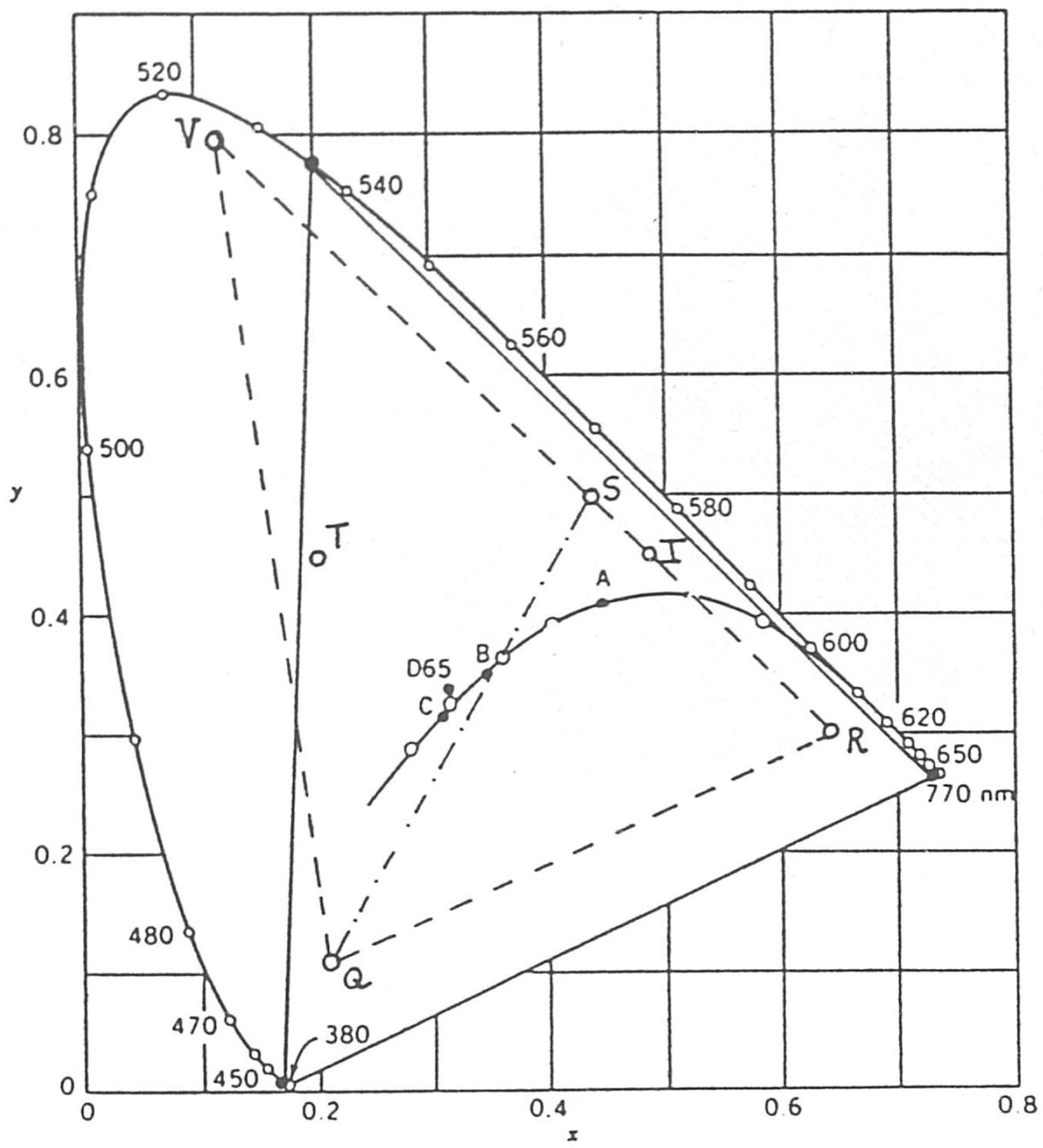
Ya hemos visto como se busca el tono o longitud de onda dominante en un color que está dentro del triángulo CIE. Para ver la pureza o saturación, se observa la distancia del color a la línea de los colores espectrales en relación con la distancia al centro, o iluminante con el que se observa la luz; dependiendo de esta distancia , la luz coloreada estará más o menos saturada.

Los primarios que se suelen escoger para hacer una mezcla de luces, suele ser el 380, 535 y 700 nm. Si observamos la gráfica (I.25) vemos que están representados con un círculo negro. Con estos primarios se

consiguen todos los colores que estan dentro del triángulo. Si en vez de estos tuvieramos como primarios, por ejemplo , los señalados con las letras Q, R , y S; que corresponden el Q, a un azul y el R, a un rojo bastante saturado, y el S a un amarillo verdoso, solo podríamos conseguir los colores que están dentro de este triángulo y, además , si nos movieramos en la recta que une Q con S (indicada con línea discontinua y punto), podríamos conseguir estímulos blancos ; por lo que Q y S podemos considerarlos como estímulos complementarios.

Sin embargo, estas dos luces no serían complementarias si el iluminante fuera un D 65. El color I (amarillo) , vendría de la mezcla de R y S, en proporciones adecuadas, sin que contribuya Q. Si quisieramos obtener o igualar una luz T, necesitaríamos otros primarios, como el Q, R, y el V.

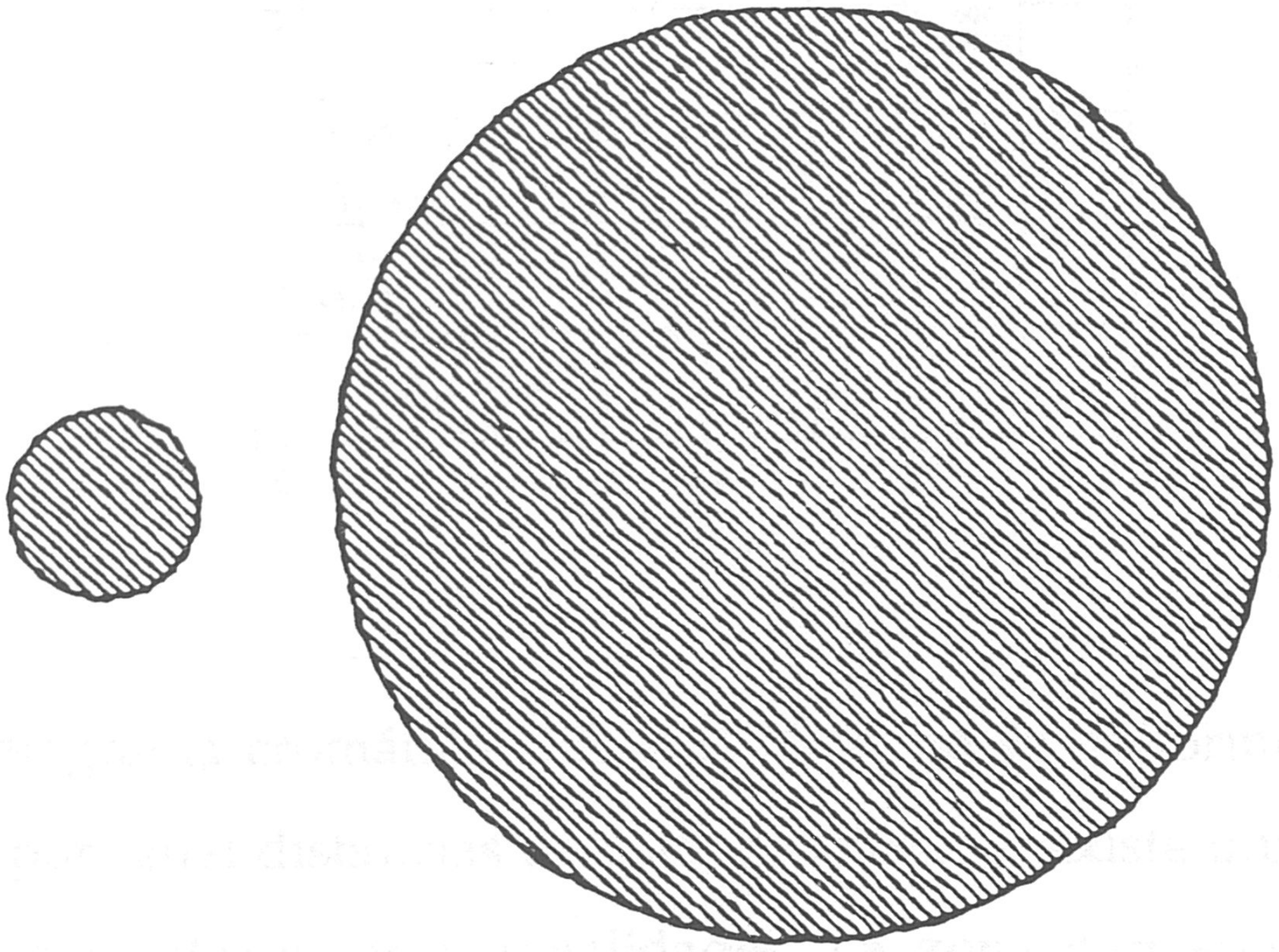
Gráfica I.25. Diagrama CIE: distintos triángulos de primarios.



El Diagrama cromático CIE 1931, fue deducido a partir de experiencias de mezclas aditivas realizadas con un campo foveal muy pequeño , de dos grados, con lo cuál, a una distancia de 45 cm., un círculo se ve del tamaño de la gráfica (I. 26)situada a la izquierda. En 1964 la CIE obtuvo otro diagrama cromático para el observador patrón y para un ángulo visual de 10º. En la misma gráfica el punto de la derecha, visto a la misma distancia de 45cm, se ve, de este tamaño, con este ángulo de campo visual.

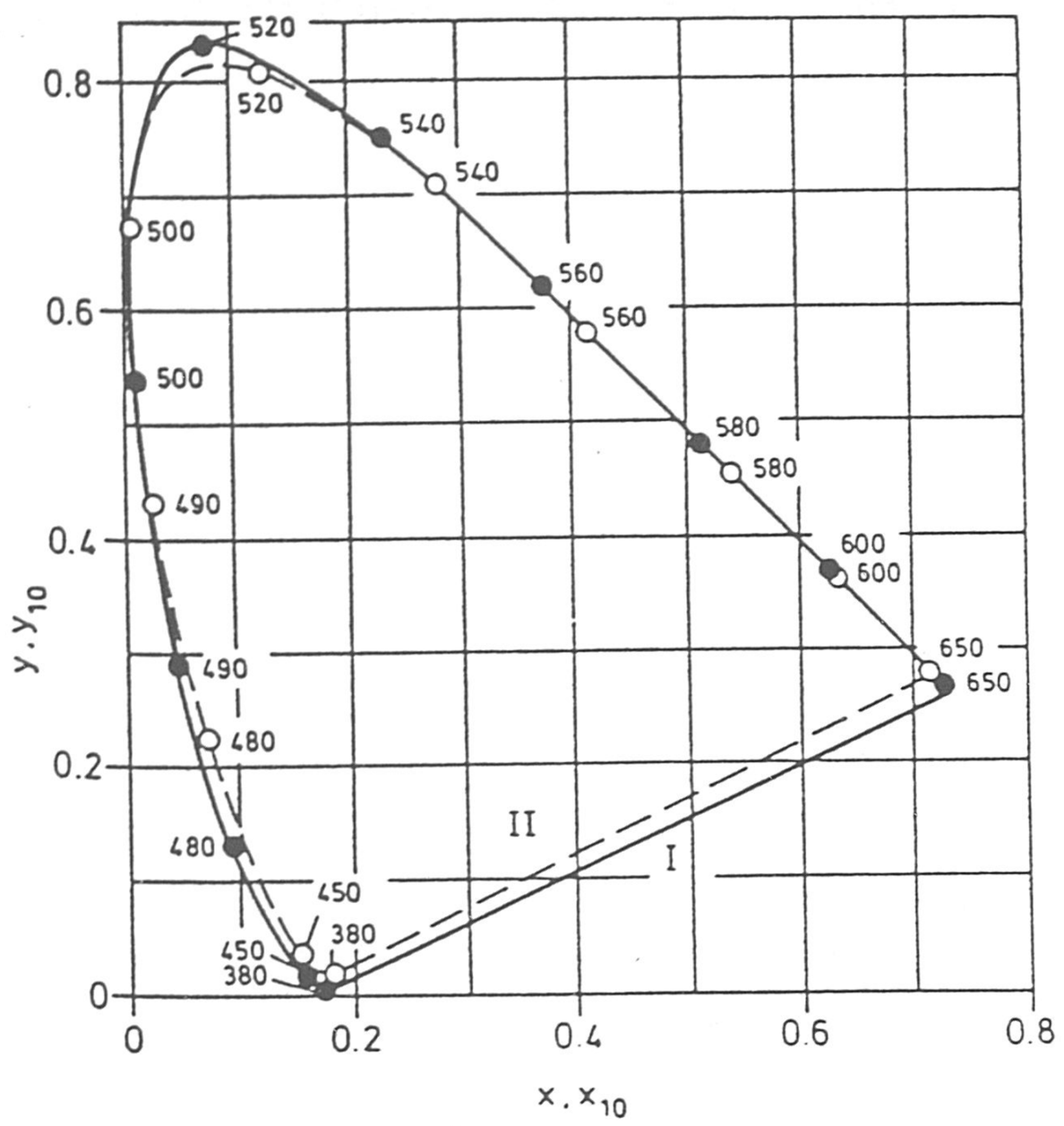
Gráfica I. 26

Punto situado a 45 cm., vistos con un ángulo visual de 2º ,el situado a la izquierda y con un ángulo visual de 10º el situado a la derecha.



Las diferencias entre los dos diagramas cromáticos CIE 1931 (x,y) y CIE 1964 (x_{10}, y_{10}), son casi inapreciable. Se pueden observar en la gráfica (I.27) donde la linea contínua (I), corresponde al campo visual de dos grados y la línea discontínua (II), al campo visual de diez grados, medidos por J. Willey [15].

Gráfica I.27



Este diagrama cromático CIE 1931 XYZ, no es uniforme , ya que no presenta por igual distancias de color iguales. No existe una distribución proporcional entre áreas y tonalidades. La zona correspondiente a los verdes es más extensa que la zona correspondiente a los azules y rojos. *Para la igualación de diferencias cromáticas, o umbrales diferenciales, las zonas que se obtienen son elipses en vez de circunferencias y en la zona de los verdes*

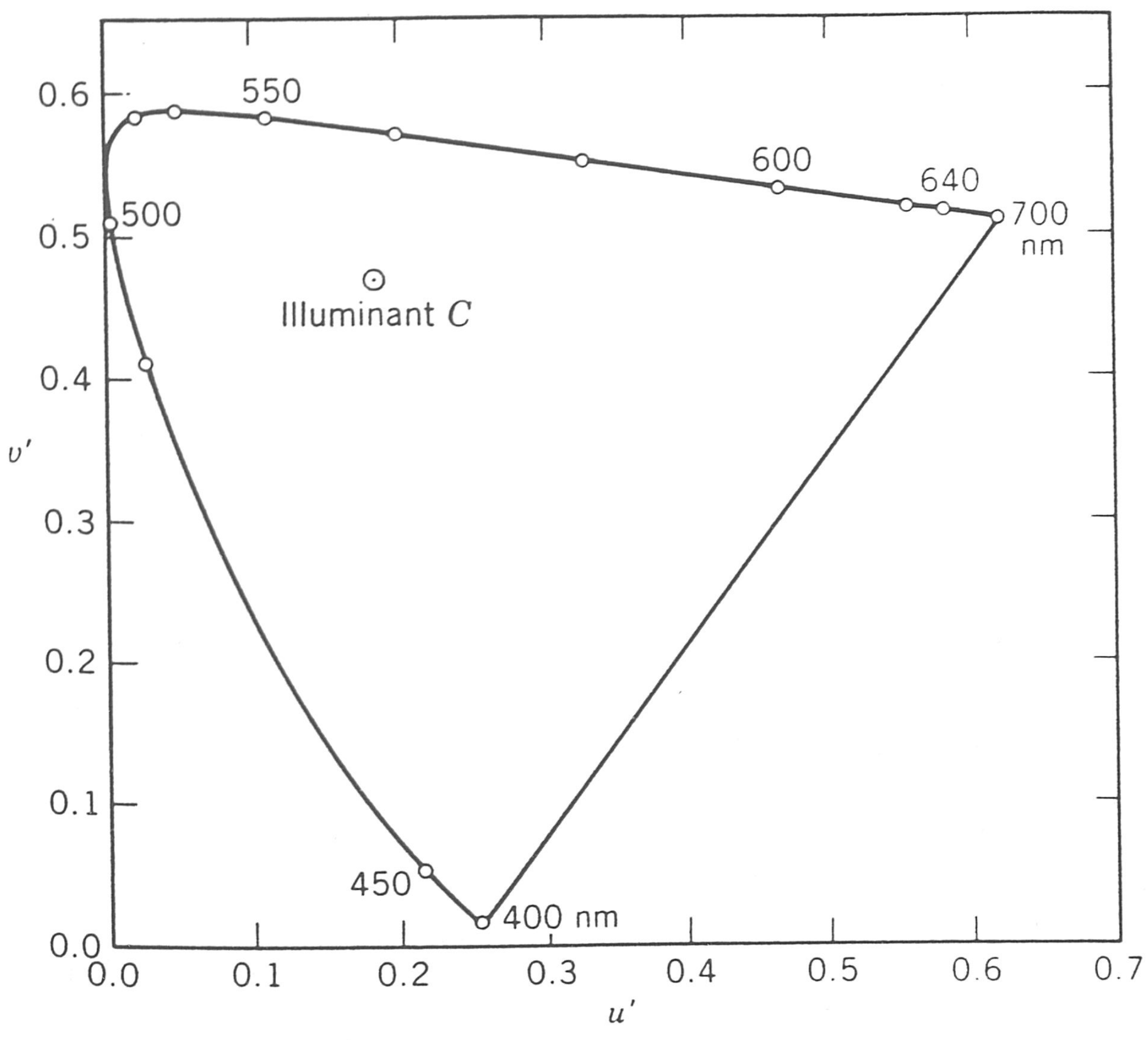
son mayores que en la zona de los rojos, y en éstas mayores que en la zona de los azules [16].

Uno de los retos de la colorimetría ha sido encontrar espacios de representación del color uniformes, en los que los umbrales diferenciales de cromaticidad sean circunferencias, y los umbrales diferentes de color sean esferas iguales. Fruto de estos intentos han sido los sistemas CIELUV y CIELAB. A pesar de estos inconvenientes, el sistema CIE 1931 se sigue utilizando para los estudios de discriminación cromática.

D. SISTEMA CIELUV

Se puede apreciar la distribución de colores en la lámina **5** . En cuanto a su esquema y comportamiento lo podemos observar en la gráfica (I.28) adjunta.

Gráfica I.28. Sistema CIELUV.



Comparando este sistema con el CIE XYZ, se puede apreciar que el triángulo mixtilíneo se hace más equilátero, y como las distancias se hacen más homogéneas, en cuanto a los cambios en los incrementos de las

longitudes de onda. La zona de los verdes, está más concentrada y la zona de los azules , púrpuras y rojos, más extendida. Hay una transformación en las coordenadas pasando estas a ser (u, v) y la luminancia L.

E. SISTEMA CIE LAB.

Las coordenadas cromáticas del sistema CIE LAB son L*, a*, b*; correspondiendo L* con la claridad, y a*, b* con las abscisas y ordenadas de un sistema de ejes perpendiculares, con valores positivos y negativos. El eje a* positivo, corresponde al tono rojo de longitudes de onda más larga del espectro, y el valor negativo (-a*) con el tono verde, correspondiente a las logitudes de onda medias del espectro. El eje b*, en su valor positivo, corresponde al tono amarillo y el negativo al tono azul - violáceo, longitudes más cortas del espectro. De forma que, en el cuarto cuadrante (+a*, -b*), se representan los colores púrpuras.

Lo importante o significativo de este sistema con relación a los CIE XYZ, y CIE LUV, es :

-Se han situado los tonos de forma que aparecen opuestos en el diagrama conforme a las teorías de los colores oponentes de forma par amarillo-azulvioláceo, y verde- rojo.

-La figura que se forma es un cículo cromático, donde los tonos se van sucediendo de una forma continua. Esto supone un punto común con los sistemas actuales de representación del color por parte de las artes plásticas y el campo de las ciencias.

- Se utiliza para objetos o muestras coloreadas.

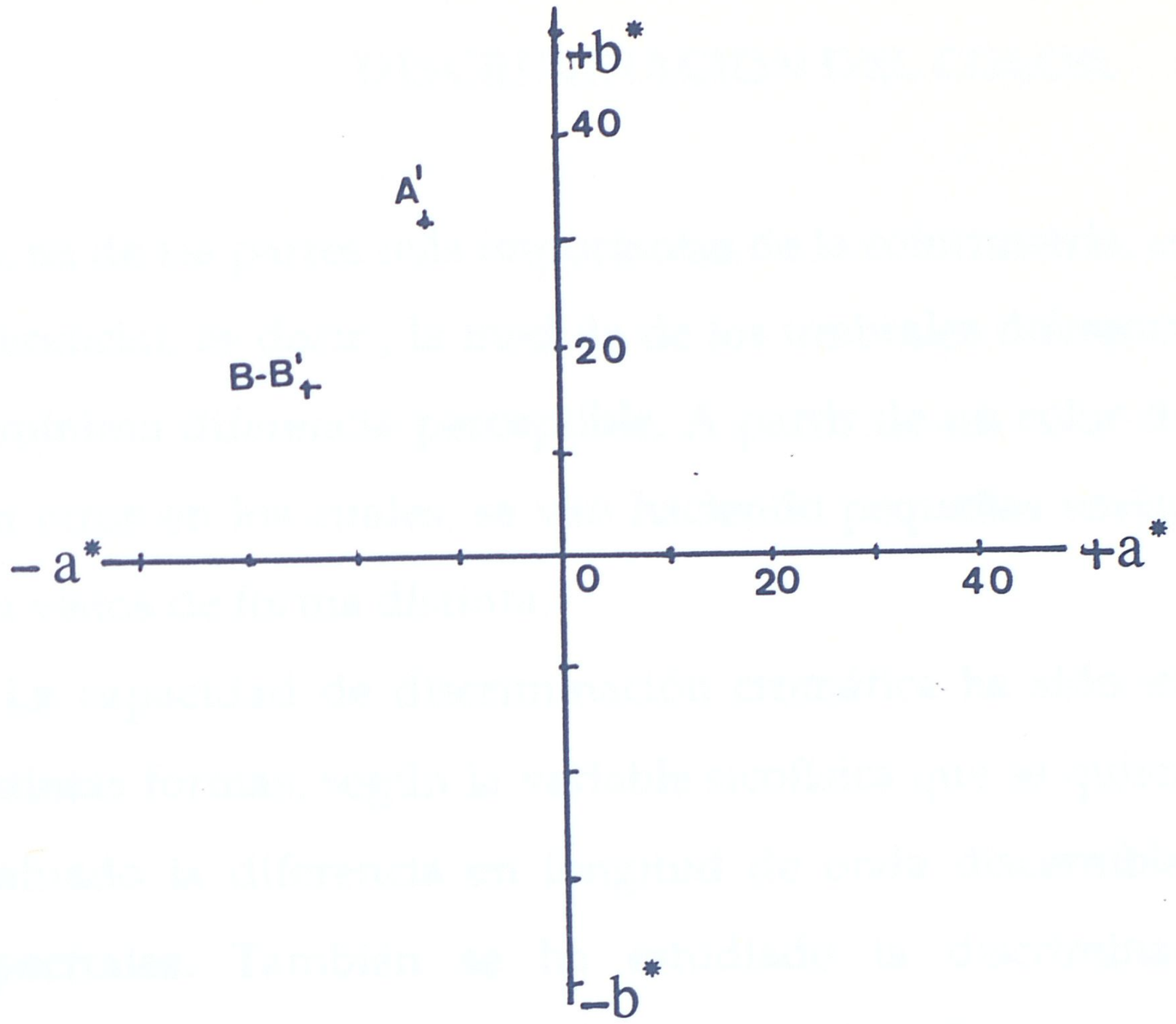
- Los lugares donde queda situado un color, una vez conocidas sus coordenadas, es más independiente del iluminante utilizado . Esto no sucede con el Sistema CIE 1931 (XYZ), en el cual, el iluminante desplaza

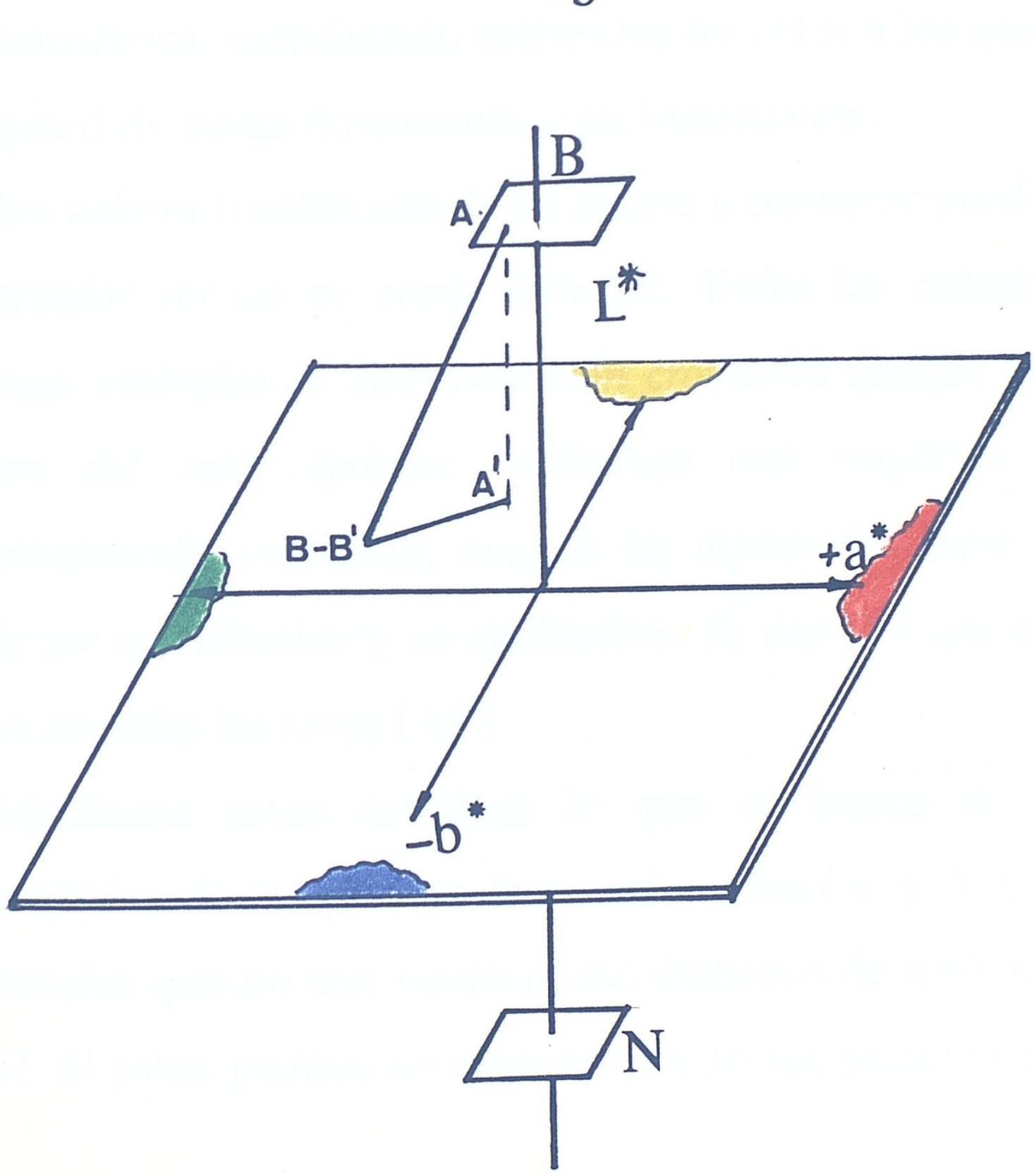
la situación de los colores observados de forma muy evidente, dependiendo de la composición espectral del iluminante.

En la Lámina 6 vemos la distribución de los colores en este diagrama.

Los colores del centro son desaturados o acromáticos. Trazando diámetros podemos observar los colores complementarios de cada uno de ellos. Se suele representar un diagrama para cada nivel de luminancia, L*, aunque se puede proyectar todo sobre un plano, como se indica en el dibujo, en donde se pueden apreciar las características antes señaladas.

Gráfica I. 29. Sistema de Color CIE LAB (1976).





5.4. COLORIMETRIA DIFERENCIAL : DISCRIMINACION DEL COLOR.

Una de las partes más importantes de la colorimetría, es la Colorimetría diferencial; es decir , la medida de los umbrales diferenciales del color y la mínima diferencia perceptible. A partir de un color dado, se compara con otros en los cuales, se van haciendo pequeñas variaciones hasta que son vistos de forma distinta.

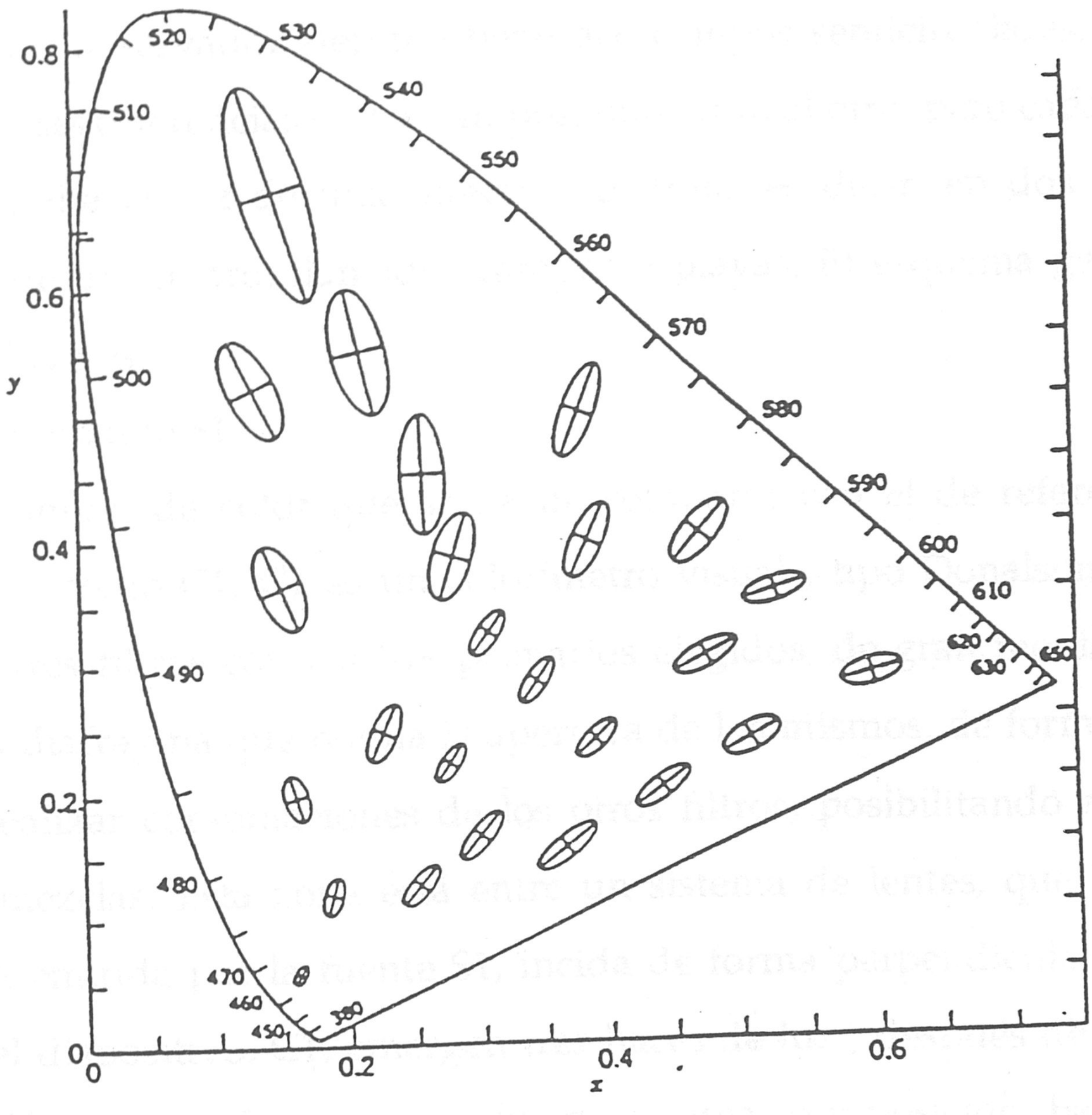
La capacidad de discriminación cromática ha sido evaluada de muy distintas formas, según la variable sicofísica que se quiera estudiar. Se ha evaluado la diferencia en longitud de onda discernible para estímulos espectrales. También se ha estudiado la discriminación en pureza colorimétrica, estudiando estímulos de color a los que se deja constante su longitud de onda dominante y su luminancia.

Los valores triestímulos de los colores a comparar pueden ser diferentes pero el observador no los ve como distintos. Todos los individuos no presentan los mismos umbrales de discriminación cromática aunque no tengan problemas de visión del color...Existen individuos con mayor o menor capacidad de discriminación cromática, aunque las diferencias entre observadores normales suele ser cuantitativo y no cualitativo. Es decir, el que discrimina peor lo suele hacer en todos los tonos [17].

Mediante estos estudios lo que se busca es representar el lugar geométrico de los puntos de coordenadas (x, y, Y), que representan a los estímulos que no son vistos como distintos de uno dado, en el espacio CIE 1931. Si estos puntos se representan en un plano se obtienen elipses, pero

si se representan en el espacio se obtienen elipsoides. En la gráfica (I. 30) se representan estas elipses, medidas por MacAdam, las cuales corresponden a los puntos que representan estímulos vistos con igual color. Están aumentadas 10 veces para que se puedan apreciar mejor.

Gráfica I. 30.Elipses de discriminaciónm cromática medidas por MacAdam.



La gráfica anterior nos puede dar idea de lo que comentamos sobre el espacio CIE 1931 XY Z. Este espacio no es uniforme , ya que no representa distancias iguales para diferencias de color iguales. Las elipses de las zonas verdes son mayores que las correspondientes a las zonas rojas y éstas, mayores que las de los azules. Si fuera regular, tendrían que formar circunferencias en vez de elipses.

Las medidas de estas observaciones se realizan con luces, mediante un dispositivo que puede ser como el que aparece representado en la página siguiente. EL observador siempre tiene dos campos semicirculares, para discriminar las diferencias de los campos, uno junto al otro, pero cada uno de ellos, recibe la luz de una dirección distinta; es decir, en dos caras diferentes de un diedro, llamados campos o playas. El esquema general del dispositivo es:

- un iluminante S1.

- el estímulo de color que se ha de comparar con el de referencia, simbolizado como C1. C1 es un colorímetro visual , tipo Donalson, que consta de tres filtros con los tres primarios elegidos, de gran movilidad. Llevan un diafragma que regula la apertura de los mismos, de forma que permite realizar combinaciones de los otros filtros, posibilitando así las distintas mezclas. Esta zona está entre un sistema de lentes, que hacen que la luz emitida por la fuente S1, incida de forma perpendicular a los filtros. Del dispositivo, C1, emergen tres haces de luz , después de pasar por los filtros, por lo que son luces de una composición bastante monocromática, si se utilizan filtros interferenciales.

- Esfera integradora E1. Las luces que emergen de la lente condensadora centran este haz de luz por el orificio de la esfera integradora, E1. Esta esfera está recubierta por óxido de magnesio (blanco), con lo cual es un difusor perfecto, de tal forma que integra y mezcla aditivamente las luces que le llegan. La radiación sale por otro orificio y, a través de una lente L1, se focaliza en una cara de un dado (diedro) o cabezal fotométrico, constituyendo este uno de los campos, playas o colores que se va a comparar.

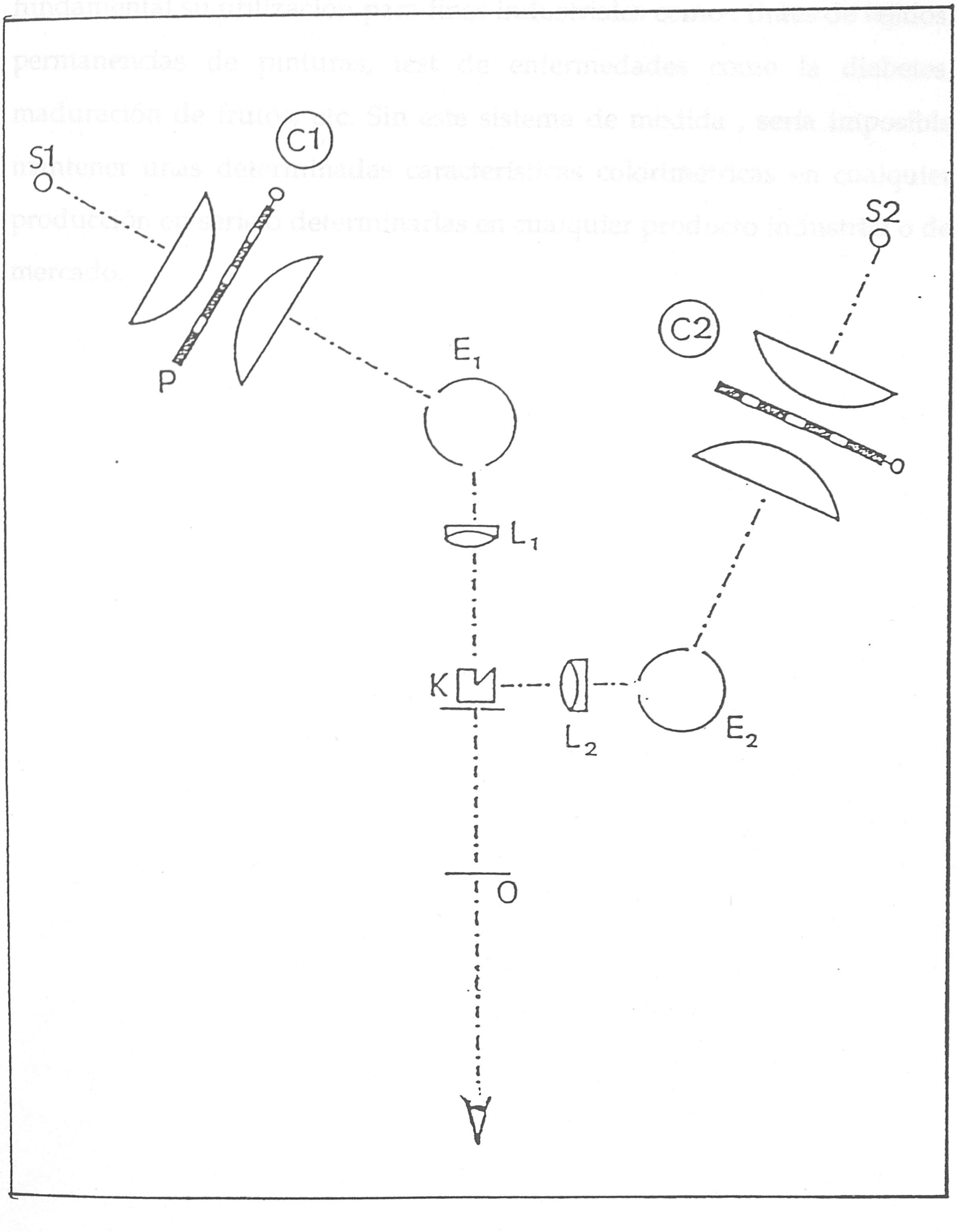
Solo la otra parte del campo del cabezal fotométrico o diedro, le llega luz de otra composición espectral, determinada por un proceso similar al anterior, de tal forma que, cuando se utiliza para hacer igualaciones de color, hay un campo fijo y otro variable, cuya cromaticidad se puede controlar a través de los mandos del colorímetro, mezclando en distintas proporciones cada una de las luces primarias.

Una de las formas de realizarlo es cerrando el diafragma de dos de los filtros, y dejar solo uno, para que al trabajar con distintas aperturas lo que se obtiene son cambios de luminancias, dejando las componentes cromáticas de longitud de onda y pureza, constantes.

La siguiente gráfica (I.31) nos muestran la forma del esquema general del dispositivo experimental descrito.

Gráfica I.31.

Dispositivo experimental con colorímetro tipo Donalson [18].



La colorimetría diferencial permite medir la sensación del color dentro de las tolerancias o umbrales que antes hemos indicado; por lo tanto, es fundamental su utilización para fines industriales como : tintes de tejidos, permanencias de pinturas, test de enfermedades como la diabetes, maduración de frutos, etc. Sin este sistema de medida , sería imposible mantener unas determinadas características colorimétricas en cualquier producción en serie o determinarlas en cualquier producto industrial o de mercado.

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. Martinez Lozenzo, A. Fisica y Química 3º de BUP. , Ed. Bruño. Madrid (1985); p.65.

2. Hita Villaverde , E., La Visión del color y sus anomalías. Publicaciones de I.C.E. U. de Granada (1980); p.17.

3. Asimov, Isaac, El Universo, Alianza Editorial.Madrid;p. 317.

4. y 5. Eisberg , R. y Resnick, R.,Física cuántica, Ed. p.88 y 89.

6. Soriano , J. y Valero, E. Física para COU. Valencia (1976); p. 406.

7. Casas, J. Optica,Dpto. de Optica . Universidad de Zaragoza (1985); p.352.

8.9 y 10 Hecht - Zajac . Optica; ED. Addison Wesley (1990), Madrid, pp. 367,367 y 376.

11. Wyszecki, G. y Stiles, W. S.; Color Science: Concepts and Methods, Qualitative Data and Formulae. Ed. Wiley (1982) New York, p.487.

12. Romero Mora, J.; Optica Fisiológica; Dpto de Optica. Universidad de Granada (1992); p.142.

13 y 14. Lozano, R.D. ; El color y su medición . ED. AméricaLee (1978), Buenos Aires.p. 198 e idém.

15. Billmeyer- Saltzman.; Principles of Color Technology.2º Edición. Wiley (1981). Toronto; p. 57.

16. Hita Villaverde , E. Contribuciones físicas a los mecanismos de la percepción cromática. Discurso de entrada en la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada. Granada (1993).

17. Romero Mora, J.; Optica Fisiológica; Dpto de Optica. Universidad de Granada (1992); p. 154.

18. Jimenez Cuesta , J.R. Tesina : Parámetros de Discriminación en pares metámeros acromáticos. Universidad de Granada .Noviembre 1990; p. 29.

- CAPITULO II -

VISION Y PERCEPCION DEL COLOR

" El color no es un fenómeno físico, sino fisiológico. El color es única y exclusivamente la sensación de color. En consecuencia , la ley fundamental de la teoría de los colores es la que rige el funcionamiento del órgano visual."

H. Küppers.Fundamentos de la teoría de los colores. p. 9.

1. ANATOMIA DEL OJO

Desde un punto de vista general, se puede distinguir tres partes en el aparato de la visión: el globo ocular, las vias ópticas y los órganos anejos.

1.1 EL GLOBO OCULAR

Se denomina así porque tiene una forma sensiblemente parecida a una esfera de dos centímetros de diámetro; puede distinguirse en él una cubierta y un contenido. La cubierta está formada por la yuxtaposición de tres membranas que son de fuera adentro : la esclerocórnea, la úvea, y la retina. El contenido está representado , de delante atras, por: el humor acuoso, el cristalino, y el humor vítreo.

A. MEMBRANAS DE CUBIERTA

La membrana externa, la esclerocórnea, como su nombre indica está constituida por la esclera y la córnea. La esclera ocupa toda la zona posterior y es una cámara fibrosa de sostén dura en la que se insertan los músculos motores del ojo. La córnea es un casquete transparente situado en la zona delantera del ojo y en contacto con el exterior dejando pasar los rayos luminosos, presenta una forma abombada hacia delante debido a que su radio de curvatura es más pequeño que el de la esclera. La zona de transición esclero corneal se llama "limbo".

La segunda membrana, la úvea, se divide en tres partes , de atras adelante son: la coroides, el cuerpo ciliar y el iris. la coroides tapiza la retina visual y desempeña un doble papel: de nutrición , por su riqueza vascular, y de pantalla absorbiendo la luz que no absorben las células fotorreceptoras de la retina impidiendo, por lo tanto , fenómenos de reflexión de la luz dentro de este medio. Esta función la puede llevar a cabo gracias a la abundancia de su pigmentación. Se prolonga hacia delante por un rodete anular, el cuerpo ciliar. Su parte externa, pegada a la esclera está ocupada por el músculo ciliar , que actúa en el mecanismo de la acomodación; su parte interna presenta hacia delante la corona de los procesos ciliares, que segregan el humor acuoso, y hacia atrás una superficie plana, la pars-plana, donde se inserta la zónula, ligamento superior del cristalino. El segmento más anterior de la úvea , está representado por un diafragma vertical, el iris, perforado en su centro por el orificio pupilar, de abertura variable entre 2 mm. a 7,5 mm de diámetro, según la iluminación de la escena observada. El iris está formado por fibras musculares lisas, involuntarias , dispuestas en dos estratos, uno anterior de fibras circulares y otro posterior de fibras radiales, al contraerse las primeras reducen el orificio pupilar y las segundas lo dilatan. En su parte anterior, el iris está provisto de células pigmentadas que le dan un carácter opaco y color.

La membrana más interna es la retina que tapiza toda la superficie de la úvea, pero no desempeña su papel de epitelio sensorial más que en la zona en que contacta con la coroides; más adelante, a nivel del cuerpo

ciliar y del iris, se adelgaza, pierde su individualidad para formar parte integrante de estos dos órganos.

B. EL CONTENIDO

Este comprende tres elementos que son, de delante atrás:

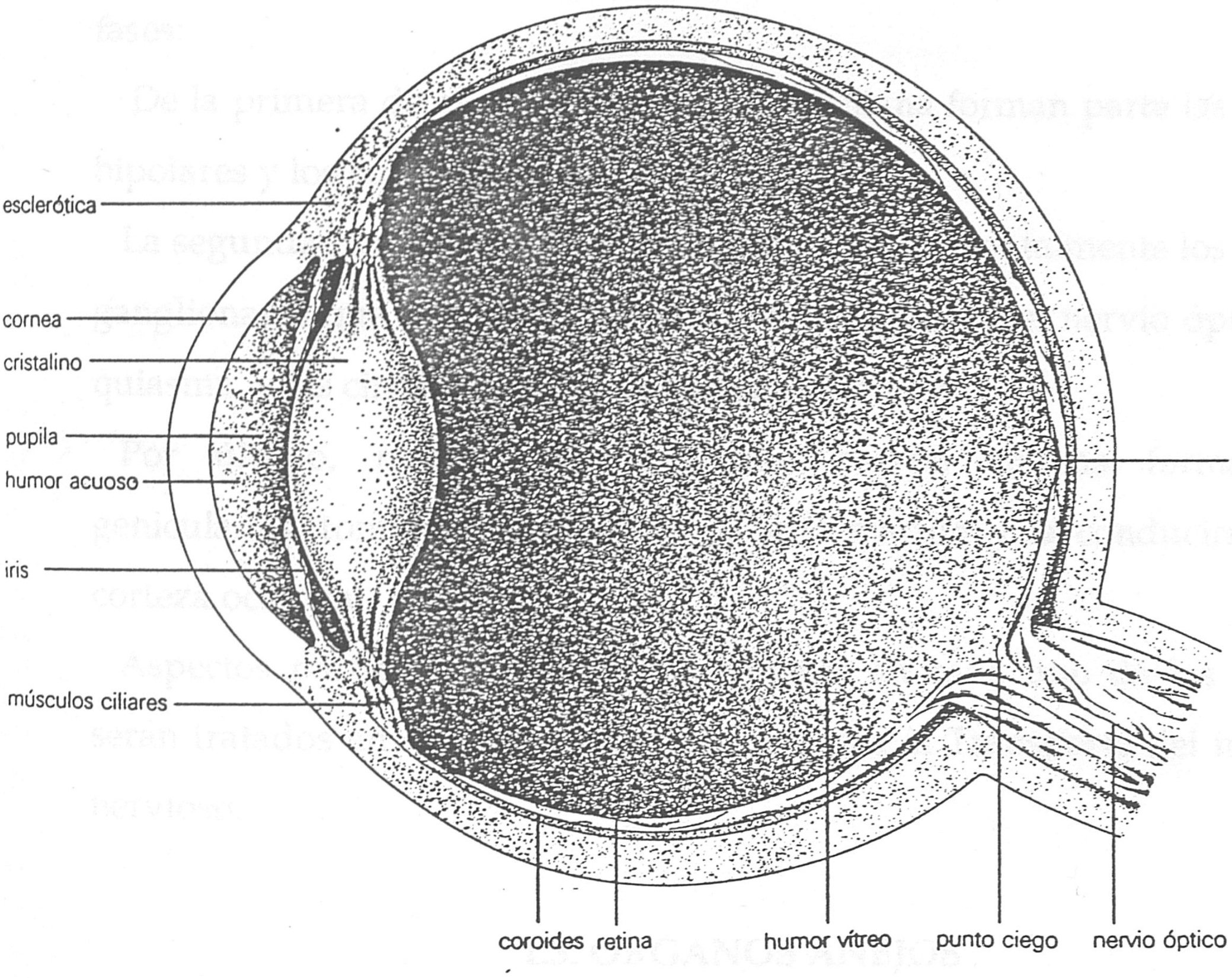
1º El Humor Acuoso. Es un líquido transparente y fluido como el agua, que llena el espacio situado entre la córnea y el cristalino.

2º El Cristalino. Es una lente biconvexa, sólida y transparente, fijada al cuerpo ciliar por un sistema de fibras , la zónula. El músculo ciliar modifica la curvatura del cristalino efectuando el mecanismo llamado de acomodación, que permite al ojo enfocar los distintos objetos situados a distintas distancias. El punto más cercano del ojo donde podemos ver nitidamente los objetos situados en él, se llama punto próximo y el más alejado punto remoto. Cuando el músculo no actua, es decir , está relajado se enfoca al punto remoto. Si el músculo esta acomodando , es decir , el cristalino se abomba por los músculos ciliares se produce cierta fatiga. La distancia mínima a la cual el cristalino puede enfocar a edad adulta es a 25 cm. Con la edad, esta distancia se vuelve mayor por la pérdida de elasticidad del cristalino, llamando a este problema presbicia. A partir de los 45 años se necesitan gafas para ver bien de cerca.

3º. El Humor Vítreo. Es un gel transparente y avascular que llena las cuatro quintas partes del contenido endo-ocular.

En la página siguiente, gráfica (II.1), representación de un esquema de las partes más importantes del globo ocular.

Gráfica II.1. Esquema Anatómico del corte Sagital del Globo Ocular.



1.2. VIAS OPTICAS

El estímulo luminoso recibido en el epitelio sensorial de la retina para su interpretación por la corteza cerebral deberá ser transformado en impulsos nerviosos. Y para facilitar la conducción del mismo hasta el cerebro serán necesarias unas vías ópticas en las que diferenciamos tres fases:

De la primera de ellas , integramente retiniana forman parte las células bipolares y los cuerpos de las ganglionares.

La segunda parte de las vías la componen fundamentalmente los axones ganglionares que abandonan la retina constituyendo el nervio óptico , el quiasma, y las cintillas ópticas que llegan al tálamo.

Por último, nuevas neuronas, con cuerpo en las formaciones geniculadas, tomarán el relevo de la información y la conducirán a la corteza occipital.

Aspectos particulares del funcionamiento en cada uno de los tramos serán tratados en el apartado correspondiente al Transporte del impulso nervioso.

1.3. ORGANOS ANEJOS

Comprenden: el sistema oculo-motor y el aparato de protección del ojo.

El sistema oculomotor está formado por seis músculos estriados que permiten al globo ocular moverse girando en la cavidad orbital articulada (cápsula de Tenon) de forma sincronizada.

El aparato de protección del globo ocular está formado por: una cavidad ósea (la órbita ocular); una cortina músculo-membranosa (los párpados) , que pueden abrirse o cerrarse a voluntad y que actúan como mecanismo de defensa ante agentes externos como el polvo; una mucosa (la conjuntiva) , que recubre la parte interna de los párpados y la parte anterior del globo excepto la córnea; y el líquido lacrimal, que nutre y defiende la córnea manteniéndola húmeda y desinfectada .

2. LA RETINA

De toda la anatomía del globo ocular, la retina, es la parte que más directamente interviene en el proceso de la visión del color. La retina es la capa encargada de transformar la energía radiante - la luz - en impulsos nerviosos que son transmitidos al cerebro, en concreto a la corteza occipital, donde es codificada la información en la correspondiente sensación de color. La retina esta constituida por células sensibles a la luz llamadas fotorreceptores y que son de dos tipos: conos y bastones.

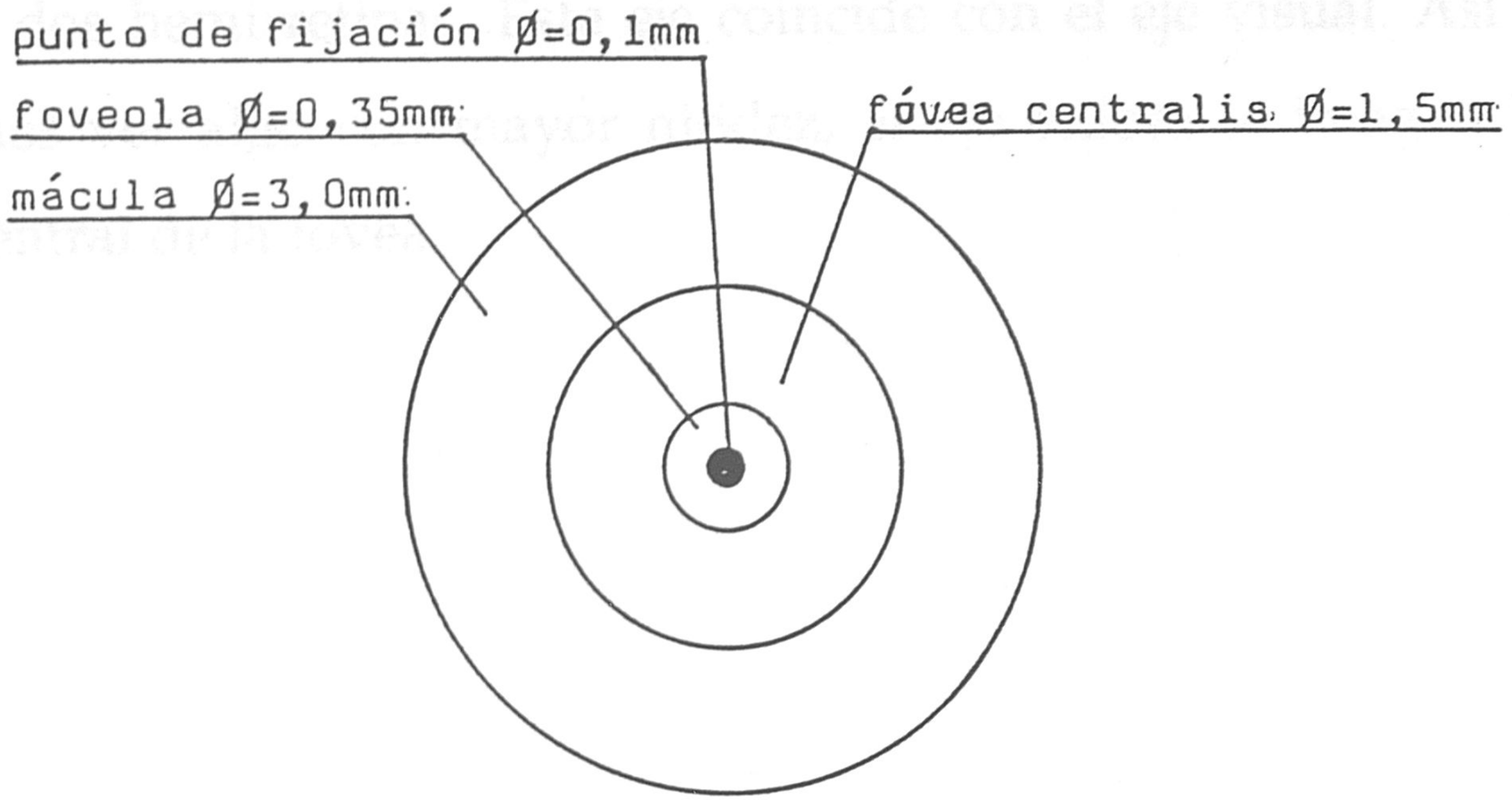
La retina se enlaza con el nervio óptico en el punto ciego, de 1,5 mm de diámetro , situado a 15 mm por debajo del eje de simetría axial del ojo en dirección a la nariz.

La anatomía y distribución de los fotorreceptores no es uniforme, como se indica en las siguientes gráficas (II.2 y 3). Formando un ángulo de 5º con el eje de simetría axial del ojo en dirección a la sien, se encuentra el punto de fijación visual de 0,1 mm de diámetro, donde hay la mayor densidad de conos de la retina (150.000 / mm^2) no existiendo bastones. Esta zona está contenida dentro de la foveola de 0,35 mm de diametro, estando esta zona a la vez dentro de la fóvea centralis o fóvea de 1,5 mm de diámetro. En toda la fóvea solo hay conos. Rodeando a la fóvea se encuentra la mácula lutea o cuerpo amarillo, de 3 mm de diámetro, donde aparecen los bastones en pequeña proporción , mientras que la distribución de los conos disminuye hasta hacerse insignificante fuera de la mácula lútea. Fuera de esta zona, el número de bastones aumenta hasta

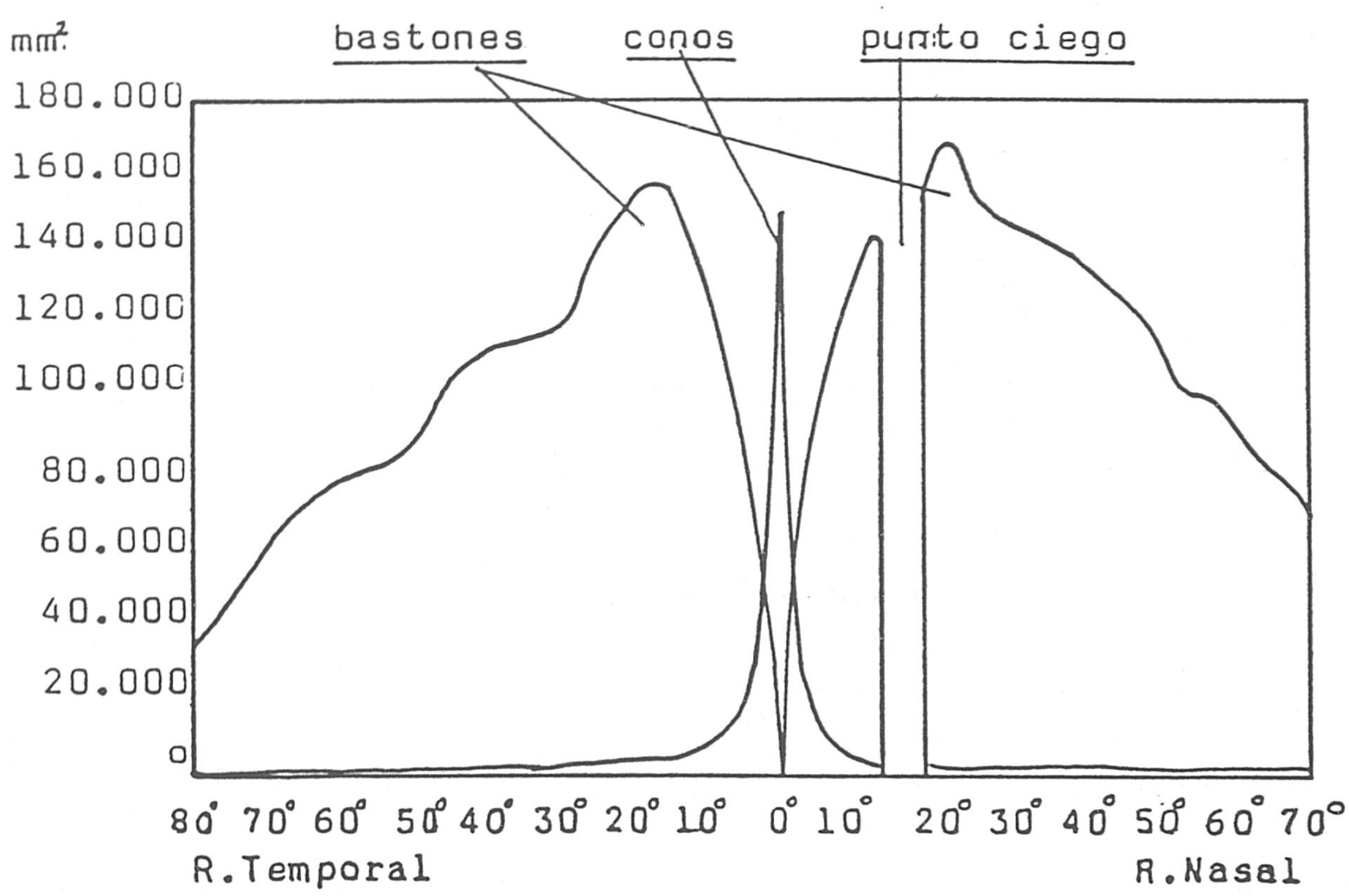
llegar a un punto máximo, alrededor de los 20º , con un número aproximado de 160.000 / mm^2 y disminuyendo lentamente .

La distribución de los fotorreceptores la podemos observar en la gráfica (II.3).

Gráfica II.2. Dibujo esquemático de las zonas que componen la fóvea.



Gráfica II.3. Distribución de conos y bastones por milimetro cuadrado en la retina [1].



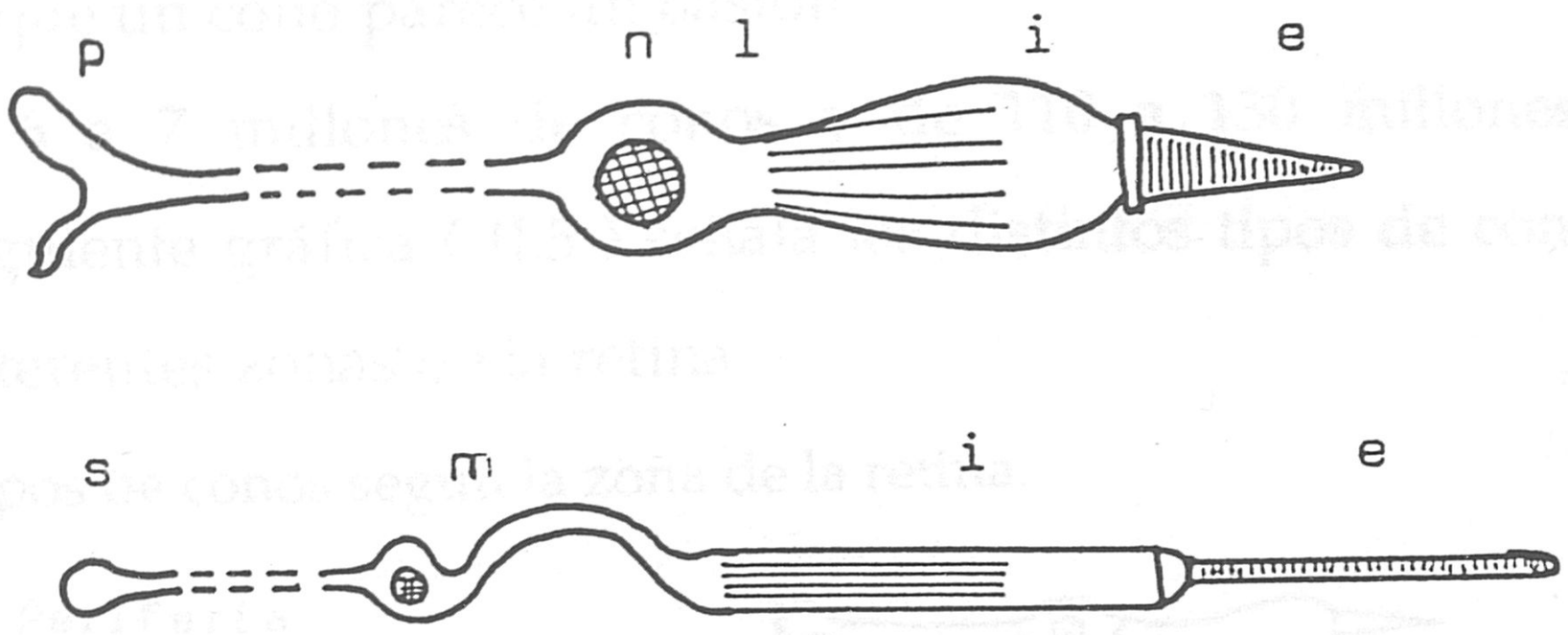
La retina a nivel de condución del impulso nervioso por las células neuronales, está dividida en dos zonas : hemirretina nasal y hemirretina temporal o lateral, formándose en cada una de ellas la imagen de la mitad del campo visual. El eje que separa las hemirretinas pasa por el centro del cristalino y la fóvea, siendo ésta participe de las conducciones realizadas por las dos hemirretinas. Este eje coincide con el eje visual. Así cuando queremos ver algo con mayor nitidez, el ojo enfoca la imagen hacia la parte central de la fóvea.

2.1. FOTORRECEPTORES

Todos los fotorreceptores constan de dos partes fundamentales : el segmento externo y el segmento interno. En el primero, se encuentra el pigmento fotoquímico que se blanquea o decolora por acción de la luz , dando lugar en el segmento interno a la generacción del impulso nervioso.

El nombre de los receptores se debe a la forma del segmento externo de cono en los conos y forma de bastón en los bastones. La gráfica (II.4) nos muestra la forma característica que presentan y sus partes.

Gráfica II.4. Esquema de los conos y bastones con sus partes componentes: (e) segmento externo ; (i) segmento interno; (l) límite; (n) núcleo; (s) esférula del bastón; (p) pie de cono.



En los bastones, el epitelio del segmento externo alcanza a tocar la coroides, mientras que en los conos, esto no sucede. En los bastones, el segmento interno se une al núcleo mediante un axón de menos de una micra de diámetro, cuya longitud varía, siendo casi nula en la periféria y

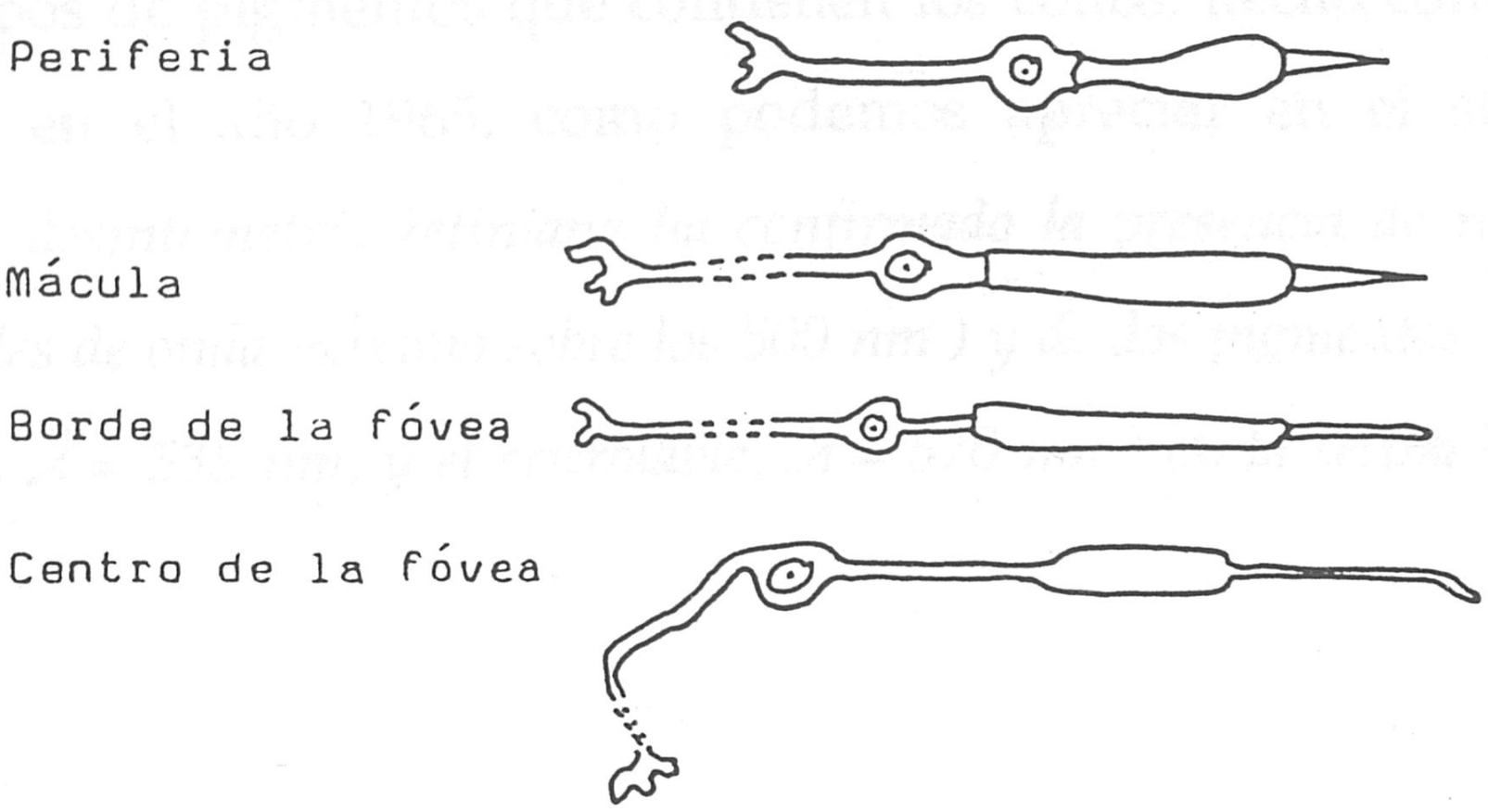
llegando a medir 600 micras en el área central. La fibra nerviosa termina en una esférula que sirve como borde de contacto para las células bipolares. El núcleo se halla siempre a unas micras del segmento interno.

En los conos , en cambio, el núcleo se encuentra en la parte inferior del segmento interno, de allí parte un axón de mayor grosor que el de los bastones - de 3 a 4 micras de diámetro - que termina en un pie cuadrangular con bordes redondeados. En la periferia este pie se hace más grueso y triangular con filamentos (hasta de una docena) de distinta longitud.

En general los bastones tienen dimensiones similares ; son de 60 micras de longitud (28 de segmento externo) con un diámetro medio de 2 micras (1 para los más centrales y 2,5 para los periféricos). Las dimensiones de los conos es más variable. La forma de los conos varía desde la periferia a la zona central o de fijación visual, de forma que en esta zona más que un cono parece un bastón.

Existen de 6 a 7 millones de conos y de 110 a 130 millones de bastones.La siguiente gráfica (II.5) señala los distintos tipos de conos y bastones de diferentes zonas de la retina.

Gráfica II.5.Tipos de conos según la zona de la retina.



2.2. PIGMENTOS VISUALES

Los pigmentos visuales son sustancias químicas que se encuentran en la membrana del segmento externo del fotoreceptor y que se decoloran o blanquean por la acción de la luz, descomponiéndose en otras sustancias químicas que producen un cambio en la polaridad de la membrana, produciéndose el impulso nervioso.

Para caracterizar los pigmentos visuales se han utilizado varias técnicas . La más sencilla fue extraer el pigmento de la retina. Esta técnica resultó satisfactoria para el conocimiento del pigmento de los bastones, la rodopsina ; sin embargo, no tuvo exito para el pigmento de los conos.

La Desintometría retiniana, es otra técnica utilizada para el estudio de los pigmentos visuales, pero esta a diferencia de la anterior se realiza en el ojo vivo. Un fino haz de luz cuasimonocromática es dirigido al interior del ojo y un detector mide la fracción de luz que se refleja desde el epitelio detrás de la retina. El problema de esta técnica es que mide el contenido en pigmento de extensas zonas de la retina, y por tanto, de muchos receptores, de tal manera que no es capaz de detectar el pigmento visual que contiene cada célula. No obstante, con esta técnica se han conseguido aislar dos tipos de pigmentos que contienen los conos, hecho conseguido por Ruston en el año 1965, como podemos apreciar en el siguiente párrafo: *La desintometría retiniana ha confirmado la presencia de rodopsina (con longitudes de onda máximo sobre los 500 nm) y de dos pigmentos de conos (el clorolable, λ = 535 nm, y el eritrolable, λ = 570 nm) en la retina humana,*

aunque no se ha detectado el pigmento sensible al azul cuya existencia está fundamentada por las teorías triromáticas de la visión de los colores [2].

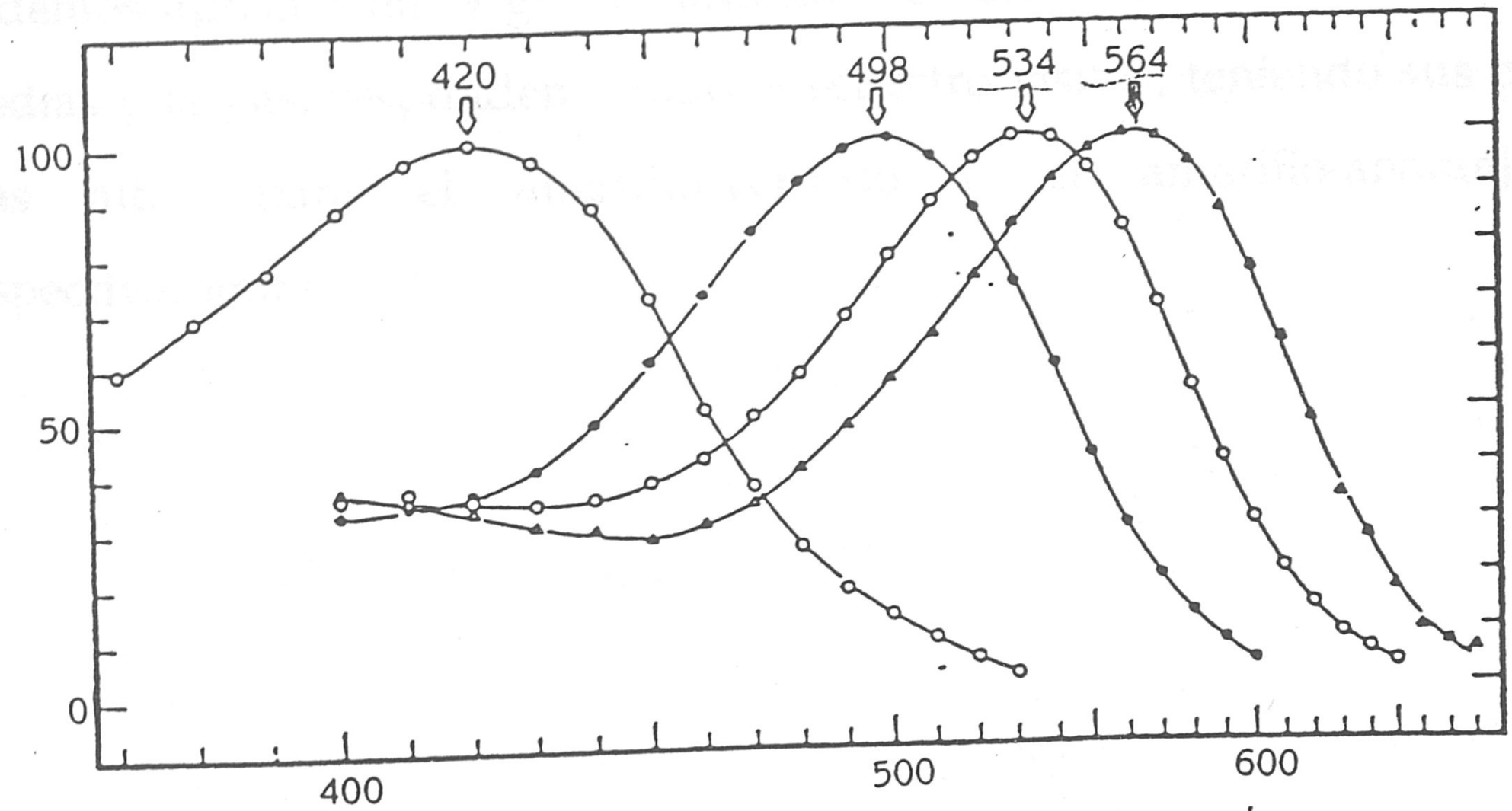
La última técnica experimentada es la Microespectro-fotometría (MSF) que examina el contenido del pigmento de los receptores individualmente, bajo observación directa en una placa de microscópio previamente aislados; de esta manera hay una correlación entre la morfología celular y el pigmento que contiene, se evita la confusión espectroscópica de un pigmento por otro, ya que la mayor parte de los receptores contienen un solo pigmento. De acuerdo con esta técnica dos grupos independientes de investigadores han determinado los espectros diferenciales de conos individuales de monos con resultados similares. *Los espectros diferenciales del equipo de Harvard -formado por Paul k. Brown y George Wald en 1964 - mostraron puntos máximos para longitudes de onda de 450 nm ,525 nm,y 555 nm; y el equipo de la Universidad J. Hopkins - formado por W. B. Marks, W. H. Dobelle, E. F. MacNichol en 1964 - mostraron puntos máximos para longitudes de onda de 445 nm, 535 nm y 570 nm [3].*

Según *Crescitelli, 1972, los fotopigmentos de los mamiféros no se han podido aislar, pero se sabe que tres de ellos se diferencian por sus propiedades de fotoabsorción - uno de los últimos datos corresponden a Dartnall, Browmaker y Mollon en 1983 - y que diferentes conos contienen uno de los tres pigmentos. Por eso, se puede hablar de conos rojos, verdes y azules, según la máxima longitud de onda que absorben; en el mandril, el 33 % de los conos son rojos, el 54 % verde y el 13 % azules, reduciendose la proporción de conos azules a un 3% en la parte central de la retina según los estudios de Masrc y Sperling en 1977. Este tipo de*

distribución puede explicar la "ceguera al azul" o tritanopía en la región foveal del hombre [4].

Esta técnica tan sólo se ha realizado una vez con éxito en *conos humanos , por Bowmaker y Darnall en 1980. Sus conclusiones se basan en las medidas hechas sobre 19 conos de longitudes de onda largas (L), 11 de tipo medias (M) o verdes, y 3 de tipo cortas (S) o azules.Las curvas de absorción espectrales obtenidas presentan máximos de absorción en 564, 534 y 420 nm para cada uno de los tres tipos de conos,* mostradas en la gráfica (II.6). *La curva de absorción para los conos azules presèntan ciertas dudas por su escasez relativa y por la débil señal que generan* [5].

Gráfica II.6 Curvas de absorción normalizadas para conos y bastones medidas por Bowmaker y Dartnall.



Como síntesis podemos decir que la retina posee dos tipos de células fotosensibles, bastones y conos . Cada una de estas células posee un tipo de pigmento que se decolora ante la presencia de luz. Los bastones poseen el pigmento llamado rodopsina con una absorción máxima para las longitudes de onda, λ = 500 nm. Los conos sensibles a las longitudes de onda largas (L) tienen un pico máximo de absorción de λ = 564 nm, por lo que se les denomina conos sensibles al rojo y cuyo pigmento se denomina eritrolable. Los conos sensibles a las longitudes de ondas medias (M) tienen un pico máximo de absorción en λ = 534 nm, por lo que se denominan conos sensibles al verde y cuyo pigmento se denomina, clorolable. Por último , los conos sensibles a las longitudes de onda cortas (S), con pico de máxima absorción en λ = 420 nm , llamados conos sensibles al azul y cuyo pigmento se llama cianolable. En realidad y como podemos apreciar en la gráfica anterior, los conos sensibles a las ondas medias y largas, responden a todo el espectro visible, teniendo sus picos más altos para el amarillo-verdoso y el amarillo-anaranjado, respectivamente.

3. TRANSPORTE DEL IMPULSO NERVIOSO

Las reacciones fotoquímicas que se producen en los fotorreceptores dan lugar al inicio del impulso nervioso que se transmite por las distintas células nerviosas hasta llegar al cerebro donde sucede la codificación del impulso, formándose la sensación correspondiente del mundo exterior.

Puesto que las células nerviosas son las que efectúan ese transporte, vamos a comentar a nivel general sus características.

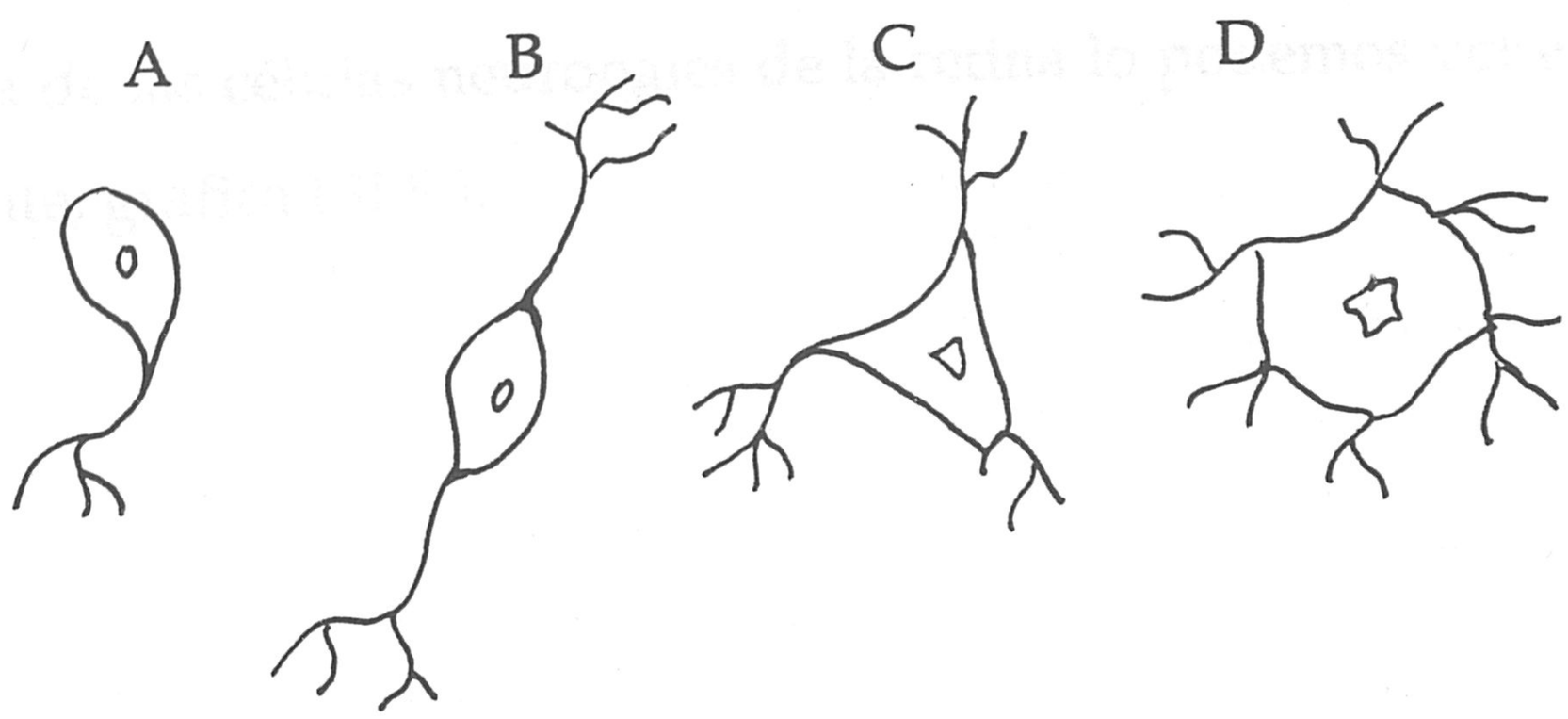
Las células nerviosas tienen la capacidad de:

- irritabilidad, reacionar a diversos agentes físicos y químicos.

- conductividad, transmitir la excitación de un extremo a otro de la célula en un único sentido.

Un tipo de estas células son las neuronas, que son unidades independientes constituidas por un núcleo o cuerpo celular y una prolongación larga, única y que existe siempre; y las dentritas que son ramificaciones cortas y que pueden o no existir. Hay neuronas, según la gráfica (II.7), con una sola ramificación llamadas monopolares (tipo A) , con dos ramificaciones llamadas bipolares (tipo B) , otras de forma piramidal (tipo C) y neuronas multipolares (tipo D).

Gráfica II.7. Dibujo esquematico de los distintos tipos de neuronas.



La neurona en estado de reposo marca una diferencia de potencial entre el exterior y el interior, es decir, hay una desigual distribución de carga eléctrica resultando el interior respecto al exterior negativo. Cuando algún estímulo llega a la membrana,esta polaridad se invierte en el punto en el que recibió el estímulo; es lo que se denomina " despolarización " de la membrana que por su naturaleza eléctrica se transmite bidireccionalmente a lo largo de toda la neurona, y por su disposición anatómica se transmite de una neurona a la contigua sólo en el sentido cuerpo celular - dendritas.

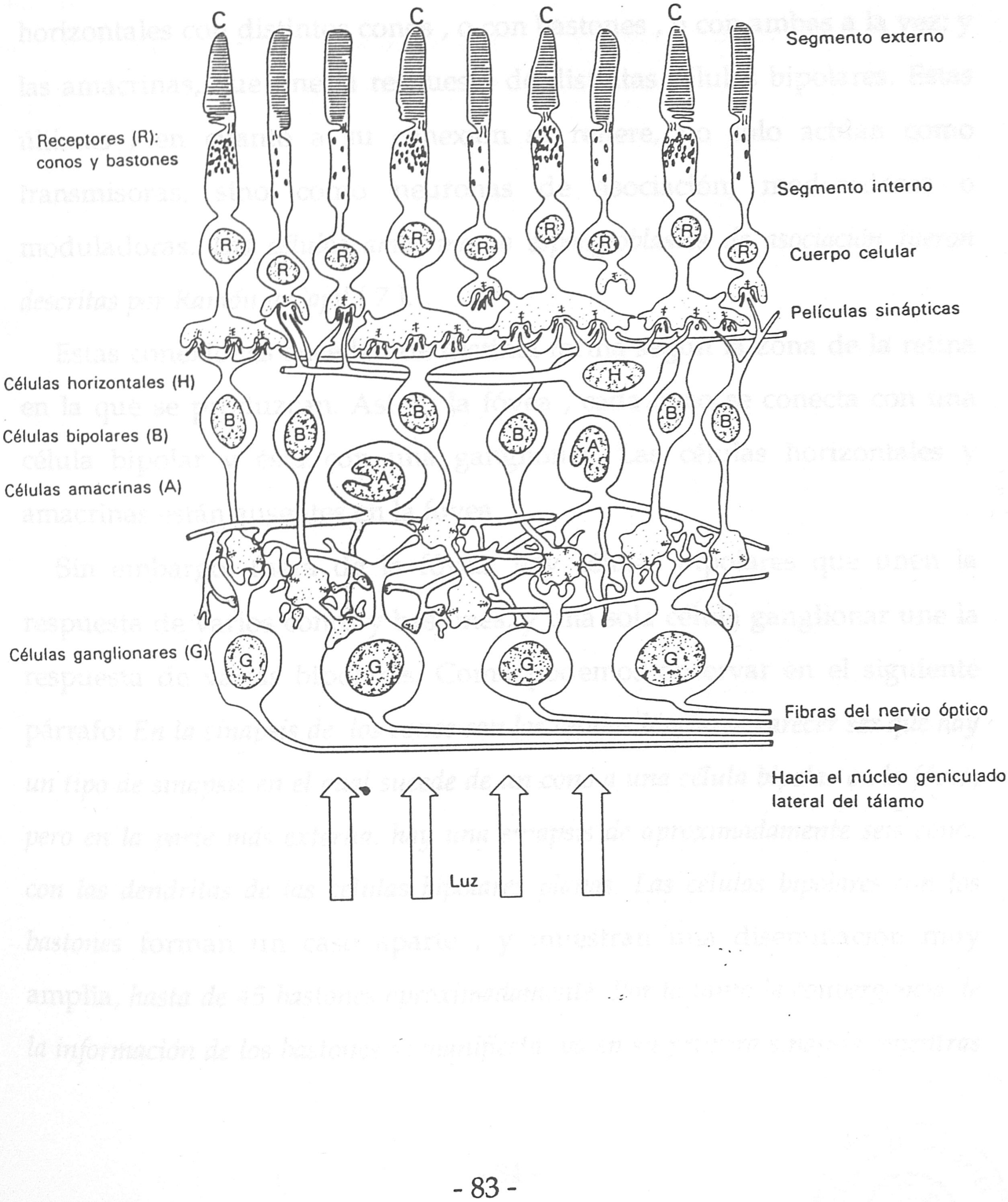
Esta transmisión de la despolarización es el impulso nervioso. Posteriormente , cuando el estímulo se pierde, la membrana recupera su potencial de reposo, hecho llamado repolarización.

La transmisión del impulso responde a la" ley del todo o nada",es decir, hasta que no se llega al umbral de intensidad (la intensidad mínima capaz de producir exitación) este no se inicia. En cuanto a la duración del fenómeno es de milisegundos y la corriente que circula por la membrana se mide en milivoltios.

Este transporte del impulso nervioso lo podemos dividir en dos fases: la que sucede en el interior de la retina y la que transcurre por las vias ópticas hasta el cerebro.

El esquema de las células neuronales de la retina lo podemos ver en la página siguiente, gráfica (II.8).

Gráfica II.8. Componentes neuronales en la mácula lútea de la retina de un primate según *Dowling y Boycott en 1966* [6]. Fotorreceptores = R (conos = C; bastones = B), Células Bipolares = B, Células Ganglionares = G, Células Horizontales = H y Células Amacrinas = A.



3.1. TRANSPORTE INTRARRETINIANO

Existen dos tipos de conexiones a este nivel: en serie y en paralelo. La conexión en serie va de los fotorreceptores a las células bipolares y de estas a las ganglionares. La conexión en paralelo une las células horizontales con distintos conos , o con bastones , o con ambas a la vez; y las amacrinas, que une la respuesta de distintas células bipolares. Estas últimas , en cuanto a su conexión se refiere, no solo actúan como transmisoras, sino como neuronas de asociación, moderadoras o moduladoras. *Las células amacrinas o espongioblastos de asociación fueron descritas por Ramón y Cajal* [7].

Estas conexiones suceden de distinta forma según la zona de la retina en la que se produzcan. Así en la fóvea , cada cono se conecta con una célula bipolar y ésta con una ganglionar. Las células horizontales y amacrinas están ausentes en la fóvea.

Sin embargo, fuera de la fóvea, hay células bipolares que unen la respuesta de varios conos y bastones, y una sola célula ganglionar une la respuesta de varias bipolares. Como podemos observar en el siguiente párrafo: *En la sinapsis de los conos con las células bipolares parecer ser que hay un tipo de sinapsis en el cual sucede de un cono a una célula bipolar en la fóvea, pero en la parte más externa, hay una sinapsis de aproximadamente seis conos con las dendritas de las células bipolares planas. Las células bipolares con los bastones* forman un caso aparte , y muestran una diseminación muy amplia, *hasta de 45 bastones aproximadamente. Por lo tanto la convergencia de la información de los bastones se manifiesta ya en su primera sinapsis, mientras*

FACULTAD DE BELLAS ARTES - BIBLIOTECA

que esta sipnasis no se manifiesta en la via conos - células bipolares diminutas...Las células horizontales también hacen sinapsis en la capa flexiforme externa y sus dendritas conectan entre 6 y 12 conos en la parte central , y entre 30 y 50 en la periferia (Boycott y Kolb, 1973). Las células horizontales entran en contacto con 80 a 150 bastones (Kolb , 1974)...Por consiguiente , la célula permitiría la interacción local entre los conos y los bastones , pero no entre ambos a la vez [8].

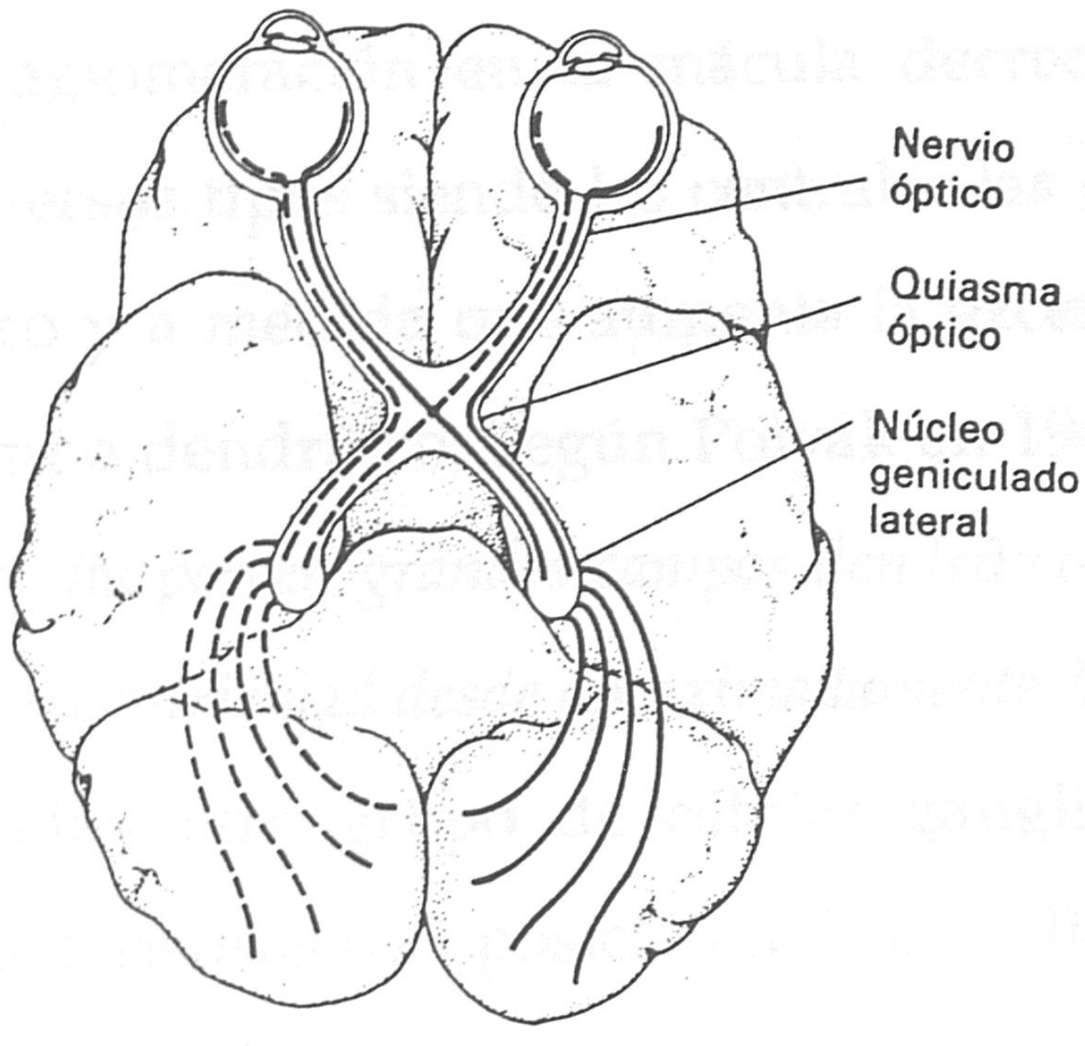
Las células amacrinas , bipolares y ganglionares hacen sinapsis de una forma compleja en distintos lugares de la capa plexiforme interna de la retina. *Hay un tipo de células interflexiformes (Gallego, 1971)* que forman un grupo especial dentro de las amacrinas. *Estas células poseen comunicaciones dendríticas con otras células amacrinas y además un axón que regresa de nuevo a la capa plexiforme externa, haciendo sinapsis con las dendritas bipolares y las horizontales (Dowling, Ehinger y Floren, 1980)* [9].

3.2. TRANSPORTE POR LAS VIAS OPTICAS AL CEREBRO

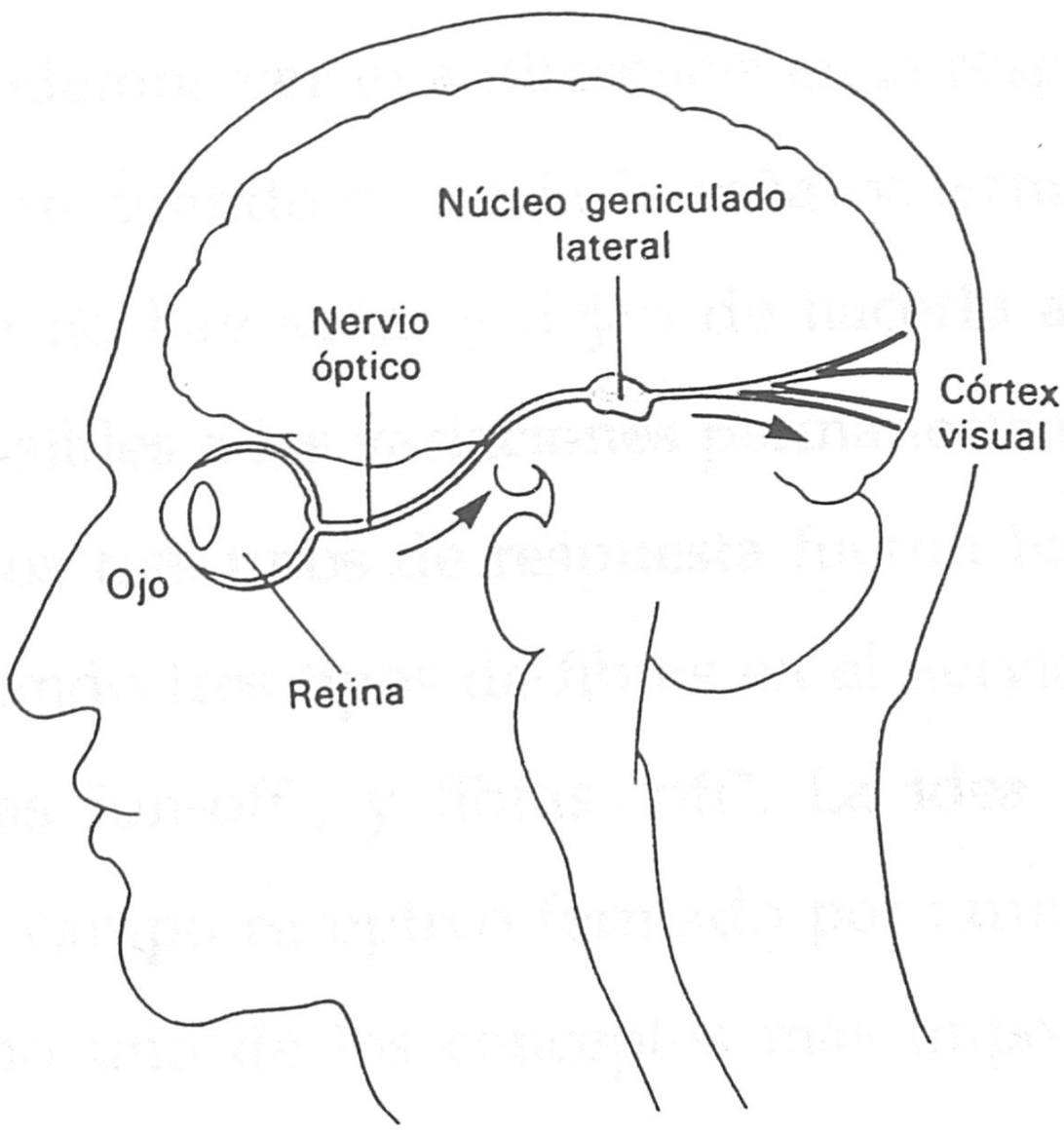
Las células ganglionares son las neuronas que poseen un cuerpo celular dentro de la retina y un axón que forma el nervio óptico. Cada nervio óptico tiene dos haces de fibras: uno contiene fibras originarias de las células retinianas del lado temporal del ojo, y otro haz tiene fibras del lado nasal de la retina. Las primeras se dirigen directamente hacia el hemisferio cerebral del mismo lado del ojo, y las segundas, las provenientes de las hemirretinas nasales entrecruzan sus fibras en el denominado Quiasma Optico antes de llegar al cerebro. Esto supone que las imágenes que se producen en el lado izquierdo de cada retina van al hemisferio izquierdo y las imágenes que se producen en el hemisferio derecho de cada retina van al hemisferio derecho del cerebro, por las Cintillas Opticas al Nucleo Geniculado Lateral del tálamo; y posteriormente al área de recepción visual en el Lobulo Occipital del cortex visual. La gráfica (II. 9) nos muestra un corte desde abajo, donde se puede apreciar todo el proceso neuronal visual.

La gráfica (II.10) nos muestra una vista lateral del sistema visual mostrando los tres emplazamientos principales de la vía visual en los que se da procesamiento: la retina, el núcleo geniculado lateral (NGL) y el área de recepción visual del cortex.

Gráfica II. 9 . Esquema de las vias ópticas vistas desde abajo .



Gráfica II.10 Vista lateral del proceso visual y sus emplazamientos.



El número de células ganglionares en la retina humana es de 1,2 millones, recibiendo información de 126 millones de fotorreceptores. Presentan una mayor aglomeración en la mácula decreciendo de una forma gradual. Hay diversos tipos siendo las centrales las que poseen un menor campo dendrítico y a medida que aumenta la excentricidad de la retina , aumenta en campo dendrítico. Según Polyak en 1941 : *Las células (ganglionares) grandes o alfa poseen grandes campos dendríticos que aumentan considerablemente con la excentricidad desde aproximadamente 35 nm a 3^0 hasta 170 nm a 18^0 [10].* Hay otro grupo de células ganglionares que se diferencian por las características de oposición del color, llamadas beta; y otro grupo difícil de clasificar llamadas gamma.

Desde el punto de vista anatómico-funcional no se sabe donde convergen las vías de los bastones y de los conos. Todavía queda por resolver , si las células bipolares de los conos y de los bastones hacen sinapsis directa con la misma célula ganglionar.

Sin embargo, podemos ver una diferencia en la respuesta del estímulo. Unas células actúan cuando se inicia la señal y terminan con ella; otras funcionan cuando no hay señal y dejan de hacerlo ante la presencia de ésta; otras son sensibles a las variaciones permaneciendo activas mientras dura la señal. Estos tres tipos de respuesta fueron hallados por Hartline en 1938 determinando tres tipos de fibras en el nervio óptico de la rana : fibras "on" , fibras "on-off", y fibras "off". La idea de que cada célula nerviosa tiene un campo receptivo formado por numerosos receptores se ha mostrado como uno de los conceptos más importantes en fisiología sensorial.

El campo receptor de una neurona se puede definir como el área de la retina cuya excitación puede influir sobre las descargas de dicha neurona.

En 1953, Stephen Kuffler, registró las fibras nerviosas del gato, enviando luz sobre la retina. Hayó que la estimulación de la célula no era igual en toda ella, determinando que el campo receptivo del gato tenía un campo receptivo de forma centro "on"- periferia "off", es decir, centro excitatorio y periferia inhibitorio. La iluminación de todo el campo receptivo evoca respuestas relativamente débiles , debido a que las respuestas sobre el centro y la periferia son contrarias. *Los campos receptores de las células ganglionares pertenecientes a retinas de gatos y monos se agrupan en dos clases principalmente: Campos de centro " on " y campos de centro " off " [11].* Las células de centro " off " enlentecen o interrumpen la emisión de señales cuando se ilumina el área central del campo, y la aceleran cuando se apaga la luz. La luz proyectada sobre la periferia del campo receptivo de un centro " off " ejerce una acción excitatoria.

Este antagonismo en el campo receptor y su respuesta hacen que una célula se convierta en un detector de características, es decir , si el estímulo cubre todo el campo receptor la respuesta es muy débil; sin embargo, si cubre solo una línea , punto o franja que pase por el centro el estímulo será el adecuado.

El análisis sistemático de los campos receptores demuestra el principio general de que las neuronas que procesan información afín se agrupan juntas.

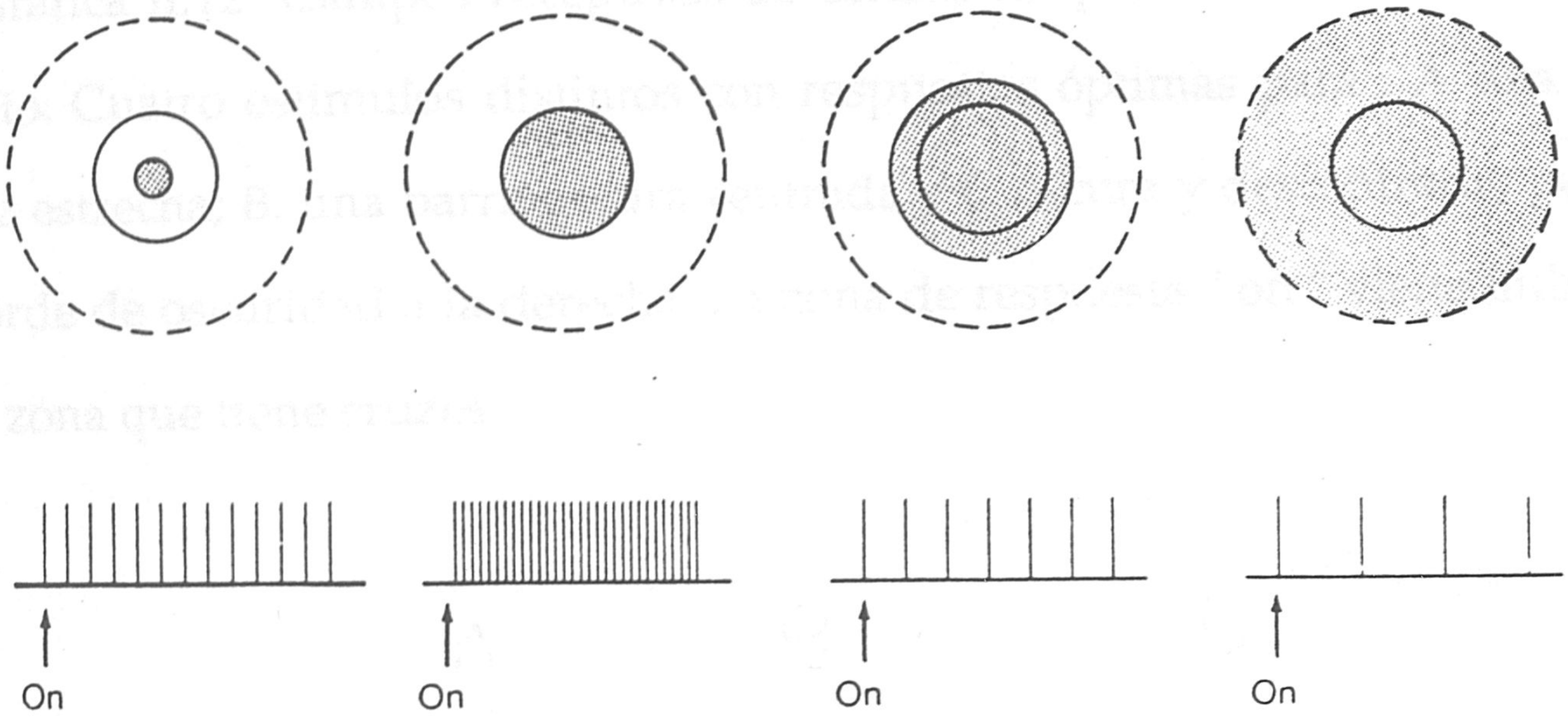
La característica más llamativa de las señales de las células ganglionares es que el tipo de información que transfieren es distinto del

que transfieren los receptores sensoriales primarios. Aparentemente están diseñadas para detectar un contraste simultáneo, la transición de más luz a menos luz o falta de luz, mientras que son relativamente insensibles a cambios graduales de la iluminación de luz. Poseen una sensibilidad exquisita para detectar el borde de una imagen que pase por las zonas opuestas de un campo receptor.

Las fibras del nervio óptico en su recorrido hacia la corteza terminan en células del cuerpo geniculado externo derecho e izquierdo (geniculado quiere decir doblado como una rodilla) con una estructura de capas bien diferenciada. En el gato hay tres capas y en el mono hay seis capas. En ambos animales cada capa recibe señales solamente de un ojo. Las neuronas del cuerpo geniculado tienen también campos receptores en disposición concéntrica antagónica con centro de tipo "on " o de tipo " off", pero el mecanismo de contraste tiene un ajuste más preciso debido a la mejor correspondencia entre las áreas excitadoras e inhibidoras. El siguiente esquema (gráfica II.11) nos muestra el campo receptivo centro - excitatorio, periferia -inhibitoria de *una neurona del NGL registrada por David Hubel y Torsten Wiesel en 1961* [12]. El sombreado indica el área estimulada por la luz. La respuesta mediante registros que aparecen debajo de cada campo receptivo, siendo ésta mayor cuanto más densidad de líneas verticales haya. En (a) y (b) se incrementa la magnitud del estímulo sin salirse de la zona " on " del campo receptivo, por lo cual se produce un aumento del estímulo. Cuando el estímulo sale de la zona "on" o excitadora se produce una reducción de la respuesta, (c) y (d). La

respuesta óptima se da cuando la estimulación tiene el mismo tamaño que el centro " on " del campo receptivo y se proyecta en éste.

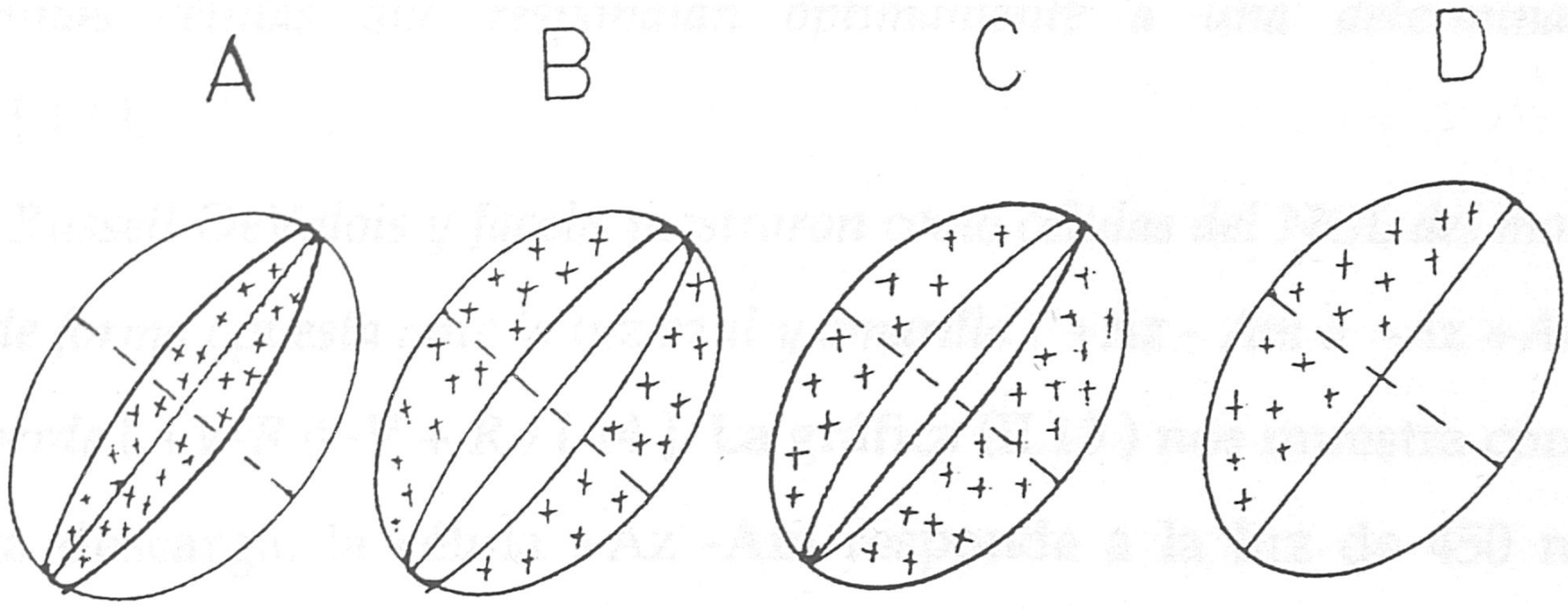
Gráfica II.11. Respuesta del campo receptivo de una neurona del NGL, de centro "on " y periferia "off".



La información visual llega del cuerpo geniculado externo al área de la corteza visual en el lóbulo occipital. Parece ser que la organización de la corteza también sigue niveles ordenados jerárquicamente, avanzando desde una capa a la siguiente. Hubel y Wiesel , obtuvieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1979, estudiando las áreas visuales de la corteza del gato y del mono, han hallado células que se comportan con zonas " on " y " off " antagónicas, pero la forma de la disposición del área es diferente a las ganglionares y las geniculares. Las *células corticales simples* en vez de tener un campo receptivo centro-periferia , lo tienen

dispuesto lado a lado (según gráfica II.12) de forma que la respuesta óptima sucede ante una franja de luz con una orientación determinada. De esta forma los campos receptivos de una célula cortical simple puede venir de un cierto número de células del NGL.

Gráfica II.12 Campos receptivos de células simples en la corteza estriada del gato. Cuatro estímulos distintos con respuestas óptimas para : A una barra de luz estrecha; B, una barra oscura centrada y C oscura y descentrada; para D, un borde de oscuridad a la derecha. La zona de respuesta " on " viene indicada por la zona que tiene cruzes.

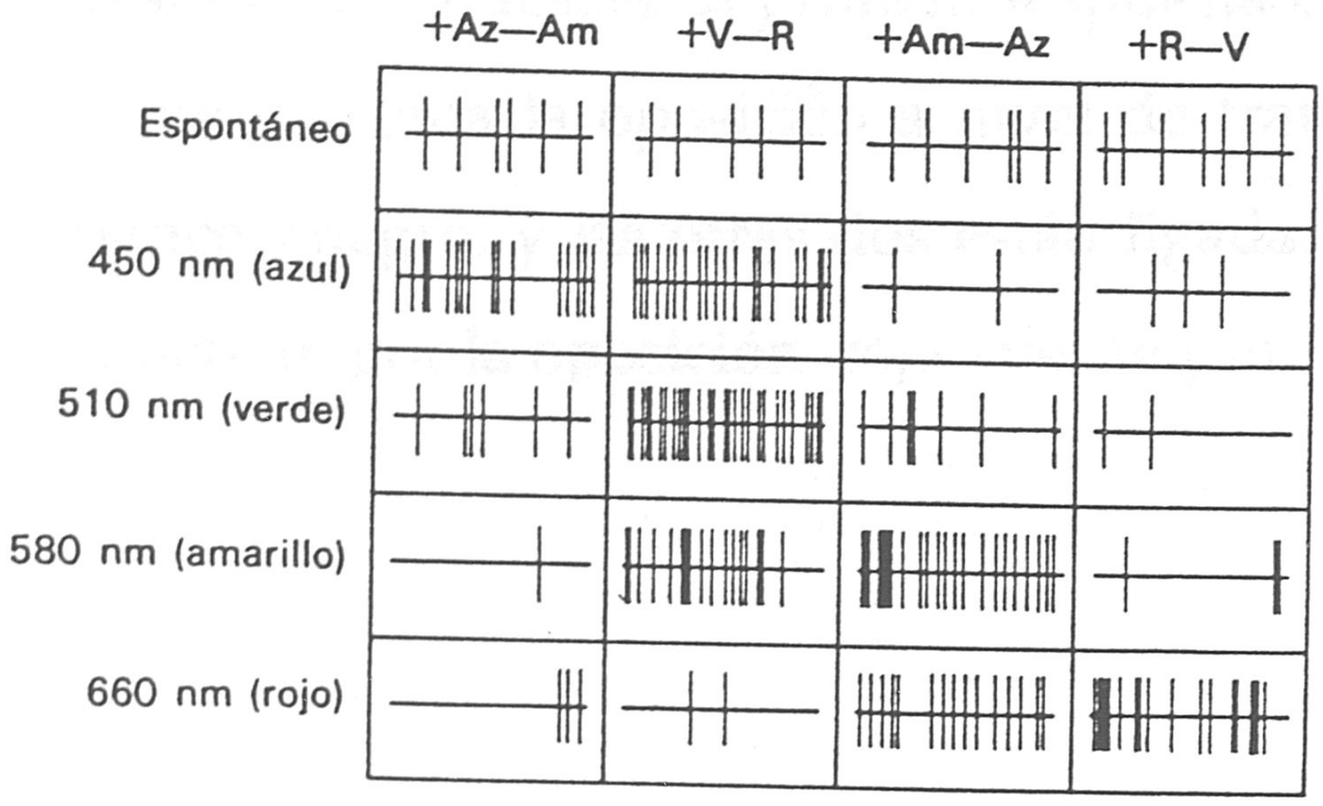


Además hallaron dos tipos más de células corticales: *las complejas y las hipercomplejas*. Las complejas responden óptimamente a franjas de luz orientadas en una dirección determinada. Hay diferencias en las respuestas de las células corticales simples y las complejas. Para las

simples la posición exacta del estímulo en la retina es lo importante; para las complejas , el movimiento es lo importante. Una célula simple sólo se activa cuando se presenta luz al área " on " o se retira ésta del área " off " de su campo receptivo; mientras que una célula compleja se activará cuando una franja de luz correctamente orientada se mueva a través de todo el campo receptivo. Más aún , muchas células complejas sólo responderán óptimamente a una dirección determinada de movimiento. Las células hipercomplejas sólo se descargan en respuesta a franjas en movimiento, de longitud específica o ante ángulos o esquinas en movimiento. *Hubel y Wiesel encontraron que el cortex visual estaba organizado en columnas de , aproximadamente, medio milimétro de diámetro , conteniendo estas columnas células que respondían óptimamente a una determinada orientación* [13].

En 1968 Russell DeValois y Jacobs mostraron como células del NGL del mono responden de forma opuesta ante la luz azul y amarilla (+Az - Am ó -Az +Am) ó la roja y verde (+V-R ó -V + R) [14]. La gráfica (II.13) nos muestra como sucede esta descarga, la célula +Az -Am responde a la luz de 450 nm (azul) con un aumento de la descarga, y a la de 580 nm con una inhibición de la actividad espontánea. La célula +V -R aumenta sus descargas en respuesta a la luz de 510 nm y las disminuye en respuesta a la de 660 nm. Las células +Am-Az y +R -V, también manifiestan respuestas opuestas pero éstas son inhibidas por las longitudes de onda cortas y largas.

Gráfica II.13. Respuestas de células opuestas del NGL del mono a las distintas longitudes de onda [14].



Hubel y Margaret Livingstone en 1983 encontraron células en el cortex visual del mono llamadas con el término inglés de "blobs" . Informaron que las células ubicadas entre los blobs estaban fuertemente sintonizadas con la orientación , mientras que las células del interior de los blobs carecían de selectividad a la orientación pero respondían selectivamente y de forma antagónica, muchas de ellas, al color [15]. El campo central era +V -R y el periférico -V +R. Las células de color oponentes dobles de los blobs son importantes para proporcionar una base fisiológica a la percepción del contraste simultáneo. Hubel y Livingstone sugieren la existencia de dos vías visuales que funcionarían en paralelo : una primera vía que usaría las células de fuera de los blobs y que sería especialmente importante para la percepción de la forma, y una segunda vía ,que usaría las células del interior de los blobs y que sería importante en la percepción del color.

Lo importante de esta transmisión, a nivel de la percepción del color, es el resultado global, donde lo que en un principio eran sensaciones de

tres colores básicos producidas por los conos y el estímulo de luminosidad captado por los conos y bastones, se va a convertir en tres grupos de respuestas opuestas: la primera respuesta concierne al nivel de luminancia que presenta la oposición a nivel de transmisión de claro / oscuro o, blanco /negro; y las otras dos están ligadas a la percepción de los colores y actúan por la oposición rojo /verde y amarillo/ azul.

4. TEORIAS DE LA PERCEPCION DEL COLOR

Entre las distintas teorías de la percepción del color, surgidas a partir del siglo XIX, podemos destacar: la Teoría Tricromática también conocida como teoría de Young-Helmholtz, la Teoría de los colores oponentes o de Hering, y los distintos Modelos Zonales surgidos ya a mediados de este siglo. Comentaremos las diferencias existentes entre los distintos modelos de percepción del color que están en proceso de estudio.

4.1. TEORIA TRICROMATICA O DE YOUNG-HELMHOLTZ

La teoría Tricromática de la percepción del color fue propuesta por Thomas Young, en 1802, y posteriormente reelaborada por Hermann von Helmholtz en 1852. Esta teoría es conocida por los puntos siguientes:

1º El ojo está provisto de tres sistemas distintos de fibras nerviosas (fotorreceptores), sensibles al rojo, verde y violeta.

2º Las radiaciones incidentes excitan estos tres tipos de fibras en grado variable, dependiendo de su longitud de onda.

3º Cada receptor suministra información sobre la luminosidad y la cromaticidad.

La estimulación por igual y simultánea de rojo y verde producen la sensación de amarillo; la de azul, proviene de la estimulación del verde y violeta y la estimulación equilibrada de las tres sensaciones primarias daba la sensación de blanco. Así mismo , postuló que las distintas clases de dicromatismo eran formas reducidas de la visión tricrómata normal.

Esta teoría se vió reforzada por los trabajos de Grassmann y de Maxwell , a mediados del siglo XIX, sobre las igualaciones de color, en la que se demostró que con tres luces simples bien elegidas, llamadas primarias fundamentales, pertenecientes a las zonas de longitudes de ondas cortas (azul-violáceo), medias (verdes) y largas (rojo) del espectro, se podían igualar cualquier estímulo de color. Así los colores metámeros, estímulos fisicamente diferentes, producen las mismas sensaciones cromáticas visuales.

Además de esto, las medidas del espectro de absorción de cada pigmento de las células receptoras (conos y bastones) a mediados de este siglo ha apoyado la teoría tricromática del color .

4.2 TEORIA DE LOS COLORES OPONENTES O DE HERING

Edwald Hering en 1878, propuso un sistema de percepción del color basado en tres mecanismos, cada uno de los cuales responde de forma opuesta a diferentes longitudes de onda o a intensidades de luz. El mecanismo : - negro /+ blanco, el + rojo /- verde y el + amarillo /- azul.

Su idea se basa en las siguientes observaciones psicológicas:

1º.- ¿Puedes ver un color verde-rojizo o amarillo-azulado?. Sin embargo si se puede ver un azul-verdoso(azul turquesa), o un rojo-amarillento (naranja) o un rojo-azulado (púrpura). Hay algo especial en los pares rojo-verde y amarillo-azul.

2º.- El contraste simultáneo. Si un material gris está rodeado por un fondo rojo, el material parece verdoso.

3º.- Las postimágenes. Al mirar un campo de color intenso rojo y pasar después a una zona blanca se produce la visión de un color verde como postimagen.

4º.- La ceguera al color. Como veremos más adelante, las personas ciegas para el rojo también lo son para el verde, y las personas que no ven el azul tampoco ven el amarillo.

La teoría de Hering por su oposición a la teoría tricromática más establecida en aquel momento, y a la doctrina fisiológica de Müller, según la cual cada tipo de fibra nerviosa era capaz de conducir unicamente un tipo de información cualitativa y debido a la falta de soporte experimental, permaneció en el olvido durante mucho tiempo.

La unificación de ambos enfoques considerados contrapuestos durante muchos años , comenzó con Donders en 1881, quién realizó la primera sugerencia explícita de que para explicar las diferentes formas de visión, era necesario tener en cuenta más de un estadio de actividad.

Posteriormente se han elaborado modelos zonales que combinan una fase tricromática a nivel receptoral con un segundo estadio neuronal regido por mecanismos de colores oponentes.

4.3 MODELOS ZONALES

A. TEORIA DE MULLER Y MODELO MATEMATICO DE JUDD

Müller en 1930 postula tres etapas de procesamiento identificadas como:

1º.- Un estadio inicial fotoquímico.

2º.- Una fase química intermedia.

3º.- Una fase final de excitación de las fibras del nervio óptico.

El modelo matemático de Judd traduce estas ideas a términos cuantitativos contrastables.

La primera etapa está formada por los tres tipos de conos que contienen un fotopigmento con propiedades específicas de absorción espectral y que, en el modelo de Judd, vienen caracterizadas como funciones de respuesta del tricrómata normal, según la combinación lineal de las funciones de mezcla CIE-1931.

El segundo estadio se corresponde con dos señales opuestas codificadas como: rojo amarillo/ verde azulado (amR / azV), y Amarillo verdoso/ Azul rojizo (vAm/ rAz).

La tercera etapa , de tipo Hering, conduce a la elaboración de dos señales cromáticas oponentes y una señal que dará lugar a la sensación acromática.

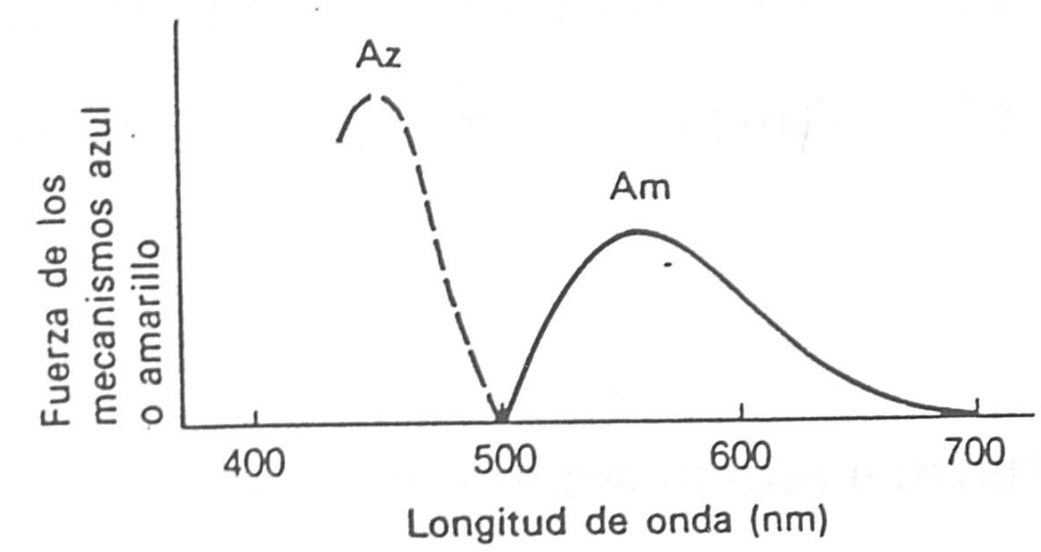
El modelo consigue explicar las sensaciones experimentadas por los dicrómatas , incluyendo las curvas de eficiencia luminosa asociadas a los mismos.

B. MODELO DE HURVICH Y JAMESON

Antes de que la evidencia fisiológica confirmara la existencia de los procesos oponentes en el mecanismo visual, Leo Hurvich y Dorothea Jameson en 1957 realizaron una experiencia psicofísica que suministró a la idea de Hering una base cuantitativa análoga a la proporcionada a la teoría tricromática de Young- Helmoholtz por los datos de la mezcla aditiva de color. El propósito del experimento fue el de determinar la fuerza de los componentes azul, amarillo, verde y rojo, en los mecanismos azul/ amarillo y rojo/verde, a través de las distintas longitudes de onda del espectro. Así sería posible cancelar el tono de un estímulo espectral, superponiendole luz de longitudes de onda "opuestas" a la longitud de onda que se quiere cancelar.

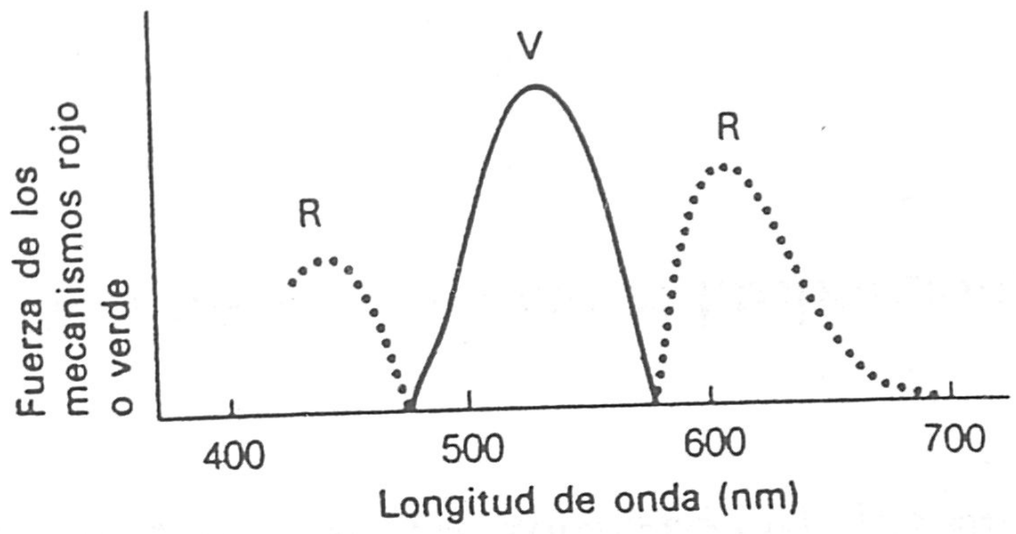
Observemos los resultados del proceso a través de la gráfica (II.14) en la que se muestra la fuerza del mecanismo azul y amarillo a través del espectro. El mecanismo azul responde a las longitudes de onda menores de 500 nm, dando su máxima respuesta a los 440 nm. El mecanismo amarillo, representado en línea contínua, responde de los 500 a 700 nm, teniendo su respuesta máxima sobre los 550 nm. Obsérvese que ambos mecanismos no responde de forma simultánea ante ninguna longitud de onda; y que para 500 nm una luz que aparece como verde no contiene nada de azul ni de amarillo.

Gráfica II.14. Fuerza de los mecanismos azul y amarillo.



Si observamos la gráfica (II.15) que determina la fuerza de los mecanismos rojo y verde, vemos que ambos mecanismos no funcionan simultáneamente para ninguna longitud de onda y que a los 475 nm y 580 nm , la fuerza de ambos es cero, lo que indica que ni la luz de 475 nm (azul) ni la de 480 nm (amarilla) contiene trazos de rojo o verde.

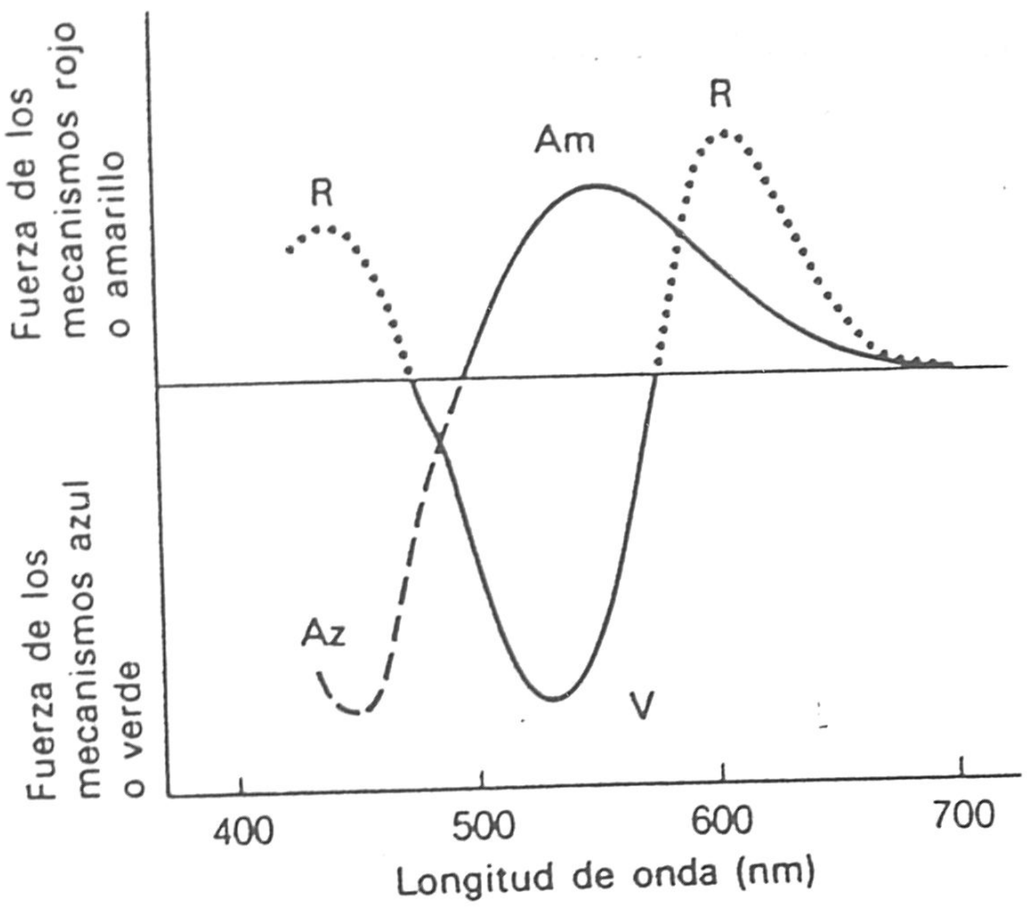
Gráfica II.15. Fuerza de los mecanismos rojo y verde.



En la siguiente gráfica (II.16) se han invertido la curvas azul y verde para ver su carácter oponente. Estas curvas muestran como resulta la mezcla del color con la teoría de los procesos oponentes. Por ejemplo, una luz de 560 nm provoca la respuesta de los mecanismos verde y amarillo, y

una luz roja de 630 nm provoca la de los mecanismos rojo y amarillo. La mezcla resultante es amarillo, porque el rojo y el verde se oponen, cancelandose uno a otro, y dejando sólo la respuesta del mecanismo amarillo.

Gráfica II.16. Curvas anteriores unidas e invertidas teniendo en cuenta el signo de Hurvich y Jameson.



La evidencia fisiológica de este modelo la proporcionaron los estudios de:

- Gunnar Svaetichin en 1956, quién registró células en la retina del pez, que responden de forma antagónica a las longitudes de onda correspondientes a los colores rojo/verde y azul/amarillo.

- Hartliner y Ratliff, en 1956, estudiando el mecanismo visual en el Limulus o cangrejo de las Molucas, en los que se presentan células que conectan receptores entre sí y estimulan o inhiben la respuesta de los

receptores vecinos. Expresaré más adelante , en el apartado de Las Bandas de Mach, sus argumentos.

- R. DeValois y Jacobs, en 1960, mostraron que las células de los NGL (núcleo geniculado lateral) del tálamo presentan propiedades de carácter oponente, como hemos podido ver en el apartado de transporte por las vias ópticas.

Y por último, los descubrimientos de Hubel, Wiesel en los campos receptivos de las células corticales : simples, complejas e hipercomplejas; y las células "blobs" descritas por Hubel y Livingstone en 1983.

4.4 MODELOS ACTUALES DE PERCEPCION DEL COLOR

Debido al elevado número de fenómenos que ha de explicar una teoría completa de la visión del color, y a la variada naturaleza de los mismos, *los modelos de visión del color han proliferado bastante durante las últimas décadas, sin que ninguno de ellos solucione la totalidad de los problemas planteados* [16]. Así estan los modelos de Hurvich y Jameson en 1957; Vos y Walraven en 1973; Ingling y Tsou en 1977, Guth en 1980, y el de Boynton en 1986. Guth ha presentado otro modelo en 1991. Esto demuestra que es un tema candente y nada cerrado.

Las gráficas (II.17 y 18 a, b, c y d) de las páginas siguientes nos señalan, en esquema, las características generales de los modelos señalados.

Un elemento común a todos estos modelos es que en un primer estadio constan de tres tipos de receptores, conos, cuyos máximos de sensibilidad espectral se encuentran en la región de ondas cortas (azul-violáceo), otro en las zonas de ondas medias(verde-amarillento) y otro en la zona de ondas largas (rojo-anaranjado).

El otro segundo estadio a nivel de transmisión del impulso nervioso, también hay correspondencia en cuanto que la respuesta se procesa por mecanismos oponentes cromáticos de forma R / V (para la gráfica r/g), llamado " T "; y un Az / Am (para la gráfica b/y), llamado " D "; y un mecanismo de luminancia que no se opone sino de carácter sumatorio, llamado " A ".

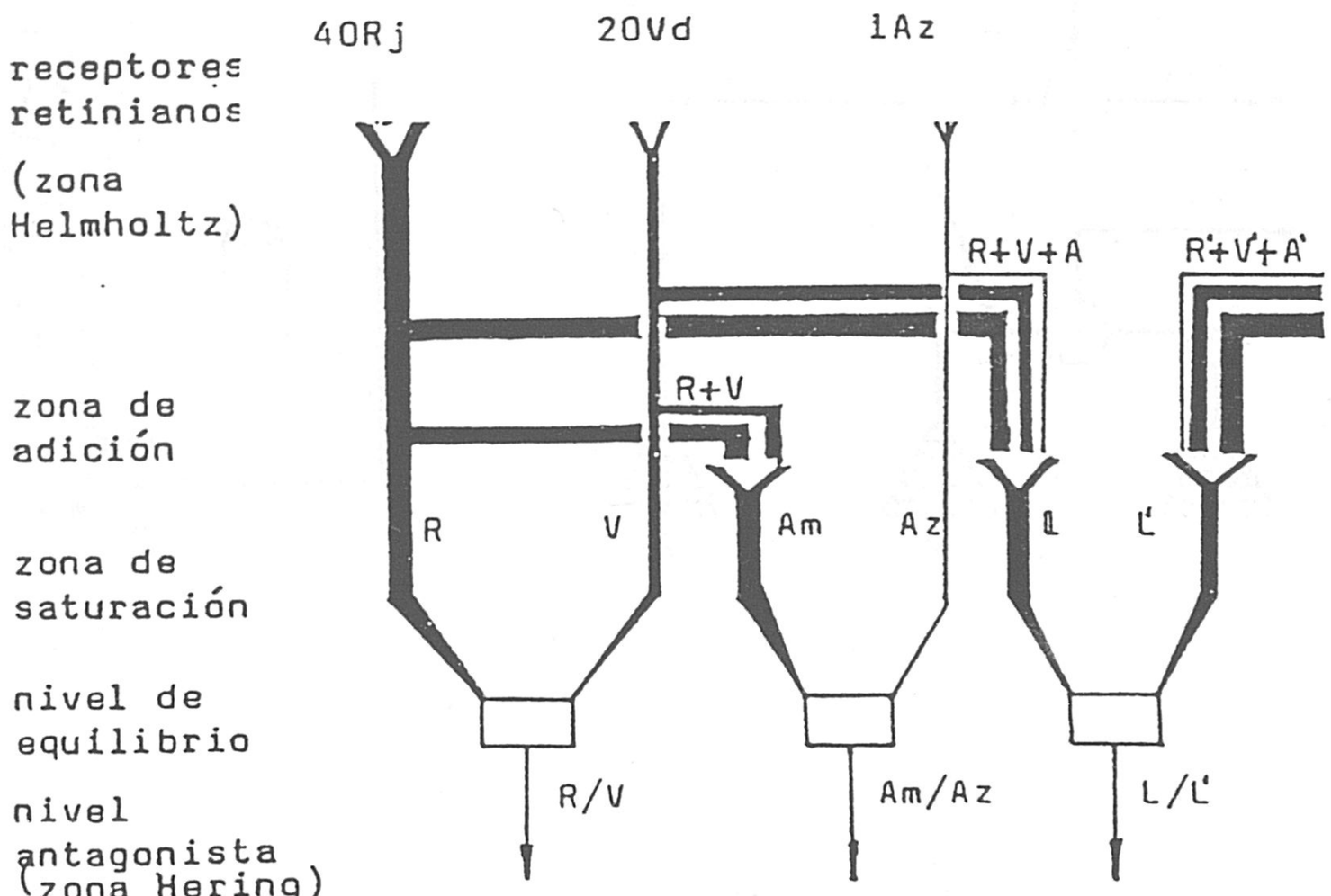
Las diferencias entre los modelos viene dada por :

1º.- El canal acromático o de luminancia en algunos modelos (Hurvich-Jameson y Vos-Walraven) recibe los estímulos de las ondas L+M +S . Mientras que para los demás solo contribuyen para este canal la suma de las ondas M+L.

2º.- El mecanismo R / V recibe las respuesta de los receptores de ondas medias y largas (Walraven y Guth), sin embargo para Hurvich-Jameson y para Ingling-Tsou, este canal para el rojo recibe una contribución de ondas largas y cortas. Para Boynton , este canal transmite señales de los conos S, M y L pero la proporción de L es de la mitad que de M y hay una pequeña contribución de las ondas S en M.

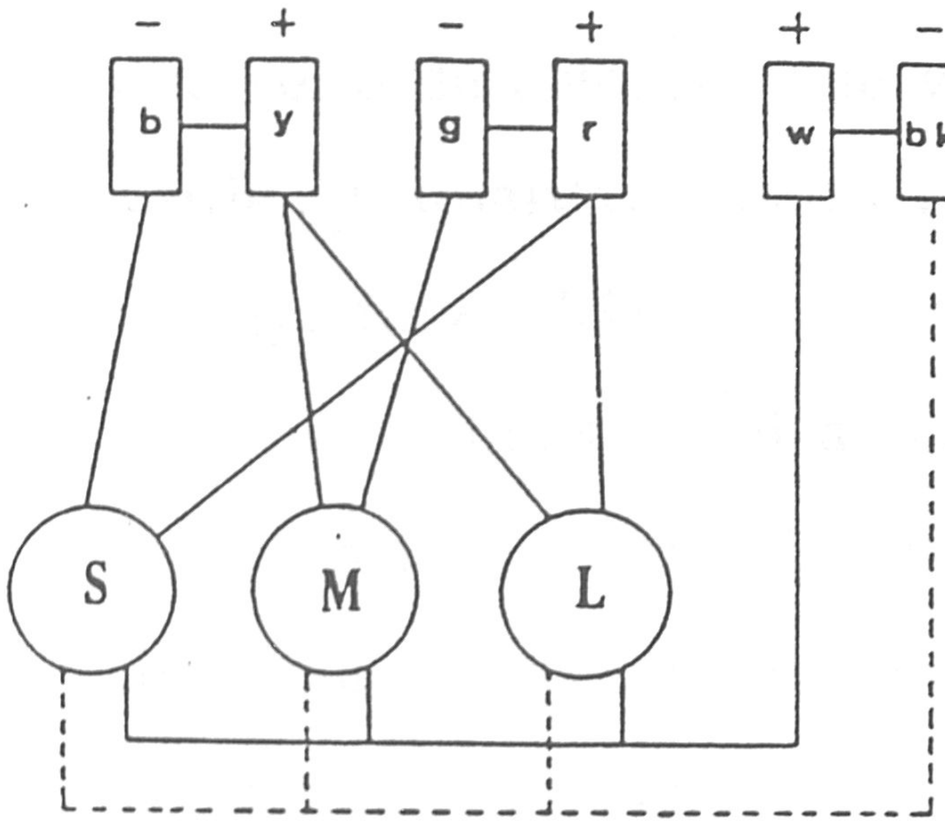
3º.- Para el canal Az / Am, hay mayor acuerdo ya que la respuesta azul viene dada para todos los modelos de las señales de los conos de ondas cortas, y se opone a las señales que vienen de los conos de ondas medias y largas con carácter sumatorio; excepto para el modelo de Guth que viene dado sólo por los conos de longitudes de ondas largas sin participar las ondas medias.

Gráfica II.17.Modelo de Walraven [17].

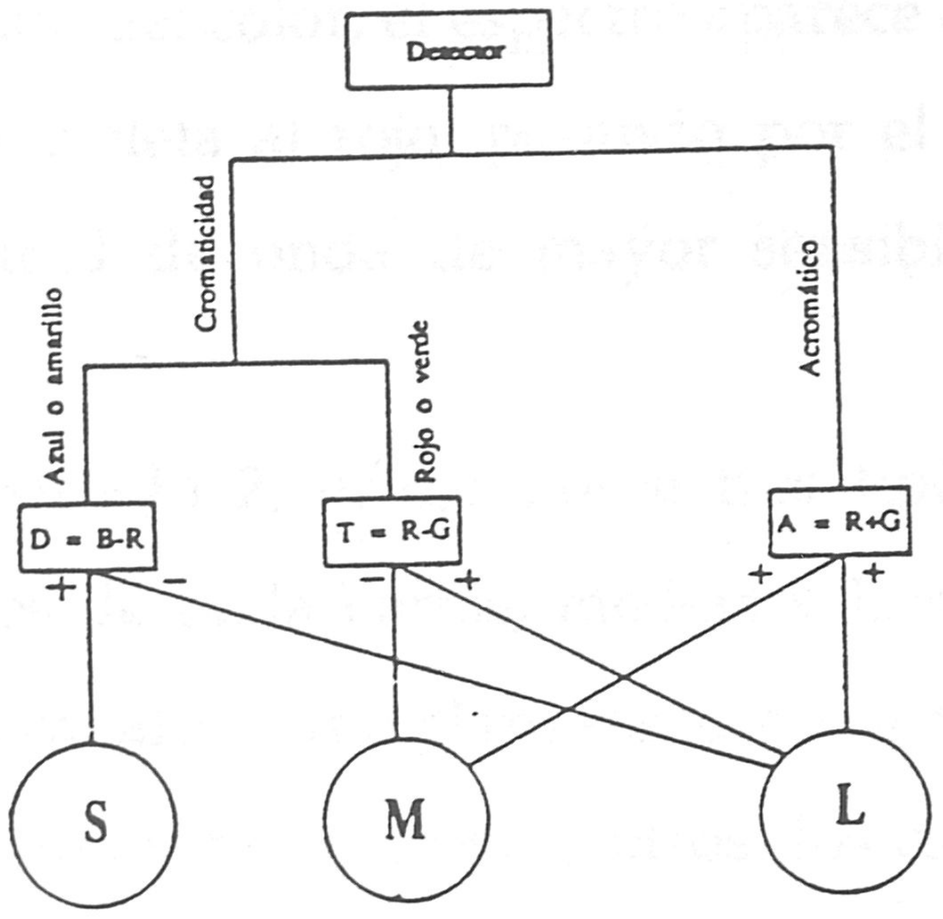


Gráfica II 18.

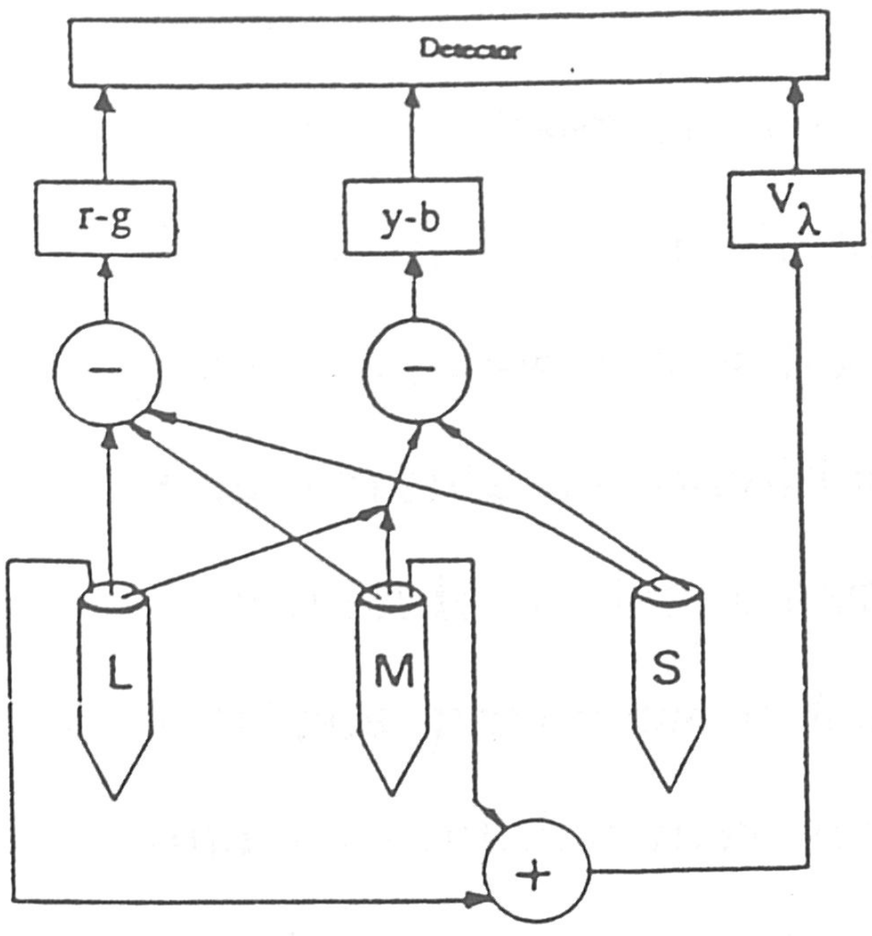
a .Modelo de Hurvich-Jameson.



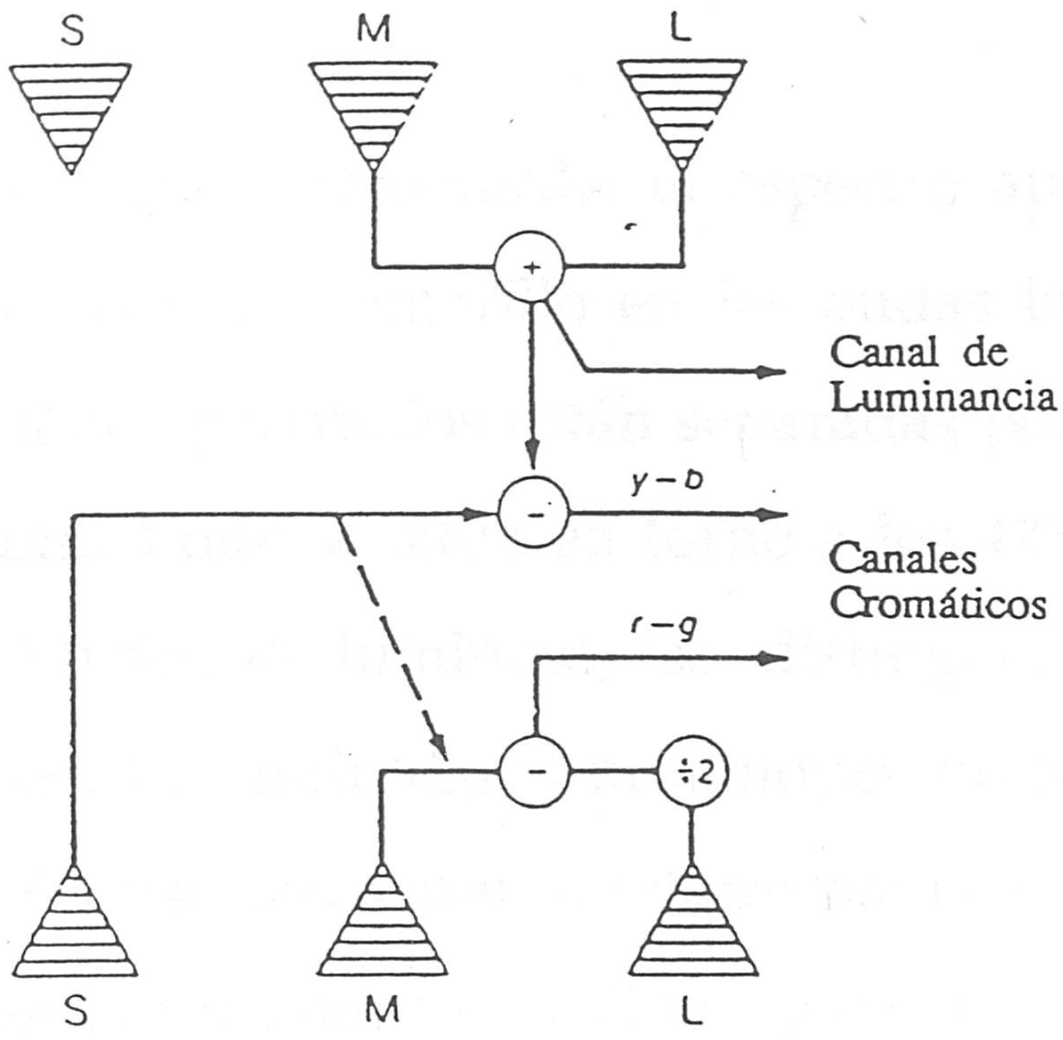
b . Modelo de Guth.



c. Modelo de Ingling-Tsou.



d. Modelo de Boynton.



5. ANOMALIAS EN LA VISION DEL COLOR

Para el observador normal en visión del color, el espectro aparece como una serie de colores , que van del violeta al rojo, pasando por el azul, verde ,y amarillo, siendo la longitud de onda de mayor sensibilidad visual para λ =555 nm.

Como dijimos en el anterior apartado 2, el ojo posee tres tipos de receptores sensibles a las longitudes de onda cortas, medias y largas; y discrimina estas señales según tres canales : uno claro -oscuro (de forma no oponente en cuanto a la señales de los receptores), y otros dos canales oponentes rojo-verde y amarillo-azul. Estos hechos son los que hacen hablar de tricrómatas a los sujetos con visión normal del color.

Los dicrómatas solo pueden hacer dos de los tres tipos de discriminación que realiza el observador normal: una acromática (claro - oscuro) y otra cromática (amarillo - azul, ó verde - roja), según el tipo de deficiencia.

Para el observador que tiene ceguera rojo-verde, el espectro aparece azul en el extremo de las ondas cortas y amarillo en las ondas largas. Estas regiones, que señalan los tonos percibidos están separadas por una zona carente de tonalidad (neutra) que se sitúa en torno a los 495 nm. Atendiendo a las curvas de eficiencia luminosa, se distinguen dos subtipos: *protanopía y deuteranopía*. Los individuos protanopes presentan una sensibilidad máxima para λ = 540 nm y punto neutro para λ = 493 nm. Los deuteranopes presentan la máxima sensibilidad para λ = 560 y

presentan punto neutro en λ = 479nm. Ambos confunden el rojo y el verde.

El segundo grupo de dicrómatas lo constituyen los individuos que no discriminan el azul- amarillo, por lo que sólo ven tonos rojos y verdes en el espectro. En este grupo están los tritanopes una curva de máxima sensibilidad a los λ = 555 y punto neutro en λ = 570 nm.; y los tetranopes con máxima sensibilidad para λ = 560nm., y puntos neutros para longitudes de onda de λ = 470 -580 nm.

Hay observadores tricrómatas que hacen igualaciones de color distintas de los normales y se les llama anómalos. Así existe la *protanomalía,* la *deuteronomalía* y la *tritanomalía* .

Los protanómalos y deuteranómalos presentan pequeñas desviaciones en la definición del rojo-verde, no tienen puntos neutros y sus máximos en la curva de sensibilidad espectral están desplazados, siendo para los protanómalos λ = 540 nm, y para los deuteranómalos λ = 560 nm. El tritanómalo presenta disminución en la capacidad de discriminar el canal amarillo-azul, no presentan puntos neutros y su máxima sensibilidad espectral se ve desviada siendo máxima para λ = 500 nm.

Por último los acrómatas, individuos que ven el espectro en términos claro- oscuro.

El cuadro adjunto, gráfica (II.19), presenta estas características con mejor visualización del conjunto.

Gráfica II.19. Anomalías en la visión del color.

Denominación	Comportamiento Colorimétrico	Tipo	Confusión	$\lambda_{máxima}$	Puntos Neutros
Protanomalía	Tricrómata Anormal	Protán	R-V	540	Ninguno
Deuteranomalía	Tricrómata Anormal	Deután	R-V	560	Ninguno
Tritanomalía	Tricrómata Anormal	Tritán	Am-Az	500	Ninguno
Protanopía	Dicrómata	Protán	R-V	540	493
Deuteranopía	Dicrómata	Deután	R-V	560	479
Tritanopía	Dicrómata	Tritán	Am-Az	555	570
Tetranopía	Dicrómata	Tritán	Am-Az	560	470-580
Acromatopsia	Monocrómata		R-V Am-Az	510 540	Todos

Las causas de las anomalías en la visión del color pueden ser congénitas o adquiridas, las primeras de carácter permanente y las segundas reversibles o no.

Las confusiones del canal rojo -verde son las que más predominan presentándose en los varones con un porcentaje de un 7-8 % , y en las mujeres en un 0,6 % ; ya que es una deficiencia ligada al cromosoma X y es de carácter recesivo. Para que se presente este carácter en las mujeres es necesario que ambos alelos XX , sean portadores de la deficiencia. Para el varón basta que el alelo X de su dotación cromosómica - XY - lo lleve para que se presente la deficiencia.

Entre las anomalías adquiridas la causa puede ser infeciosas como la sífilis que afecta al mecanismo (cono - bastón) causando la disminución en la discriminación azul - amarillo. Dentro de las no infeciosas podemos señalar: la esclerosis múltiple, las anémias, diabetes, carencias de vitamina B_1 y agentes tóxicos (alcohol, tabaco, drogas en general) por afectar a los agentes transmisores del mecanismo visual (las neuronas). La debilidad rojo-verde adquirida va acompañada también por disminución de la agudeza visual, y por una decreciente debilidad para discriminar amarillo - azul y claro - oscuro. El efecto se va haciendo progresivo y si el envenenamiento tóxico continúa se puede llegar a la ceguera total cromática.

Otra deficiencia en la visión del color es la catarata senil, causada por la pérdida de la transparencia del cristalino, que se vuelve también amarillo.

El artista Claude Monet(1840- 1926) , en las pinturas de los últimos años de su vida, se nota una abundancia de los tonos azul-violáceo, como podemos ver en las siguientes referencias: *Entre 1899 y 1926, realizó Monet, su última serie, la de los Nenúfares,...Son estas obras , que para algunos constituyen el cenit de la obra del artista , una suerte de musicalidad pictórica que alcanza resonancias increibles. Otros, sin embargo, sólo ven una serie de manchas informes que el pintor , afectado de cataratas, más que ver imagina. Pero es indudable que el artista está desembocado por su propia evolución casi en el informalismo y ...que sienta las bases de no poca parte de la pintura matérica, vanguardista y pretendidamente directa...En 1908, Monet comenzó a sentir sus primeras molestias oculares que terminarían por dejarle casi ciego en 1922....Casi ya sin vista , en 1923 accedió a ser operado de cataratas en el ojo más*

afectado, obteniendo asi una leve mejoría visual que le permitió seguir pintando los grandes paneles de nenúfares [18]; y el texto : *..la gran intensidad de la coloración violeta ha sido atribuida por algunos a una cierta alteración de la vista del pintor, quién , por aquel entonces, padecía una enfermedad ocular [19].*

5.1 SISTEMAS DE DETECCION

Estos sistemas de detectar las anomalías en visión de color se pueden clasificar según tres grupos: pruebas de ordenación, pruebas seudoisocromáticas, y el anomaloscópios.

Las pruebas de ordenación se basan, como su nombre indica , en una ordenación secuencial de colores según una caracterítica común, de tono o saturación. Ejemplo: el test de Farnsworth - Munsell.

Las pruebas seudoisocromáticas, consisten en láminas de colores en las que se pueden diferenciar letras, números o caminos a seguir, solo teniendo como referencia el color, ya que las formas se mantienen constantes (puntos de distinto tamaño). Según el observador sea normal o deficiente al color escogerá un número u otro , un camino u otro. Las sucesivas láminas van indicando que tipo de anomalía presenta el sujeto. Al final se indica según las respuestas dadas, la anomalía ,con lo cual son de fácil manejo . Ejemplos : Test de Ishihara, Test del Colegio Médico de Tokio, el de Ulloa Optica, etc.

El anomaloscópio o colorimetro visual se basa en igualaciones de luces y necesita la asistencia de especialistas para su aplicación. Ejemplo: el de Pickford-Nicolson que permite realizar distintas igualaciones y permite

precisar las deficiencias en el rojo-verde y azul -amarillo, así como el amarilleamiento del cristalino.

5.2 EXPLICACION DE LAS ANOMALIAS

Parece ser que los acrómatas son ciegos al color porque no tienen conos, o solo tienen un tipo de ellos. Los dicrómatas son ciegos para el color, en sus distintas variantes, porque carecen del pigmento visual corespondiente. *En este sentido Willian Rushton en 1964, utilizó la técnica de la desintometría retinal para evaluar el estado de los pigmentos visuales en sujetos que padecían la protanopía y la deuteranopía, encontrando que el protanópe carece del pigmento de longitud de onda larga, mientras que el deuteranope carece del pigmento de longitud de onda media. Ha sido difícil evaluar los pigmentos de los tritanopes, ya que, por un lado estos sujetos son escasos, y, por otro,el pigmento sensible a las longitudes de onda cortas se encuentra , en general, en concentraciones muy bajas, incluso en retinas normales, pese a ello parecería que los tritanopes carecen del pigmento de longitudes de onda cortas [20].*

En este sentido se corresponde la deficiencia con la teoría tricromática y con el primer estadio de la percepción del color. En segundo lugar si comparamos los puntos neutrales de la gráfica (II. 19) adjunta en la página anterior, que Hurvich y Jameson obtuvieron con observadores normales , veremos que el punto neutro para protanopes y deuteranopes cae cerca de los 500 nm., la longitud de onda para la cual el mecanismo azul - amarillo es cero. Y si carecen de mecanismo rojo - verde es lógico

que en los 500 nm se vea neutro. De la misma forma, el punto neutro para los tritanopes y tetranopes está cerca de los 580nm. , para lo cual el mecanismo rojo - verde es cero, por tanto, si estos sujetos carecen del mecanismo amarillo - azul, este punto de 580 nm se vería como neutro. Por lo tanto las dos teorías contribuyen a caracterizar estas deficiencias.

6 ASPECTOS PSICOLOGICOS DEL COLOR

Hay diversos fenómenos, en cuanto a percepción de un color, que nos indican que iguales estímulos físicos de luz pueden producir distintas percepciones y que cambios del estímulo, bajo ciertas condiciones, no nos producen una sensación de cambio.

6.1 MEMORIA VISUAL

Kohler (1951) verificó en unas interesantes experiencias como el ser humano no sólo ve la realidad, sino que una vez que la experiencia le prueba ciertas leyes y le crea reflejos, aunque realmente vea la realidad deformada, el cerebro "corregirá" la realidad que percibe para adecuarla a su experiencia [21].

El investigador hizo experiencias colocando lentes que actuaban de distinto modo sobre un observador por periodos prolongados. En un caso el observador veía todas las imágenes invertidas; después de varias semanas, él mismo volvía a ver las imágenes al derecho. Cuando se quitó las lentes, volvió a verlas invertidas. En otra experiencia producía un arqueamiento del campo visual de modo que una cuerda tendida se veía curva. Después de un tiempo el observador volvía a enderezar las imágenes. Un proceso similar ocurría cuando el sujeto se quitaba las lentes; entonces percibía la realidad con las imágenes arqueadas en el sentido contrario al anterior. El experimento que mayor tiempo de adaptación le llevo fue aquel en que se modificarón los colores mediante el uso de lentes con aberración cromática. El observador tardó casi cuatro

meses antes de lograr una restauración de la realidad subjetiva y lo mismo ocurrió cuando al quitarle las lentes volvió al estado inicial. Todo ello prueba dos hechos muy importantes: El primero, una vez que el observador con su experiencia aprehende la realidad que le rodea, su mente, su consciencia, le corregirá cualquier otra evidencia que contradiga su realidad conocida; en segundo lugar, los sistemas que detectan el color son de los más complejos existentes en el cerebro humano. Esta creencia se sustenta, entre otros, en el hecho de que el tiempo de aprendizaje para corregir defectos en la visión del color es mucho mayor que en cualquier otro caso.

A mediados de este siglo uno de los experimentos realizados por *John Delk y Samuel Fillenbaum mostraron que el color característico de un objeto influye en nuestra percepción del color. Por tanto, según el concepto de memoria del color, el conocimiento de que un objeto esférico es una naranja, hace que dicho objeto parezca más de color naranja [22].* El experimento se basó en presentar a observadores formas recortadas en cartulina rojo-anaranjado . Estas formas eran : un corazón, una campana, una seta y una manzana. La tarea de los observadores consistía en igualar el color de cada objeto con el de un campo de comparación, ajustando la cantidad de rojo en el campo. Los resultados, acordes con el concepto de memoria del color, fueron que los objetos característicamente rojos, tales como el corazón y la manzana, fueron igualados con campos más rojos que los objetos supuestamente "no rojos", tales como la seta y la campana. Por tanto los objetos cuyo color es reconocido como característico, una vez reconocido el objeto, el color percibido en él es el atribuido al objeto.

6.2 ADAPTACION DEL ORGANO VISUAL AL COLOR

En el capítulo I estudiamos la adaptación del ojo a los cambios extremos de luminosidad, es decir, a los niveles de iluminación diurna o muy intensa y nocturna o de baja luminosidad.

También sucede la adaptación en los cambios de niveles luminosos menos intensos y en los cambios de la longitud de onda o del color.

Por medio de la adaptación percibimos los objetos, los colores, etc, como invariables bajo distintas circunstancias y lugares; por ejemplo, el carbón iluminado por el sol es negro y la nieve iluminada por la luna es blanca, aunque el carbón iluminado por el sol refleja más luz que la nieve bajo la luz de la luna.

También aceptamos como luces blancas las luces que tienen distinto matiz, de forma que un tubo fluorescente y una luz de tungsteno las percibimos como blancas, pero cuando estan juntas, vemos que la iluminación con tungsteno es amarilla y la del tubo fluorescente es azul.

Según las leyes de Webber y Fechner, la excitación de un sistema dado de recepción lo hace menos sensible a las variaciones del mismo en orden de intensidad que sería notable para los otros dos sistemas restantes. Es decir, existe un fenómeno que compensa el aumento de un estímulo con un componente sensorial de sentido contrario que disminuye la sensibilidad del receptor a ese estímulo. De igual modo la adaptación al azul inhibe su mecanismo de percepción de cambios en él y aumenta la sensibilidad para los cambios en su complementario , el amarillo.

Hay diversos efectos en los cuales se puede apreciar este fenómeno de la adaptación, entre ellos están los siguientes : la constancia del color,las bandas de Mach la inducción del color y el contraste simultáneo o sucesivo.

A. LA CONSTANCIA DEL COLOR

El color de muchos objetos aparenta ser el mismo cuando están iluminados con luz que tiene una fuerte componente cromática, que cuando están iluminados con luz blanca. La memoria visual puede jugar un papel fundamental es este proceder perceptivo , pero no explica por qué los objetos que no tienen un color característico, como un jersey, permanecen más o menos del mismo color bajo las distintas iluminaciones. De todas las luces con una fuerte componente cromática se admite las luces amarillas como las más semejante a la blanca. Aun así , la constancia del color no se da siempre y esta percepción sucede ante cambios bruscos del nivel de luminosidad ambiental o de cambio brusco en la composición espectral de la luz que ilumina la escena o color.

Quién usa gafas de sol coloreadas se acostumbra a ver a través de sus lentes los colores y percibe, por ejemplo el color del cielo, de un azul intenso y saturado, sin darse cuenta que el azul que percibe es muy poco intenso y saturado. Hasta que no observa ese color de forma que una zona quede bajo la lente coloreada y la otra descubierta no se da cuenta de la gran diferencia entre los dos colores percibidos.

Parece ser que la constancia de un color está relacionada con el contraste. Así Helmholtz, Haak en 1929 y Koffka en 1932 entre otros, observaron que bajo iluminación cromática muy intensa, algunas zonas escasamente iluminadas parecen tener el color complementario al iluminado.

B. EL FENOMENO LAND

Edwin H. Land en 1957, realizó una serie de experimentos que en su momento produjeron un gran impacto en el mundo de la ciencia del color, y según su teoría, un color cualquiera podría ser producido por sólo dos primarios bien elegidos [23]. Los trabajos de Land se refieren a proyecciones de imágenes de objetos conocidos como frutas, etc. Realizó más de veinte proyecciones diferentes y las conclusiones principales son: cuando una escena real se le toma dos positivos adecuados y se proyectan en una pantalla, uno iluminado con un filtro de color, por ejemplo rojo, y otro con otro color complementario, el verde, se puede ver una escena que reproduce los colores de la escena original de forma aceptable. Los colores vistos así son altamente resistentes a los cambios en la relación de los flujos luminosos de las luces proyectadas.

Para Land es más importante la distribución de las luminancias de una escena que la luminancia total del conjunto o de cada una de las longitudes de onda de la radiación incidente.

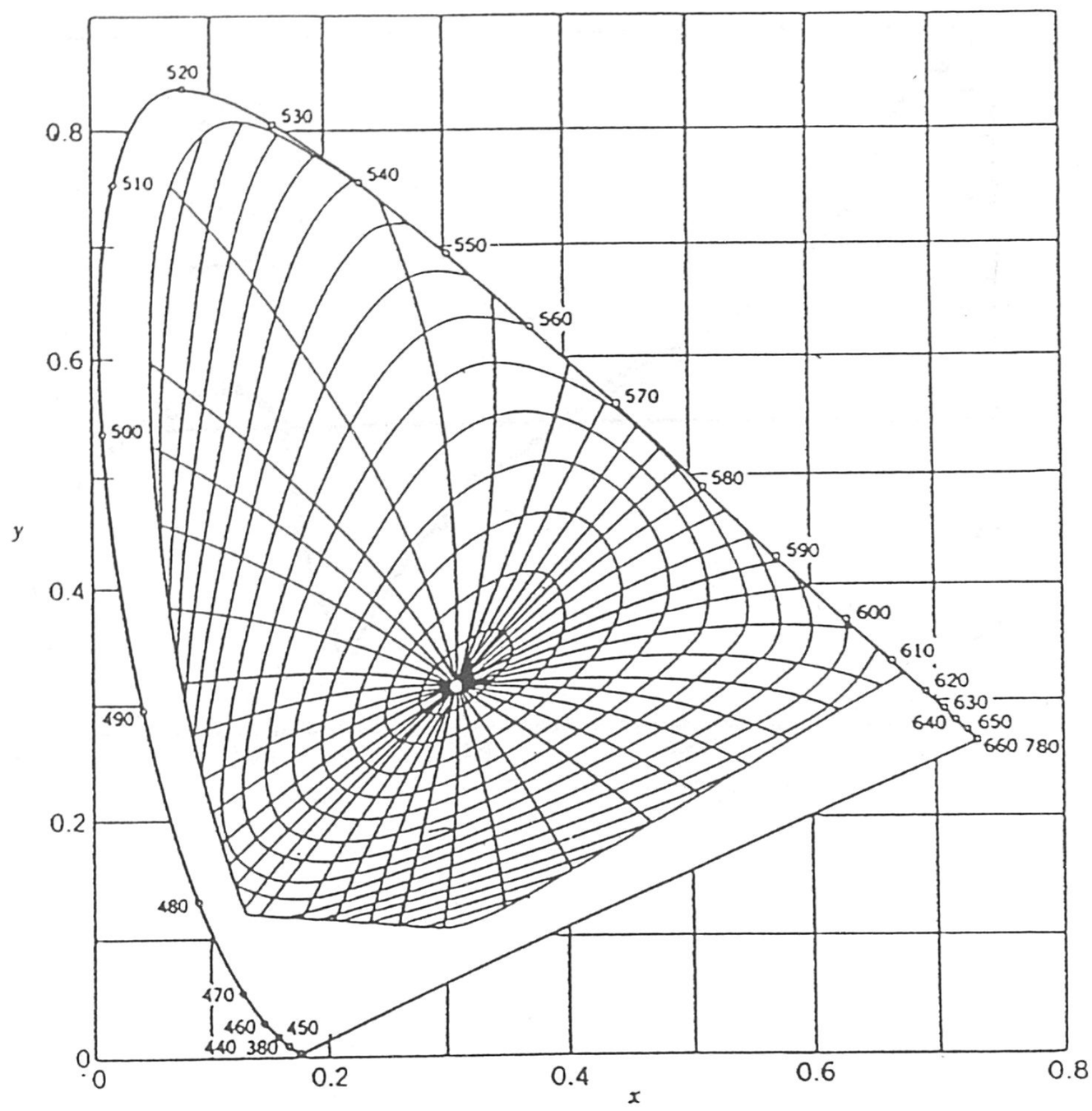
Varios grupos de investigados analizaron el problema planteado por Land, y en distinta forma concuerdan en rechazar el postulado de que no importa ni la longitud de onda ni la intensidad para determinar una sensación de color. Ellos demuestran que con la teoría tricromática se pueden predecir estos resultados en base al triángulo de primarios, por lo que no es cierto que cualquier color se pueda conseguir con sólo dos primarios. De todas formas estos experimentos no dejan de tener una importancia relativa y constituir una teoría controvertida.

C. EFECTO ABNEY Y BEZOLD-BRUCKE

El tono, saturación y claridad no son atributos independientes.

El efecto Abney consiste en que el tono de un estímulo cambia con la saturación. La gráfica (II.20) muestra el diagrama CIE-1931 en el cual se representan las coordenadas de cromaticidad de las muestras del Atlas Munsell (ver cápitulo III.). Las muestras de este atlas corresponden al mismo nivel de luminosidad, por lo tanto las líneas que se suponen de igual tono y distinta saturación, van en el diagrama desde el centro del triángulo hacia fuera, tendrían que ser rectas, sin embargo son curvas, van del centro o punto acromático a la zona de longitud de onda dominante del lugar espectral. Teniendo esta gráfica en cuenta se aprecia como el tono cambia con la saturación. Sin embargo, se puede apreciar que para los azules violáceos y amarillo este cambio es menor.

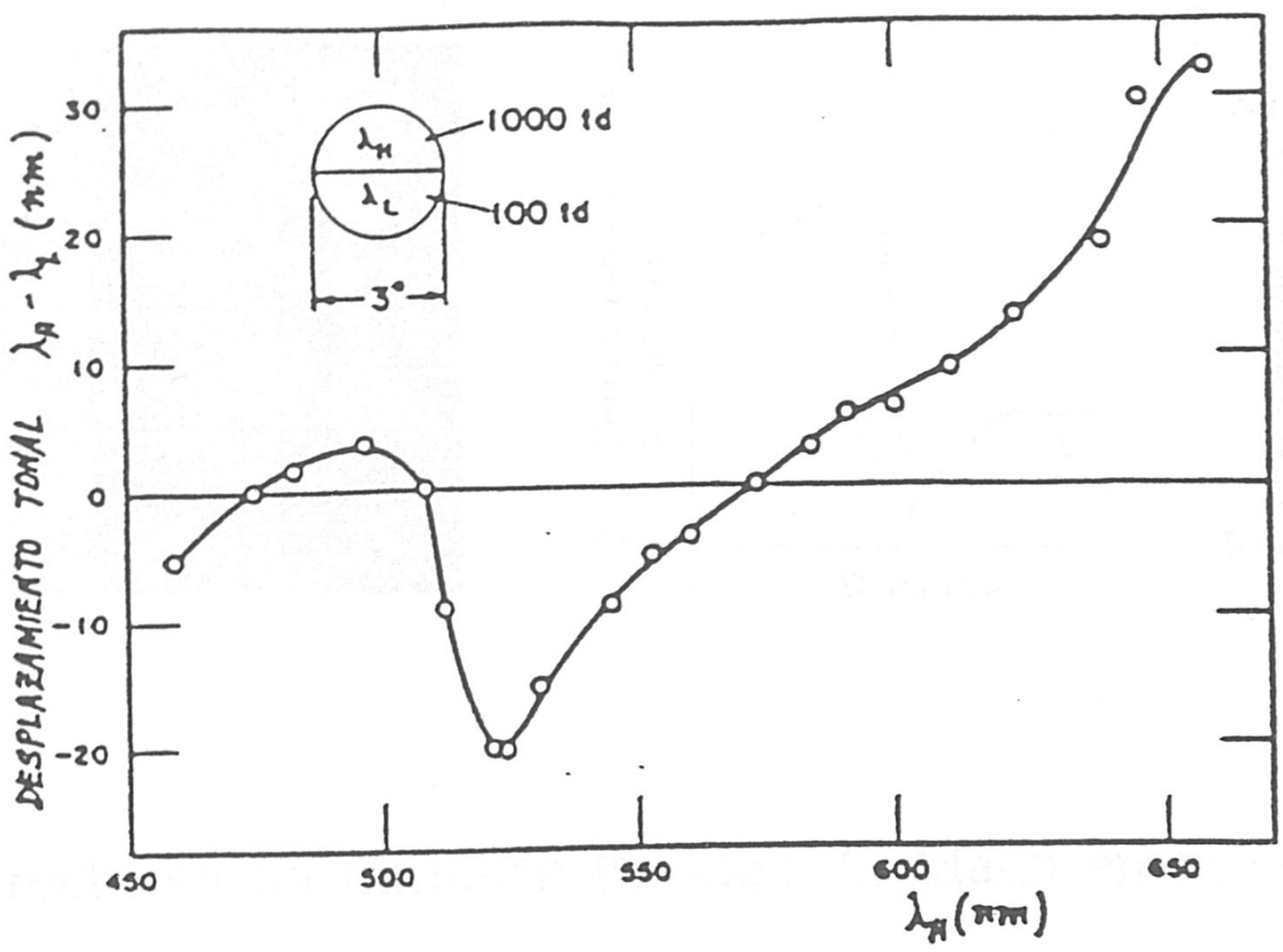
Gráfica II.20 Sección del Munsell representada en el diagrama CIE-1931.



El efecto de la luminancia sobre el tono se conoce como efecto Bezold-Brücke por ser los primeros que apreciaron el efecto.

Purdy en 1931 midió como el tono cambia en las luces monocromáticas o muy saturadas cuando pasan de tener una luminancia a otra muy distinta. Como muestra la gráfica (II.21), Purdy presentó un experimento en donde mostraba dos campos de una iluminación de 1.000 td (troland) y de longitud de onda l_H, y en la otra mitad fijaba una iluminación retiniana de 100 td y se le pedía al observador que modificara la longitud de onda del estímulo hasta alcanzar una, de l_L de igual tono que la de arriba. La diferencia entre l_H y l_L es siempre distinta de cero, excepto para tres longitudes de onda, que corresponden con los estímulos llamados " amarillo único ", verde único " y "azul único ", de $\lambda = 578$, 500 y 478 nm [24].

Gráfica II.21. Estudio del efecto Bezold-Brücke sobre el tono por Purdy.



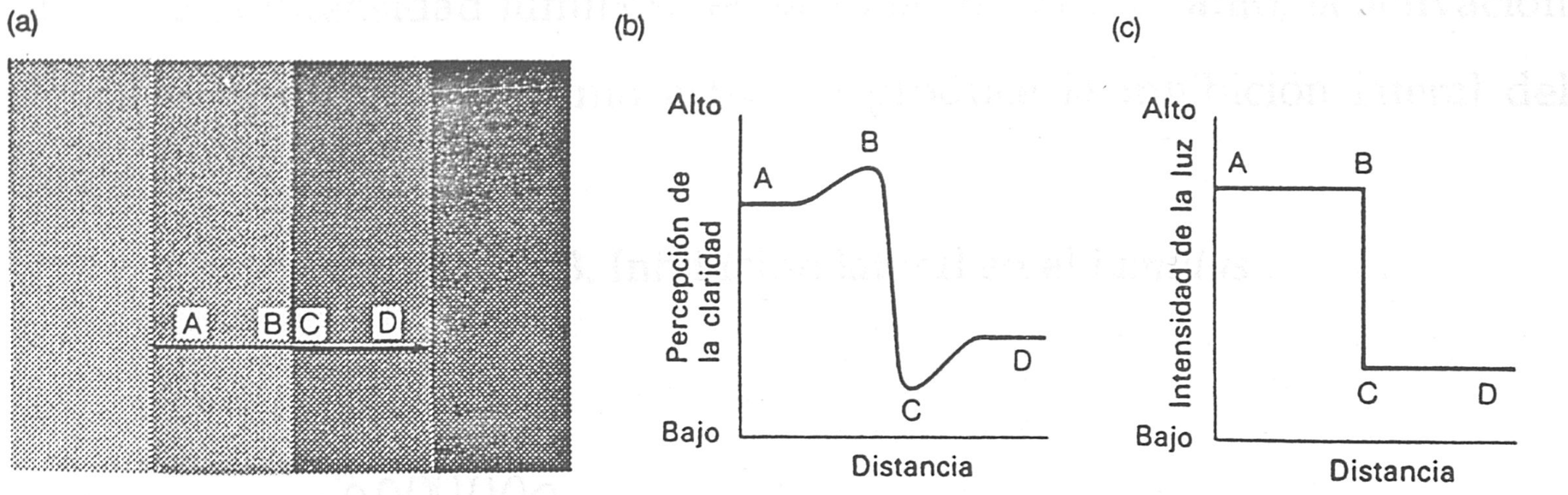
D. LAS BANDAS DE MACH

Cuando observamos superficies homogéneas de distinta claridad, a modo de la gráfica (II.22 a), las zonas limítrofes entre estas superficies muestran a lo largo de sus contornos, zonas más claras en la superficie más clara y zonas más oscuras en el contorno de la superficie más oscura.

Estas bandas que fisicamente no existen, pues al utilizar un fotómetro para medir la cantidad de luz reflejada, nos produciría una gráfica (II.22 c), sin embargo, nuestra percepción observa una gráfica (II.22b).La letra " A " corresponde a una zona de iluminación determinada, " D " a otra zona de otro nivel de iluminación , y las zonas " B " y " C " a los bordes de A y D respectivamente.

Gráfica II.22.

a.Bandas de Mach. b. Efecto perceptivo. c. Luz emitida por la zona A y D.



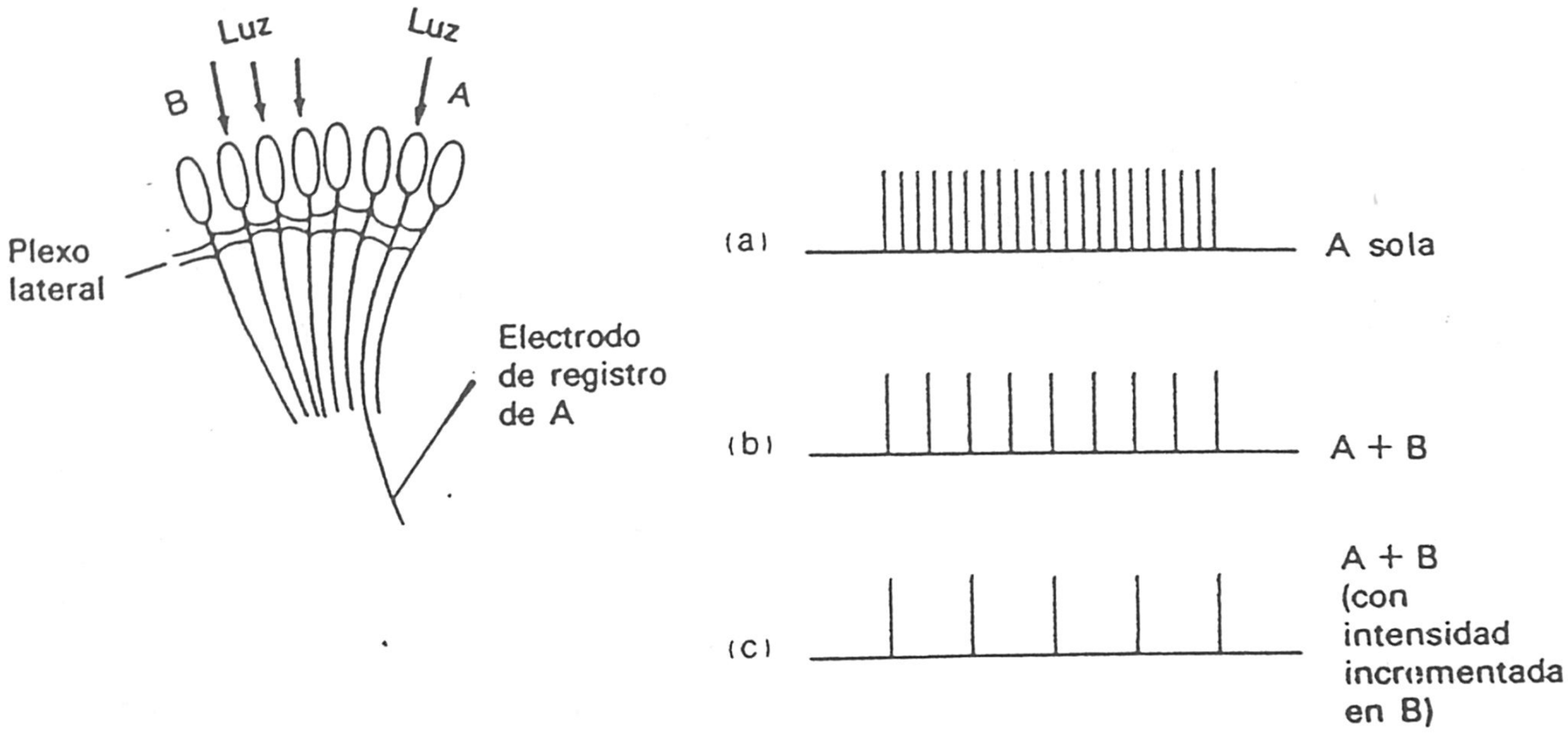
Este efecto se ha llamado Bandas de Mach en honor a su descubridor, Ernest Mach, físico del siglo XIX, que se interesó por la psicología y observó las bandas mientras hacía girar un disco acromático de Maxwell.

Este efecto perceptivo parece que tiene su explicación en la inhibición lateral de los receptores de la retina, células horizontales y amacrinas, que según comentamos antes unen la respuesta de las células de la retina conectadas en serie, produciendo un efecto de sumación e inhibición de éstas.

K.Hartline, H. Wagner y F. Ratliff en 1956 llevaron a demostrar la existencia de la inhibición lateral de la células flesoras laterales del Limulus (cangrejo de las Molucas) , que conectaban respuestas de células receptoras visuales individuales de este animal a modo de como lo hacen las células horizontales en el hombre [25].

Este hecho fue realizado gracias a que en este animal es posible estimular un solo receptor sin interferir en los demás. En la gráfica (II.23) podemos ver como se produce la inhibición lateral del *Limulus;* las señales de (a) se producen cuando se estimula solo la "A", la respuesta (b) cuando se estimula también la zona situada en "B" , y la respuesta (c) cuando se aumenta la intensidad luminosa en la zona "B". Por lo tanto, la activación de un receptor vecino a uno activado produce la inhibición lateral del anterior.

Gráfica II.23. Inhibición lateral en el *Limulus* .



Las bandas de Mach son prueba de la interacción fisiológica reciproca entre zonas de la retina. Estas han adquirido un significado especial para las investigaciones modernas sobre la percepción. Las franjas claras y oscuras de cada banda representan dos aspectos fundamentales de la interacción nerviosa: la sumación (suma de la información de neuronas diferentes) y la inhibición (cancelación de la información de neuronas diferentes). *Los Psicofisiólogos han estudiado desde hace mucho tiempo la sumación. Actualmente, Georg von Békésy, investigador que ganó el premio Nóbel por sus trabajos en psicoacústica, afirma que la inhibición sensorial es igualmente importante, ya que es una característica universal de todas las sensaciones y una clave para nuestra comprensión última de los fenómenos sensoriales [26].*

E. LA INDUCCION DEL COLOR

El que un mismo color se pueda percibir con distintas matizaciones dependiendo del contexto en el que se encuentre, es un hecho conocido y aplicado en la prática pictórica, pero que resulta difícil de aceptar y comprender cuando no se trabaja con el color como medio de expresión.

Bajo la inducción del color, podemos señalar dos fenómenos relacionados como son : el contraste sucesivo o postimagen , y el contraste simultáneo.

E. 1. CONTRASTE SUCESIVO

En la lámina 7 podemos observar una zona superior formada por un círculo negro, rodeado de distintas formas geométricas : un rombo azul, un triángulo equilátero rojo, un cuadrado amarillo, y un triángulo rectángulo de color verde. Si miramos fijamente, durante un minuto, el centro del círculo negro y después posamos la mirada sobre el círculo blanco , situado en la zona inferior de la lámina, veremos los colores complementarios a los anteriores con las mismas formas y de una manera fugaz se irán desplazando sobre la hoja del papel blanco. Estos colores se perciben como postimagen o contraste sucesivo.

Este fenómeno es uno de los que contribuyen a potenciar la teoría de la visión del color como una percepción del color formada por parejas de colores opuestos.

Por lo tanto es importante tener en cuenta que cada color induce a ver su complementario al color que le rodea.

Esta característica de la percepción del color unida al estudio de la forma ha sido estudiada por los artístas representantes del Arte Optico y Cinético a lo largo de la segunda mitad de este siglo. En la Exposición llamada "El responsable : el ojo ", se manifestaron obras en las cuales los colores cambiaban, producían sensación de movimiento y adquirían formas irreales, siendo nuestra percepción la responsable de estos cambios. También el movimiento ocular, o el movimiento del observador, o de un elemento de la composición, producía cambios constantes en la percepción de la obra. Autores destacados de estos estudios son, entre muchos otros : V. Vasarely, B. Raley, Soto, Y. Agam y Cruz Diez, etc.

Si observamos la lámina 8 , formada por arcos de círculos de color verde y violeta sobre fondo amarillo que se van haciendo más claros conforme se alejan del centro, veremos que cuanto más se observan las formas, más cambios se producen en la percepción de los colores presentados y los violetas azulados se van cambiando produciendo sensaciones de colores púrpuras-rosados.

E. 2. CONTRASTE SIMULTANEO

El contraste simultáneo o colores de imagen persistente, así llamado, ya que cada color influye en el que lo rodea o en el que tiene al lado de forma simultánea y esta imagen persiste, es decir, no es fugaz ni depende del tiempo de observación .

Este fenómeno sucede siempre que se perciben dos colores simultaneamente, sucediendo que cuando uno de los colores tiene mayor área que el otro o le circunda, entonces no apreciamos el contraste que el de menor área produce sobre el de mayor área; sin embargo, si se aprecia el cambio en la percepción del color en el de menor área, como podemos observar en la lámina **9** . Esta lámina presenta colores iguales poco saturados (gris claro y oscuro, y ocre claro y oscuro) sobre un fondo amarillo y sobre un fondo azul-violáceo. La situación y tamaño de las formas es el mismo, lo único que cambia es la posición. Podemos observar que estos colores aparecen con distintas características cromáticas. Los grises parecen más violáceos y oscuros sobre el fondo amarillo que sobre el fondo azul. Y, los ocres se ven más claros y amarillos sobre el fondo azul que sobre el fondo amarillo.

Josef Albers ha sido uno de los artístas y teóricos del color que más ha investigado con las formas , el color y su interacción.

Los colores menos saturados son los que más fácilmente cambian con el efecto del contraste simultáneo.

El contraste simultáneo puede ser acromático o cromático. El acromático lo tenemos en la lámina número **2** , un mismo gris parece más oscuro sobre fondo blanco que sobre fondo negro.

Las láminas **10** y **11** nos presentan el contraste simultáneo cromático. La lámina 10 , presenta un color rojo en el centro que se observa rodeado de un rosa y un negro, podemos ver que el color rojo con el fondo negro se ve más saturado y más claro, que sobre el fondo rosa. La lámina 11, presenta el color verde rodeado por un amarillo saturado y por un azul oscuro saturado. Podemos observar como cambia de tono, claridad y saturación.

Este efecto se usa para reforzar el acento del color y sobre todo diferenciar dos zonas limítrofes o girar un gris hacia un tono determinado.

La lámina **12** , nos muestra colores azules con distintas matizaciones que se repiten en la misma situación de posición sobre los distintos fondos en donde están colocados : gris, azul claro, azul turquesa y azul oscuro. Debido al contraste simultáneo, observaremos que los colores cambian no solo en el matiz tonal, sino en su claridad y saturación .

Pero también podemos observar que cada color substrae su propia tonalidad de forma que hay azules que apenas se distinguen del color del fondo. Esto sucede porque la percepción del color no sucede de forma aislada y hay un cierto equilibrio entre el contraste y la asimilación. La asimilación nos permite matizar una superficie coloreada y que podamos percibirla como un único color, es decir , que se mantenga la constancia del color.

También es cierto que si tratamos de identificar las posibles diferencias entre dos o más colores aparentemente iguales debemos situarlos unos junto a los otros para poder detectarlas. La comparación más sencilla y precisa sucede al comparar de dos en dos.

Como podemos observar en la lámina 13 , los amarillos escogidos parecen ser iguales colocados sobre el fondo gris a pesar de estar poco alejados unos de otros, y sin embargo, para caracterizar sus diferencias basta con situarlos juntos y sobre un fondo similar en tono, luminosidad y saturación , y estas diferencias cromáticas aparecerán .

6.3. LA TRANSPARENCIA PERCEPTIVA

El fenómeno perceptivo de la transparencia sucede cuando en una superficie plana percibimos un color formado por la superposición de dos colores dados por transparencia. En este sentido se proyecta una sensación espacial de profundidad , en la cual se percibe un plano o color como anterior y otro como posterior, y donde el color intermedio es una mezcla de la transparencia supuestas a los materiales.

En el estudio de este fenómeno se distinguen tres factores : la forma, la claridad y el color.

Para la característica formal, se necesita: por una parte un solapamiento o superposición de la forma; por otra parte , que esta sea percibida como la configuración más simple, dentro de las posibles organizaciones perceptivas que presente la imagen o imágenes. Aunque este fenómeno en principio se redujo a tres zonas o áreas, después de varios estudios y experimentos se demostró que son necesarios cuatro áreas o planos. El cuarto área se refiere al contexto.

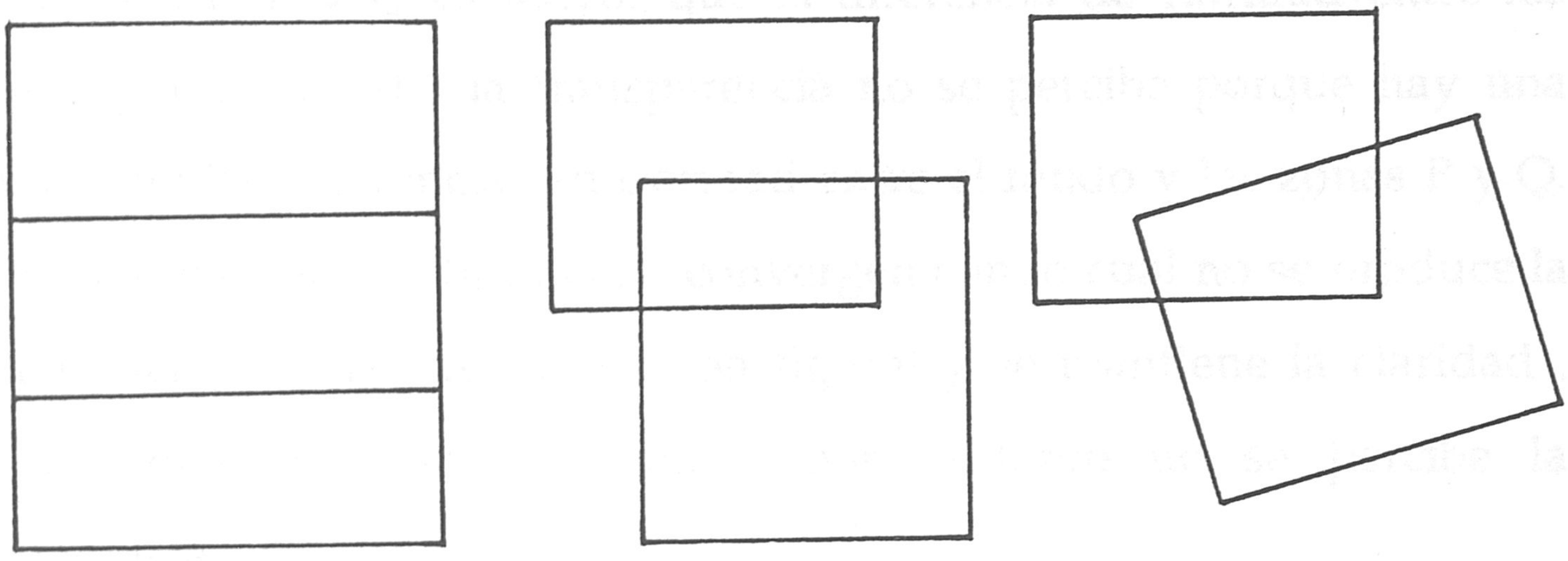
Gaetano Kanizsa en 1955 en un estudio sobre este tema , nos hizo observar que : 1) las zonas interesadas en el fenómeno de la transparencia son cuatro y no tres, y 2) al percibir la transparencia, las cuatro zonas se articulan dos a dos formando dos planos en dos niveles de profundidad.

Fabio Metelli elaboró un modelo matemático, en éste se determinó que la condición de los márgenes: el margen que divide las dos zonas de la figura transparente debe coincidir con el margen que divide las dos

zonas del fondo. La gráfica (II.24 a, b,y c) se puede observar la relación de transparencia formal, siendo en (a) nula, en (b) ligera y en (c) fuerte.

Gráfica II.24. Transparencia formal.

a. Nula b. Ligera c. Fuerte



Metelli, con su modelo matemático, estudió el fenómeno de la transparencia en superficies acromáticas y dedujo las condiciones necesarias de claridad que deben cumplir las zonas para que dicho efecto se pueda percibir. La transparencia se percibe por la mayor claridad de la zona de fusión respecto al de una de las zonas contiguas. La figura transparente tendrá una diferencia de claridad menor respecto a la de las dos zonas del fondo. Si una zona de la transparencia es más clara que la otra , entonces la superficie sobre la que se encuentra , también debe ser más clara que la otra que actúa de fondo. Si nos fijamos en la gráfica (II.25 a, b, c, d,e y f) considerando F y F" las superficies del fondo y P y Q , las superficies que presentan la transparencia, se debe cumplir que : 1) la diferencia de claridad en P y Q, debe ser menor que entre F y F"; 2) si P es más claro que Q, entonces F debe ser más claro que F". En (a) las

características topológicas formales y de claridad se mantienen , luego se percibe la transparencia. En (b) se mantiene la transparencia por converger los márgenes, superposición de formas y las leyes de claridad. En (c) la transparencia no se produce porque la diferencia de claridad entre las áreas P y Q es mayor que la diferencia de claridad entre los fonfos F y F". En (d) la transparencia no se percibe porque hay una inversión de las diferencias en claridad entre el fondo y las zonas P y Q. En (e) los márgenes y figuras no convergen con lo cual no se produce la transparencia. En (f) hay unificación figural y se mantiene la claridad , pero los márgenes no coinciden , por lo tanto no se percibe la transparencia.

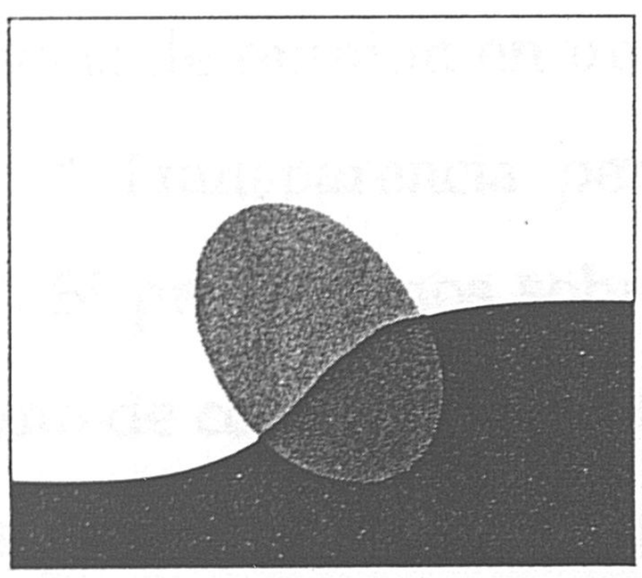
En cuanto a la transparencia cromática, G. M. Heider formuló una hipótesis en 1933, según ella, el color de la zona de superposición , el color estímulo, puede ser el producto de la mezcla aditiva de dos colores; según su hipótesis al percibir la transparencia se produce un proceso de división del color estímulo, y los colores divididos de esta manera se ven como pertenecientes a uno a la capa opaca subyacente, y el otro a la capa transparente.

Osvaldo Da Pos ha estudiado la transparencia cromática con el método del mosaico, es decir, con colores opacos correspondientes a un muestrario de color de 24 tonalidades distintas dentro de 600 colores diferentes, basados al igual que el sistema Musell o DIN en el principio de los colores perceptivamente equidistantes. En sus estudios diferencia entre transparencia completa y equilibrada , relizados en 1976, y la parcial, estudiada en 1977. Considera transparencia equilibrada cuando

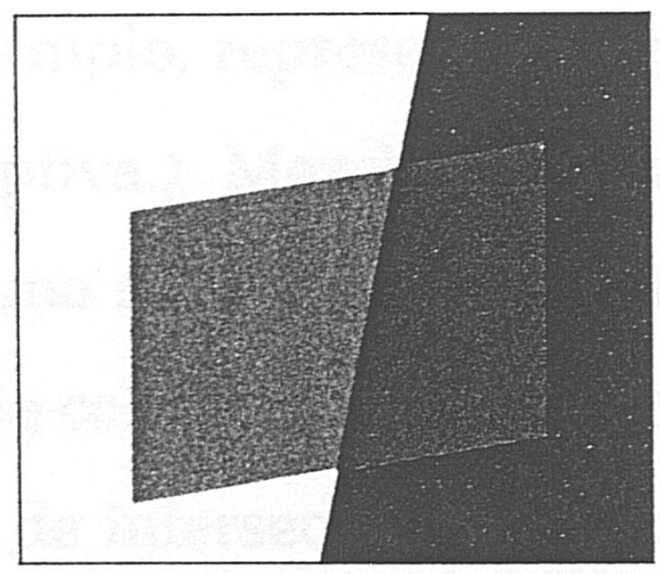
las dos zonas del estrato se ven con el mismo grado de transparencia. Cuando se ve transparente sólo la zona de superposición de las dos figuras, considerandose la zona del fondo como opaca, se considera como parcial. Para la transparencia cromática determina que las leyes de la acromática son necesarias pero no suficientes. Y , al igual que Heider, considera que para conseguir transparencia , el color fusión debe ser el producto de la mezcla aditiva de los otros dos colores.

Gráfica II.25. Transparencia acromática.

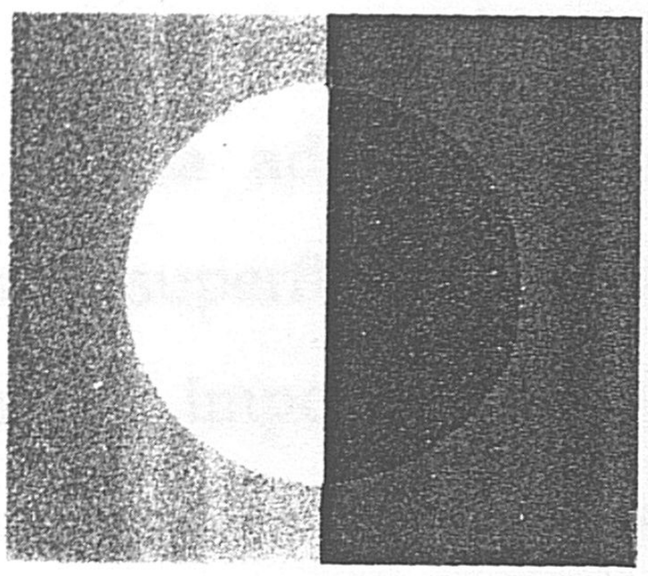
Si se percibe : a



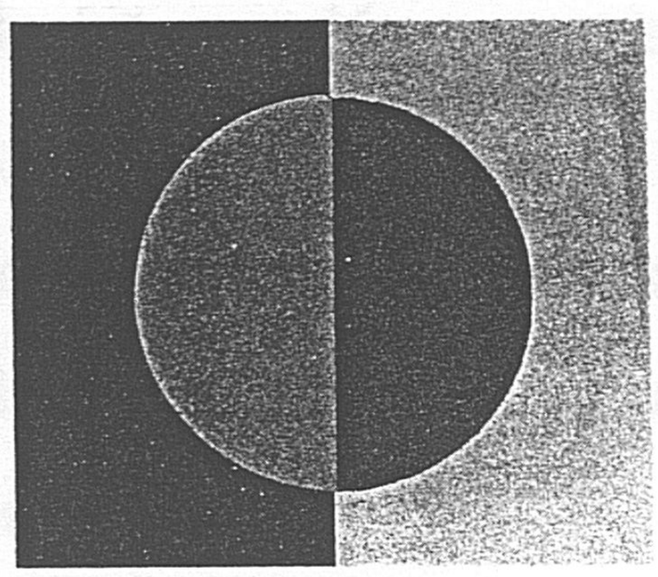
b



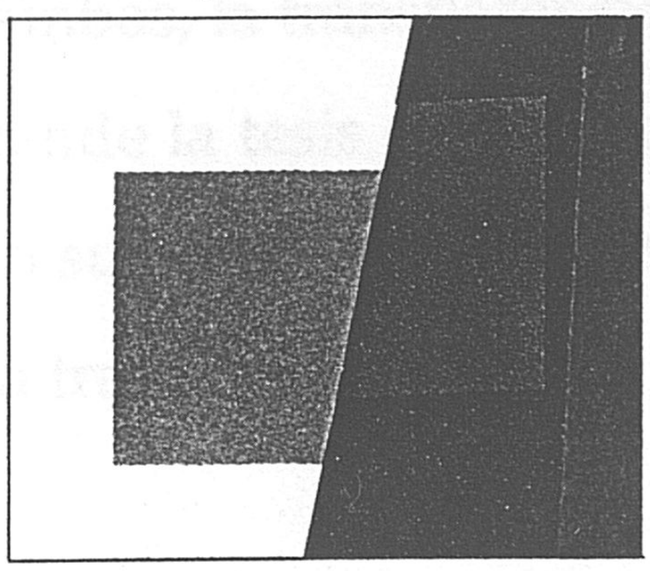
No se percibe por la claridad: c



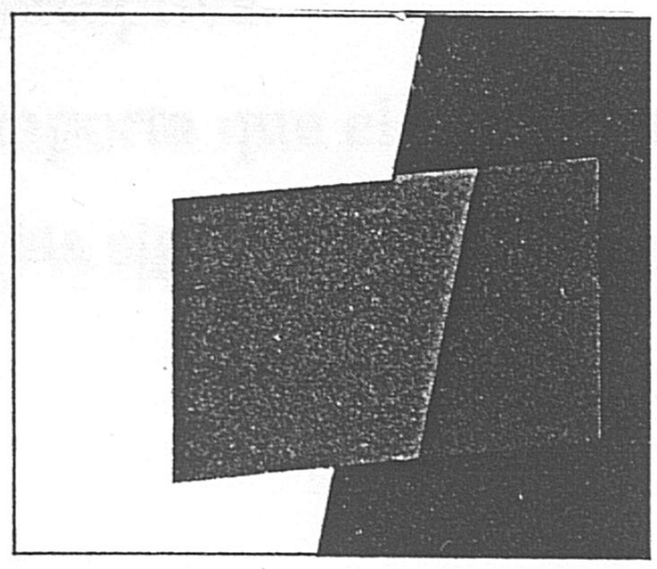
d



No se percibe por los márgenes: e



f



Sin embargo, Jacob Beck, en su ensayo aparecido en el Scientific Americam en 1975, sostiene la tesis de que la transparencia se percibe cuando el color de la zona de superposición es el producto de la mezcla sustractiva antes que aditiva. Fundamenta esta tesis en la percepción y el conocimiento de las experiencias diarias.

Aunque estas diferencias fueron estudiadas para un caso en que las superficies eran dos círculos azules y amarilos, nosotros presentamos una superposición teniendo en cuenta las cuatro áreas establecidas por Kanisza.

Veamos estas diferencias de opinión en un ejemplo, representado en la lámina **14** , titulada : " Transparencia perceptiva.¿ Mezcla Aditiva o Mezcla substractiva ? ". Si presentamos sobre una superficie blanca, dos formas rectangulares, uno de color azul y otro de color amarillo, de forma que esten superpuestos produciendo una zona de interseción en un caso de color verde y en otro de color gris. Para Da Pos se produce la transparencia sólo en el caso de que la zona de intersección sea gris o blanca, debido a la mezcla aditiva, pero para Beck, se produce la transparencia sólo para la superficie de intersección de color verde. Aquí podemos observar, como la importancia de la disposición formal en una composición, domina sobre las características colorimétricas, de tal manera, que personalmente, me parece, los dos casos como buenos indicadores, y veo, en ambos, la transparencia perceptiva.

Augusto Garau defiende la tesis de que no importa que el color venga de una mezcla aditiva o sustractiva, y establece las siguientes condiciones para que se produzca la transparencia:

1) Considera cuatro zonas , dos forman parte de la figura transparente y las otras dos forman parte del fondo.

2) La figura transparente deberá estar compuesta por dos mezclas fenoménicas (mezcla de colores puros).

·3) Para el fondo también se pueden emplear colores puros , pero de forma que las figuras que forman la zona transparente tengan el mismo rol : dominante, subordinado o paritario.

4) Las mezclas de colores terciarios son idóneas para las transparencias por las tensiones que producen al no estar equilibradas como los colores secundarios.

5) El color que las dos mezclas tienen en común produce el color local de las figuras transparentes, y por eso sirve para unificar las dos áreas del estrato transparente.

6) Los otros dos colores, presente cada uno de ellos en una de las dos mezclas, van a constituir los colores del fondo.

7) Para que la transparencia sea equilibrada, es necesario que el color común esté presente en ambas mezclas con el mismo papel de dominante o subordinado.

8) La relación de cantidad de color común en cada una de las dos mezclas constituye el índice de transparencia: cuando el color común está en minoría en las respectivas mezclas, la transparencia es grande, ya que la mayor cantidad de color va al fondo. En cambio, cuando el color común es dominante en cada mezcla, la transparencia es escasa, ya que va poco color al fondo y mucho a la figura transparente [27].

Cuando tenemos un color terciario (mezcla de primario y secundario) se define como dominante el tono correspondiente al color que sobresale y como subordinado el tono correspondiente al primario que está

contenido en pequeña cantidad. Así, Garau establece la semejanza de los dominantes , como por ejemplo, un amarillo-anaranjado (Amr) y un amarillo-verdoso (Amaz) el color dominante es el amarillo. La semejanza de los subordinados sería, por ejemplo, un amarillo- anaranjado (Amr) y un azul-rojizo (Azr) es decir un azul- violáceo; en este caso el rojo que está en pequeñas cantidades es el subordinado que establece la unión.

La lámina **15** nos presenta fenómenos de transparencia perceptiva de colores según las características antes expuestas. Se han utilizado colores recortados de papel a modo de mosaico .El primero corresponde a semejanza de los subordinados,ya que los colores que producen la transparencia son un Az-vd, y Am-vd, produciendose un gran efecto de transparencia; y el segundo, situado debajo del anterior, corresponde a semejanza de los dominantes, Pu-rj y Pu-az, produciendose menor efecto de transparencia.

6.4. COLORES CALIDOS Y FRIOS

Otra de las características perceptivas del color es la consideración de la temperatura. Carecemos de información sobre como influye la energía lumínica intensa sobre el sistema nervioso y la relación que se produce entre las distintas áreas perceptivas de la corteza cerebral, pero somos conscientes de que los distintos tonos cuando se presentan de forma muy saturada y con luminosidad alta, producen efectos distintos. Así, un tono rojo intenso es más activo que un tono azul. Si el rojo pierde saturación cambia sus características perceptivas.

Algunos experimentos han puesto de manifiesto una respuesta corporal al color. *Feré descubrió que el tono muscular y la circulación se acrecientan ante la luz coloreada, en la secuencia que va de menos a más, según los tonos : azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Esto concuerda con las observaciones psicológicas de los efectos de estos colores , pero no sabemos si de lo que aquí se trata es de una secuencia secundaria de la experiencia perceptual o de una influencia nerviosa más directa de la energía lumínica sobre el comportamiento motor y la circulación sanguínea* [28].

En este sentido, *el tono cromático asociado a la cualidad de cálido / frio , dominó en la escuela pictórica de Munich a principios de este siglo y se ha quedado determinado y aceptado por todas las escuelas* [29].

Por asociación, se consideran colores "cálidos" los tonos que van del amarillo, naranja al rojo. El más cálido de todos es el rojo-anaranjado. También se consideran como colores "cálidos", los distintos matices que

pueden presentar estos tonos, como pueden ser: los tierras, sienas, ocres amarillos rojizos, etc.

Se consideran colores frios, todos los tonos azules en sus distintas matizaciones, es decir, azules puros y azules grisáceos o poco saturados, azules violáceos hasta el púrpura o carmín y azules verdosos hasta el verde esmeralda incluido.

Los tonos verdes se consideran como neutros y puede aparentar ser frio o cálido según se aproxime a los azules o a los amarillos.

En la realidad todos los tonos pueden actuar como frios o cálidos según el contexto en el que se encuentren. La lámina 11, presentada para el contraste cromático, puede servir de ejemplo. El verde resulta más cálido sobre el fondo azul y más frio sobre el fondo amarillo. Este cambio de la temperatura perceptiva sucede por el contraste simultáneo.

La lámina **16** nos muestra dos filas de distintos colores, la primera de colores cálidos y la segunda de colores frios.

Como final de esta apartado, sobre las características perceptivas de la visión del color, podemos indicar que a principios de este siglo, las teorías de la percepción Gestálticas (percepción de las formas) han incorporado más características perceptivas a los distintos colores, siendo éstas emparejadas por contrastes opuestos como: cercano o próximo en oposición a lejano; pesado /ligero, expansivo / interno,etc.

Este sistema de análisis formal de la obra artística está representado por la Escuela de la Bauhaus, desarrollada en Alemania entre 1919 a 1933. Pretendían restaurar la integración de todas las artes, rota por la

industrialización y el Romanticismo ; y con ello utilizar el arte como instrumento para una regeneración cultural y social. Las asignaturas tenían maestros de teoría de las formas y maestros de taller. Es significativo la importancia dada a la teoría por esta escuela, ya que los maestros de taller no tenían poder decisorio en muchas cuestiones. Representantes de esta escuela son , entre otros: Gropius, J. Albers, Feininger, Itten, Kandinsky, Klee, Moholy-Nagy.

Wassily Kandinsky fué uno de los primeros artistas que teorizó sobre los conceptos formales de las obras plásticas, dejando varios escritos sobre sus teorías y ejercicios de clase entre los que se encuentran:" Punto y línea sobre el plano" ," De lo espiritual en el arte ", y " Cursos de la Bauhaus". Para Kandinsky es muy importante la integración de todas las artes, por lo que establece una relación entre las artes visuales (formas, el color, etc.) y artes musicales. También hace otras comparaciones con los distintos sentidos del gusto, tacto y el olfato.

Con relación al color, Kandinsky establece cuatro grandes pares de contrastes :

1º .- Amarillo - Azul.

2º .- Blanco - Negro.

3º .- Rojo - Verde.

4º .- Anaranjado - Violeta.

Si escogemos algunas características de estos contrastes, vemos que define las siguientes cualidades:

El Amarillo es excéntrico, avanza hacia arriba, hacia los límites y más allá, tiene una tensión hacia el exterior. Es explosivo, agresivo, apremiante, fresco, loco, activo.

El azul es concéntrico , retrocede, introvertido, es centrípeto, evasivo, apartado y solitario.

El blanco es intrínsecamente cálido y próximo al amarillo, y el negro, es intrínsecamente frio y próximo al azul. El negro es el color menos sonoro, por lo que sobre él cualquier otro color, incluso los de tono más bajo, suena más fuerte y preciso.

El verde ocupa el centro entre el amarillo y el azul, por lo tanto, es inmóvil, establece el equilibrio ideal, la tranquilidad, pasividad e indolencia.

El rojo, complementario al verde, no revela ni un movimiento concéntrico ni excéntrico, e internamente aparece como un color activo, muy vivo, inquieto, de una inmensa fuerza [30].

La lámina **17** presenta una obra abstracta de Kandinsky, donde podemos observar que la finalidad de la obra, no es la referencia visual de algún elemento real, fuera de lo que es la composición plástica: relaciones formales, espaciales, de color, sensaciones.

Podemos ver como, en la obra, se introducen unas relaciones perceptivas espaciales, de profundidad, de transparencia, de peso, de tamaño etc., que no tienen nada que ver con las características de objetos reales y referenciales. El color, para Kandinsky, no es un ente independiente, como lo puede ser la forma, estudia las relaciones entre formas y color.

Es verdad, que el color tiene que ser percibido bajo una expresión formal concreta, y en este sentido juega un papel de armonía, resalte, equilibrio, disonancia, etc. Pero, el color tiene una significación específica. Por tanto, para un análisis serio de este elemento, es necesario estudiarlo manteniendo todas las demás variables de la composición fijas, y sólo cambiar el color. En este sentido los planteamientos del arte abstracto y arte minimal, sin referencia a la representación, estudiando sólo los elementos intrínsecos de la obra, han tenido y tienen un gran papel que jugar, en el terreno de la investigación. Sin que por ello tenga que dejarse de observar la naturaleza (fuente de inspiración), y poder presentar una visión particular y subjetiva de la realidad, por parte del artista.

Hoy dia, las corrientes expresivas abstractas y conceptuales, y las corrientes más representativas o naturalistas deben investigar conjuntamente y tenerse en cuenta por ambas partes (Recordemos los últimos escandalos en el terreno de las grandes exposiciones artísticas , en nuestro país, donde no se admiten por parte de muchos críticos y artístas los planteamientos duales en este sentido).

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. Corsweet,T. N. Visual Perception. Academic Press.London (1970) ; p.137.

2. Colin , M. K. Fundamentos Científicos de Oftalmología ; p. 236

3. Cohhen, J. Sensación y percepción Visual. Ed. Trillas, Mexico (1973); p. 57.

4. Ruskell, G. *Neurología de la percepción Visual* del libro Optometria . Editado por Keith, E. y LLewellyn, R. Ed.Masson- Salvat. Barcelona (1993); p. 7

5. Romero Mora , J. y Garcia fernández , M. T. Curvas de absorción espectral de Fotopigmentos visuales en conos. "Ver y Oir" **Nº 36** .Enero-Febrero (1982); p. 21

6. Kuffler, S. W. y Nicholls , J.G. De la neurona al cerebro.Ed. Reverté. Barcelona (1982); p. 28

7. Saraux H. -Lamasson C. Anatomía e Histologíaa del ojo. Ed. Masson. Barcelona (1985); p. 198

8, 9, y 10. Ruskell, G. Neurología de la percepción Visual del libro Optometria . Editado por Keith, E. y LLewellyn, R. Ed.Masson- Salvat. Barcelona (1993);pp.9, 10 y 11 respectivamente.

11. Kuffler, S. W. y Nicholls , J.G. De la neurona al cerebro.Ed. Reverté. Barcelona (1982); pp.35-56.

12, 13, 14 y 15. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); pp: 51, 55, 140-141, y 142 respectivamente.

16. García García, J. A. Tesis Doctoral: Determinación experimental de diferencias de color : Normalización colorimétrica y modelos de visión. Granada (1991);pp. 33-88.

17. Kowaliski, P. Vision et measure de la couleur. Ed. Masson . París 1978; p.42.

18. Hoog, M. The Nympheas of Claude Monet. Ed. RMM. París (1987); p.93

19. Obras Maestras Impresionistas y Neoimpresionistas. RMM. París (1987); p. 102.

20 y 22. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); pp.146 y 130 respectivamente.

21 y 23. Lozano, D. El color y su medición. Ed. AmericaLee (1978); pp. 479 y 480.

24. Romero, J. V. Optica Fisiológica.Dpto. de Optica. U. de Granada (1991); pp. 158-160.

25. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); p. 45-46.

26. Cohen, J. Sensación y percepción Visual. Ed. Trillas, Mexico (1973); pp. 45-46.

27. Garau, A. Las armonías del color. Ed. Paidos.Barcelona (1986); p.77.

28. Arheim ,R. Arte y percepción visual . Alianza Forma. Madrid (1979); p. 404.

29.Albers , J. La interación del color. Alianza Forma.Madrid (1979); p.81

30. Rainer Wick, Pedagogía de la Bauhaus.Alianza Forma . Madrid (1986); pp. 180-186.

- CAPITULO III -

MEZCLAS Y REPRESENTACION DEL COLOR

" Un pintor trabaja con el color o dentro de él. Algunos lo consideran parte concomitante de la forma, y por tanto subordinado a ella. Para otros, en cambio y en medida siempre creciente, el color representa el medio de expresión más importante del lenguaje pictórico. Aquí el color alcanza su autonomía. Mi pintura representa la segunda tendencia. Me interesa de modo particular el efecto psíquico, una experiencia estética, provocada por la interacción de los colores opuestos." Joseph Albers

E. Gomringer.J. Albers. New York, 1968, p. 104.

INTRODUCCION

Muchas de las informaciones que percibimos del mundo exterior son de naturaleza óptica. A través de nuestra visión nos llega información sobre cada objeto, discriminando: la forma, el color, la textura, la orientación, el tamaño, la posición respecto a otros objetos, etc. De todas estas características del objeto, percibidas por el mismo sentido, el color es la más relativa y a la vez una de las más influyentes psicológicamente.

El color de un objeto depende, como ya hemos visto, de la fuente de luz que incida sobre el objeto y de la estructura molecular de la materia sobre la que incide la luz. Pero la sensación de color también está condicionada por: la intensidad y duración del estímulo, el estado de adaptación del observador, el ángulo de observación, el área de la retina afectada, el contraste luminoso y cromático con el que es percibido, es decir, el contexto o colores del entorno con el cual es percibido.

Por si todo esto fuera poco, además, el lenguaje verbal es limitado. Todos somos conscientes de la influencia del idioma para designar un color. La designación y términos lingüísticos de cada cultura depende de los colores que rodean el medio en el cual se mueven. Pero circunscribiéndonos a nuestra cultura y medio ambiente, el nivel cultural y técnico influye en la designación de los colores.

En nuestra cultura, hay una designación para las distintas tonalidades, como: rojo, amarillo, verde, azul, violeta, rosa,etc; que se acompaña de otro nombre compuesto para designar el matiz, por ejemplo, azul-

verdoso, refiriéndose a un azul que tiende un poco al verde. Esto va acompañado de adjetivos como: claro, oscuro, denso, pálido, débil, intenso, fuerte, etc. El lenguaje incluye nombres propios de animales, plantas, y sustancias minerales como : rosa salmón, verde oliva, azul turquesa, hueso, etc; para relacionar y matizar el color en un intento de especificación del mismo. Nuestro idioma también posee nombre para los colores poco saturados, como: beige, crema, ocre (para los amarillos poco saturados); en relación a los rojos , es habitual el nombre de marrón, sienas, tostado, almagra y tierras; y gris, cuando son violetas y azules poco saturados.

A veces estos problemas aumentan por la utilización de un mismo vocablo para diversas tonalidades en los campos de los especialistas como científicos, técnicos y artistas.

El color que el científico designa por azul, el técnico impresor y artista lo llama violeta. Y el rojo del científico es un naranja para el artista. *Esto ha hecho que en las normas DIN 16 508 y 16 509, por ejemplo, se hayan abandonado las definiciones rojo y azul para los colores elementales de imprenta y, en cambio, se han adoptado los nombres internacionalmente usados de magenta y cian. Esta propuesta no es aceptada porque solamente un grupo relativamente pequeño de científicos opina que son exactas sus designaciones, por consiguiente tienen que ser convencionalmente aceptadas en la práctica. En esta complicada situación la propuesta del Dr. Georg Kurt Schauer de no eliminar los primitivos nombres rojo y azul, añadiendo a cambio como complemento los nombres magenta, naranja, o cian y violeta; supone una solución. En este sentido, los colores*

sentido, *los colores elementales serían : amarillo, rojo-magenta y azul-cian, azul-violeta, rojo-naranja y verde* [1].

También creo oportuno, que esta idea de aplicar los nombres compuestos puede ayudar a relacionar el nombre con el tono en cuestión , por lo tanto en lo sucesivo aplicaré estos nombres directamente.

1. DIMENSIONES DEL COLOR

Hemos visto como el color es una de las percepciones más variables y difíciles de definir, pero a pesar de todo esto, es necesario para el hombre medir y determinar el color. No sólo para entenderse, al referirse a una imagen determinada, sino para poder usarlo y reproducirlo.

En este sentido, ya definimos en el primer capítulo las tres dimensiones del color, o atributos en los cuales se puede descomponer: una sensación acromática-luminosidad, y dos sensaciones cromáticas- el tono y la saturación.

La luminosidad o intensidad luminosa corresponde psicológicamente a la claridad del color. También se le denomina brillo o valor. El color de los cuerpos que no presentan otro atributo que la luminosidad es el gris. Podemos conseguir una escala de grises que vayan del blanco al negro, límites máximo y mínimo.

En la lámina **18**, podemos ver una serie de tonos azules con distintas luminosidades acompañados de grises con la correspondiente valoración luminosa.

Aunque teóricamente todas las tonalidades podrían presentarse con una máxima claridad cerca del blanco persistiendo el tono y al igual podrían presentar una mínima claridad conservando el tono, en la práctica vemos que hay unos límites y curiosamente estos límites no son iguales para cada tono. Tal como vimos en el capítulo anterior ese fenómeno fue observado por Bezold-Brucke. Este efecto se puede observar en las mezclas de colores cubrientes con blanco y negro para

FACULTAD DE BELLAS ARTES

cada una de las distintas tonalidades escogidas, en el estudio de investigación presentado .

La tonalidad o tinte , es la cualidad esencial de la sensación cromática y está ligada a la longitud de onda dominante de la radiación luminosa percibida. Si aisláramos bandas estrechas del espectro visible obtendríamos luces monocromáticas de colores puros, como: violeta, azul, verde, amarilla, naranja, roja, púrpura.

La saturación o pureza se refiere a la intensidad de coloración que provoca un color, siendo menos puro cuando dentro del mismo tono da un aspecto más gris. La lámina **19** nos presenta una fotografía de tonalidades rojas con distinta saturación.

2. COLORES PRIMARIOS Y COLORES ELEMENTALES

Teóricamente, las tres sensibilidades espectrales de nuestro sistema visual, para la luz de longitudes de onda cortas, medias y largas del espectro, nos dan respectivamente las sensaciones de color: azul-violáceo, verde, y rojo-anaranjado, aunque fisiológicamente no se pueden activar de forma individual. Podemos llamar a estas percepciones, primarias del ojo. Si se activa los receptores de las longitudes de onda medias y cortas, se percibe el azul- cian. Si se activan los receptores de las longitudes de onda medias y largas, se percibe amarillo. Y si no se activan las longitudes de onda medias, activandose las de ondas cortas y largas se produce la percepción del magenta o púrpura. Si las tres sensibilidades al color fueran igualmente activadas se produciría la sensación acromática de blanco, o de negro en ausencia de ésta.

Por lo tanto, las sensaciones límite son: seis colores cromáticos y dos acromáticos, llamados colores elementales por H. Küppers : *Los ocho colores elementales son las ocho posibilidades indivisas de variación que resultan de los tres colores espectrales puros primarios. Representan las sensaciones extremas que el órgano de la vista es capaz de producir* (2). No existe ningún material cromático capaz de incitar al órgano de la visión a producir las sensaciones de color extremas, es decir, los colores primarios o elementales. A lo sumo se podrá tratar de aproximaciones. Por lo tanto , los colores que se utilizan para representar las distintas ideas y propiedades del color son representaciones simbólicas de los colores

primarios y elementales. En la naturaleza no se perciben casi colores saturados.

Representación de las ocho posibilidades extremas de sensación.

Colores primarios	Colores elementales
Az+V+R	B
V+R	A
Az +R	M
Az+V	C
Az	Az
V	V
R	R
ningún color	N

Asi vemos, como con esas combinaciones de luces primarias (azul-violeta, verde y rojo-naranja) podemos percibir las distintas combinaciones tonales básicas y obtener los demás colores como combinación lineal de estos según vimos en el primer capítulo.

El segundo camino hacia los colores primarios se encuentra en el trabajo práctico. Mezclando materiales coloreados (filtros de color) o los pigmentos, se puede comprobar que existen tonalidades que se pueden lograr mediante la mezcla de otros colores elementales o primarios. En

este campo, los colores primarios lo constituyen el amarillo, el cian y el magenta. Es fundamental saber que estos colores primarios no se pueden obtener como mezcla de ningún otro . También, es necesario saber que hay que partir de éstos, para obtener tonalidades más saturadas de amarillo, rojo-magenta y azul-cián. Las mezclas de los primarios dan lugar a los secundarios.

Dependiendo del tipo de mezcla o del estudio del comportamiento del color, según se obtenga a base de añadir luz o de substraer luz, se hablará de unos primarios o de otros.

3. COLORES COMPLEMENTARIOS

Complementario significa lo que le falta a algo para formar el todo. En el sentido del color se corresponde con la tonalidad necesaria para , si se trata de mezclar luces coloreadas se forme el blanco, y si se trata de mezclar pigmentos, lo contituye el color que mezclado con uno dado nos da el gris acromático o el negro. En ambos sentidos la misión del color complementario es desaturar un tono dado.

En la síntesis substractiva la percepción del color se produce por la absorción de una parte del espectro por un determinado color, así , el color que absorbe la parte de la luz del espectro aún no absorbida, completa la absorción de la luz y vemos el negro o acromático. En la lámina **20** vemos los colores complementarios por síntesis substractiva de filtros de color .

El color complementario lo es tanto en un tipo de mezcla como en el otro. Así , el amarillo es del azul-violáceo, el rojo-anaranjado del azul cian, y el verde del magenta.

4 . SISTEMAS DE MEZCLAS DEL COLOR

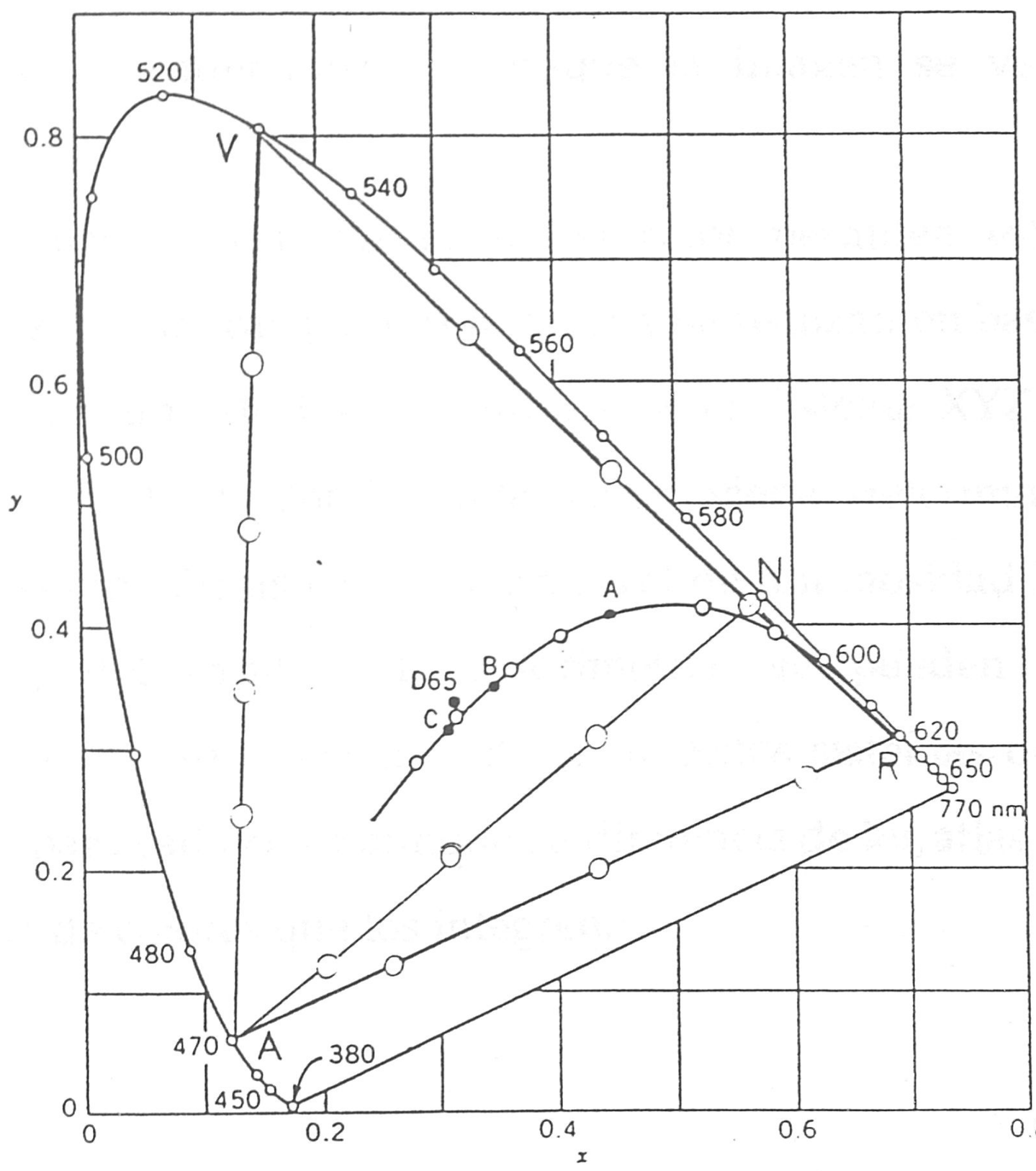
4.1 MEZCLA ADITIVA

Ya hemos comentado en el capítulo primero que la síntesis aditiva parte de luces, o filtros de color, por lo tanto , al añadir o sumar las distintas radiaciones de luces correspondientes a las longitudes de ondas cortas, medias, y largas , sobre un campo ; lo que se hace es conseguir todas las radiaciones del espectro, es decir, obtener la percepción de blanco. Sus primarios son por lo tanto : el azul- violaceo que corresponde a las longitudes de ondas cortas,el verde que corresponde a las ondas medias, y rojo-anaranjado que corresponde a las longitudes de onda largas.

Como vimos en el Diagrama cromático CIE XYZ, cuanto más cerca tomemos el color-luz de la línea de los colores espectrales puros, mayor será el triángulo de colores a conseguir con los primarios elegidos. Como primarios se pueden escoger filtros de luces cuyos picos más altos de trasmitancia espectral esté cerca de las longitudes de onda siguientes : los 530 nm para el verde (V), los 470 para el azul (A) y los 630 para el rojo (R). Con estos primarios se consiguen todas las luces incluidas en el triángulo de primarios que está señalado en continuo en el diagrama CIE adjunto, gráfica (III.1) La forma de mezclar es dejar un filtro fijo, por ejemplo el azul, y cambiar las cantidades de los otros dos, rojo y verde, obteniendo los colores que se situan a lo largo de la recta verde - roja(V-R).

Desde los distintos colores o puntos de esta recta se puede dejar un punto fijo de ella, por ejemplo el naranja (N), y cambiar las cantidades de éste con las del filtro que se había quedado fijo, azul (A), obteniendo colores que cambian de tono y de saturación. En la misma gráfica podemos observar por medio de puntos aumentados los distintos colores que se podrían obtener.

Gráfica III. 1. Mezcla Aditiva de Rojo, Azul y Verde.



Como ya comentamos en el primer capítulo, en el apartado de Colorimetría, este tipo de mezcla se estudia para especificar el color y discriminar umbrales de igual o distinta percepción de un color

(umbrales diferenciales) con el objeto de poder medir de alguna forma exahustiva el color y poder reproducirlo en la industria con las suficientes normas de satisfacción de coloración.

En la lámina **21** podemos observar las mezclas de los colores en la síntesis aditiva. Cuando los tres primarios actuan por igual se produce la desaturación del color, es decir, se blanquea .

Este tipo de mezcla se usa para: la iluminación de espectáculos (teatros, musicales, etc), iluminación de edificios, fuentes; monitores de televisión y de ordenadores (aunque la imagen se ve por síntesis partitiva).

Los sistemas de especificación del color permiten establecer unas coordenadas cromáticas para cada color y se realizan en base a la mezcla aditiva, siendo uno de los más utilizados el Sistema XYZ, o Diagrama cromático CIE 1931 donde cada color viene determinado por las coordenadas cromáticas (x, y) y un nivel de luminosidad L, (Y). En el apartado 5, del capítulo I, Colorimetría, se pueden observar las características de estos sistemas de color. Estos sistemas dejan un lugar del espacio para cada color aunque , a diferencia de los atlas , no disponen de muestras de colores que los integren.

4.2. MEZCLA SUBSTRACTIVA

La síntesis substractiva es la contrapartida o sistema opuesto a la síntesis aditiva. Esta en vez de añadir luz , lo que hace es "substraer" algo a una energía de radiación, es decir, absorber parte de dicha energía.

A. TRANSPARENCIAS

Siempre se actúa a partir de una superficie blanca y sobre esta base se aplican los colores o tintas transparentes donde los colores primarios son el azul-cian, el amarillo y el rojo-magenta.

En la lámina **22** podemos apreciar las combinaciones de estos primarios. El amarillo con el azul-cian produce como secundario el verde, el amarillo con el rojo-magenta produce como secundario el rojo-naranja y el azul-cian con el rojo-magenta produce como secundario el violeta.

Cada una de estas capas de color transparente tiene por misión absorber el campo de radiaciones de su complementaria, como pudimos ver en el primer capítulo al tratar la cuestión de los materiales transparentes como fuentes de luz. La luz atraviesa el filtro dos veces : primero la luz blanca pasa a través del filtro e ilumina en fondo del papel blanco, después vuelve a pasar actuando, otra vez de filtro. En este sentido se puede apreciar una característica que entra en juego, además de la transmitancia espectral, el grosor de la capa de pintura y el poder cubriente del material. Este grosor o cantidad de pigmento nos proporciona distintas intensidades de un mismo tono. Asi una capa débil

nos da un tono muy claro; consecutivamente las siguientes capas producen mayor intensidad de coloración hasta llegar un punto de máxima opacidad o también llamado de máxima saturación del pigmento, en donde adquiere el tono saturado.

La lámina 23 muestra una fotografía de la mezcla substractiva de filtros con distinta intensidad de coloración, una intensidad débil, una media y otra saturada con filtros uniformes de colores azul-cian, amarillo y rojo-magenta respectivamente, se puede apreciar que los colores que se observan son distintos. Además podemos apreciar que el orden en el cual se disponen hacen que, con las mismas cantidades de pigmento, los colores sean diferentes. Si sobre el papel se mezcla, por ejemplo, amarillo y azul-cian, y el filtro de color amarillo se situa sobre el azul, los tonos obtenidos serán verdes más amarillentos, que si el color azul se hubiese situado encima del amarillo. Esta impresión aunque en la fotografía de la lámina se ve debilitada, en la realidad resulta muy evidente. Por lo tanto el orden interfiere en la mezcla substractiva.

Si observamos la siguiente fotografía en color , correspondiente a la lámina 24 , vemos tres sucesiones de mezclas de color. La primera está formada por el filtro azul-cian y el magenta con tres grados de intensidad: saturados, media y débil. Las otras dos secuencias son un magenta degradado y encima un azul-cian intenso, y la tercera un azul-cian degradado y un magenta intenso encima del azul. Se puede apreciar la distinta coloración, debido al orden de colocación.

En la lámina 20 con relación a los colores complementarios se puede ver por medio de filtros los tonos complementarios de la mezcla

substractiva. El amarillo complementario al azul-violeta en sus tintas saturadas nos da la percepción del negro, el azul-cian complementario del rojo-naranja , y el verde complementario al rojo-magenta.

Con la mezcla substractiva de colores transparentes hemos observado que la suma de sus primarios , dependiendo de la saturación o intensidad del pigmento, se obtiene el negro o gris acromático. Por lo tanto, el negro se puede obtener mediante la impresión de los tres primarios por igual o mediante el primario y su complementario, como hemos podido comprobar.

Si estos filtros o pigmentos actuaran de forma degradada , como podemos ver en la lámina **25** , constituida por tres cuadrados concéntricos de distinta intensidad, nos darían por mezcla distintas tonalidades grises, hasta obtener el negro en la parte central, por aparecer allí los colores más intensos o en sus máximas proporciones.

En toda mezcla substractiva, el color mezclado es siempre más oscuro que los que participan en la mezcla, ya que el blanco lo constituye el papel. No se pueden obtener colores más saturados o puros de los que se parte para la mezcla.

La lámina **26** , nos muestra dos imágenes. La primera corresponde, la parte izquierda, a una secuencia de distintos tonos de colores y, la parte derecha, a seis filtros de colores distintos. La parte inferior o segunda imagen muestra los colores obtenidos por mezcla substractiva al superponer los filtros de colores sobre la secuencia de distintas tonalidades. Como podemos ver, obtenemos colores poco saturados sin llegar a perder las características tonales dominantes.

En el proceso artístico de la técnica de la Acuarela, podemos observar que el comportamiento de este material es muy similar a la mezcla substractiva por transparencias. El trabajo con acuarelas requiere una gran limpieza para mantener la luminosidad y transparencia del fondo o papel; un trabajo sutil, delicado y muy meditado en su proceder, a pesar del aspecto tan espontáneo y desenfadado que produce la obra realizada con esta técnica pictórica.

En cierto sentido, la acuarela deja cierta evidencia del proceder de un artista, sus planteamientos, dudas, poder de decisión , temperamento, etc. Esta técnica ha sido utilizada por los artista como una forma auxiliar de representación de su obra, como boceto . No se ha tenido en cuenta para determinar la expresión final de una obra en el campo artístico. Aunque a finales del siglo XIX , los ingleses Turner y Constable, la utilizaron con la misma relación que sus óleos , no ha sido muy considerada hasta que numerosos artístas expresionistas y las nuevas corrientes de arte abstracto la utilizaron con los mismos fines y significado que las demás técnicas consideradas artísticas .

Además de la acuarela , casi todas las técnicas artísticas pueden utilizarse empleando los colores por capas transparentes de pigmento, como por ejemplo: los temples, el fresco, la encaustica, el óleo, el acrílico, etc.

B. MATERIALES CUBRIENTE U OPACOS

De las técnicas comentadas anteriormente, el óleo , el acrílico y el guache o témpera permiten una aplicación directa y totalmente cubriente a la vez que por transparencias.

Cuando las aplicaciones de los materiales pictóricos pueden realizarse de forma opaca, es decir, el color del fondo no influye sobre la mezcla , produciéndose ésta sin contar con las capas anteriores y directamente con las combinaciones de los colores, se llama mezcla substractiva de colores cubrientes.

En este caso, los colores primarios son : el amarillo, rojo y azul. Estos colores resultan en si teóricos y en la práctica se utilizan una gama de colores que parte de los tonos básicos o primarios pero matizados. Poniendo como ejemplo los colores al óleo, los tonos primarios son:

- amarillo : amarillo cadmio (matiz naranja) y amarillo limón (matiz verdoso).

- rojo : carmín (matiz púrpura) y bermellón (matiz naranja).

- azul : ultramar (matiz violeta), prusia o turquesa (matiz verdoso) y cobalto (responde más al azul puro teórico)

Además de estos primarios se parte del blanco para conseguir tonos más claros , y del negro para oscurecer o desaturar los tonos.

Los demás colores se pueden obtener con las mezclas de estos primarios, llamándose a estos colores secundarios y cuyas combinaciones vienen caracterizadas por las distintas cantidades que se empleen de cada primario.

Al igual que las mezclas substractivas transparentes, la mezcla de azul y amarillo nos da colores verdes, pero la pureza o saturación de estos depende del amarillo y azul mezclado. Si mezclamos amarillo limón (es un amarillo verdoso) con azul turquesa (azul verdoso) obtendremos verdes muy saturados, pero si mezclamos amarillo cadmio (es un amarillo anaranjado) con azul ultramar (es un azul violáceo) los verdes obtenidos serán menos puros o saturados . Esto es debido a que se les añade una pequeña cantidad de su color complementario.

Los colores acromáticos se pueden formar a partir del blanco y negro, o con un tono y su complementario.

Otra de las variables que influyen en este tipo de mezcla es la distinta capacidad o poder colorante de cada pigmento. Dentro de una misma marca de pinturas, los distintos pigmentos ofrecen diversas capacidades de coloración y de poder cubriente.

Las características de estos materiales en las diversas técnicas artísticas, que permiten un uso por capas transparentes y a la vez de forma opaca , con las distintas características de coloración , fluidez , etc, hacen que se necesite un extenso estudio práctico del material para poder utilizarlo con sus máximas cualidades expresivas. Si añadimos la realización de técnicas y procedimientos mixtos , donde se mezclan unos medios con otros, entonces se hace más difícil de teorizar y predecir los resultados , a la vez que se consigue mayor riqueza en las posibilidades expresivas de las obras.

4.3. MEZCLA PARTITIVA

La pintura Neoimpresionista o Divisionista, con sus figuras representativas más famosas , George Seurat y Paul Signac, son los evidentes representantes de este tipo de mezcla. Estos artistas se basaron en los descubrimientos científicos de que, la totalidad de la gama cromática derivaba, en realidad, de unos cuantos tonos puros que se mezclaban ópticamente en la retina; y , en las leyes de M. E. Chevreul, publicadas en 1839, en su obra:" El contraste simultáneo de los colores".
El siguiente texto nos puede hacer una referencia a este interés.

La pintura neoimpresionista no se basa unicamente en nuevos descubrimientos científicos. Aspira, también, a transformar el arte en una ciencia. Signac , el principal teórico del grupo, definió el Neoimpresionismo o Divisionismo de la siguiente manera:

El neoimpresionista no puntillea sino que divide. Dividir es captar el máximo de luminosidad , color y armonía mediante:

1.- el uso de todos los colores del espectro y todas las gradaciones de esos colores sin mezcla alguna

2.- la separación de los colores locales del color de la luz

3.- el equilibrio de estos factores y el establecimiento de estas relaciones de acuerdo con las leyes de contraste en el tono y en la radiación, y

4.- la utilización de una técnica de puntos de un tamaño determinado por el formato del cuadro [3].

Este tipo de mezcla realizado con pigmentos sobre fondo blanco, no trata de mezclar los colores básicos sino que los distintos matices y

coloraciones del cuadro se realizan siempre con pinceladas más o menos pequeñas de los colores básicos o pigmentos. Observados a una determinada distancia, considerada como próxima (25 cm. de la obra), se ven las pinceladas de colores puros distribuidos por la superficie del cuadro de una forma casi arbitraria; pero al mirar la obra a una determinada distancia de visualización adecuada, se perciben las distintas matizaciones del color ordenadas bajo formas definidas que adquieren significado y fuerza representativa. La mezcla en este caso sucede en la retina. La percepción del color depende de la agudeza visual, de la forma del estímulo de color, del contraste luminoso y cromático con el que se presenten los distintos matices.

Resumiendo, si actuamos con puntos o líneas - pinceladas o tramas - de color de un determinado tamaño, considerado mínimo para la distancia de observación, nuestro ojo mezclará los colores formando uno nuevo, es decir, se encargará de realizar la mezcla óptica.

En este tipo de mezcla el color resultante tiene la luminosidad media de los dos colores reales utilizados. Si se sitúan un amarillo y un azul juntos, nos darán la sensación de gris verdoso, cuyas matizaciones dependerán de los tonos utilizados. Si unimos el rojo con el verde nos produce la sensación de ocre, si unimos el azul-cian con el verde , dos colores contiguos del espectro nos dará la sensación de un azul-verdoso y su luminosidad será la media de las luminosidades de los dos colores unidos.

Este sistema de mezcla, aunque en un principio parezca extraño, lo observamos cotidianamente sin llamarnos la atención. Las alfombras o

tapices, los mosaicos que componen las paredes o los azulejos de los suelos. Observados desde cerca, presentan colores completamente diferentes, y a veces, tonalidades muy saturadas; observados a distancia lejana, se presentan con una tonalidad uniforme y muchas veces grisáceas o de tonos poco saturados y uniformes.

En este sentido, cabe mencionar al artista de finales del siglo XIX, el francés Millet. Sus obras reproducidas en las láminas de los libros de texto son grisáceas y de poco resalte cromático, sólo sobresalen las escenas de campesinos o ambientales. Sin embargo, vista su obra en directo, resulta ser de una excelente riqueza cromática, aplicada por medio de una finisima pincelada vibrante, donde los más ricos colores y matices resaltan de una forma sorprendente. Toda la riqueza de sensibilidad que transmite en sus obras, por ejemplo," El Angelus", se ve claramente manifestarse en el color y la forma de emplearlo. Sin embargo, es de lamentar que a través de las fotografías de la obra sólo se aprecie este valor en la composición y la representación de los personajes.

Algunos artistas impresionistas , como Pisarro y, Monet han utilizado y desarrollado esta base teórica de los divisionistas para realizar su obra. Por ejemplo, Monet sitúa el análisis de la luz y el proceso de la percepción como el fin del arte, llegando a los extremos nunca antes conocidos de eliminar las características formales. Dedicado a un tema como pretexto y al estudio del cambio lumínico en el transcurso del día y de las estaciones del año, sus obras sobre "Las Catedrales" (este año cumplen un siglo) son un ejemplo de este ejercicio. Vistas de cerca no presentan forma alguna asociada a un color definido, sin embargo, a cierta distancia adquieren

una significación plena. Cualquier pintura actual, por muy informalista o matérica que sea, aparenta ser más concreta que estas obras de Monet.(Es curioso como "la gente de a pie" acepta la pintura impresionista y en concreto la obra de Monet, como gran pintura y le cuesta tanto trabajo aceptar como buena pintura, obras de artistas contemporáneos informalistas; ¿ quizás sea porque la pintura de Monet no la han visto de cerca, solo en las láminas ?). La forma de pintar Monet fue llevada hasta sus últimas consecuencias en las obras de "Los nenúfares" , expuestas después de los años treinta de nuestro siglo en el Museo de la Orangerie de París. Estas obras, sin duda alguna, han dado pie al Expresionismo Abstracto y a las obras de " Action Painting ". Si pensamos en las obras del artista americano, J. Pollock, o del europeo, Hartung, no tendrían significado válido, si nuestra percepción no estuviera integrada en un todo.

El artista contemporáneo español, Eusebio Sempere, es un claro ejemplo de un intento más científico de determinar y, a la vez, crear la obra artística con el color como elemento primordial, jugando a la vez con la capacidad de percepción del órgano de la visión. Su serie de las Estaciones (podemos observar una de sus obras en la lámina 27) son pinturas que, en principio, corresponden a la mezcla substractiva de colores cubrientes - están realizadas con témpera -, pero que a la hora de percibirlas por sus relaciones formales y tonales, se convierten en una composición percibida como una mezcla óptica. Muchas de sus obras nos ofrecen un efecto " moirè " ante la imposibilidad, por parte del ojo, de establecer una composición determinada con significado válido y estable.

El mismo efecto " moirè " pero con otra forma de ejecución, nos lo proporcionan las obras de Manuel Rivera, a base de la utilización de las telas metálicas a distintos niveles, formando distintos ángulos con el plano del cuadro, y matizadas con diversos colores, con las cuales, no solo el ojo, sino también el movimiento y la luz incidente, produce efectos de interferencias y cambios constantes en la percepción de las características de la obra. La lámina **28** nos muestra una obra de Manuel Rivera.

Resulta difícil separar o diferenciar unos tipos de mezclas de las otras , dado que hoy en día en muchas experiencias y medios de comunicación, están unidas entre si. Por ejemplo , la lámina **29** , nos muestra una impresión tricromática de mezclas substractiva de tintas transparentes. El recuadro exterior muestra la imagen interior observada con una lupa de diez aumentos; en ésta se pueden apreciar los colores básicos: amarillo, rojo-magenta y azul-cian. Si miramos la imagen, sin lupa, que puede corresponder a cualquier imagen en color de un libro de texto, vemos solo un tono gris uniforme. En este ejemplo, los colores se componen con mezcla substractiva y sin embargo los vemos con mezcla óptica.

Una síntesis a la vez aditiva y óptica sucede con los colores que percibimos a través de una pantalla de ordenador. Los distintos tonos se basan en una combinación de tres fósforos de colores, R.G.B., que se corresponden con los tonos : rojo-naranja, verde y azul-violeta, sin embargo, nuestro ojo al mirar la pantalla , percibe tonos uniformes donde los colores originales no se vèn de forma directa. Si utilizaramos una lupa, entonces observaríamos los" pixel" (puntos) de estos tres colores que se combinan formando una mezcla aditiva.

Si quisieramos obtener en una hoja, la impresión de la imagen coloreada obtenida en la pantalla, nos producirá una visualización de la imagen por medio de una mezcla substractiva y óptica. Esta imagen dependerá del tipo de impresora que utilizemos: así, si la impresora es de inyección de tinta, los colores básicos serán el amarillo, magenta y cyan, y la imagen se producirá como la lámina anterior nº 29, formada por tinta. Si se trata de impresora xerográfica, usará un "toner " para cada uno de los cuatro tonos : el amarillo, magenta, cyan y negro; el cuál usará básicamente un patrón de carga estática sobre un fotoconductor para "atraer" partículas del toner y transferirlas al papel . Si es impresora de cera, la película que se forma al ser la cera calentada, los colores se mezclan entre sí y en este caso, no lo consideraremos como mezcla óptica.

5. SISTEMAS DE REPRESENTACION DEL COLOR

El uso del color en los distintos medios : artístico, publicitario, industrial, etc; han determinado un vocabulario específico para cada uno de estos medios.

La idea de un lenguaje universal del color fue propuesta por Kelly y Judd a mediados de este siglo. En 1976 a propuesta de estos , el " National Bureau of Standards " presentó una lista de 7.500 nombres de colores diferentes con el fin de unificar los términos empleados.

Pero en relación a la utilización del color por los distintos medios es más interesante su visualización, es decir, representar el color en cuanto a sus características cromáticas de tono, saturación, y luminosidad; determinando su origen o formación. Con el fin de situar cada color en su lugar, se han realizado muchos estudios de ordenación del color o Atlas de colores. Estos Atlas del Color son sistemas de representación tridimensionales y que en base a un planteamiento teórico se reflejan posteriormente en un número limitado de muestras de color ordenadas. Establecen una dimensión para la luminosidad, otra para el tono y otra para la saturación.

Debido a que la luminosidad es una característica acromática y que en cierto sentido depende de la cantidad de luz reflejada por la muestra, en la práctica y para uso general, este espacio del color suele ser estudiado en un espacio plano o bidimensional.

5.1. SISTEMAS DE REPRESENTACION BIDIMENSIONAL

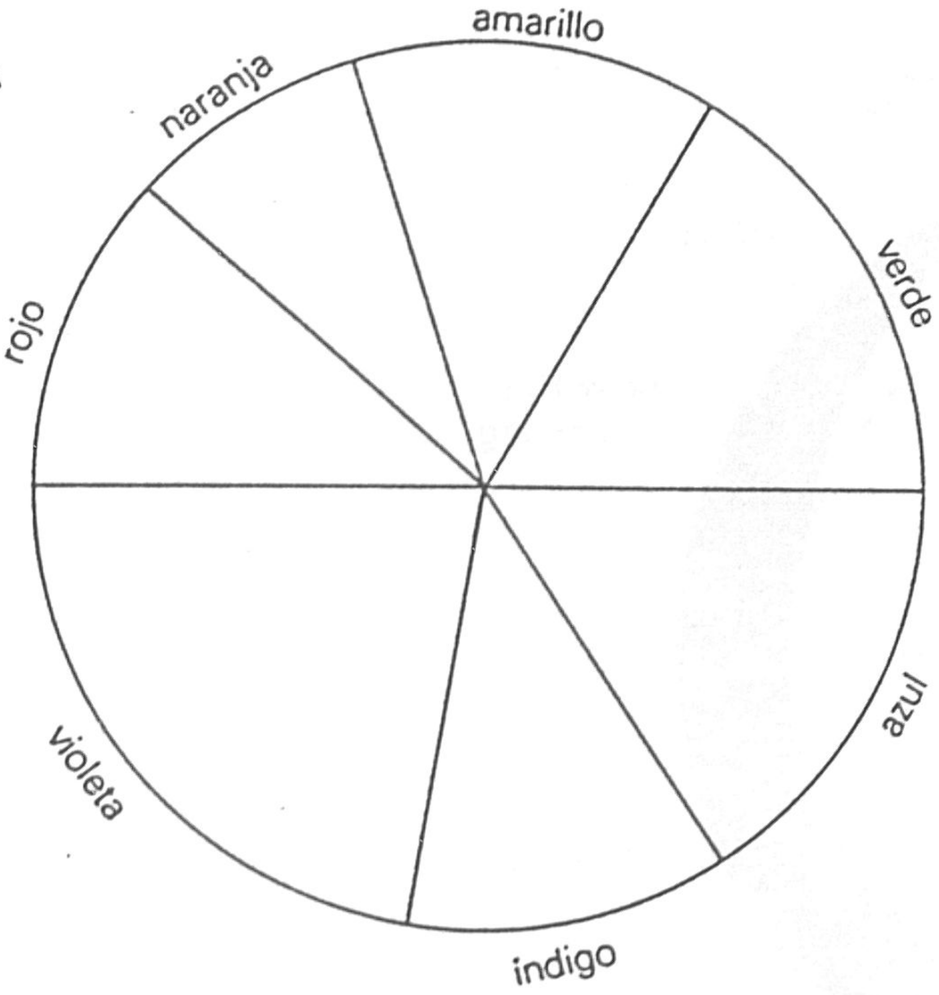
El principal argumento de los sistemas bidimensionales para representar los colores consiste en su fácil manejo didáctico. La forma más representativa de la formación o génesis del color es el círculo cromático. A lo largo de la circunferencia se representan las distintas tonalidades saturadas o colores puros y el centro se corrresponde con el color neutro o acromático.

La característica que diferencia unos sistemas de otros es el número de tonalidades diferentes que se escogen como significativas y la disposición de estas.

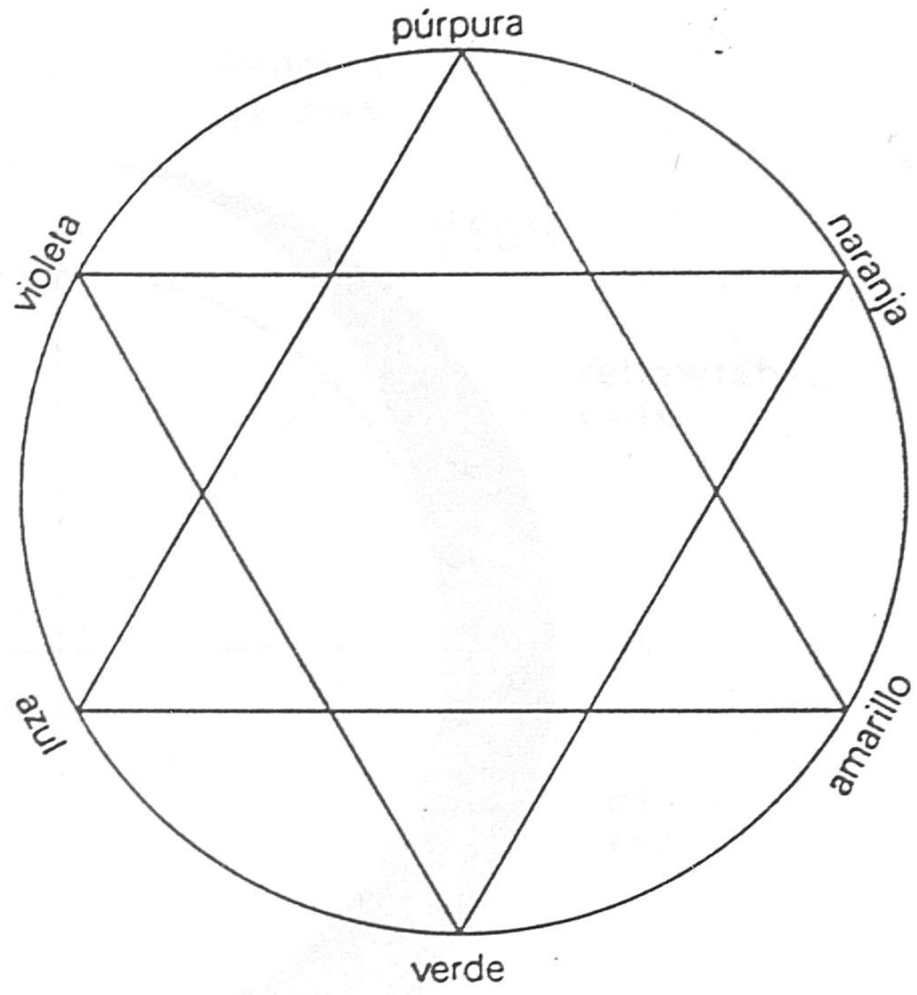
En la gráfica (III.2: A, B, C, D, E, F) de la página siguiente, se muestran seis círculos cromáticos que corresponden a : círculo cromático de Newton (A), el círculo cromático de Goethe (B), el círculo diatónico (C) y el cromático (D)de Hözel, el círculo de Munsell (E), y el círculo cromático de Itten (F). La siguiente página, gráfica (III.3) presenta el círculo cromático basado en las teorías de Hering (G), y el círculo propuesto por Paul Klee (H).

Gráfica III.2. Divisiones del círculo cromático [4].

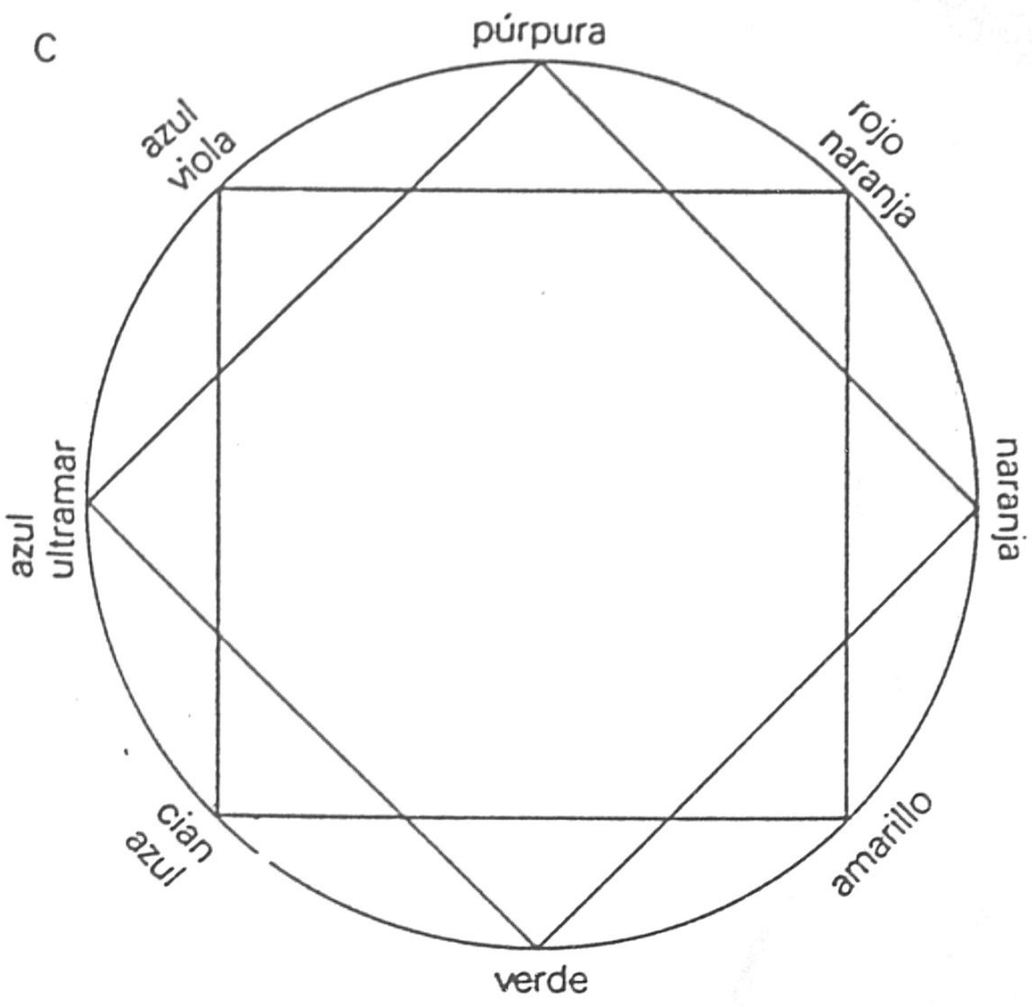
A



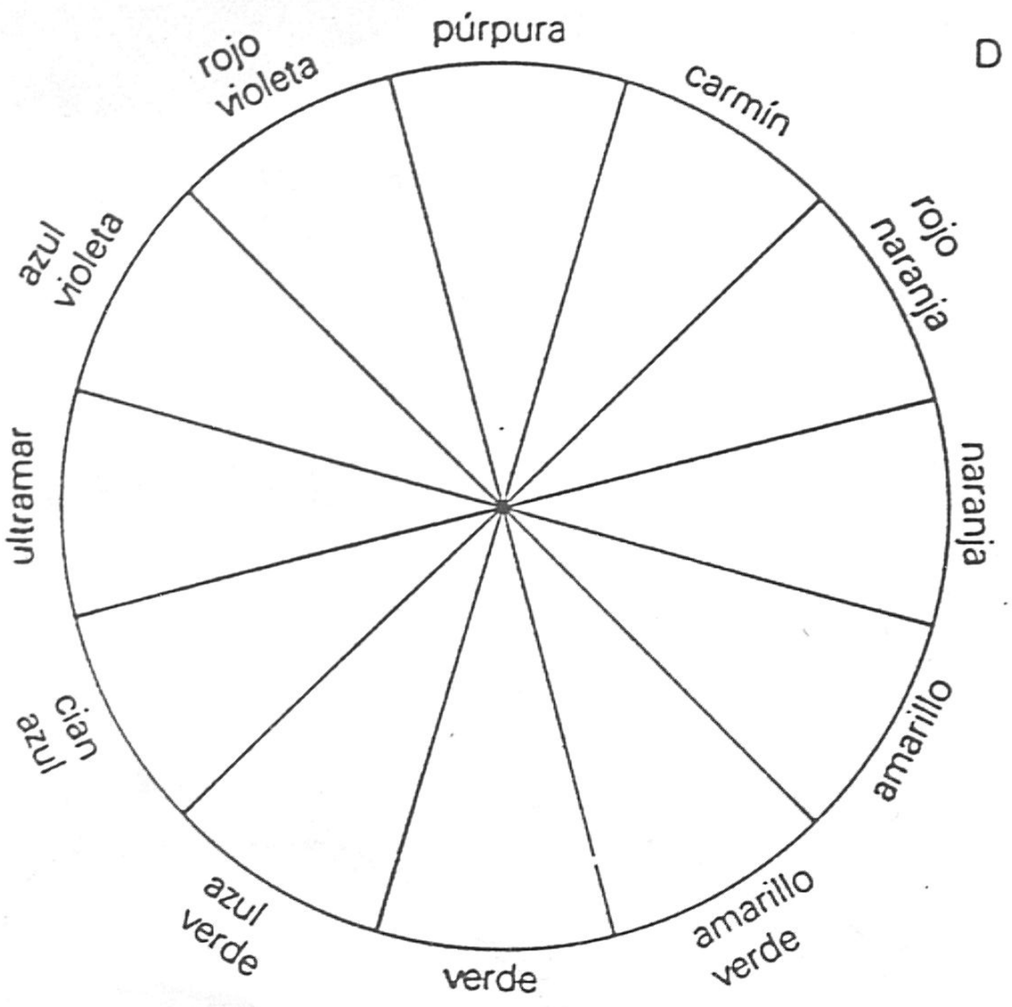
B



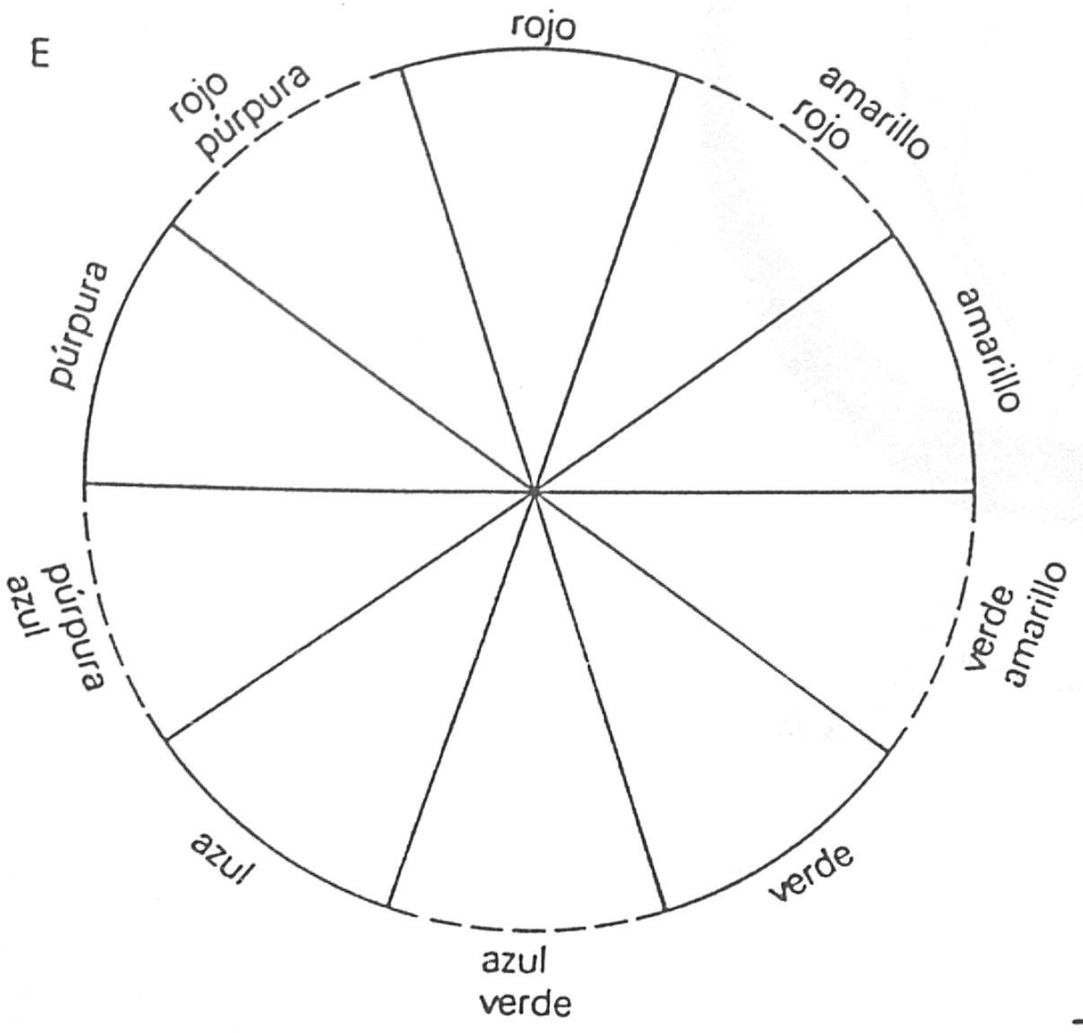
C



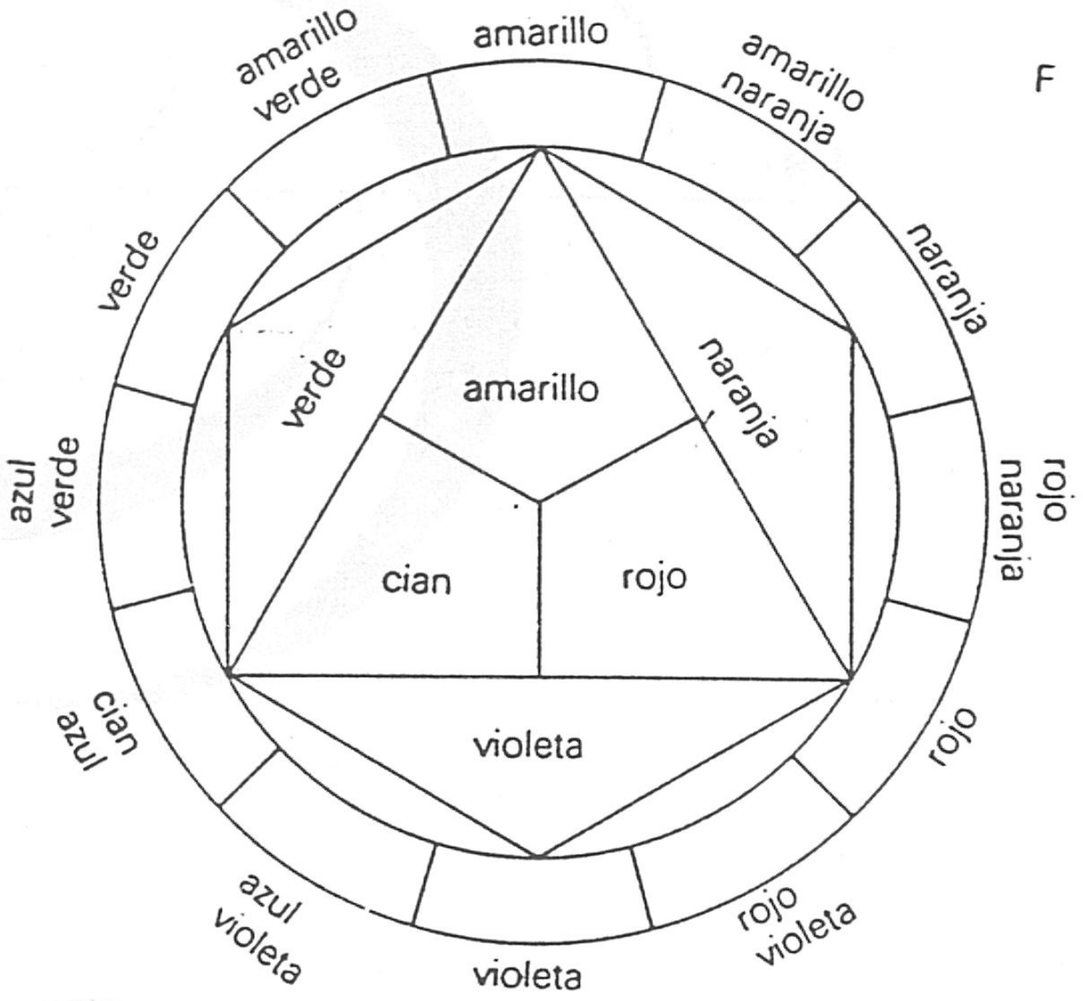
D



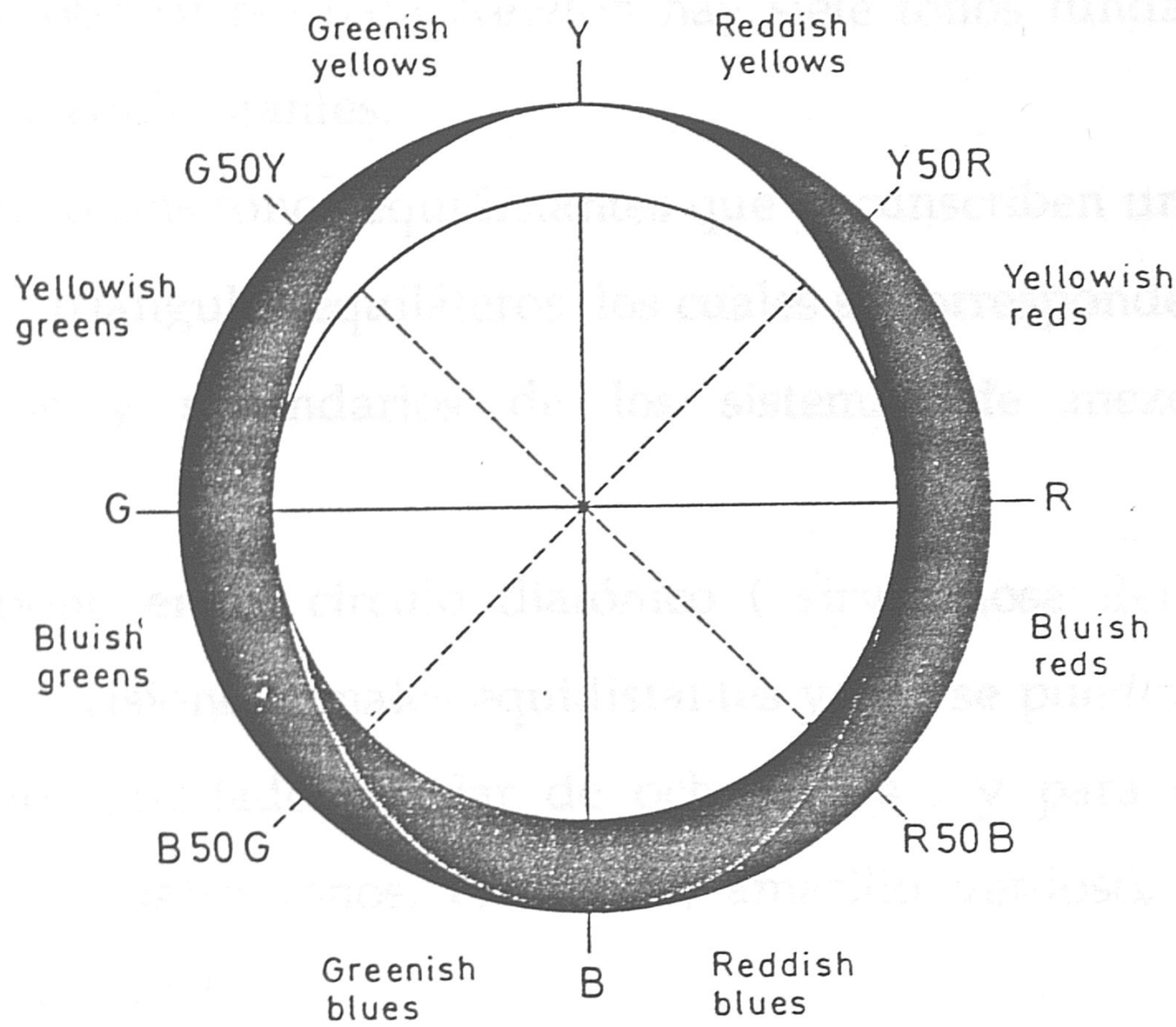
E



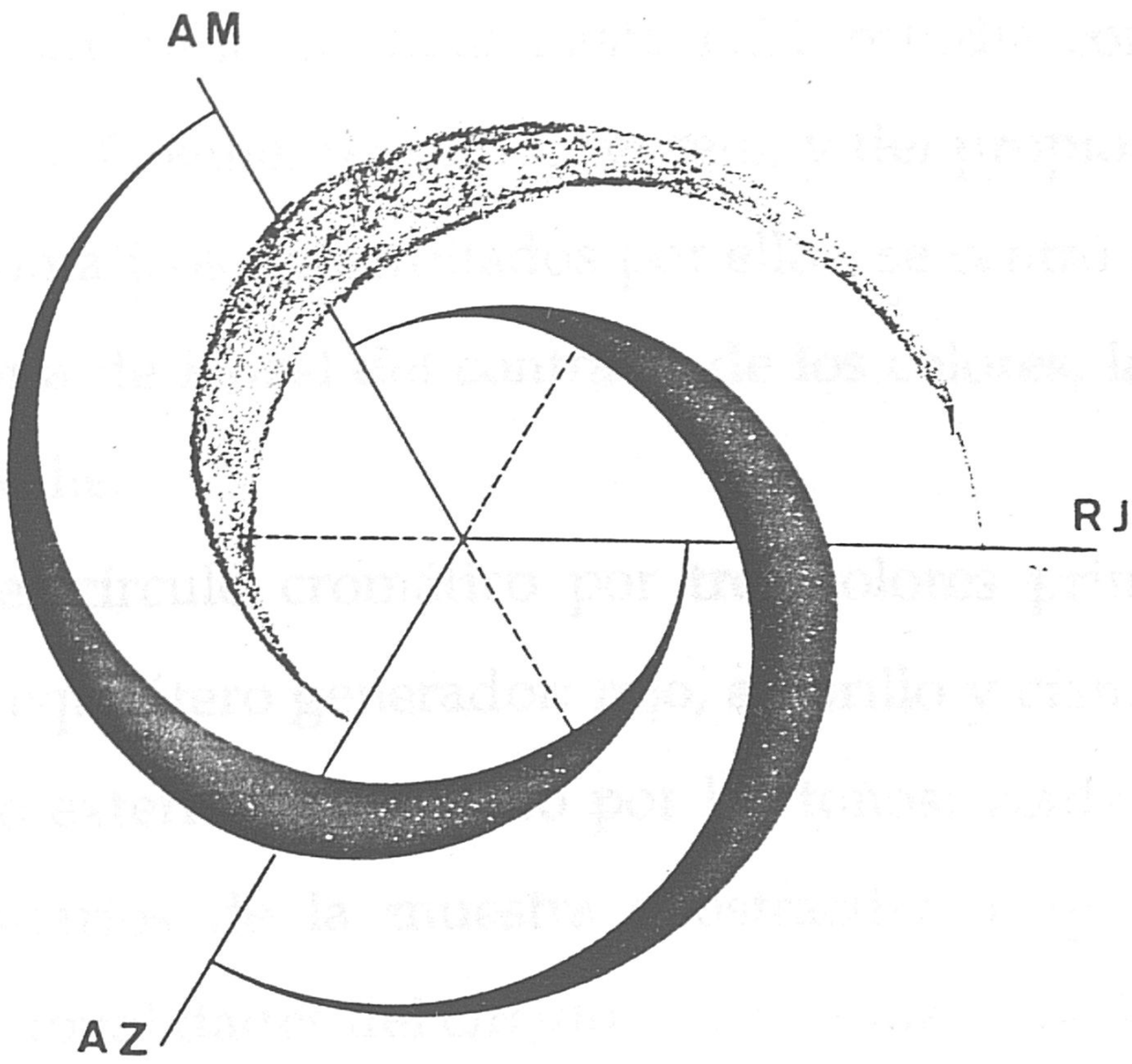
F



Gráfica III.3. G. Sistema de Hering del NCS [5].



H . Sistema de Klee [6].



Como puede observarse para Newton hay siete tonos fundamentales los cuales no son equidistantes.

Goethe propuso seis tonos equidistantes que circunscriben una estrella de seis puntas o triángulos equiláteros, los cuales se corresponden con los tonos primarios y secundarios de los sistemas de mezcla antes comentados.

Hözel propone en el círculo diatónico (sirviéndose del lenguaje musical) ocho divisiones tonales equidistantes y que se pueden agrupar en un polígono estrellado regular de ocho lados , y para el círculo cromático añade cuatro tonos: el carmín, amarillo verdoso, el azul - verdoso, y el rojo-violeta.

Munsell divide el círculo en cinco tonos principales: rojo, amarillo, verde, azul y púrpura; y otros cinco intermedios, cuyos nombres vienen de la combinación de los otros.

Johanes Itten profesor de la Bauhaus hasta 1923, estudió con Hözel la teoría de los colores de Goethe, Bezold, Chevreul, y del propio Hözel, así como los círculos cromáticos desarrollados por ellos, se centró de manera especial sobre la teoría de Hözel del contraste de los colores, la cual a su vez se remonta a Goethe.

Itten determina el círculo cromático por tres colores primarios que forman el triángulo equilátero generador: rojo, amarillo y cian, los cuales generan el hexágono exterior constituido por los tonos: verde, naranja y violeta como secundarios de la muestra substractiva y que a la vez generan las distintas tonalidades del círculo en un número total de doce.

Las teorías de Itten fueron publicadas en 1961 bajo el título de " El Arte del color ". Según Itten, todo lo perceptible es percibido por su divergencia, y así toda su enseñanza se basó en un estudio general de contrastes. Para el color manifiesta siete contrastes que son : *contraste de color en sí mismo, contraste claro-oscuro, contraste frio-caliente, contrastre de complementarios, contraste simultáneo, contraste de calidad y contraste de cantidad [7].*

La propuesta teórica de Hering, se recoge de alguna forma en el sistema NCS, o Sistema de Ordenación del color Sueco, en el cual, los colores se organizan según cuatro tonalidades opuestas emparejadas : rojo-verde y amarillo-azulvioláceo. Por lo tanto, el círculo queda dividido en cuatro cuadrantes, separados por dos ejes perpendiculares que corresponden a los tonos amarillo-azulvioleta y rojo-verde, como se muestra en la figura G . Este sistema se basa en la imposibilidad de percibir colores que sean rojos-verdosos o amarillos violáceos, por lo que cada uno de éstos ocupa un eje de separación del centro de coordenadas.

Paul Klee estudió y fue profesor en la Bauhaus, por lo que su sistema de color se ve influenciado por Itten. Parte de tres colores básicos: amarillo, rojo y azul, pero les da un sentido dinámico. Klee distingue dos tipos de movimientos básicos: los movimientos de los colores en la periferia del círculo (*periféricos*) y los movimientos de los colores siguiendo el diámetro del círculo (*diametrales*).

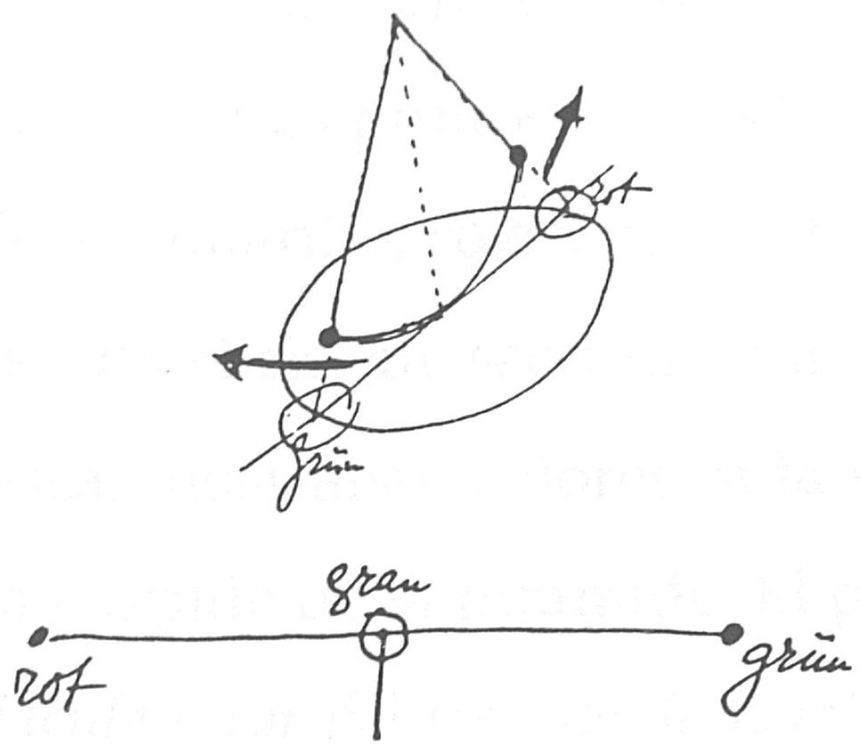
En el movimiento periférico , cada color ocupa dos tercios del perímetro del círculo, desde la nada se va acrecentando hasta de nuevo disminuir en el punto culminante del color contiguo [8]. Para los movimientos diametrales, Klee

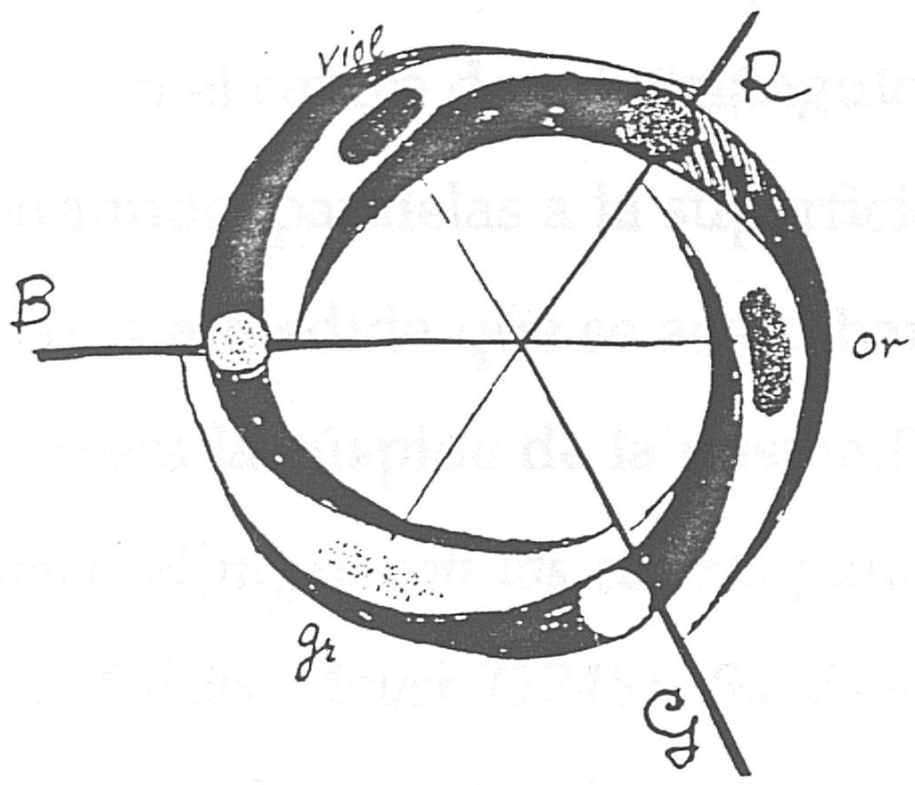
recurre al movimiento del péndulo (en el que los dos puntos extremos de los tres diámetros del círculo representan los dos colores complementarios y la posición de equilibrio media , representa el gris medio).

Los pares de colores opuestos, representados por las gráficas (III.4 a,b) son: azul- naranja, verde- rojo, y amarillo-violeta; son llamados *pares de colores auténticos, dado que se pueden mezclar hasta conseguir un gris medio. Klee determina los pares de colores no autenticos como : naranja-verde, verde-violeta, y violeta-naranja , como los colores que se unen por un segmento y cuyo resultado de la mezcla no es un gris neutro, sino un gris que tiene color.Al mezclar un verde con un naranja, se obtiene un verde cargado de amarillo, con el verde y el violeta se obtiene un gris cargado de azul, y con el violeta y naranja mezclados, se obtiene un gris cargado de rojo* [9].

Gráfica III.4.

a.Movimiento diametral de los colores (rojo-verde)





b. Canon de la totalidad cromática de Klee.

5.2. SISTEMAS DE REPRESENTACION TRIDIMENSIONAL

Todos los sistemas de representación tridimensional tienen en común, un eje gris que atraviesa todo el espacio de colores, con un extremo en el color blanco y otro en el color negro. En distintos planos, y a distintas alturas, se sitúan las distintas tonalidades según el círculo cromático, diferenciándose en: la cantidad de tonos escogidos , la disposición de éstos y las relaciones en el lugar y distribución que ocupan. Los cuerpos o sólidos del color más primitivos fueron ideados entre finales del siglo XVIII y el siglo XIX . La pirámide de Lambert, la doble pirámide de T. Mayer, y la esfera de O. Runge, el cubo de Charpentier, y el semicilindro truncado de Prase.

El físico y matemático Johann Heinrich Lambert (1728 a 1777) fue , al parecer , el primero que intentó reunir con éxito todos los fenómenos cromáticos en un sistema de relación. Su cuerpo cromático era una pirámide. Los puntos del vértice del triángulo básico, se formaban por los colores amarillo, rojo y azul. El negro estaba en el centro de este triángulo. Las superficies de sección a través de la pirámide, paralelas a la superficie básica, mostraban colores cada vez más claros a medida que se acercaban a la cúspide de la pirámide. El punto blanco era la cúspide de la misma.*El evidente error del sistema de Lambert de ordenar el negro con los colores puros polícromos en un solo plano, fue eludido por Tobías Mayer (1745). Su doble pirámide muestra los puntos negro y blanco en la misma distancia en relación con los colores puros polícromos [10].* Este une el triángulo básico de

primarios (rojo, amarillo y azul), con dos pirámides , una para las mezclas con blanco y otra para las mezclas con negro. Idea básica para posteriores espacios de color. Modelo B de la lámina **30** ; se corresponde con el modelo de Mayer y el modelo A con la pirámide de Lambert.

A Prase se le ocurrió en 1910, la idea de ordenar los colores en forma cilíndrica. La superficie del cilindro, lo constituye el blanco. Los colores se volvían más oscuros hacia abajo. El cilindro se modificaba de forma asimétrica terminando en el punto negro [11]. Este sistema lo podemos apreciar en la misma lámina que los anteriores, correspondiendo a la letra E.

A. LA ESFERA DE OTTO RUNGE

El pintor de la escuela romántica alemana, Philipp Otto Runge ofreció un nuevo modelo lógico y que proporcionó una imagén visual clara. Este modelo tiene la forma de una esfera, que se puede ver como un globo terráqueo. El polo norte corresponde al blanco, el polo sur al negro , y el ecuador al círculo de colores en tintes puros del amarillo al rojo, al azul, al verde y de nuevo al amarillo.Los polos están conectados por meridianos que cruzan el ecuador y los paralelos. Estas intersecciones definen campos en la superficie , ocupados por tonalidades intermedias. Además de ésto , la distancia entre los grados de latitud y longitud se pueden hacer tan pequeñas como se desee, permitiendo incluir cualquier numero de tonalidades intermedias. Y la esfera se puede cortar por cualquier parte, produciéndose nuevas tonalidades en su interior. Runge ordenó en su esfera todos los colores, con una relación bien definida basada en tres parámetros: color, blanco y negro. Se publicó en 1810, el mismo año en que murió, y los principios en los que se basa aún siguen siendo válidos. La ventaja del modelo de Runge, que fue elogiado por el propio Goethe, está en su atractivo visual inmediato. Y en esto reside también su inconveniente. Pues si se llenan todos los campos, se verá que algunos colores están muy juntos y otros muy separados. No hay homogeneidad visual; la métrica es errónea. Corresponde al tercer espacio de la primera fila de la lámina 30 .

Distintas vistas de la esfera lo podemos apreciar en la lámina 31.

B. EL DOBLE CONO DE OSTWALD

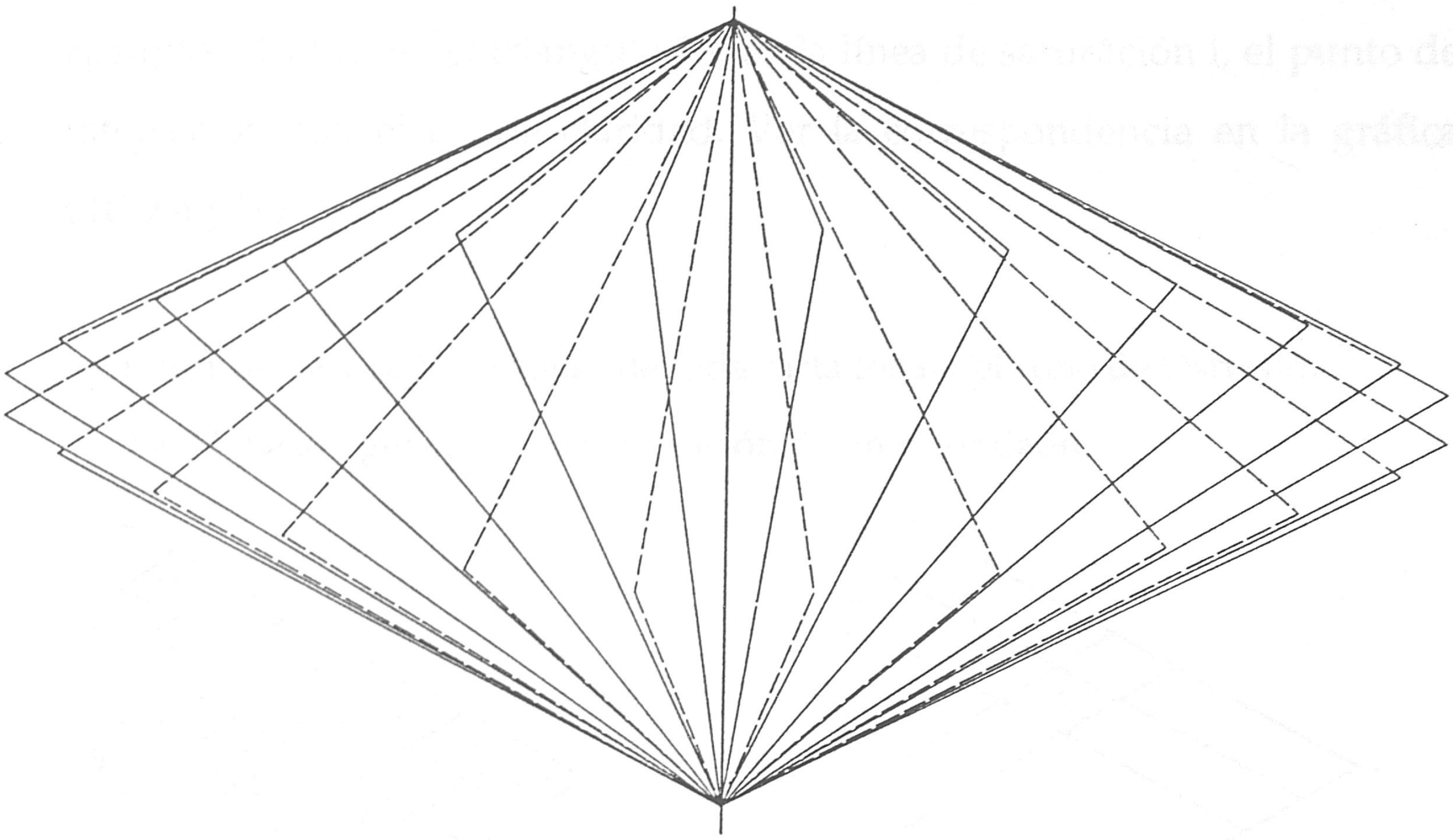
El profesor Wilhelm Ostwald (1853-1932) ideó el sistema de ordenación de los colores llamado doble cono o Huso de los colores, de forma que el círculo cromático constituye la circunferencia base del cono, y está formada por 24 tonalidades distintas. Aquí se representan en la saturación máxima las tintas correspondientes a todos los colores monocromáticos. Este sistema está ideado para colores-pigmentos, por lo tanto, cada color del círculo cromático varía hacia el blanco y el negro, que están en los vértices del cono, superior e inferior. La mezcla del color con blanco lo llama Ostwald saturación, es decir , el blanqueamiento. La mezcla de cada tonalidad con el negro, lo llama la claridad.

Seccionando el huso de colores por planos paralelos que contengan el eje acromático blanco-negro, se obtienen rombos, cuyos extremos son dos colores complementarios como los observados en la lámina **32** , formados por un azul y un naranja. Si unimos el blanco y el negro por una recta, se forman dos triángulos, llamados , monocromos, por tener en el extremo del eje el color más saturado y dando los planos paralelos entre si y perpendiculares al eje neutro , colores del mismo tono y distinta claridad. La gráfica (III.8a y b) nos muestra, la 8 a, los distintos triángulos monocromos y la segunda, 8 b, los discos paralelos de igual claridad.

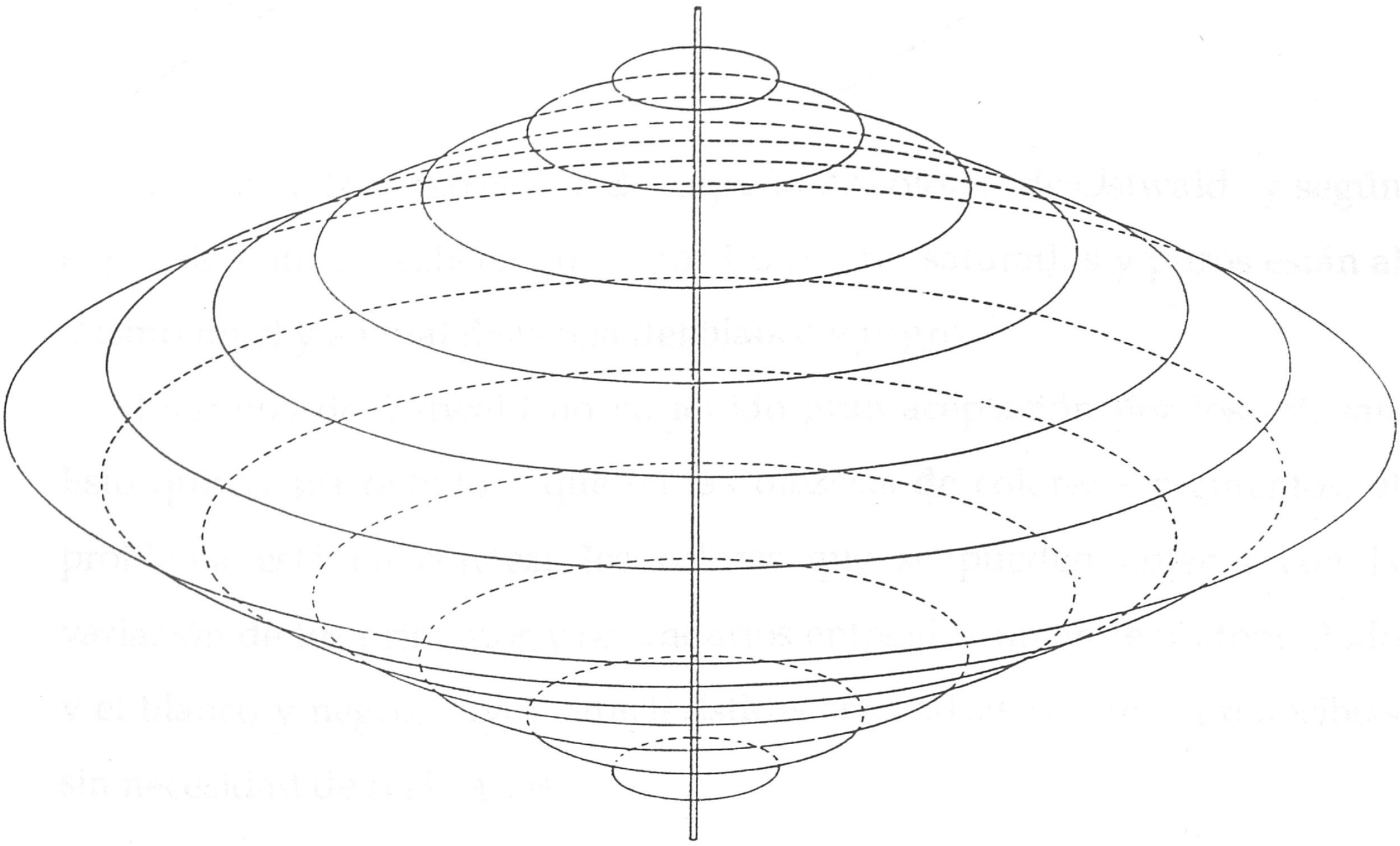
La lámina **33** nos muestra otras dos secciones del atlas de Ostwald, donde se producen hexágonos en vez de rombos.

Gráfica III.8.

8 a. Distintas secciones de colores de igual tonalidad.



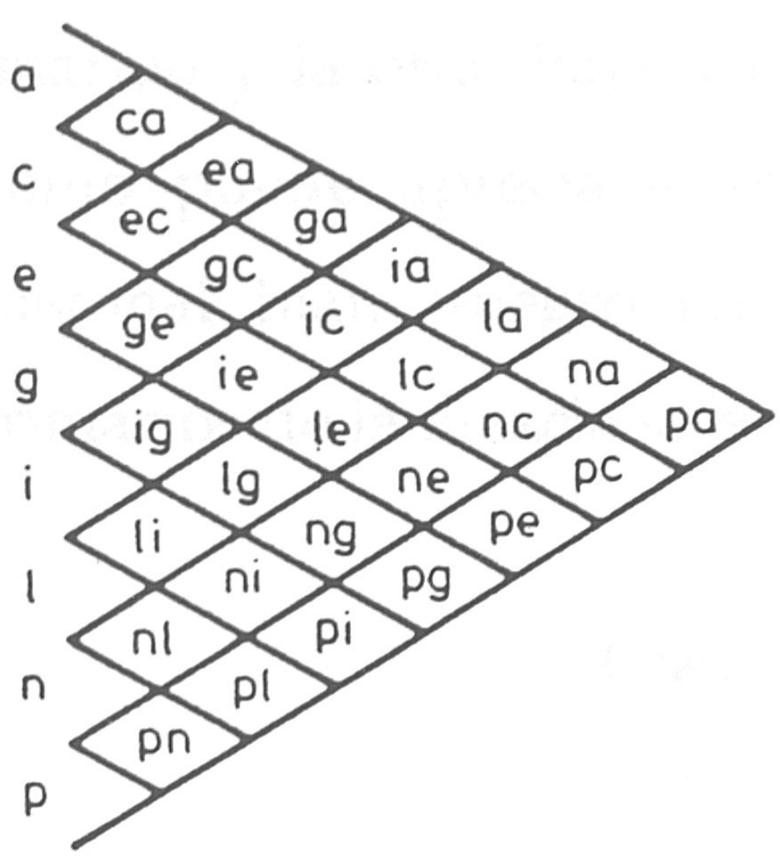
8b. Discos de igual claridad del cubo.

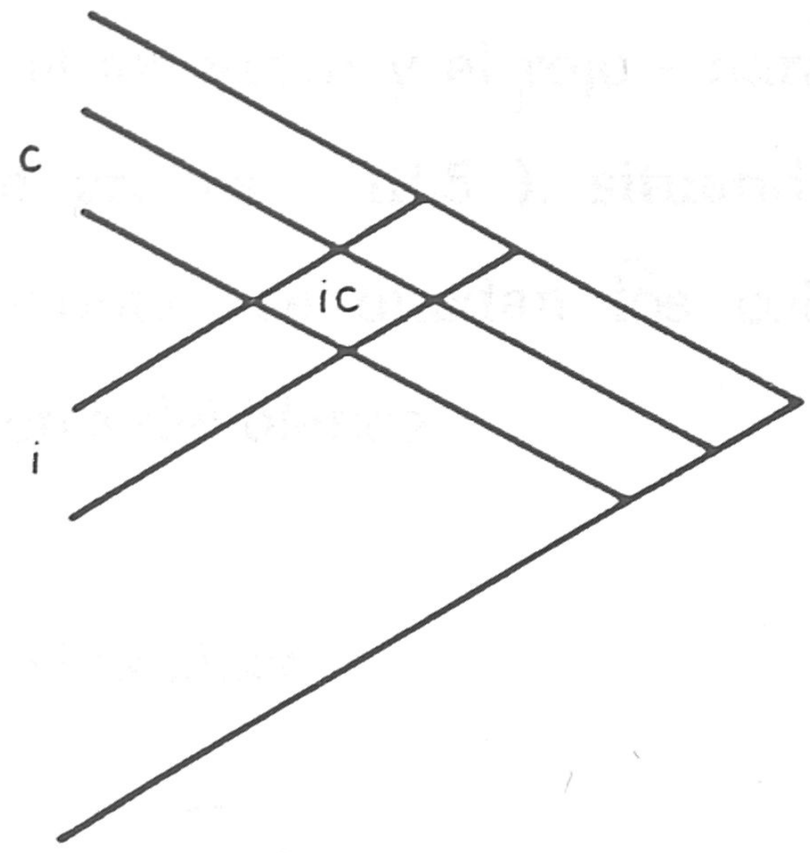


El color viene dado por un número y dos letras, el número corresponde al tono (hue), y las letras corresponden a la saturación y a la claridad. Por ejemplo, el 13 ic, en el triángulo 13, en la línea de saturación i, el punto de interseción con el c , de claridad. Ver la correspondencia en la gráfica (III.9 a y b).

Gráfica III.9 a y b. Notaciones de cada carta tonal del cono de Ostwald.

9 a. Notación general. 9 b. Notación de un color dado.





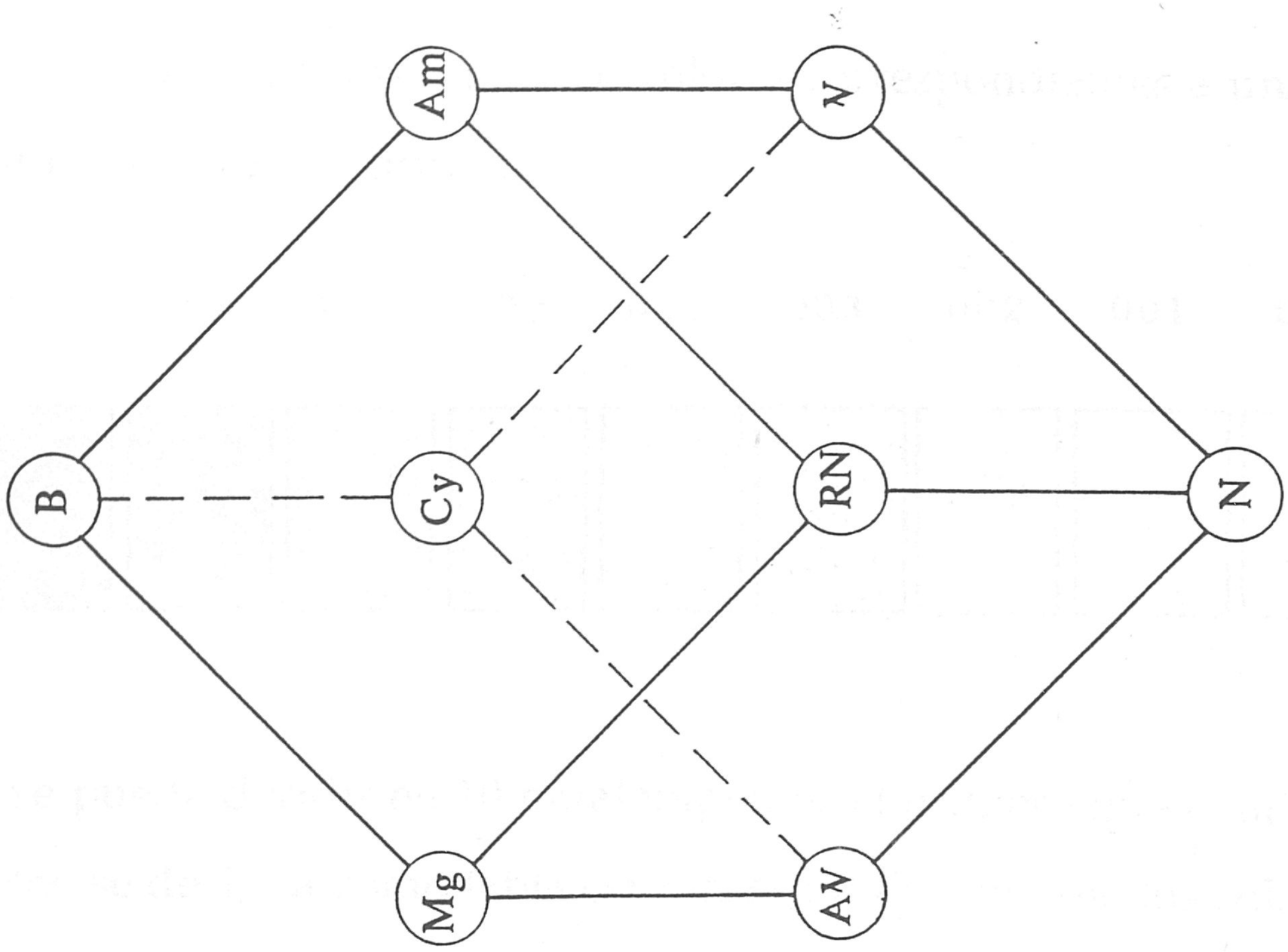
El error en la construcción del espacio de colores de Ostwald , y según el propio autor, reside en que todos los colores saturados y puros están al mismo nivel y a igual distancia del blanco y negro.

El sistema de Ostwald no ha tenido gran aceptación por los artistas. Esto quizás sea debido a que en las mezclas de colores - pigmentos, el problema está en conocer los colores que se pueden obtener con la variación de los primarios y secundarios entre si, y no entre un tono dado y el blanco y negro, cuyas características cromáticas son más predecibles sin necesidad de realizarlas.

C. EL CUBO DE HICKETHIER

Basado en el cubo de Charpentier (en 1885), Alfred Hickethier organizó el cubo de forma numérica en base a los tres colores primarios de la mezcla substractiva por transparencias. Procedía de las Artes Gráficas y sabía por experiencia las posibilidades de mezcla que existían de los colores básicos substractivos disponibles para el proceso de impresión. Las diagonales del cubo están formadas por: el color blanco y negro, uno en cada extremo; el magenta y verde; el azul-violeta con el amarillo y la otra diagonal formada por el azul-cian y el rojo - naranja. Como puede apreciarse en la siguiente gráfica (III.5), situando la diagonal blanco-negro en posición horizontal, se quedan los colores primarios de la mezcla substractiva más cerca del blanco.

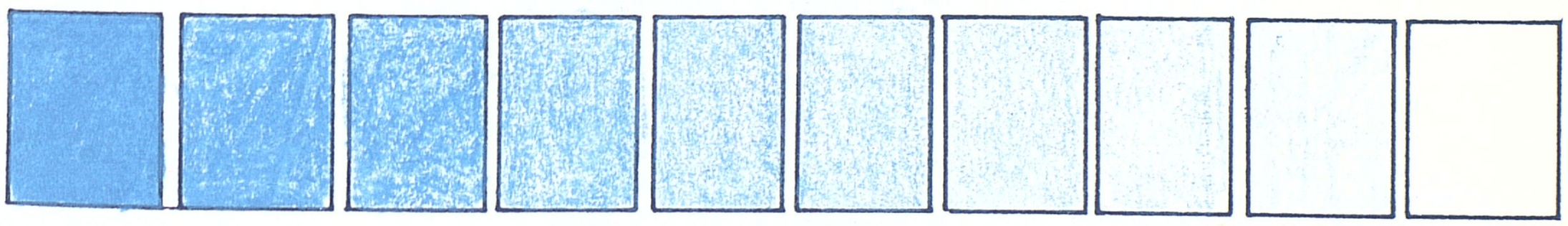
Gráfica III.5. Cubo de Hickethier



Hickethier propuso dividir el trazo, o concentración del pigmento de un color básico substractivo, en diez escalones distintos, marcando con el nº 0 , la falta de aplicación del color sobre el papel blanco a imprimir; y el valor 9 , a la máxima intensidad o concentración del pigmento,llamado también como saturación máxima del color a utilizar. Cada color está formado numéricamente por tres cifras, correspondientes, la primera a la concentración del color amarillo , la segunda, a la concentración del color magenta y la tercera, a la concentración de color azul-violeta. Así,el color con el número 000 será el blanco del papel, por no recibir ninguna cantidad de pigmento. El 999 corresponde al negro, por recibir el máximo de las tres tintas. El 333 y el 666 , etc , serán grises de distinta luminosidad. Un número que contenga un cero, será una mezcla pura de dos colores primarios. Si el número contiene dos ceros será un color básico con una saturación determinada.

La siguiente sucesión nos indica los colores correspondientes a una de estas sucesiones de colores primarios.

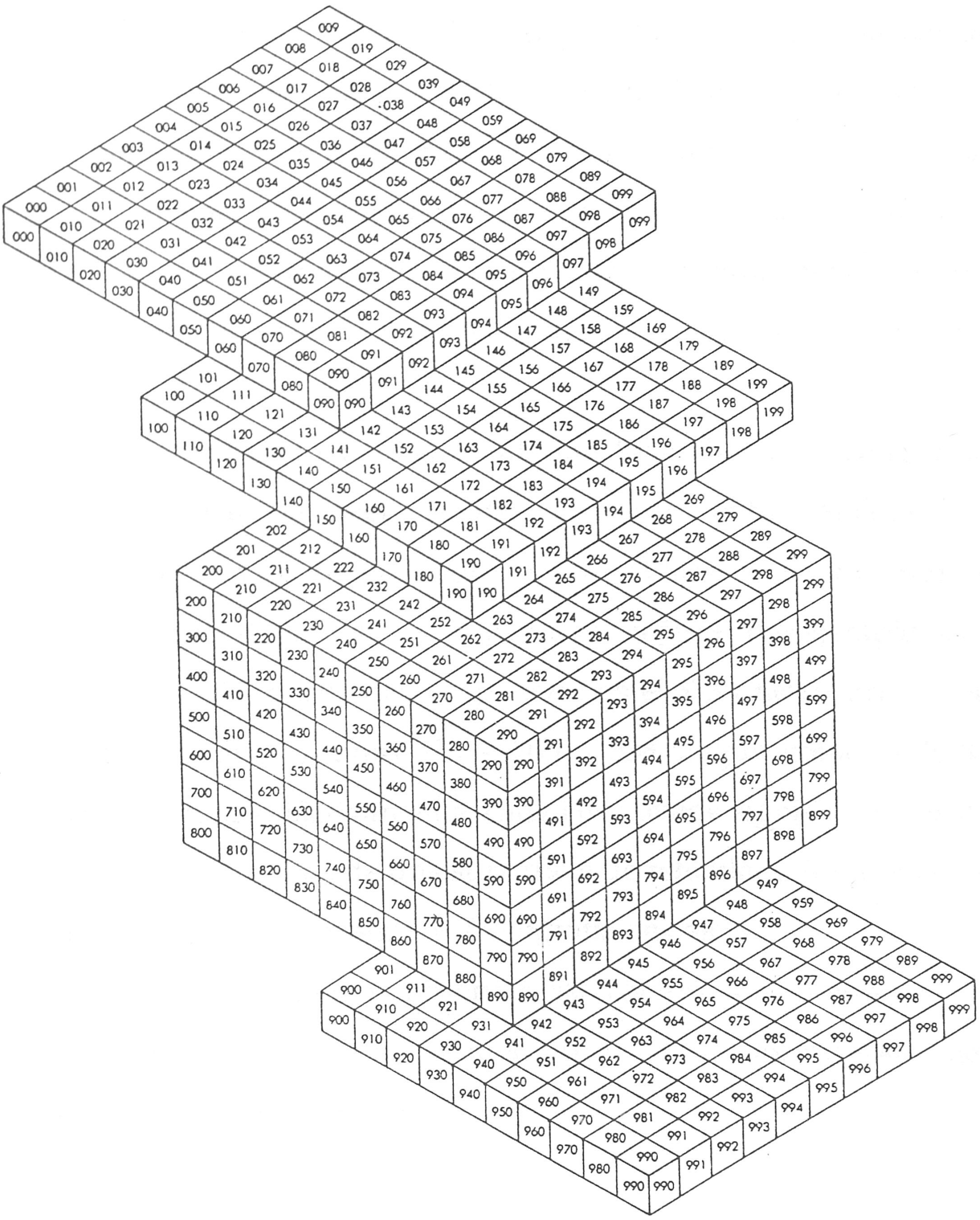
009 008 007 006 005 004 003 002 001 000



El cubo se puede dividir en 10 paralepípedos, el primero que contiene al 000 y al 099, se designa como tabla cero, el segundo contiene los colores

del 100 al 199, se designa por tabla uno , y asi sucesivamente se podrían ir dando cortes al cubo. En total saldrían diez planos, siendo el décimo el que contiene los colores 900 al 999, como se aprecia en la gráfica (III.7).

Gráfica III.7. Cubo dividido en paralelepípedos.



El color complementario máximo de un tono sería la diferencia entre el negro y esa cantidad . Ejemplo, la tonalidad violácea, 037 (nada de amarillo, 3 de magenta y 7 de azul - ciano), sería 999 - 037 = 962 (un amarillo anaranjado bastante saturado). *El color complementario mínimo se indica por el número que precisa para llegar todas las cifras de una determinada tonalidad al valor común más pequeño. Por ejemplo , del 037, sería el 740, porque para llegar al 777 tendríamos que sumar 740 + 037 para llegar a igualar todos los valores de cantidades al número dado. Por consiguiente, en la tonalidad cromática 037, el color complementario máximo tendría el número 962 y el mínimo el nº 740 [12].* Por lo tanto, el campo de los complementarios está en el espacio cromático por encima de la conexión rectilínea de los puntos cromáticos 962 y 740.

También es interesante examinar cualquier tonalidad en cuanto a su factor incoloro. Este también podría llamarse "enturbiamiento" o "ennegrecimiento". En un determinado número, el mayor factor común es siempre el valor gris de la mezcla, su parte acromática. Por ejemplo, una tonalidad como la 538, puede descomponerse en el 333 (factor gris) y en el 205 (parte cromática), pues 333 + 205 = 538. Según como se halla realizado este sistema subjetivamente, cada cifra puede significar parte de un peso, de una proporción, de una superficie de reticulado (estampación serigráfica) o capacidad de absorción (fotografía en color).

En la lámina 34 podemos observar los colores que presentan las distintas caras de este cubo de Hickethier, utilizado para los profesionales de la impresión, la fotografía, y el cine.

D. EL ROMBOEDRO DE H. KUPPERS

Harald Kuppres (nacido en 1928) Teórico del color y de la Comunicación, ha propuesto un sistema de representar el color que puede explicar las leyes de la síntesis aditiva y sustractiva, basándose en los ocho colores elementales que se correponden gráficamente con un cuerpo geométrico tridimensional que tiene forma de romboedro.

Partiendo de las tres sensibilidades primarias del ojo, correspondientes a longitudes de ondas cortas, largas y medias, se producen ocho combinaciones posibles, como vimos en el apartado correspondiente a los colores primarios.

Kuppers designa el valor 100% al máximo potencial de sensación de un color primario, que lo equipara al 99, para establecer solo dos dígitos. Una gama de color vendría dada como un dígito telefónico, según la tabla de la gráfica (III. 10) de la página siguiente, donde el color está representado por su inicial, como :

B = Blanco, A = Amarillo

M = Magenta, C = Azul-cian

Az = Azul-violeta, V= Verde,

R = Rojo-naranja, N = Negro.

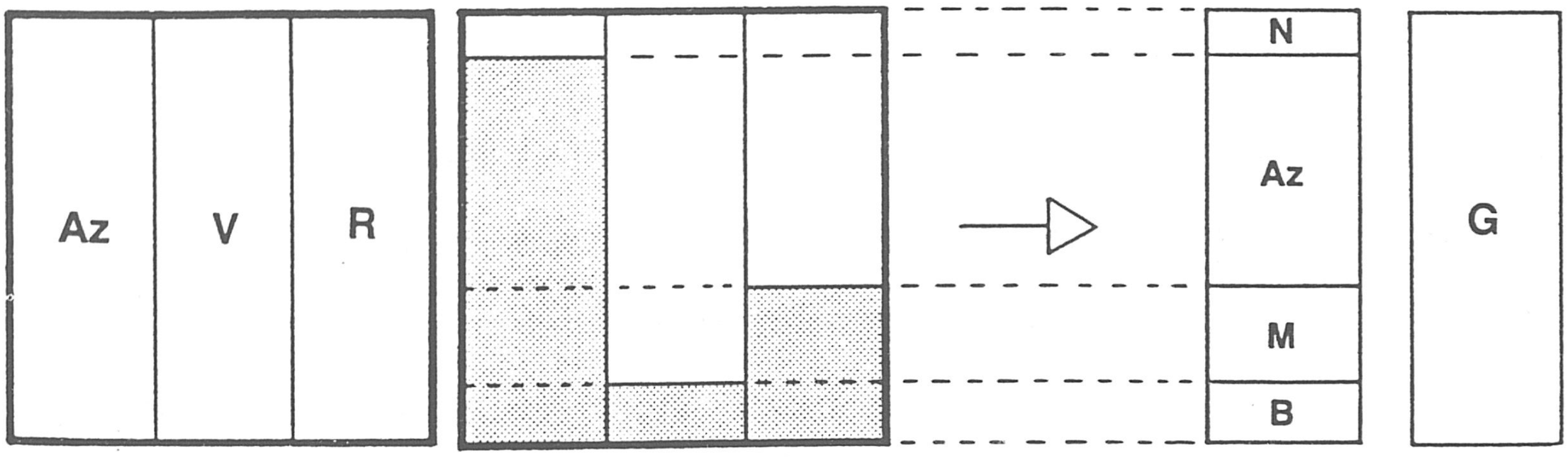
Este código ternario de color primario permite derivar, a lo sumo, en cuatro cantidades parciales de color elemental [13].

Gráfica III.10. Código de colores fundamentales.

Az	V	R	G
99	99	99	B
00	99	99	A
99	00	99	M
99	99	00	C
99	00	00	Az
00	99	00	V
00	00	99	R
00	00	00	N

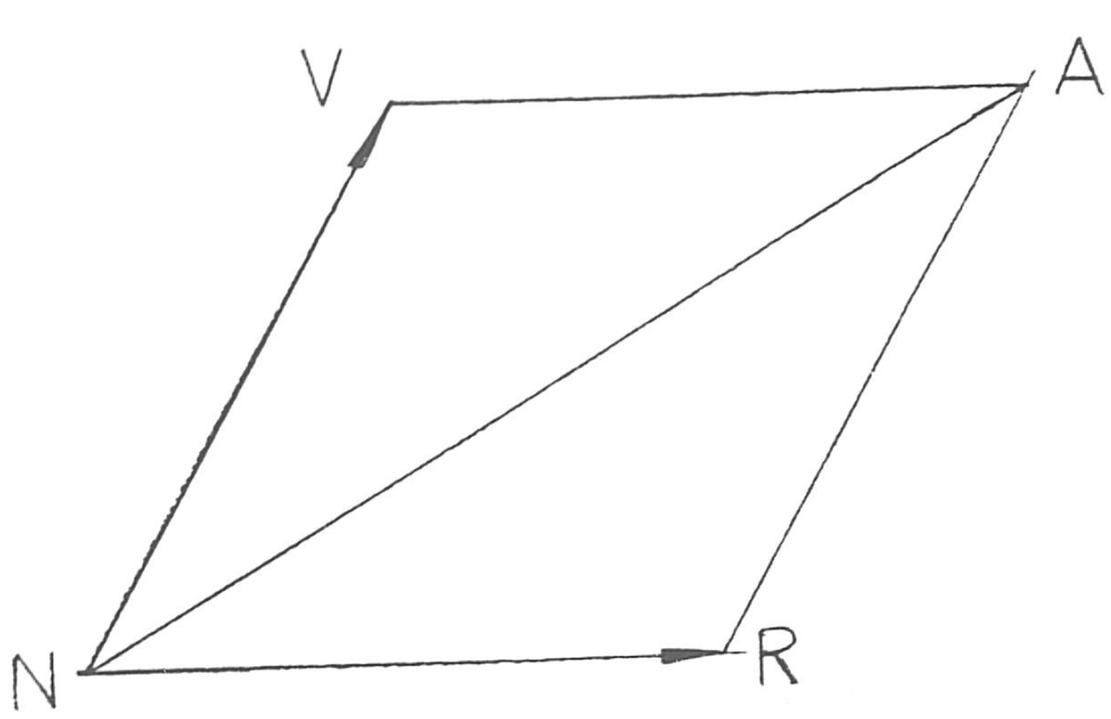
Si las cantidades de Az, V, y R, se leen horizontalmente , obsérvese la gráfica (III.11), podemos ver que las cantidades de B y N, se producen siempre, y las otras vienen dadas por las cantidades de un color primario (Az, V, R) o un color (M, C, A).

Gráfica III.11.Cantidades parciales de color elemental.



Para representar gráficamente las leyes de la visión utiliza estas tres fuerzas de sensación como vectores que, formando un ángulo de 60 grados, constituyen el romboedro, según la gráfica (III.12) adjunta. El vector Rojo y Verde formarían en su máxima dimensión el amarillo, y según la cantidad que participe se formarían las demás gamas. Las diagonales constituirían los colores amarillo, magenta y cian; y la diagonal del cuerpo, estaría formada por el blanco y el negro. La diferencia con el cubo de Hickethier consiste en la mayor distancia que existe entre el eje blanco-negro, con respecto a la distancia que presentan dos tonos cromáticos cualesquiera.

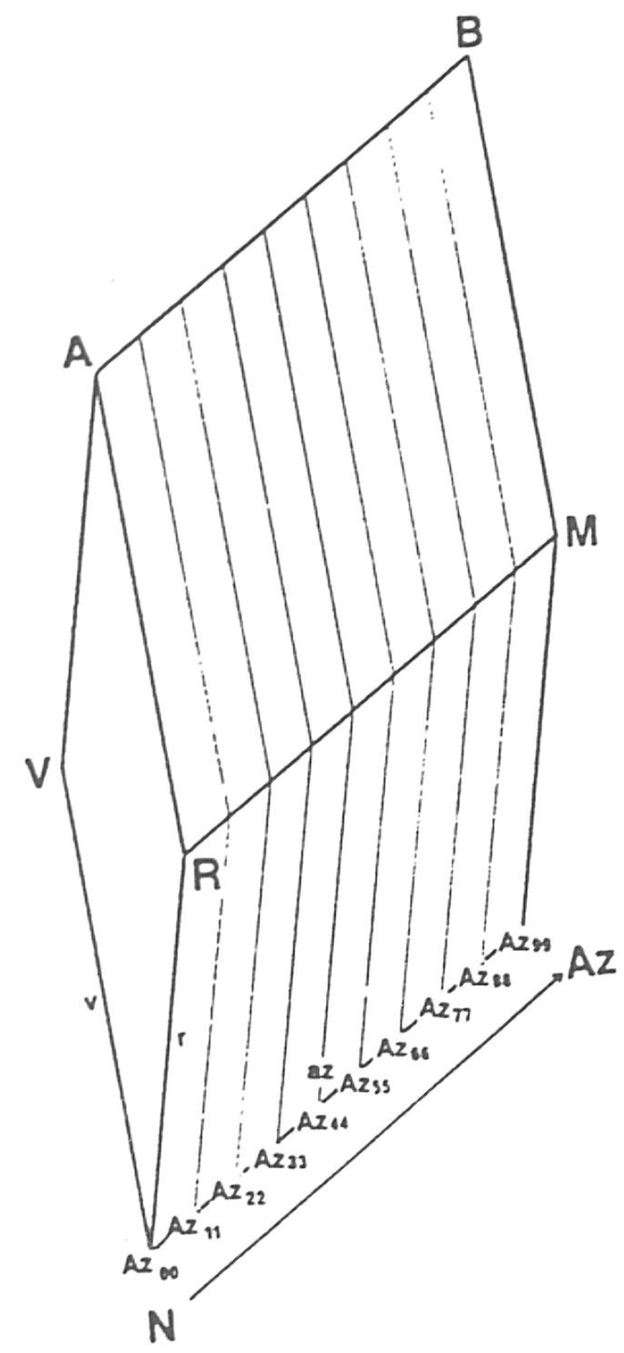
Gráfica III.12. Paralelogramo de fuerzas.



Los planos tonales se forman mediante secciones que pasan por el eje gris y son siempre paralelogramos, dividiendose por el eje gris en triángulos de igual tonalidad de colores complementarios. La forma del paralelogramo cambia según la dirección de la sección.

Las secciones que se efectúan paralelas a las superficies o caras del cuerpo, son planos de distinta saturación, y se puede apreciar en la gráfica (III.13) adjunta.

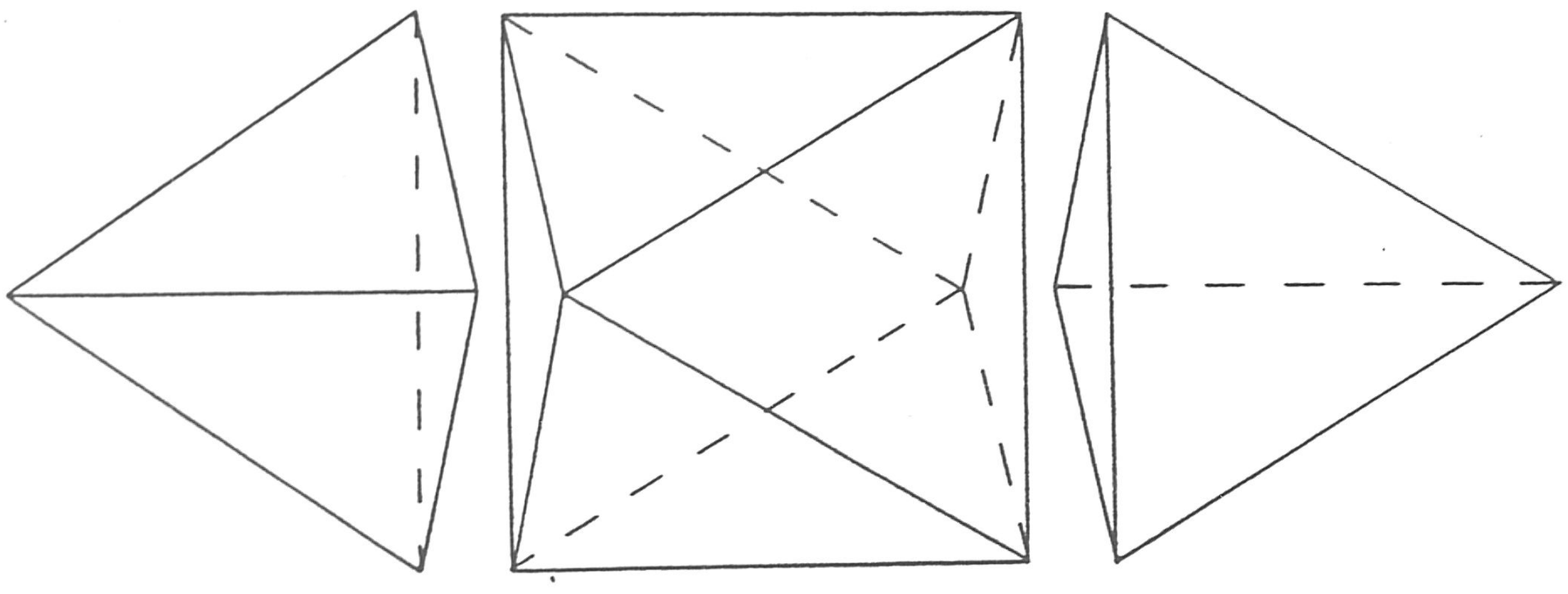
Gráfica III.13.Planos paralelos de cantidades de colores primarios.



En la lámina 35 podemos ver dos vistas del cuerpo de color con el eje blanco - negro en posición vertical. Unas líneas blancas seccionan el cuerpo a través de las diagonales más cortas, formando dos cuerpos geométricos: dos tetraedros y un octaedro. Todas las caras de estos cuerpos son triángulos equiláteros. La altura del tetraedro es la misma que la del octaedro. Se pueden ver que hay un tetraedro formado por colores blanqueados y otro formado por colores ennegrecidos. El octaedro

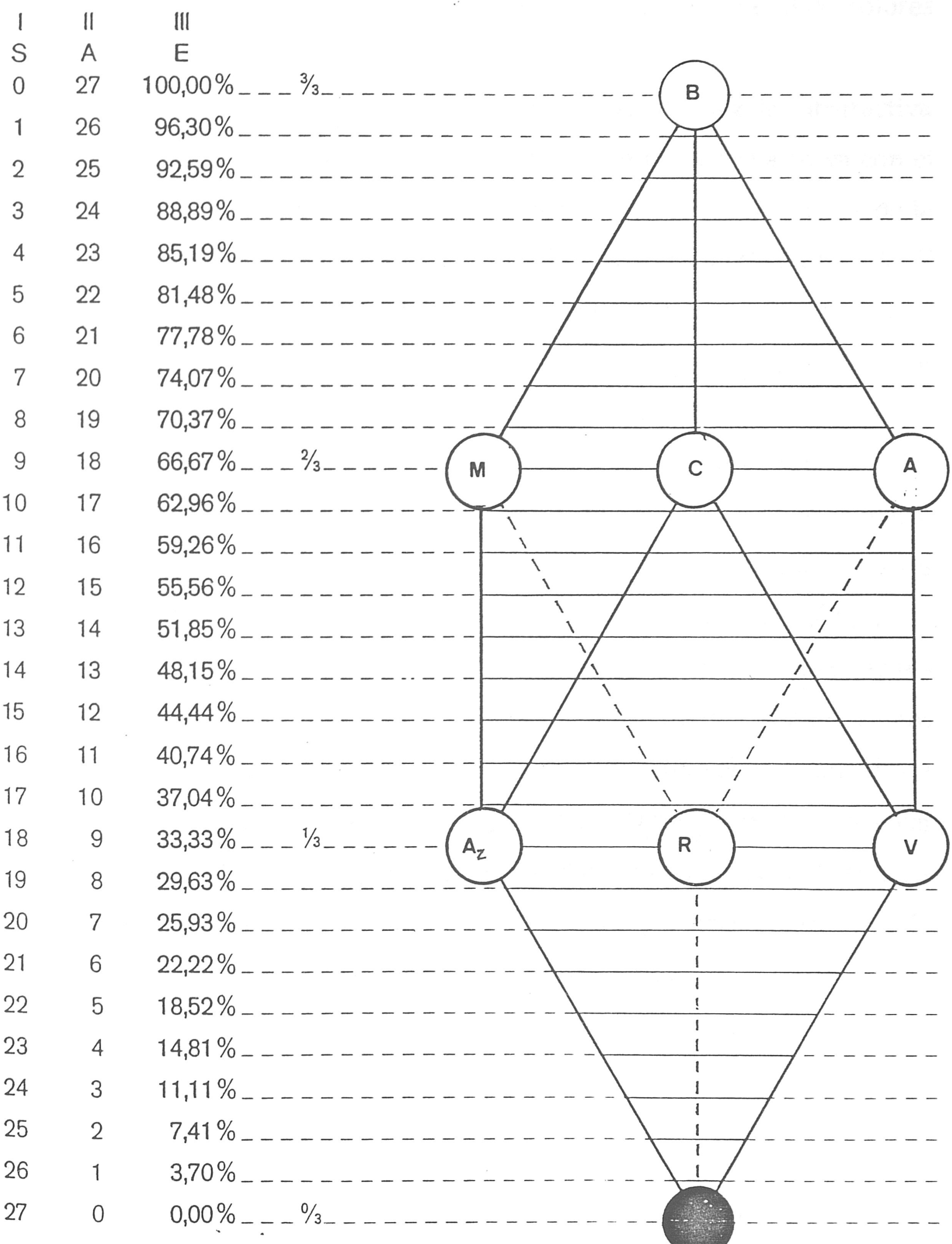
contiene los colores completos. La gráfica (III.14) nos muestra una representación de estos cuerpos .

Gráfica III.14. Tetraedros y octaedro.



Los planos de igual claridad se obtienen en secciones perpendiculares al eje gris. La gráfica (III. 15) muestra las 27 distintas secciones y la relación entre la suma de las partes cromática en la mezcla substractiva (S), la mezcla aditiva (A), y el estímulo cromático (E).

Gráfica III. 15. Planos de igual claridad del Romboedro.



Este sólido de color tiene solo tres dígitos, es decir , en vez de dos para cada primario, sólo uno, similar al cubo, con un total de 1000 colores distintos.

Cada color se puede especificar según las leyes de mezcla substractiva con la letra "S " y el dígito correpondiente y para la mezcla aditiva con el dígito "A", los dos sumados siempre darían el total 999. Los dígitos de la mezcla substractiva van en el orden A M C, y para la mezcla aditiva Az V R. EL color amarillo sería, para la mezcla substractiva el S 900, y para la aditiva el A 099; el verde sería S 909 y A 090 ; y asi , por ejemplo , el color 762 para la mezcla sustractiva, en la aditiva sería el 237.

Para H. Kuppers el romboedro constituye la representación geométrica de las leyes de la visión....permite explicar las leyes de la síntesis de colores...y puesto que permite deducir las relaciones fijas entre el origen del color, mezcla de colores y sensación de colores, debemos considerarlo el espacio ideal de colores [14].

No podemos olvidar que Kuppers cuando habla de mezcla substractiva se refiere a la mezcla de colores o sustancias transparentes. Si observamos las cuatro cantidades parciales de una gama vemos que el magenta nunca puede ser mezclado con el amarillo o el cian. Tan solo puede aparecer junto al rojo o al azul. Kuppers a estas mezclas las llama "ley de la síntesis integrada de colores", que hace referencia a las pinturas opacas. Por lo tanto , este tipo de mezcla no se ve aquí representado.

E. SOLIDO IRREGULAR DEL COLOR MUNSELL

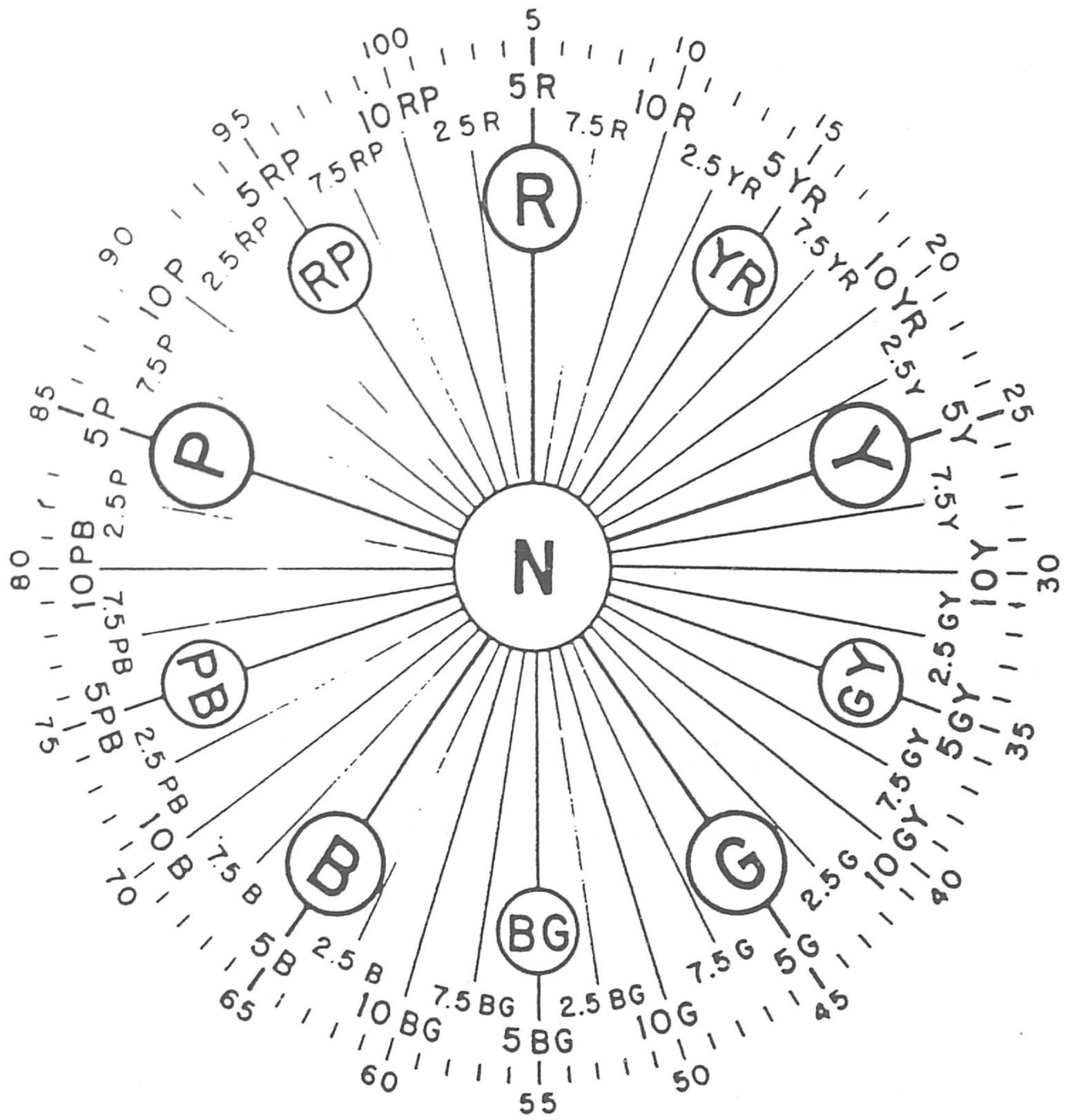
Albert H. Munsell, fué un profesor de pintura cuya aficción por expresar científicamente el color y sus parámetros le llevaron a publicar un altlas del color en 1905, al que le siguieron otros en 1915 y 1929. La Sociedad Americana de Optica (O.S.A), en 1943, propuso unos cambios en las notaciones las cuales han sido modificadas. Actualmente es uno de los muestrarios de color que más se utilizan , no solo en los Estados Unidos, sino en El Reino Unido , Japón, España, etc. Casi todos los sistemas de ordenación del color hacen una relación de sus muestras con las del Munsell.

El "Munsell Book of Color" presenta en la actualidad dos colecciones con muestras de colores opacos de distinto acabado (mate y brillante). La gran innovación de este catálogo es que las muestras estan equiespaciadas desde el punto de vista perceptual, es decir, pretende que las diferencias de color entre dos muestras contiguas cualesquiera, sea siempre la misma a juicio de un gran número de observadores con visión normal al color.

Las muestras son extraibles de unas hojas, presentando en total 40 páginas, cada una de las cuales corresponde a un tono determinado. La disposición de las coordenadas cromáticas es similar a la de otros atlas. Presenta diez tonos distintos con cinco principales y cinco intermedios, usándose los nombres de Rojo (Red = R), Amarillo (Yelow = Y) ,Verde (Green = G), Azul (Blue = B), y Púrpura (Purple = P) etc; como se puede apreciar en la gráfica (III.16) adjunta, rodeados por un círculo las iniciales del color. Las tonalidades intermedias vienen a ser amarillo-

verdoso, verde- azulado, etc. El total está dividido en grados centesimales y el libro presenta, como hemos indicado, 40 tonos distintos que se correponden con los números: 5R, 7.5 R, 10R, 2.5 YR, 5YR, y así consecutivamente. Como el libro prevee tonos intermedios para los cuales deja un lugar, se produce en la gráfica otras divisiones que se observan.

Gráfica III.16. Círculo tonal Munsell.



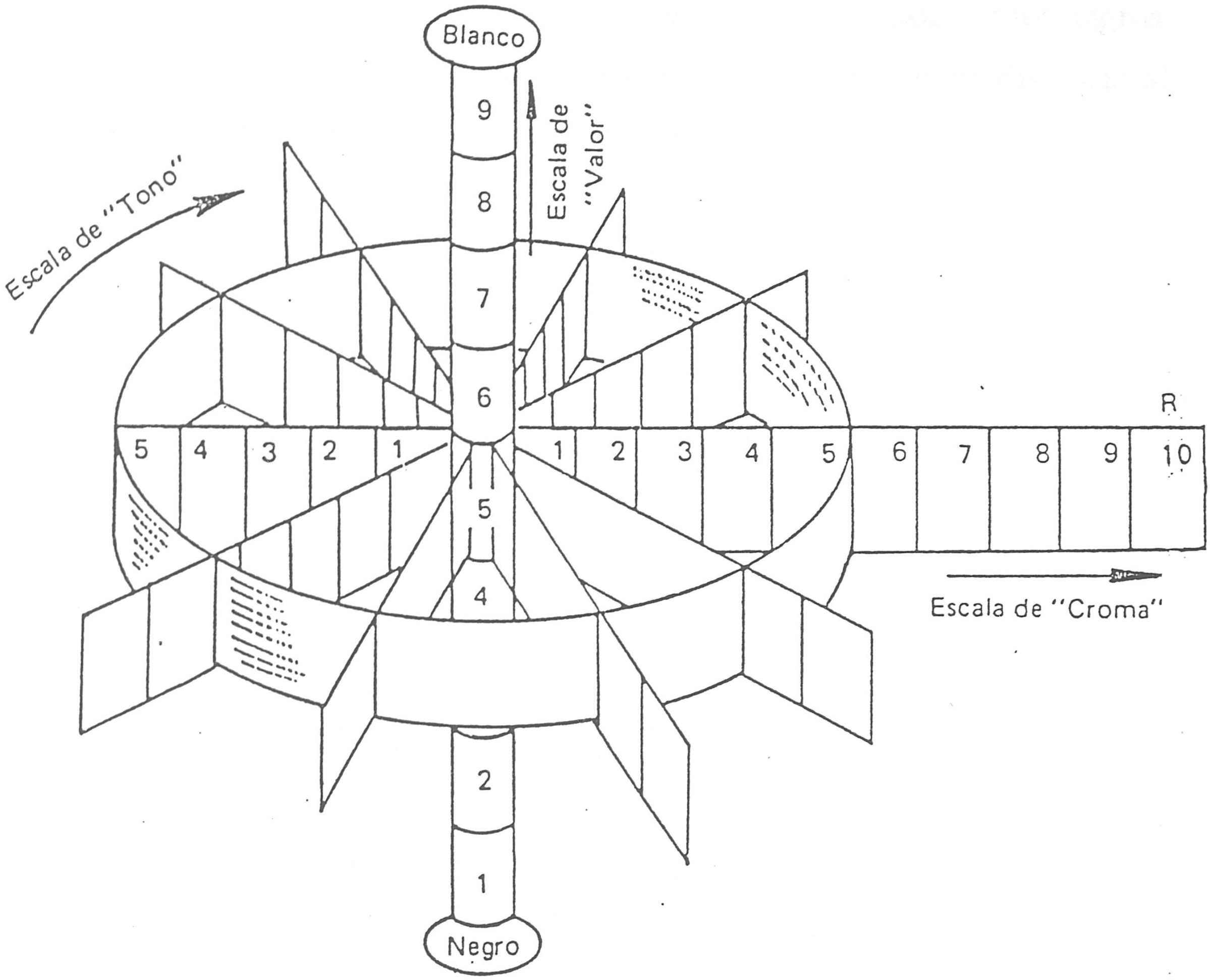
En la lámina **36** podemos ver dos de estas hojas correspondiendo a los tonos 2.5 P y 5 P en la parte superior de la lámina. La escala de valor (value) se refiere a la claridad y está situada en la zona vertical, y viene simbolizada por el numerador de una fracción. El " 0/ " se usa para el negro y el " 10/ " se usa para el blanco. La saturación o pureza (croma) viene simbolizada por el denominador de cada fracción. El " /0 " corresponde al gris , y así va aumentando hasta llegar a la saturación máxima " /20 ".

Cada muestra de color insertable tiene una zona en la parte inferior con las notaciones correspondientes a sus características cromáticas, por ejemplo, el rojo bermellón tiene la notación : 5R, 5/14 (el tono, la claridad y la saturación). Así el espacio que se obtiene es irregular porque cada tono tiene una distinta altura según sea su nivel de luminosidad, y cada tono tiene una saturación distinta o distancia del eje gris . Por ejemplo, el rojo bermellón tiene 5/14, el amarillo cadmio 2.5Y, 8/16, el violeta de la lámina es 2.5, 3/12.

Los colores complementarios a los dados los podemos encontrar en el círculo cromático tonal en el mismo diámetro. La lámina **37** nos muestra dos hojas correspondientes a colores complementarios.

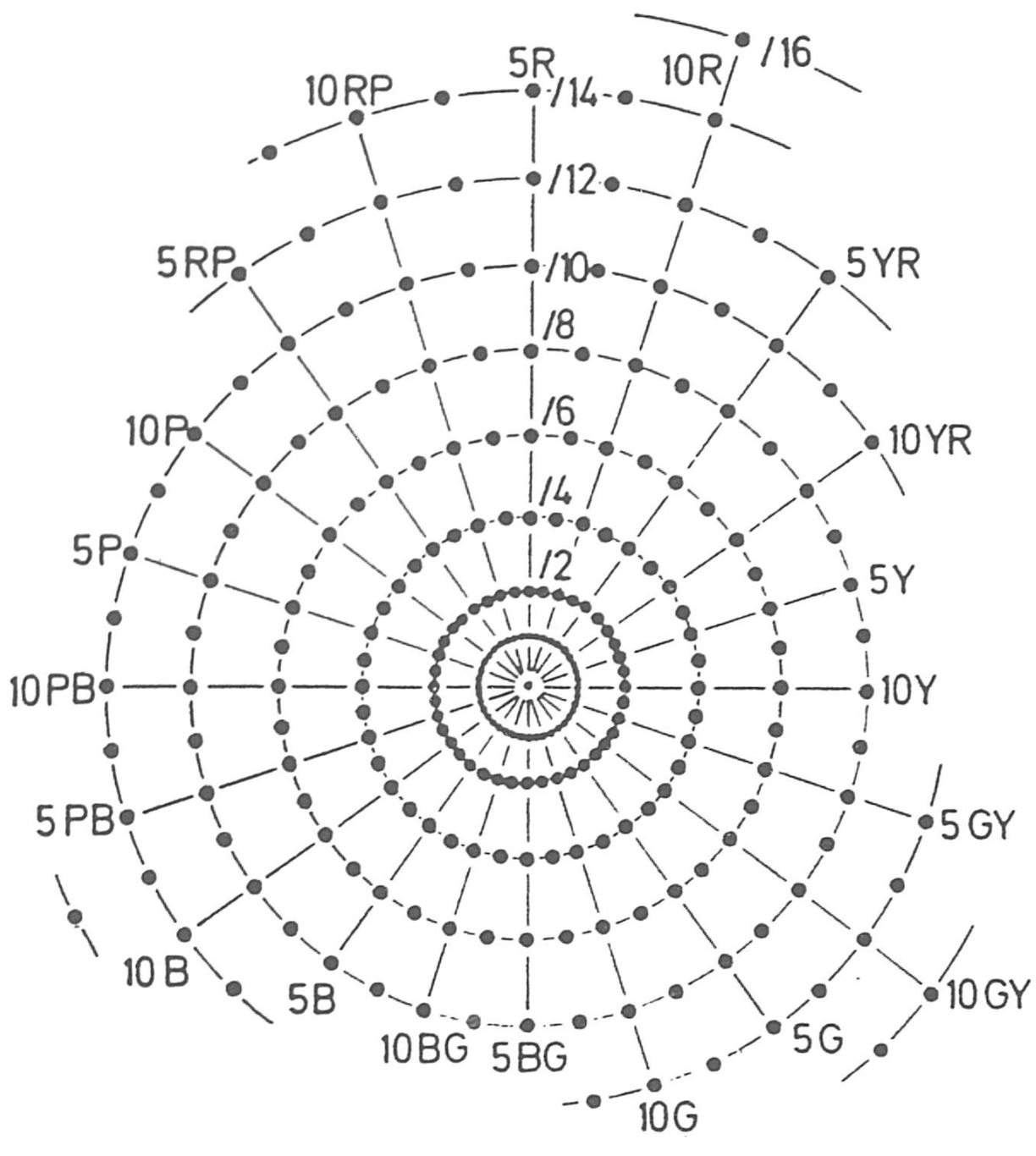
El esquema representativo del sólido sería el mostrado en la gráfica (III.17), de la página siguiente.

Gráfica III.17. Esquema representativo del Sólido Munsell.



Un corte perpendicular al eje neutro por el valor de nivel cinco, nos mostraría una sucesion de colores semejante a la indicada en la gráfica (III.18) adjunta, en la cual se puede apreciar la distinta saturación que presenta cada tonalidad,señalados los distintos colores,por puntos negros. Los amarillos , púrpuras y azul-verdosos presentan menor distancia al centro acromático que otros tonos como los rojos .

Gráfica III.18. Plano de igual claridad .



El sistema Munsell especifica las condiciones de observación e iluminación para realizar, por comparación visual, el cálculo de las coordenadas Munsell de cualquier muestra problema. También está realizada la conversión de datos Munsell sobre el Diagrama cromático CIE 31 y viceversa, haciendo uso de tablas para interpolar, gráficos e incluso en la actualidad programas de ordenador que realizan inmediatamente estas operaciones [15].

F . SISTEMA ALEMAN DIN 6164 O DE RICHTER

El Sistema DIN 6164 ha sido desarrollado por el Prof. Dr. Manfred Richter, Berlín. En colaboración entre el Instituto Federal de Materiales y la Comisión Especial de Normas del Color, se ha realizado la tarjeta de color DIN 6164 [16].

En 1962, se realizó una colección de 590 muestras de color mate de papeles pintados, de tamaño 2.8 x 2.2 cm, distribuidos según 24 tonalidades distintas. En 1984 se ha realizado otra colección con 1004 muestras de color del mismo tamaño en brillo. En ambas colecciones las muestras están dispuestas para poder ser extraidas, con el fin de poder hacer comparaciones entre ellas. La colección ha sido publicada por DIN-Farbenkarte.

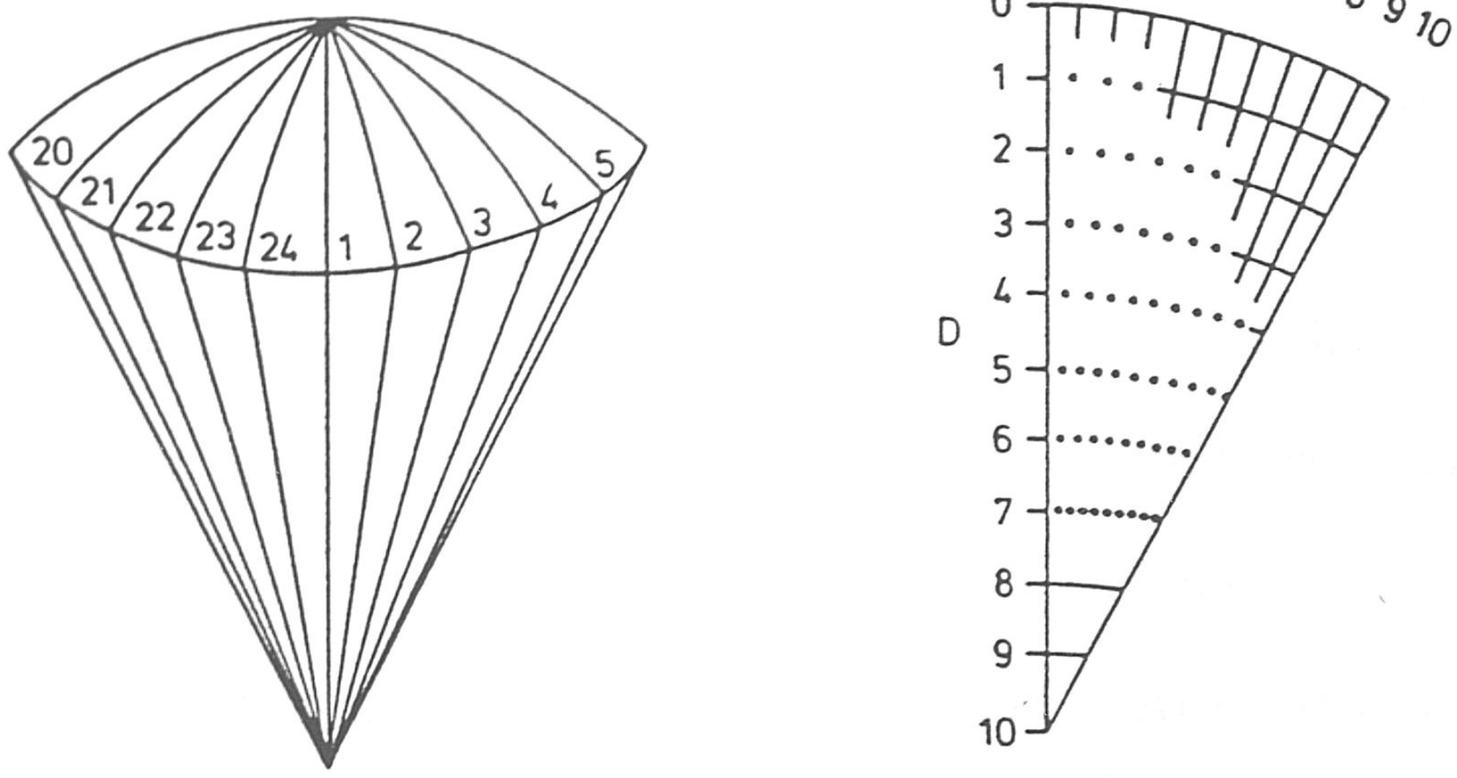
Los distintos colores tienen las mismas distancias perceptualmente , al igual que el sólido Munsell.

Cada carta u hoja de una misma tonalidad va acompañada de unas tablas donde se especifican las características cromáticas de cada muestra mediante tres cifras separadas por dos puntos, por ejemplo, 3:6:1, que corresponde a la hoja de tono nº 3 (un naranja que se puede ver en la lámina **38**), después la saturación (en este caso el más saturado) y después la claridad (el más claro). Ya hemos comentado que los tonos se disponen en 24 distintos. El eje horizontal corresponde a la saturación (S) que puede variar de 0 (gris) hasta el máximo de 10, y el eje vertical que correponde a la claridad o enegrecimiento (D) de la muestra, que puede ir desde el 0 (blanco) al 10 (negro).

La gráfica (III.19 a y b) nos muestra, en la izquierda (a), la forma que presenta el cuerpo en su totalidad, semejante a un helado; y , en la derecha (b) un corte del mismo por un plano de colores de igual tonalidad que corresponde al nº 22 (verde-amarillento). Los puntos indican el lugar donde existen muestras de colores.

Gráfica III.19

19 a. Cuerpo del color 19b.Plano de igual tonalidad.



Cada hoja de isotonos presenta distintos niveles de las otras características, así el Tono 11 que correponde a un púrpura azulado, presenta solo muestras de S = 1, 2, 3, y 4; y el verde-amarillento, presenta diez grados de saturación . Como se puede observar el número de muestras de color decrece conforme se oscurecen los colores.

El muestrario de colores presenta también una relación con las notaciones del Sistema de color Munsell, Ostwald y las notaciones del Sistema CIE. Su uso puede extenderse al campo de la técnica, el arte y las ciencias.

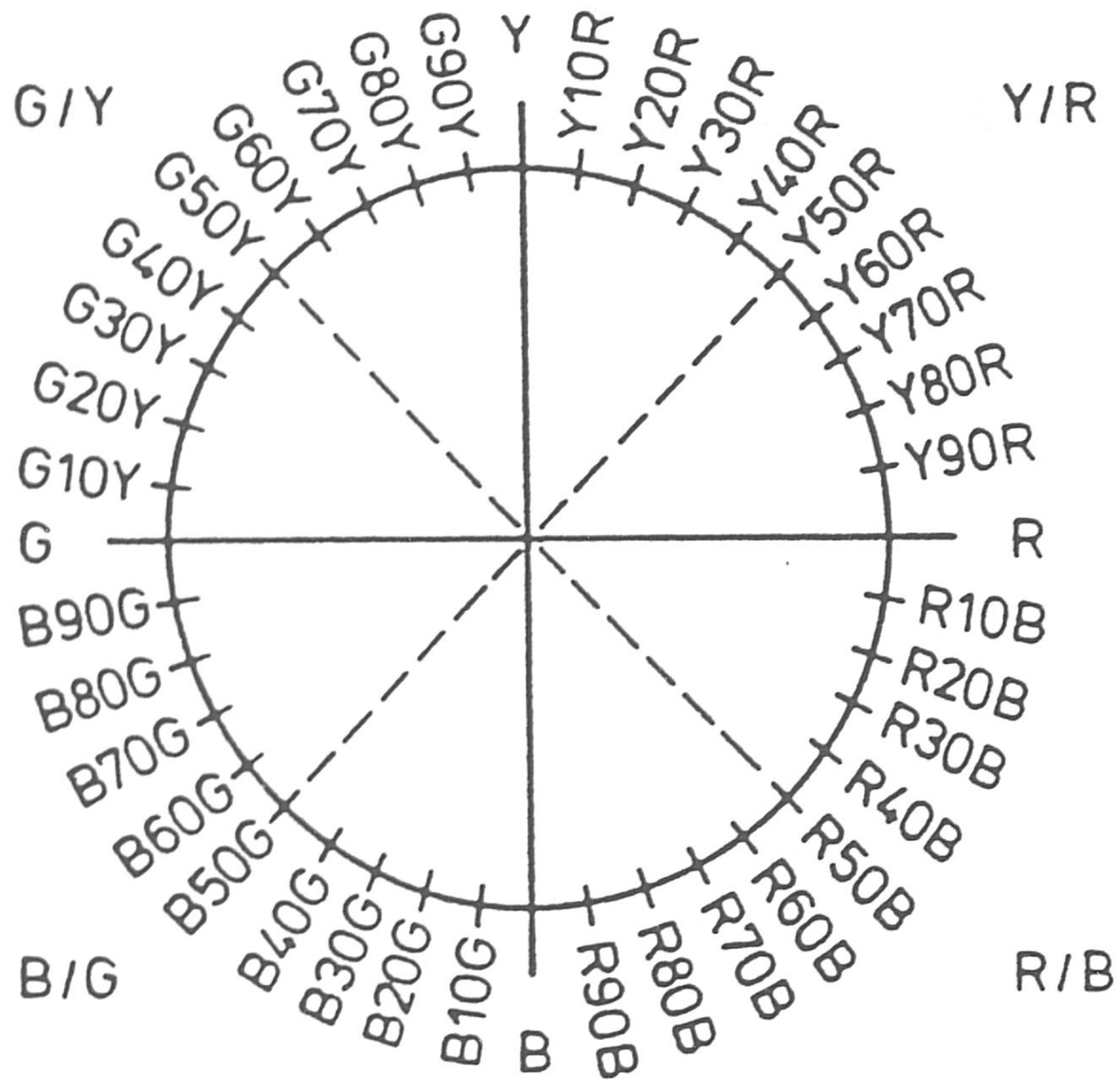
G. N.C.S. SWEDISH NATURAL SYSTEM

El sistema Natural del Color Sueco no necesita de instrumentos de medida, ni de muestras de color para comparar y determinar el color. Este se basa en el color percibido por el individuo según seis percepciones primarias: blanco, negro, amarillo, azul, verde y rojo. Estas percepciones primarias parten del modelo teórico de visión del color de E. Hering.

Desde 1964 un programa de investigación ha sido seguido por el Instituto de Estandarización del Color, aplicando extensos tests usando el sistema N.C.S., a personas sin conocimientos previos del color y sin experiencia previa, han juzgado el tono y las demás características cromáticas sin necesidad de muestras [17].

Cuando se muestra un color, la primera determinación es el tono. El gráfico (III.20) nuestra la disposición tonal según cuatro cuadrantes, leyéndose en sentido de las agujas del reloj. Los términos: naranja, cian, púrpura están deliberadamente excluidos. Los colores olivas y marrones tienen que ser identificados como rojizos y verdosos amarillentos, cuando la luminosidad es baja. El observador debe identificar el cuadrante del círculo tonal donde está localizado el color, es decir , entre qué tonalidades se encuentra con respecto a los amarillos, azules, rojos y verdes. Después tiene que localizar la proporción que se requiere de los dos tonos, por ejemplo, 70% de verde (G) y 30% de azul (B). Este color estará localizado en B 70 G.

Gráfica III. 20.Círculo tonal del sistema N.C.S.

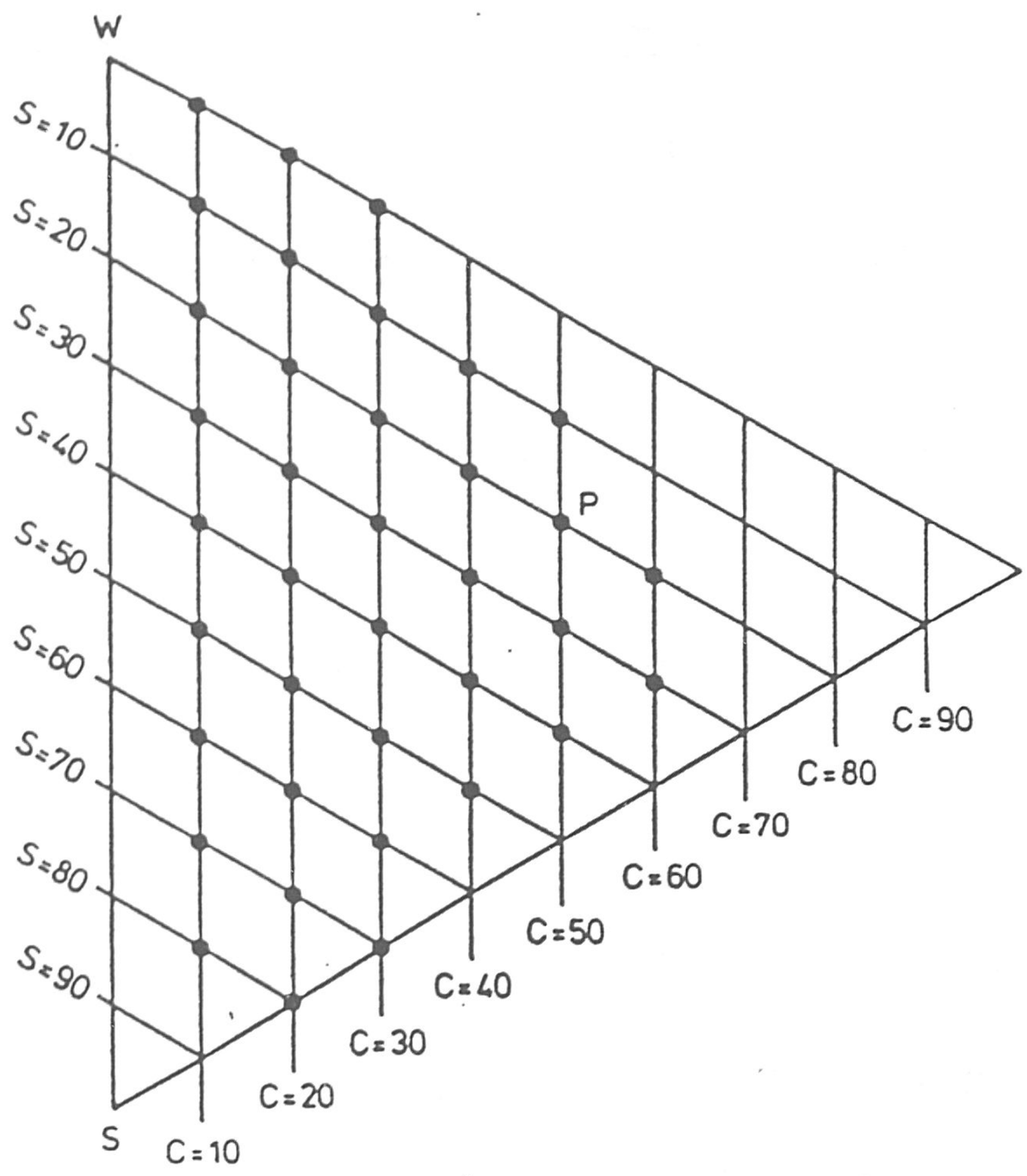


Se ha realizado un Atlas de color con el sistema de notación N.C.S., como una realización práctica del sistema. Tiene 1412 muestras de color mate de 1.5 x 1.3 cm. Consta de 40 tonalidades distintas repartidas según el círculo cromático anteriormente expuesto.

La recta acromática es perpendicular al círculo tonal y pasa por el centro, está dividida en diez escalones que van de diez en diez. El punto más alto lo constituye el blanco (W) y el más bajo el negro (S). La figura tridimensional que se forma es un doble cono similar al de Ostwald. Un corte vertical por el tono B 70 G se representa en la gráfica (III. 21). En ésta los puntos representan las zonas donde hay muestras de color. Los

grados de saturación van cambiando con el tono. El punto " P " señalado en la gráfica tiene unas coordenadas S C T , es decir, 20 , 50, B 70 G.

Gráfica III.21. Plano de tonalidad costante del N.C.S.



El N.C.S. ha encontrado muchas aplicaciones prácticas y ha reemplazado al Sistema de color de Ostwald en ciertas áreas del arte y del diseño. No hay que olvidar que es un sistema perceptivo del color.

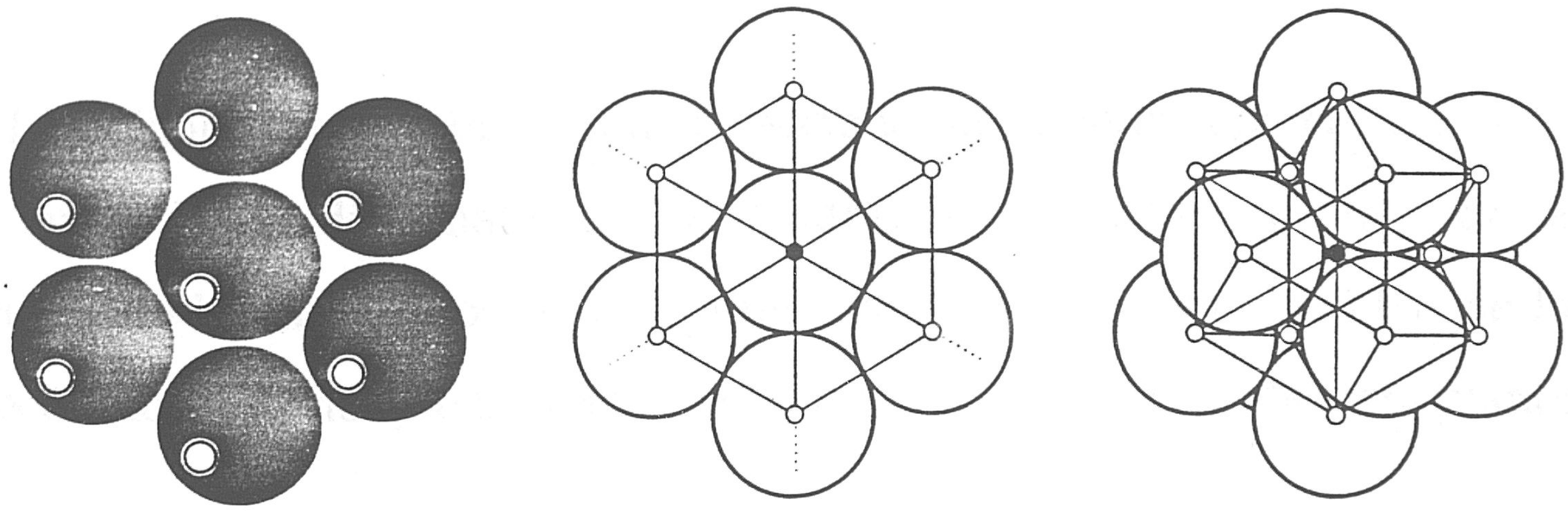
H. OCTAEDRO - CUBICO . G. WYSZECKI Y ESPACIO DE COLOR DE LA OPTICAL SOCIETY OF AMERICA (O.S.A.)

A mediados de este siglo (1947) y teniendo por director del proyecto a D. B. Judd, se planteó la realización de un espacio de color uniforme por la Sociedad Americana de Optica. En 1977 la Comisión de investigación presentó un espacio formado por 558 muestras de colores de dimensiones 5 x 5 cm. con pintura acrílica de colores de permanencia aceptables. Esta compuesto por un muestrario con 424 colores y otro con 134 colores que ocupan los valores intermedios de la gama básica o interior , llamada colores pastel.

Lo característico de este sistema es que el diseño del espacio de color es distinto a la de los anteriores. *La idea parte de las esferas yuxtapuestas de Gunter Wyszecki*[18] , en la cual una esfera es tangente a otras seis que a la vez son tangentes entre si, ver gráfica (III. 22 a, b y c), con lo cual si se unen los centros de las esferas se forma una red de triángulos equiláteros. Si se superponen una segunda, tercera capa de esferas, la red se convierte en un enrejado tridimensional con los centros equidistantes.

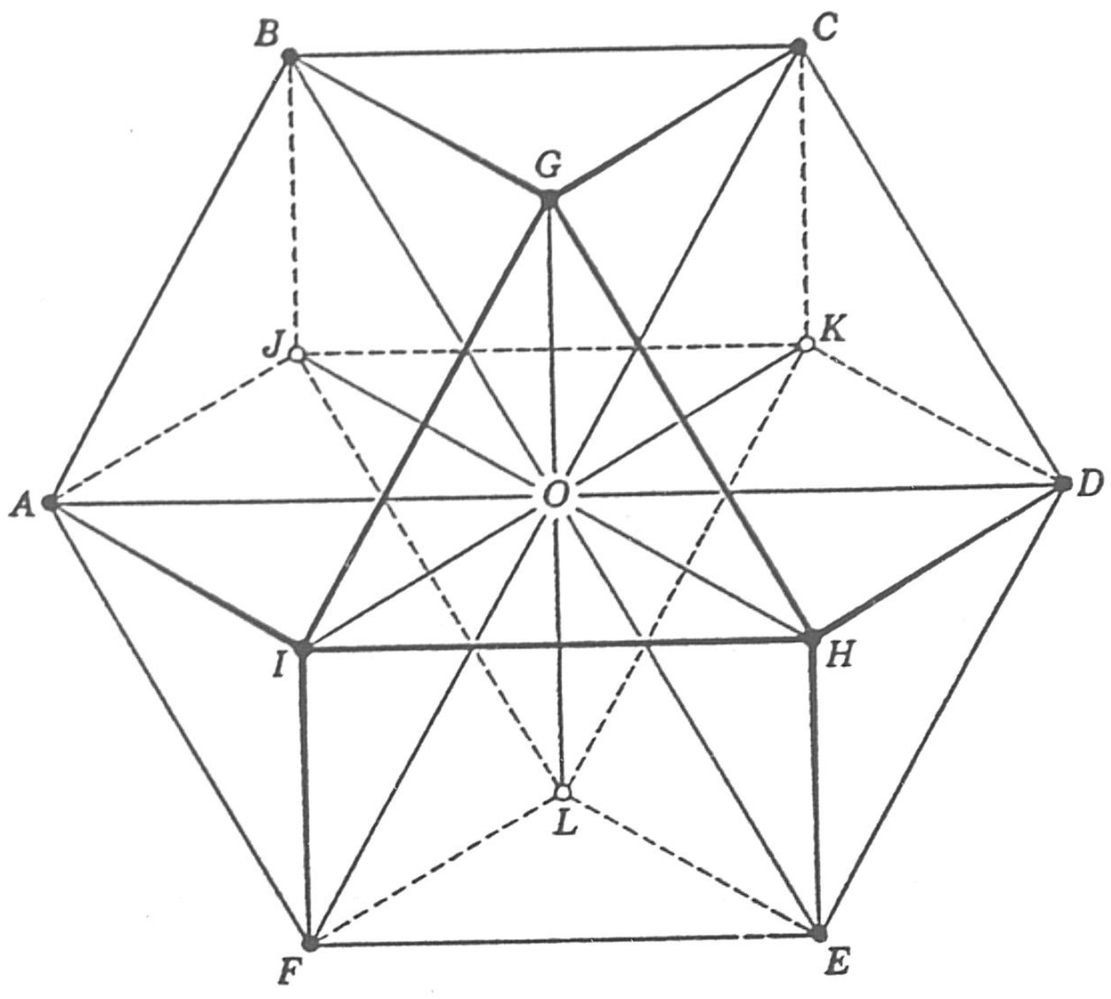
Gráfica III 22.

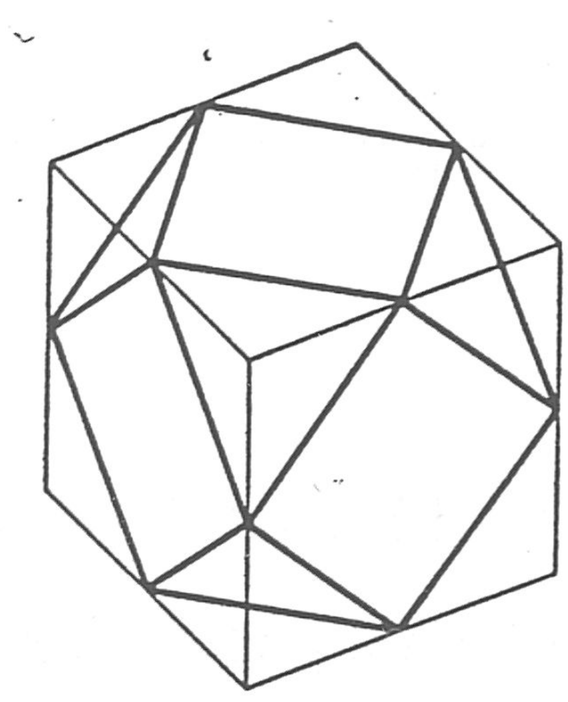
a Esferas Yuxtapuestas b Red plana triángular c Octaedro cúbico



La figura geométrica que se genera se llama octaedro-cúbico , asi llamada porque también se puede obtener como un cubo seccionado por planos que cortan a sus vértices pasando por el punto medio de cada arista de las caras cuadradas del cubo , como muestra la gráfica (III. 23 a y b). El octaedro-cúbico presenta doce vértices siendo cada uno representado por un color equidistante de todos los otros y equidistantes entre sí de un décimo tercero situado en el centro del cuerpo.

Gráfica III. 23 a Octaedro b Octaedro inscrito en el cubo

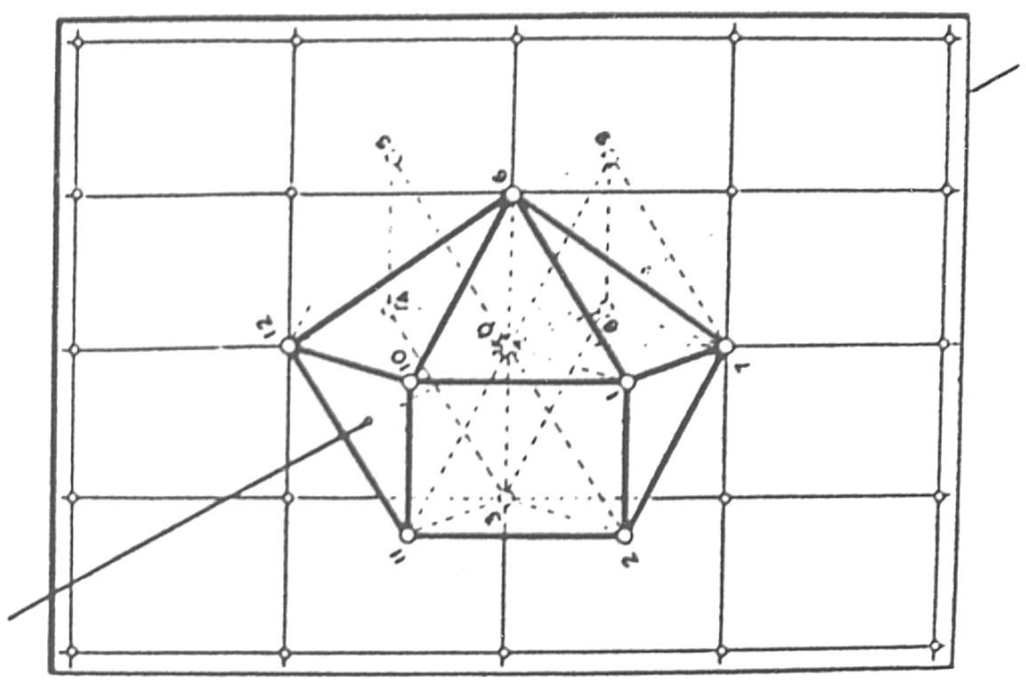


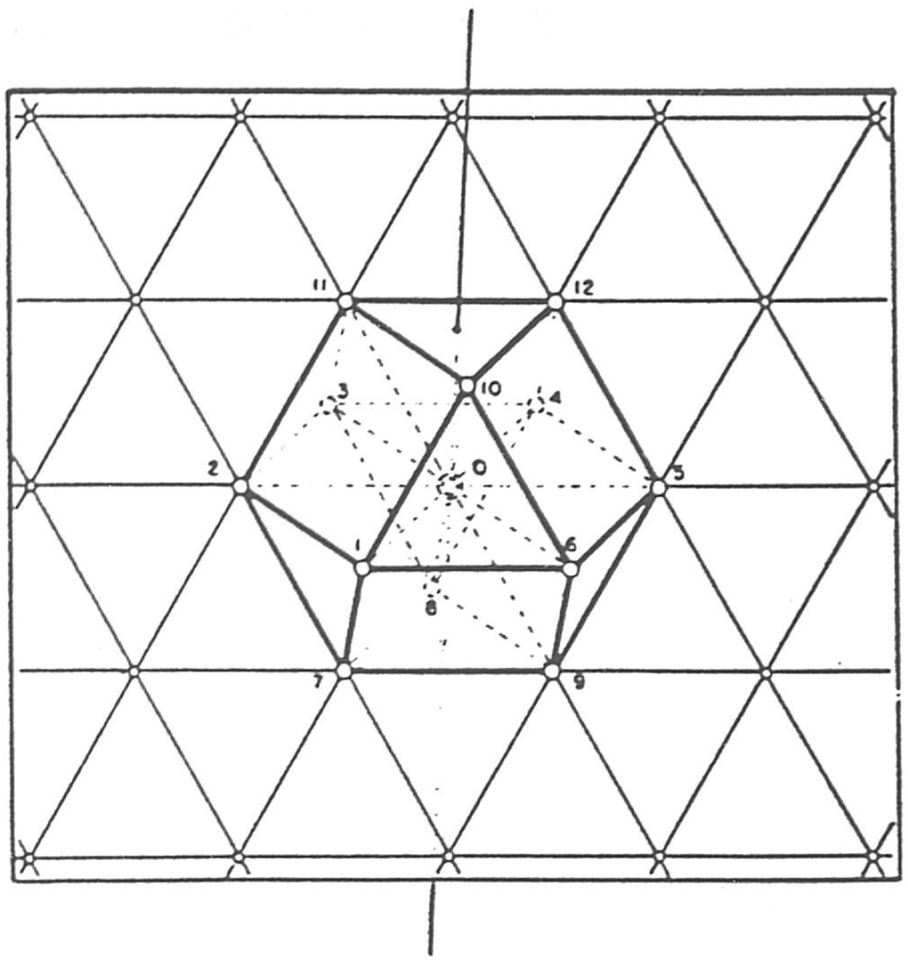


Los planos que se obtienen de biseccionar el octaedro-cúbico son: tres a lo largo de las diagonales de los cuadrados, y cuatro a lo largo de las aristas de los triángulos. Asi el punto central no sólo es el centro de los trece colores , sino que también es el punto de intersección de siete planos:

tres con redes cuadradas, y cuatro con redes triángulares o romboédricas, ver gráfica (III. 24 a y b).

Gráfica III. 24. a Red cuadrada. b. Red triángular.



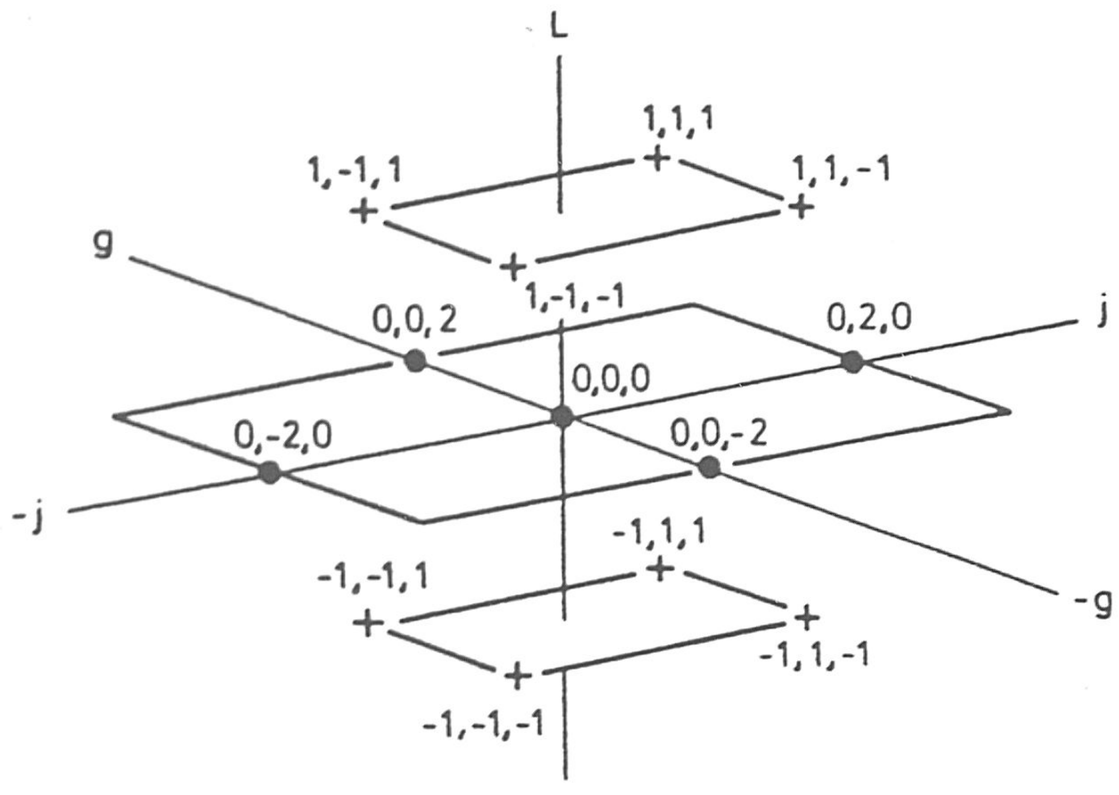


Una de las redes cuadradas establece un plano de claridad (L) que va del valor L = -7 a +5 , siendo el plano medio L = O. En cada plano de igual claridad las coordenadas cromáticas vienen determinadas por (j, g). Siendo el eje "j" el amarillo en su valor positivo y el azul-violeta en su valor negativo; y el eje "g" perpendicular al anterior , en sus valores positivos el verde,y en sus valores negativos el rojo-púrpura. También establece dos símbolos distintos : el círculo para los valores pares y la cruz para los valores impares, como podemos ver en la gráfica (III. 25). Las coordenadas de los puntos vienen dadas por (L, j, g).

En la lámina **39** podemos ver dos secciones del octaedro-cúbico de Wyzescki.

En la lámina 40 podemos ver uno de los planos del espacio de color uniforme O.S.A., el correspondiente al valor luminoso L = -3 y el modelo que presenta las 426 muestras de color, en este caso formada por bolas de color ensartadas y colgadas por hilos.

Gráfica III. 25.Coordenadas de los colores del octaedro-cúbico.



La geometría propuesta ofrece interesantes posibilidades a científicos interesados en la percepción uniforme de diferencias de color, artistas, etc, en base a la multiplicidad de secciones y planos obtenidos. *El sistema ofrece también las coordenadas de sus muestras en el diagrama CIE -64 (x_{10}, y_{10}) y no deja de hacer hincapié en que la separación de las mismas es al menos de 20 JND (mínima diferencia perceptible), a fin de prevenir a los investigadores interesados en lograr diagramas de representación de color de mayor uniformidad que los hasta ahora existentes [18].*

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. Corsweet,T. N. Visual Perception. Academic Press.London (1970) ; p.137.

2. Colin , M. K. Fundamentos Científicos de Oftalmología ; p. 236

3. Cohhen, J. Sensación y percepción Visual. Ed. Trillas, Mexico (1973); p. 57.

4. Ruskell, G. *Neurología de la percepción Visual* del libro Optometria . Editado por Keith, E. y LLewellyn, R. Ed.Masson- Salvat. Barcelona (1993); p. 7

5. Romero Mora , J. y Garcia fernández , M. T. Curvas de absorción espectral de Fotopigmentos visuales en conos. "Ver y Oir" **Nº 36** .Enero-Febrero (1982); p. 21

6. Kuffler, S. W. y Nicholls , J.G. De la neurona al cerebro.Ed. Reverté. Barcelona (1982); p. 28

7. Saraux H. -Lamasson C. Anatomía e Histologíaa del ojo. Ed. Masson. Barcelona (1985); p. 198

8, 9, y 10. Ruskell, G. Neurología de la percepción Visual del libro Optometria . Editado por Keith, E. y LLewellyn, R. Ed.Masson- Salvat. Barcelona (1993);pp.9, 10 y 11 respectivamente.

11. Kuffler, S. W. y Nicholls , J.G. De la neurona al cerebro.Ed. Reverté. Barcelona (1982); pp.35-56.

12, 13, 14 y 15. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); pp: 51, 55, 140-141, y 142 respectivamente.

16. García García, J. A. Tesis Doctoral: Determinación experimental de diferencias de color : Normalización colorimétrica y modelos de visión. Granada (1991);pp. 33-88.

17. Kowaliski, P. Vision et measure de la couleur. Ed. Masson . París 1978; p.42.

18. Hoog, M. The Nympheas of Claude Monet. Ed. RMM. París (1987); p.93

19. Obras Maestras Impresionistas y Neoimpresionistas. RMM. París (1987); p. 102.

20 y 22. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); pp.146 y 130 respectivamente.

21 y 23. Lozano, D. El color y su medición. Ed. AmericaLee (1978); pp. 479 y 480.

24. Romero, J. V. Optica Fisiológica.Dpto. de Optica. U. de Granada (1991); pp. 158-160.

25. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); p. 45-46.

26. Cohen, J. Sensación y percepción Visual. Ed. Trillas, Mexico (1973); pp. 45-46.

27. Garau, A. Las armonías del color. Ed. Paidos.Barcelona (1986); p.77.

28. Arheim ,R. Arte y percepción visual . Alianza Forma. Madrid (1979); p. 404.

29.Albers , J. La interación del color. Alianza Forma.Madrid (1979); p.81

30. Rainer Wick, Pedagogía de la Bauhaus.Alianza Forma . Madrid (1986); pp. 180-186.

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1.- Küppers, Harold ; El Color: origen, metodología y aplicación. Ed. Lectura, Barcelona (1973);p. 16.

2.-Küppers, H.; Fundamentos de la teoría de los colores.; Ed. GG; Madrid (1982); p. 69.

3.- Obras Maestras Impresionistas y Postimpresionistas. Museo de Orsay. (1987) París; p. 11.

4.- Di Grandis, Luigina. Teoría y uso del color. Ed. Cátedra. Madrid (1985); p. 27.

5.- Agoston , George A .Color theory and its Application in Art and Design. Ed.Springer- Verlag. New York (1987);p. 258.

6.- Di Grandis, Luigina; Teoría y uso del color. Ed. Cátedra. Madrid (1985);p. 24.

7.- Wick,Rainer; Pedagogía de la Bauhaus.Alianza Forma . Madrid (1986); p. 90.

8.- Wick, R. ;P. de la Bauhaus. pp. 226-228.

9.- Wick, R. ;P. de la Bauhaus. p. 230.

10 y 11.- Küpper , H. El Color. El Color: origen, metodología y aplicación. Ed. Lectura, Barcelona (1973); pp. 113 y 113.

12 Küppers, H. El color...pp. 103-106.

13 y 14.Küpper, H. Fundamentos de la teoría de los colores.pp. 39 - 46 , y 69.

15,16 y 17 Agoston, G. A. Color theory and its Application in Art and Design. Ed.Springer- Verlag. ; pp. 117, 132, y 133-138.

18. Gerstner, Karl. Las formas del Color. Ed. Hermann Blume. Madrid (1988); p. 58.

19. Jiménez del Barco, Luis, y Melgosa Latorre, Manuel. "Sistemas de Ordenación del Color ". Ver y Oir. **Nº 29**. (1987); pp. 17-23.

- CAPITULO IV -

ESTUDIO DE LA MEZCLA DE PINTURAS ACRILICAS DE FORMA CUBRIENTE Y HOMOGENEA

" El color sirve para expresar la luz - no la luz como fenómeno físico, sino solo la luz en su existencia real, la luz en la mente del artista. Cada color tiene su belleza particular que es importante preservar, al igual que el timbre de una nota en la música. En pintura el color sólo guarda su poder y elocuencia cuando se usa puro. Un azul y amarillo - su mezcla da verde - puede ser contrastado, puesto al lado, pero no mezclado, la mezcla le quita vitalidad." E. Matisse.

Colour since Matisse. French painting in the 20th century. Trefoil Books, London,(Festival internacional de Edimburgo 1985.pp. 72, 78 y 75.

1. BASES PRELIMINARES

En 1991 , el profesor D. Javier Romero Mora me planteó la posibilidad de realizar un trabajo para el Proyecto de Investigación " Modelos de reflectancia espectral y reconocimiento e identificación ", solicitado a la CICYT, del Ministerio de Educación y Ciencia.

Este proyecto estaba destinado a la simulación de Visión Artificial de Color y se necesitaba una base de datos de colores reales medidos por reflectancia espectral mediante un dispositivo llamado espectrofotómetro. Los trabajos de estas características, que se vienen realizando, miden colores de mezcla aditiva, al usar la pantalla del ordenador como paleta de color; es decir, se hacen a través de la simulación de sistemas de colores, y por lo tanto la aplicación prática - tecnológica de los resultados no sería la adecuada para la función que se pretende realizar.

Por lo tanto, el trabajo consistía en realizar sobre unos 2.500 muestras de colores diferentes con pinturas. Estas muestras debían cumplir las siguientes condiciones:

1º.- Tenían que tener un diámetro superior a una pulgada (aproximadamente 3,3 cm.).

2º.- Tenían que ser completamente uniformes y homogéneas, para que la luz reflejada por el color, fuera la misma en toda la superficie.

3º.- Tenían que ser duraderas, es decir, mantenerse en buenas condiciones cromáticas durante cinco años .

4º.- Que fueran mates.

FACULTAD DE BELLAS ARTES - BIBLIOTECA

5º.- Que hubiera una distribución por todo el espacio de color (distintas tonalidades, saturaciones y claridades).

Aunque el Departamento disponía de muestras reales de pintura, el Atlas Munssell del color, el inconveniente , es que : el Atlas solo contiene 1500 muestras y el tamaño es mucho menor del necesitado.

Por lo tanto, ya que iba a realizar gran cantidad de colores diferentes y con unas características específicas, el método para realizarlas podría permitir, a la vez, un estudio de los materiales utilizados, siguiendo los planteamientos siguientes:

1º.- Estudiar la mezcla de colores de forma cubriente y homogénea.

2º.- En vez de realizar una sóla muestra útil, podría realizar más .

3º.- Tendría que seguir un orden para ver: las zonas de color que se iban realizando, las gamas y matices de los colores mezclados, y el poder colorante de los colores mezclados.

4º.- Cada color realizado podría conseguirlo sólo de la mezcla de otros dos conocidos y así establecería una forma rápida y sencilla de obtener un color dado.

5º.- Podría identificar la procedencia de cada color con una notación y así el color estaría localizado para su posible reproducción .

6º.- ¿ Hasta que punto puede ser válida una medida en la que la textura o relieve no se dé ? . ¿ Y si se midieran colores iguales con distintas texturas ?. ¿ Cómo respondería el espectrofotómetro y cómo el ojo humano ?. Por lo tanto, ¿ se podría realizar un mismo color con distintas texturas ?.

2. METODOLOGIA

Teniendo en cuenta los planteamientos anteriormente expuestos y manteniendo las características primordiales, podría plantear la mezcla de color como un método aséptico en el campo artístico, llevando a cabo un método científico, y a la vez, un proceso de ejecución pictórica que fuese práctico.

Realizar un muestrario o atlas de color pero donde la disposición de los colores no estuviera ordenada según el tono, saturación y luminosidad, ya que hay, como hemos podido ver en el capítulo anterior muchos sistemas que permiten ver esta ordenación. Tampoco pretendo que se establezcan distancias iguales según distintos observadores para los diferentes colores de la gama. Pretendo que se pueda ver claramente, los diferentes colores que se pueden conseguir según los distintos matices tonales de los colores de partida. Que se pueda realizar un color y repetirlo de la forma más sencilla posible, una vez localizado en la gama. Que se pueda ver los límites y características de la mezcla de pigmentos.

En este sentido, no se podía hacer la mezcla pesando un pigmento en una balanza de precisión y mezclando cantidad por cantidad de color, por varias razones: el peso de los compuestos orgánicos o inorgánicos de cada pigmentos no tiene nada que ver con las posibilidades de mezcla , el poder cubriente y colorante de cada uno de los pigmentos mezclados intervendría modificando las cantidades e introduciendo otras variables distintas para cada mezcla; en muchos pigmentos no se sabe con exactitud

su composición y la proporción en que intervienen sus compuestos; y la labor sería tediosa e insoportable.

Por lo tanto, lo mejor y más rápido para llevar a cabo todos los planteamientos y para poder repetir en cualquier momento un color determinado, sería usar colores ya preparados para uso artístico y mezclarlos de forma que sólo obtuvieramos los colores mediante la mezcla de otros dos conocidos. De esta forma las cantidades aunque no esten medidas, si siguen una función lineal. También, se podría especificar con un símbolo de igualdad, el color obtenido al mezclar cantidades iguales. Las cantidades variarían conforme al volumen de color base que se utiliza en la mezcla para cada color. Una gama estaría formada por las distintas proporciones de estos dos colores. Cada color obtenido de una gama tendría las mismas iniciales pero distinto número, correspondiendo el número al orden que ocupa dentro de la sucesión.

A la vez que se aplica el color, llevaría un bloc de notas en el cual anotar: las características dignas de observar en cada una de las mezclas realizadas - posibilidad de aplicación de forma opaca o transparente, la viscosidad o fluidez, y la plasticidad del material - señalar los colores que se mezclan y los distintos colores obtenidos con un número en el orden secuencial de la realización.

Una vez comenzada una mezcla de dos colores se tendría que terminar la sucesión, de forma que los colores de base en ningun momento pudieran variar ni en la más mínima expresión.

La limpieza de los útiles sería un elemento indispensable para que no hubiera ninguna variación. En este sentido las mezclas se realizarían con

espátula y el pincel solo se utilizaría para aplicar el color y de una forma ordenada. Si en el transcurso del trabajo se realiza más de una gama, los pinceles utilizados en una de ellas no se utilizaría en otra ni limpiandolos (posibles restos de jabón u otro disolvente o del pigmento anterior).

Uno de los problemas en este sentido, sería ¿ cuántos colores tendría que tener cada gama ?, y ¿ cómo serían las diferencias o saltos dentro de una misma gama de un color al siguiente ?. La diferencia entre dos colores consecutivos de una gama , y entre estos y los siguientes, serían medidos por la percepción visual, es decir directamente por el ojo, y hay que contar con esta arbitrariedad, si bien no la considero fundamental ya que al ser este trabajo dedicado al campo artístico y para una observación directa por alguien con experiencia, puede darse cuenta de cómo se han mantenido las diferencias de colores.

Aunque he tratado, en el transcurso de la realización del trabajo, mantener las diferencias entre dos muestras consecutivas, las diferencias no han sido homogéneas en todas las muestras, ni en todas las gamas. Como ejemplo, podemos observar en la diapositiva número 11, dentro de la serie de colores complementarios : Azules - Naranjas, la gama formada por el Azul Ftalocianina y Rojo Cadmio Bermellón que consta de 33 muestras, mientras que la gama formada por Azul Ftalocianina y Naranja Cadmio consta de 22 muestras. Cualquier persona se da cuenta que las diferencias o pasos establecidos de una gama a la otra es muy diferente. Este es un caso de excepción y se puede ver que las demás gamas vienen establecidas casi por las mismas cantidades totales de muestras. Cantidades que, por otra parte, no están fijadas de antemano,

manteniendo las condiciones antes expuestas. Lo realmente importante es que, efectivamente, he realizado las muestras con la intención de que dentro de una misma gama, se den las circunstancias siguientes:

1º.- Se observe el color que se obtiene al mezclar un determinado color con una mínima cantidad o pizca de otro dado. Aunque no se han medido, pero a groso modo podríamos indicar que la proporción sería tomar diez espátulas llenas del primer color y añadirle tan sólo la mínima cantidad que podamos tomar con la misma espátula y que sea visible. Esto nos permite ver la influencia que tienen entre sí dos colores dados .

2º.- Se observe cuál es el color que se obtiene al mezclar las mismas cantidades de los dos colores. Esta señal en las muestras queda expresado por el símbolo de igualdad, ya que también se actúa de la misma forma; es decir, se toma una espátula llena de un color y la misma espátula llena del otro color, y se mezclan. Este valor aislado no es muy importante, pero dentro de la gama , observando el tono que se obtiene y el número que ocupa dentro de la sucesión, si nos indica el poder colorante de cada uno de los pigmentos mezclados.

3º.- Se den pasos similares dentro de la misma gama. Esto nos permitiría ver dentro de cada grupo de combinaciones cuantos colores obtengo, el rango o extensión de la gama; siendo esta característica importante para ver las posibles distancias percibidas de un color a otro sobre una base de mezcla real y no solamente teórica.

3. MATERIALES Y CARACTERISTICAS TECNICAS

3.1. PINTURAS : ACRILICAS

El mayor problema para la realización del trabajo consistía en conseguir muestra de todas las gamas, de forma que la superficie fuera totalmente homogénea y cubriente.

Usar técnicas de aplicación del color por transparencia, por tanto, estaba deshechado de antemano. ¿Que técnica pictórica me proporcionaba colores que fueran cubrientes en todo su muestrario ?. En un primer momento utilicé el óleo, ya que permite usarlo como veladura y de forma cubriente, teniendo una amplia gama de colores, y la huella del pincel puede hacerse invisible. Sin embargo, tiene muchos inconvenientes como: seca lentamente y es difícil conseguir mantener el color limpio del polvo, se tiene que usar esencia de trementina, que no es idóneo para trabajar en ambientes cerrados; muchos colores son muy transparentes y se necesitan varias capas, para conseguir realizar la técnica de forma cubriente y homogénea, con el problema de tener que repetir el mismo color de la mezcla lo cual para este tipo de trabajo es muy difícil. Sin embargo, tiene la gran ventaja de que los colores al óleo no cambian cuando se secan.

La pintura acrílica es la idónea pues cumple las características siguientes :

1º.- Seca rápidamente (de cinco a diéz minutos) con lo cual si un color resulta poco cubriente se puede aplicar otra capa de pintura antes de que se seque la mezcla, no cambiando las características de coloración.

2º.- Se diluye y limpian los pinceles con agua, por lo tanto, no se necesitan lugares especialmente ventilados para realizar el trabajo.

3º.- La superficie puede ser mate.

4º.- Las pinturas acrílicas cuya etiqueta especifica para *Bellas Artes,* aseguran sus características idóneas de utilización y cuyas normas viene indicadas por el " Paint Standard CS98-62 " o Criterio Comercial, publicado por el Departamento de Comercio de los Estados Unidos, cuyas normas se refieren a especificaciones, etiquetado y garantías de las pinturas.(Para más información sobre las normas del Paint Standard CS98-62, recomiendo la lectura del libro de Ralphl Mayer titulado Materiales y Técnicas del Arte, pp: 610-624).

5º.- Los colores acrílicos constan de un pigmento dispersado en una emulsión de resinas sintéticas(polímeros) y cuyos pigmentos son iguales que los empleados en óleo , excepto que el único blanco es el Blanco de Titanio. Hay algunos pigmentos que no existen en el medio acrílico y por lo tanto no figuran sus nombres como tales. Una vez seca la pintura, es fuerte y flexible e impenetrable al agua, y los colores presentan un aspecto más vivo que los óleos.

Una de las desventajas de la pintura acrílica es que la pintura que no se utiliza para las mezclas, una vez extraida del bote o recipiente, hay que tirarla - no se puede utilizar por su rápido secado - o bien guardarla en recipientes bien cerrados y con poco aire en el interior. Esto supone un

problema de recipientes o un problema de residuos de sustancias que algunas pueden ser tóxicas. ¿ dónde tirar los restos: a la basura orgánica, a la papelera o por el sumidero durante la limpieza de los materiales ?. No deja de ser un problema, sobre todo cuando se emplea de forma abundante. Mi opción ha sido guardar los restos en botes de cristal y sólo tirar por el sumidero el agua de limpiar los pinceles y de la paleta.

Otra de las desventajas es que el color puede cambia de húmedo a seco, aunque por la rápidez de secado, esta característica no es decisoria.

Hay muchas marcas de productos acrílicos para artistas pero por indicaciones del trabajo y las posibles implicaciones y estudio técnico escogí las pinturas acrílicas españolas, Acrílicos Vallejo.

Esta marca trabaja en distintos formatos y calidades: tubos y tarros de distintos tamaños. Los colores básicos que emplea en cada tipo de recipiente es diferente. La gama más amplia de 52 colores, se presenta para tubos de pequeño contenido (los cuales salen más caros que un tamaño grande) y para tarros de 250 cc. Tiene otro tipo de envase, de tamaño medio (contenido 220 cc), llamado " Acrílico Studio ", que presenta poca variedad de colores, 16 colores en total, pero la forma de su boquilla permite controlar la cantidad de materia a utilizar con más facilidad. De este tipo he utilizado el Amarillo de Cadmio, el Violeta de Dioxacina y Negro Oxido de Hierro.

El envase utilizado para la mayoría de los colores básicos ha sido el que tiene un contenido de 250 cc y presenta una buena variedad de colores, un total de 52 y presentan la mejor calidad dentro de la marca. En la carta o muestrario se especifican los siguientes datos:

Vallejo Acrylic Artist Color se fabrica con los mejores pigmentos para Bellas Artes. En la gama de 52 colores se encuentran tanto los cadmios como los cobaltos utilizados durante más de cien años como los más nuevos pigmentos orgánicos de la industria qímica moderna , todos escogidos por su belleza y permanencia. La suspensión en resina acrílica de 100% pureza, especialmente formulada para Bellas Artes, garantiza un producto de calidad excepcional.

Se fabrica en pequeñas series, con un control constante de la calidad de la materia prima, y reajustes de la formulación para obtener siempre la misma fidelidad a las características del pigmento, sean tierras, óxidos, lacas, cadmios o quinacridonas y ftalocianinas.

El alto contenido de pigmento resulta en un acabado semimate y un gran poder colorante. La pintura seca flexible, completamente resistente a la luz, al agua y a cambios atmosféricos; no amarillea y siempre guarda su intensidad y lustre inicial...Los pigmentos difieren en opacidad y brillo. Presentación : Tubos de 24 y 58 ml. Tarros de 250 y 500 ml.

Aunque se pidieron referencias, a la Casa Vallejo, sobre los pigmentos o polímeros utilizados y si el origen del pigmento era orgánico, inorgánico o sintético; la respuesta de la casa fue muy breve y especificaba, tan sólo, lo mismo que la etiqueta del producto.

Debido a que no conocemos el vehículo que aglutina el pigmento de los colores utilizados podemos suponer que se trata de " colores polímeros " que también se denominan como "acrílicos " o "pinturas plásticas ".

Según Ralph Meyer: *Las resinas sintéticas se han utilizado a partir de 1930, para producir la gran mayoría de las pinturas industriales, domesticas y arquitectónicas, así como barnices y esmaltes; se trata de productos orgánicos muy complejos y de composición muy variada. Uno de estos grupos de las resinas sintéticas, el metil- metacrilato, es soluble en esencias minerales y de trementina, que se emplea en los barnices y colores acrílicos, siendo soluble en toluol.*

Otro producto de resinas sintéticas se hace polimerizando el monómero acrílico por emulsión, con lo que se dispersa la resina en minúsculas gotitas suspendidas en agua. Este constituye un fluido lechoso que se utiliza como base para dispersar los pigmentos en la emulsión acrílica. Estas pinturas se diluyen con agua y tiene una buena fluidez, pero una vez secos, las partículas de resina se unen formando una película fuerte y flexible, impenetrable al agua. Pueden tener un acabado mate, semimate o brillante. Los polímeros son los únicos materiales sintéticos con la suficiente flexibilidad como para emplearlas en superficie de cierta movilidad, como el lienzo. Sin embargo, el manejo delicado, los tonos fundidos o graduales, y las propiedades de controlar el juego de transparencias y opacidades, son propiedades exclusivas del óleo [1].

Mi experiencia con la pintura acrílica - Marca Rembrandt, Talens y Titan - concuerda con estas características, siendo idónea utilizarla para apuntes rápidos de modelos del natural en un estudio. Permite un trabajo rápido, permite aguada, distintos niveles de transparencia y de opacidad o empaste, tiene buena fluidez para manipularla con pinceles finos o con espátula, permite una buena mezcla de colores, pero hay que aprender a utilizarla pues no permite los fundidos graduales del óleo, por su rápido secado las pinceladas quedan marcadas en lugar de fluir y fundirse. La

práctica pictórica del manejo del material es necesario para ver las posibilidades expresivas. En resumen he utilizado esta marca de pinturas acrílicas por ser de fabricación nacional.

A. PIGMENTOS

Un pigmento es una sustancia coloreada y finamente repartida que confiere su color a otro material, bien cuando se mezcla intimamente con él, bien cuando se aplica a su superficie en una capa fina. Cuando un pigmento se muele y se mezcla con un vehículo líquido para formar una pintura, no se disuelve sino que queda disperso suspendido en el líquido. Los sustancias coloreadas que se disuelven en líquidos e imparten su color a los materiales al ser absorbidos se llaman tintes o colorantes.

Los pigmentos "inertes" son materiales en polvo que quedan incoloros o casi incoloros en las pinturas que se utilizan como materiales de relleno o para conseguir ciertas características: reforzamiento de la película, dureza, suavidad, volumen, diente o aspereza. No son adulterantes y es un término técnico que no tiene que ver con la estabilidad o inercia química.

El uso de los pigmentos inertes puede mejorar la calidad de la pintura, en este sentido, *el azul ftalocianina tiene un poder colorante enorme en comparación con el de los demás pigmentos de la paleta, por lo tanto, la adición de hidrato de alúmina o de blanco fijo (piedra pomez) hace más manejable la pintura. El hidrato de alúmina es el material mejor y más utilizado para extender*

pigmentos transparentes, y el blanco fijo es el mejor para los opacos y pesados [2].

Los pigmentos suelen ser los mismos para todos los tipos de pinturas salvo algunas excepciones.

Los requisitos que un pigmento para pintura debe tener son:

1.- Insoluble en el medio en el que se usa.

2.- Debe ser un polvo fino y suave , es decir, estar bien molido y ser homogéneo.

3.- Debe ser resistente a la luz solar sin cambiar de color dentro de los límites establecidos.

4.- No debe ejercer una acción química nociva sobre el medio ni sobre otros pigmentos con los que se vaya a mezclar.

5.- Debe ser químicamente inerte.

6.- Tiene que tener el grado adecuado de opacidad o transparencia para cumplir el propósito deseado.

7.- Debe tener toda su fuerza sin contener ingredientes añadidos.

8.- Debe cumplir los criterios aceptados de color y calidad correspondientes al tipo que corresponda.

Los pigmentos se pueden clasificar atendiendo a su origen en dos grupos:

A.- Inorgánicos (minerales), como :

1.- Tierras naturales: ocre, sombra natural, etc.

2.- Tierras naturales calcinadas: sombra tostada, siena tostada, etc.

3.- Colores minerales de preparación artificial: óxido de zinc, colores de cadmio: amarillo, naranja, rojo, y verde (este verde también llamado verde permanente).

B.- Orgánicos como:

1.- Vegetales: índigo, rubía, etc.

2.- Animales : cochinilla, amarillo indio, etc.

3.- Sintéticos : azul y verde ftalocianina, carmesí de alizarina, amarillo hansa, rojo quinacridona.

Los colores básicos para el trabajo han sido los expuestos en la tabla (IV.1) de la página siguiente, que viene representada con las siguientes columnas :

- "Nombre" que corresponde al nombre del pigmento indicado en el recipiente.

- "Nº ", el número que corresponde al código establecido por el fabricante, en la etiqueta del recipiente.

- " O / I " , orgánico , inorgánico y natural (N).

- " Código " que corresponde a la notación que he establecido como abreviatura para designar el color utilizado.

- " O / T " corresponde a las características de opacidad (●) o transparencia (0), semiopaco (◐) y semitransparente (◑) indicadas en el producto.

- " RL " significa la resistencia a la luz, estando la máxima o muy buena indicada con(***), la buena(**), y media con (*).

- Los colores que llevan una comilla significa que están en proceso de estudio por la cas Vallejo.

Estos colores se pueden observar en la Lámina 41 y en la diapositiva número 1.

Tabla IV. 1. Colores Básicos.

Nombre	Nº	O/I	Código	O/T	RL
Blanco Titanio Anastase	314	I	B_{TA}	●	***
Blanco Titanio	303	I	B_{T}	●	***
Negro Oxido de Hierro	12	I	Ne_{OH}	●	***
Negro Carbón	301	O	Ne_{C}	◒	***
Amarillo Cadmio Limón	501	I	A_{CL}	◒	**
Amarillo Cadmio	1	O"	A_{C}	◑	**
Amarillo Hansa	401	O	A_{H}	O	**
Amarillo Primorosa de Cadmio	515	I	A_{P}	◒	**
Cadmio Amarillo Intenso	502	I	A_{CI}	◒	***
Cadmio Naranja	503	I	N_{C}	●	***
Naranja de Cadmio	15	I	N_{CM}	◑	
Amarillo Anaranjado	13	O"	A_{N}	◑	
Cadmio Rojo Medio	605	I	R_{CM}	●	***
Rojo Cadmio Bermellón	504	I	R_{CB}	●	***
Rojo Carmín Permanente	402	O"	R_{CP}	O	**
Rojo Violeta Quinacridona	606	O	R_{VQ}	O	***

Tabla IV. 1. Colores Básicos.

Nombre	Nº	O/I	Código	O/T	RL
Violeta Ultramar	413	I	V_U	◓	***
Violeta de Cobalto	602	I	V_C	◓	***
Violeta de Dioxacina	14	O"	V_D	◓	
Azul Ftalocianina	5	O"	Az_F	O	**
Azul de Prusia	405	I	Az_P	O	**
Azul Ultramar	406	I	Az_U	◓	**
Azul Cobalto	608	I	Az_C	◓	***
Azul Cobalto Intenso	603	I	Az_{CI}	◓	***
Azul Cobalto Cerúleo	614	I	Az_{CC}	●	***
Azul Manganeso	14	I	Az_M	◓	**
Verde Ftalocianina	407	O	V_{dF}	O	**
Verde Viridian	611	I	V_{dV}	O	***
Verde Permanente	409	O	V_{dP}	◓	**
Amarillo Titanio Claro	505	I	A_{TC}	●	***
Amarillo Oxido de Hierro	304	I	A_{OH}	◓	***
Sombra	308	N	S	●	***

De todos los pigmentos expuestos hay algunos que no han llegado a formarse mezclas con ellos, por características que expondremos posteriormente, como : Azul Cobalto Cerúleo, Azul Manganeso, Verde Viridian, Amarillo Oxido de Hierro y Sombra.

Otros sólo se han utilizado para realizar alguna serie como: Amarillo de Cadmio, Cadmio Amarillo Intenso, Amarillo Anaranjado, Violeta de Cobalto, Azul de Prusia y Azul Cobalto.

3.2. SOPORTE: PAPEL

He escogido el papel como soporte para la pintura por la necesidad posterior de recortar las muestras . Un papel con una buena resistencia, de cierto grosor para que resista las tensiones y peso del material pictórico, y de buena absorción, puede permitir, no sólo una buena superficie de sustentación, sino que con una buena limpieza, y preservación de la humedad (su peor enemigo) puede conservar la obra original en muy buen estado durante mucho tiempo. Se considera, para materiales pictóricos, como poco tiempo si la obra no se conserva en perfectas condiciones más de treinta años. En este sentido no se recomienda la pintura al óleo sobre papel, pués se producen enmohecimientos y desprendimientos.

Las primeras muestras se realizaron sobre distintos papeles, como: Guarro Satinado (Geler) , Guarro Normal , Cartón de Proyectos Satinado, Cansson Acuarela, papeles de Acuarela de distinta textura(fina, media y gruesa) y Papel Marca Schut muy rugoso.

Debido a la respuesta del papel ante la absorción del pigmento, el agua, y el fixo (para enmascarar la zona destinada a la nomenclatura), se han elegido como idóneos dos tipos de papel, en los que se han realizado todas las muestras. Uno de textura rugosa, el papel de acuarela grano medio, y el papel Geler normal, que es de téxtura lisa.

Las dimensiones del papel son de 100 x 70 cm. Puesto que las dimensiones de las muestras tienen un tamaño de 4 x 6 cm, al realizar seis ejemplares con el mismo color, el espacio reservado para cada color, es de

24 x 6 cm, como podemos observar en la fotografía de la lámina **42** . Cada papel contiene un máximo de 22 colores distintos.

Esta fotografía corresponde a la mezclan de un verde permanente con un rojo violeta quinacridona claros, su nomenclatura es "(RVQ BT 10)" y "(VdP BT 15)" . El número de este formato es el 145, de un total de 147. Todos los formatos van numerados para poder localizar los colores y mezclas correspondientes a las notas establecidas en el bloc.

3.3 PINCELES

Una de las características de los pinceles es el tipo de pelo o cerda que presentan, distinguiendose las siguientes características : pelo flexible o duro, forma del corte o terminación (redonda, plana - cuadrada, o lengua de gato), largo del pelo (corto, medio, largo, extralargo), origen del pelo (sintético, natural de animales). Estas características son en líneas generales, pues hay otras características como la capacidad de absorber materia y dejarla paulatinamente, como sucede con los pinceles para uso de técnicas aguadas - la acuarela-, donde la forma es muy voluminosa por la abundancia de pelo y termina en unos pocos pelos que son los que permiten dejar la pintura de una forma lineal como si de una pluma se tratara.

Para un trabajo con pinturas acrílicas sobre papel, donde se pretende que la textura del pelo del pincel quede lo menos señalada posible - incluso invisible - es necesario usar pinceles cuya cerda sea flexible, y fina; por lo tanto los pinceles de pelo de cerda o duros no son aptos para este trabajo, dado que su pelo es recio y demasiado resistente a la presión con lo cual dejan su rastro sobre la superficie. Por tanto, los pinceles utilizados han sido de pelo flexible.

Todos los pinceles usados han sido del tipo planos y cuadrados, excepto uno que ha sido de lengua de gato.

Podemos observar en la diapositiva número 2, las características de los distintos materiales utilizados: los pinceles, la paleta y las espátulas para mezclar los colores.

Este último,el de lengua de gato, es de la marca: "Da Vinci", el pelo es acrílico, del número 14, la cantidad del pelo abundante y textura al tacto muy flexible.

Los planos y cuadrados tienen las características siguientes:

-La marca Pictore: el pelo es de Marta tropical, el nº 10, y nº 16, el color del pincel es gris con mechas ocres claras y marrón oscuras, la textura al tacto es fina y flexible, densidad de la cerda media, el ancho por largo de la cerda es de 10 x 13 mm, y de 16 x18 mm respetivamente. (Precio del pincel en 1992 es de 320 pts).

- La marca Raphael, es de pelo de Mangosta, el nº 12 , color de pelo marrón matizado en el extremo de caoba, textura fina y flexible y mucha densidad de pelo, con ancho por largo de pelo de 13 x 13 mm . (Precio de 990 pts).

-La marca Setter, de pelo de meloncillo, nº12, color formado por mechas en ocres claros y siena tostado, textura fina y cerda larga y densa, de 12 x 17 mm. (Precio 665 pts).

-La marca Talens de pelo Acrílico ,nº 12, color ocre anaranjado, textura fina, de densidad de pelo media, de ancho por largo de 12 x 14 mm.

La marca Cotman Winsor es de pelo acrílico, nº12, color ocre-anaranjado, densidad media, pelo flexible de 13 x 18 mm de ancho por largo de cerda. (Precio 775 pts). Es el único de mango corto.

La marca Raphael - Kaerel , del nº 12 es de pelo acrílico, color de pelo ocre-anaranjado, densidad media y pelo flexible, de 12 x 18 mm . (Precio 665pts).

La marca Da Vinchi cuadrado, del nº10 de pelo sintetico, color ocre amarillo muy denso el pelo y flexible , de 8 x 12 mm de ancho por largo de cerda .

A . CONCLUSIONES SOBRE EL USO DE LOS PINCELES

La terminación más adecuada es la cuadrada, sirviendo la terminación en lengua de gato. La diferencia en el precio de estos dos tipos de pincel, es bastante elocuente, y las caraterísticas de este trabajo no necesitaban esos pormenores. Es más, el pincel de lengua de gato, dejaba más señales al levantarlo de papel y volver a el que los cuadrados. Además la dirección de la pincelada iba a ser constante y no se iba a fundir. Por todo ello, se han usado los pinceles planos de terminación cuadrada. El empleo de éstos, se debe a la pretensión de cubrir las zonas de forma uniforme, abarcando a la vez la mayor superficie posible y, aplicada siempre en la misma dirección.

Los pinceles con mayor densidad de pelo, como el de mangosta, absorbe mucha materia y al tener el pelo más corto se acumula la pintura en el pincel, desperdiciando mucha pintura; aunque, por otra parte, la densidad de su pelo posibilita ejercer bastante presión sobre el papel, con lo cual en los colores o pigmentos poco homogéneos, permite cubrir mejor la superficie, repartiendo la capa de pigmento por igual.

El pincel de meloncillo, por su finura y largo de pelo no permite ejercer mucha presión, dando mejores resultados para usarlo con una materia más diluida, como aguada o acuarela.

Los que mejor resultado han dado son pinceles de pelo acrílicos o sintéticos. Entre todos ellos, el Windsor, se abre en las puntas por su menor densidad y largo de pelo lo cual le ha hecho idóneo para el trabajo a realizar.

3.4 GROSOR DE LAS CAPAS DE LAS MUESTRAS

El grosor de la capa de pintura es una variable a tener en cuenta y conviene dejarla de alguna manera fija. Por eso se ha aplicado la pintura sin diluir, mezclando los colores de forma directa con la fluidez que nos permite la pasta del pigmento. En este sentido, todos los colores empleados tenían las mismas características y una fluidez idónea. Sólo para las aplicaciones sobre el papel acuarela en la primera capa se ha necesitado humadecer el pincel, ya cargado de materia, en el agua para que la absorción de pintura fuera menor. Se puede decir que este trabajo ha sido realizado con sólo dos capas de pintura o dos manos.

Los colores que han necesitado cuatro manos se han considerado como transparentes. Los colores que no se han conseguido producir de forma homogénea con cuatro capas o más, se han deshechado para su utilización. Por ejemplo, en la diapositiva número 5, que corresponde a las mezclas de colores con blanco y negro, podemos observar que el color Naranja Cadmio Medio y Amarillo Anaranjado con Negro no están representados, esto se debe a que se han deshechado las mezclas procedentes de estos pigmentos por ser imposible su homogeneidad con las características ya establecidas.

Las siguientes gráficas (IV.1 A, B, C, D, E) corresponden a las microfotografías obtenidas de realizar un corte estratigráfico a una muestra preparada, de pintura, y estableciendo las distintas capas empleadas. Estas fotografías realizadas con la microscopía electrónica necesitan, para poder conseguir las imágenes, colores que no fueran

orgánicos por lo tanto se emplearon las pinturas que su nombre indicaba que la composición era de sustancias minerales .

La primera fotografía, gráfica (IV.1 A), está aumentada 314 unidades. De esta imagen sobresale la composición del papel geler y una pequeña banda más clara de grosor variable entre: 9, 3, y 7.5 micras, que corresponde a la primera capa del pigmento aplicada sobre el papel y formada por una mezcla de Blanco Titan Anastase y un poco de Negro Oxido de Hierro.

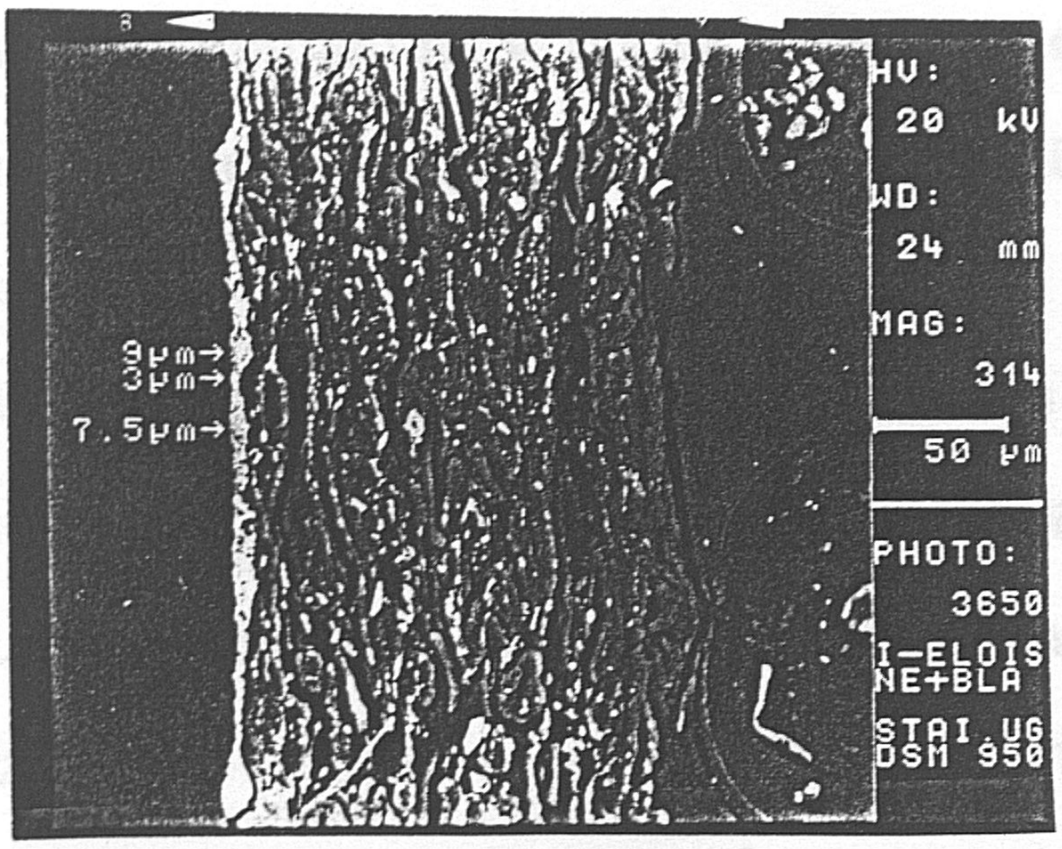
La segunda fotografía, gráfica (IV.1B) está aumentada 1000 unidades y nos presenta las dos capas, la anterior más delgada y la otra que es un Ocre Amarillo Oxido de Hierro y cuyo grosor va de : 6.5, 12.5 a 14 micras.

La tercera imagen, gráfica (IV.1.C) corresponde a las tres primeras capas y tiene el mismo aumento que la anterior, 1000 unidades, por eso se puede apreciar la distinta densidad de cada una de estas capas. Esta penúltima capa, ésta pintada con Blanco Titan Anastase midiendo de 25 a 32 micras de grosor y en la cual se pueden apreciar pequeñas partículas de Titanio.

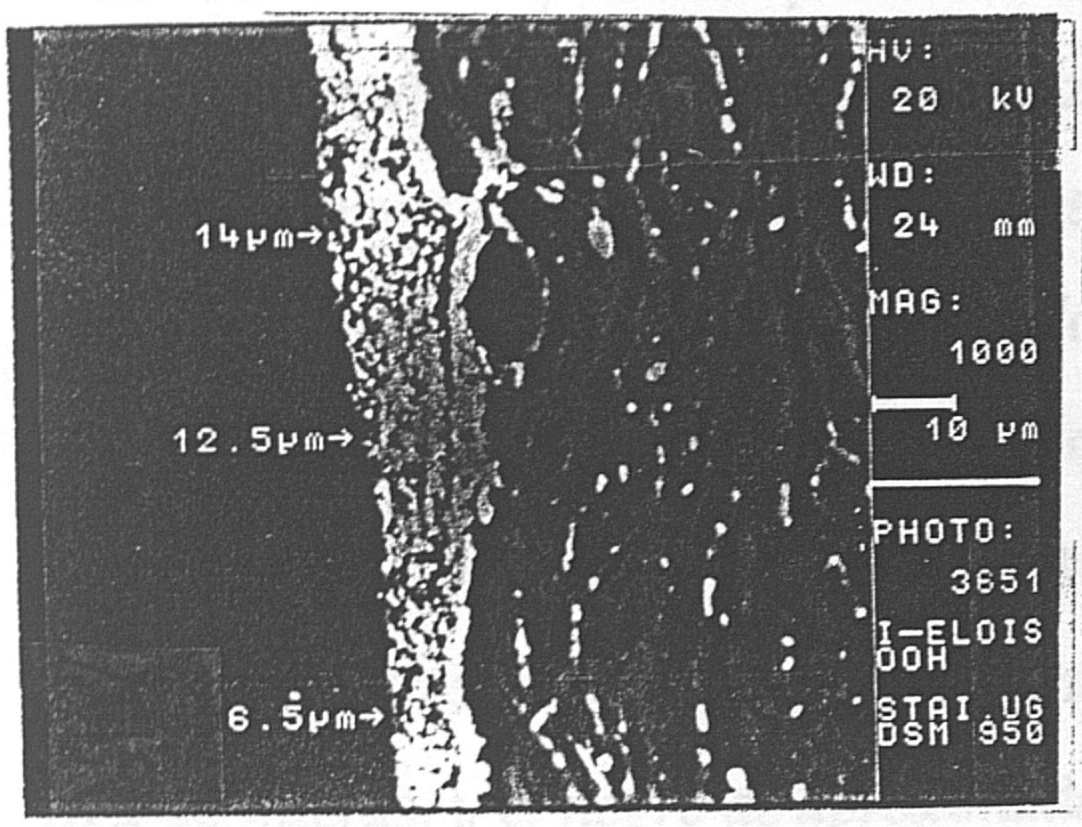
Las dos últimas fotografías, gráfica (IV.1.D y E) corresponden a la muestra con cuatro capas de pintura, que se han dividido en dos vistas horizontalmente, para apreciar: en una, el componente de Hierro que se encuentra en la segunda y cuarta capa, en el negro y ocre amarillo Oxido de Hierro; en la segunda, se busca detectar el Titanio, que se encuentra en la primera y tercera capa. Ambas están realizadas con 500 aumentos, con lo cual el grosor correspondiente a cada capa se puede comparar con el de las demás.

Gráfica IV.1.Microfotografías del espesor de las capas de pintura.

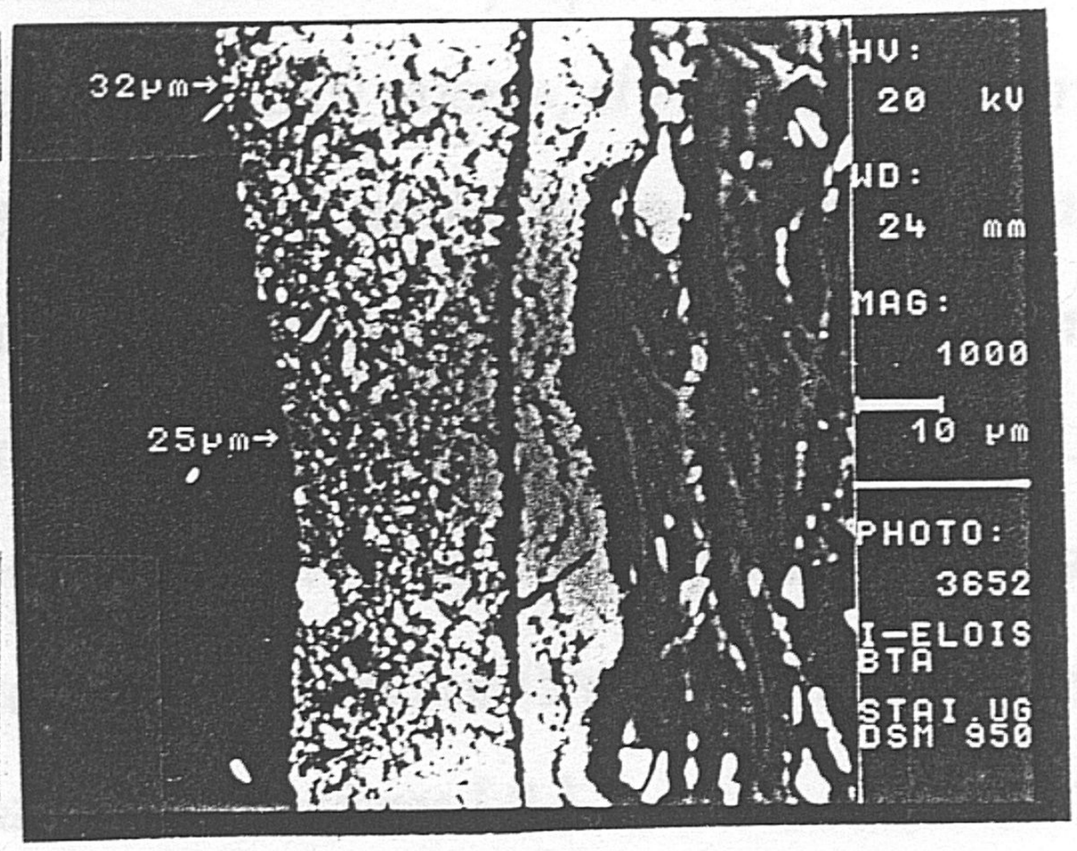
A



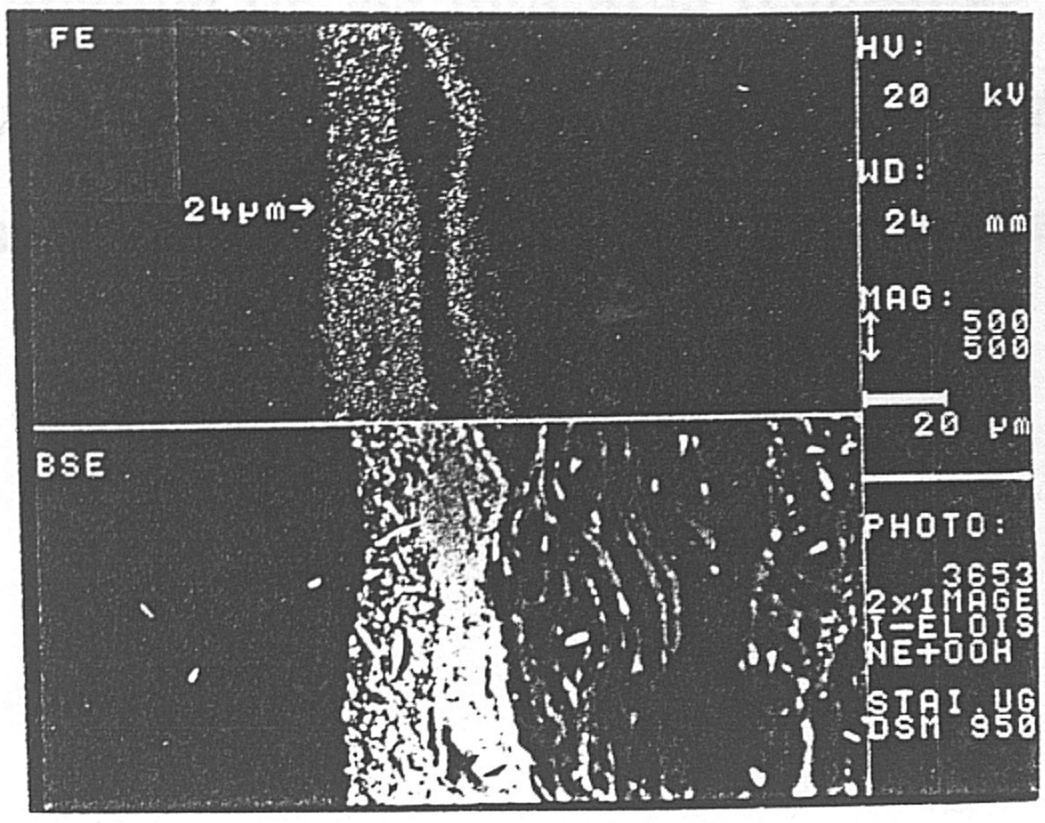
B



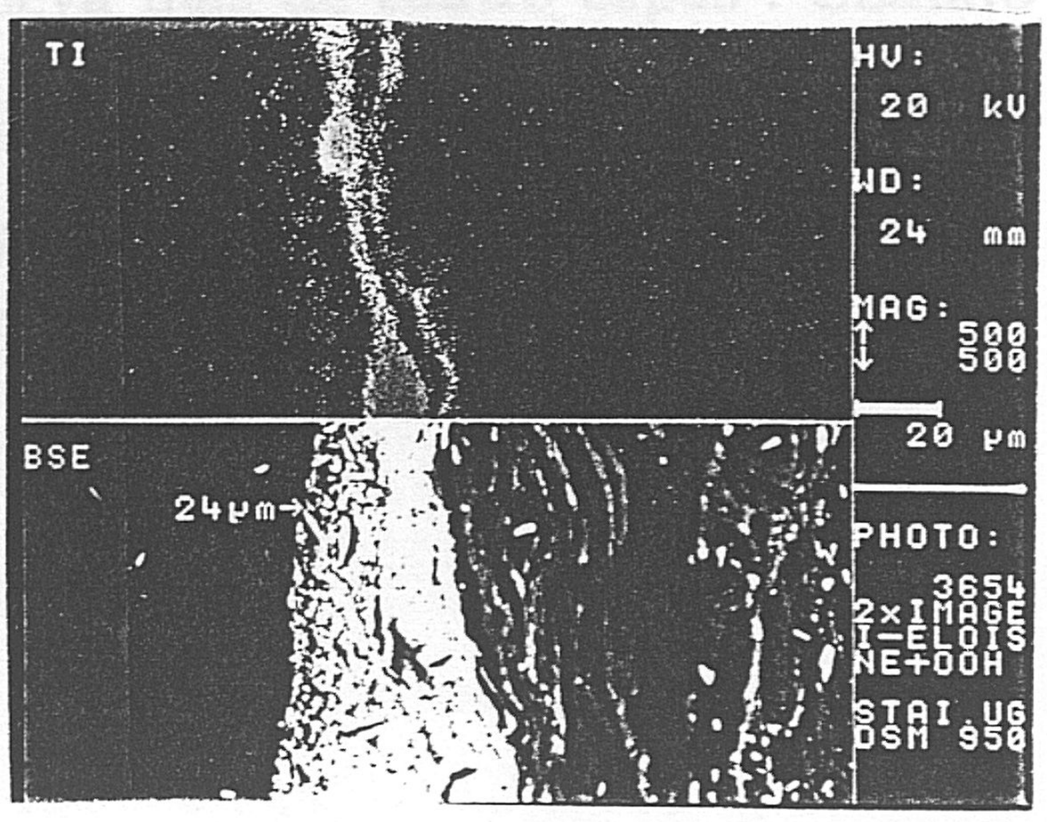
C



D



E



Estos resultados estan de acuerdo con la experiencia práctica, en la cual, se aprecia una gran densidad y poder cubriente de los pigmentos Blanco Titan y Ocre amarillo, sin embargo el negro resulta poco cubriente, es decir transparente.

Si comparamos la medida del grosor con las de otras capas de pintura en otras obras, por ejemplo, las pinturas negras de Goya, vemos que hay una proporcionalidad y semejanza. Cuando las pinturas murales fueron restauradas y enteladas se pudieron realizar análisis más específicos de estas obras . *Las pinturas fueron realizadas sobre una preparación de sulfato calcico sobre un muro, cuyo espesor máximo es de 320 micras, si bien este espasor no es uniforme. Los análisis sobre los pigmentos utilizados por Goya, en la ejecución de éstas pinturas, han llevado a determinar que el blanco usado, bien sólo, bien como base para la mezcla de los otros pigmentos, es el blanco de plomo. El negro de fondo es el negro carbón de madera. La estratigrafía de láminas delgadas de estas pinturas negras nos indican que el blanco tiene un espesor entre 10 a 40 micras, y el negro de aproximadamente 10 micras* [3].

Podemos concluir que todas las capas de pintura llevan dos capas y que ninguna de las muestras realizadas lleva más de cuatro capas . Cuando una mezcla de color no resulta opaca y homogénea con solo cuatro capas se prescinde de esta pintura para su uso como materia cubriente y opaca.

3.5. NOMENCLATURA O CODIGO

Cada muestra de color tiene una zona sin pintar y contiene dos etiquetas de identificación :

1ª.- Una de las etiquetas es sólo númerica para controlar la cantidad de colores que se han realizado, y lleva un texto, para caracterizar a uno de los cinco grupos tonales establecidos: Amarillo (A) , Rojo (R) , Azul (Az) , Verde (V) y Púrpura (P); y un número . Así, por ejemplo : A 200, corresponde al amarillo que hace el número 200. Se situa en la parte inferior y va a lápiz.

2. - Identificación escrita en negro, centrada y realmente significativa de la procedencia del color. Presenta las iniciales de los dos colores mezclados según el código establecido para cada pigmento de los colores básicos a emplear; y un número que acompaña al segundo color mezclado y que indica el lugar que ocupa, dentro de la sucesión de las distintas cantidades de los dos colores que constituyen la mezcla. Así, obtenemos colores que pueden obtenerse de: dos colores directos del tubo, de tres colores (uno de ellos a su vez proviene de otros dos), o de cuatro colores.

Ejemplo:

El primer caso:

$$Az_F\ B_T\ 10$$

Se trata de la mezcla de Azul Ftalocianina con Blanco Titán, y corresponde al número 10 de la sucesión de la mezcla de estos dos colores, donde se parte del azul y se va añadiendo blanco hasta conseguir la total candidad de blanco con una pizca de azul, el cual sería el último

color y correspondería al número 35, como se puede observar en la sucesión de las mezclas de colores con blanco.

El segundo caso estaría formado por: dos colores ya mezclados, y sistematizados, y la mezcla de este color con otro dado:

$$(V_U \; B_T 10) A_{CL} 9$$

Primero se ha establecido el color de la mezcla de Violeta Ultramar con el Blanco Titán y se ha tomado el que corresponde al número 10, para mezclar este tono con el Amarillo Cadmio Limón. Por lo tanto si observamos la gama vemos que corresponde al color número 9 , de una gama que tiene 20 gradaciones .

El tercer caso está formado por cuatro colores mezclados dos a dos, como por ejemplo:

$$(V_U \; B_T 19) (A_{CL} \; B_T 4) 7$$

Se trata del color que corresponde al numero 19 en la sucesión del Violeta Ultramar con el Blanco Titán , mezclado con el color que corresponde al número 4 de la sucesión de Amarillo Cadmio Limón mezclado con Blanco Titán. Por tener este color el número 7 , ocupa el séptimo lugar de la mezcla de estos colores que tiene un total de 13 gradaciones.

A veces, por no existir la serie o no haber realizado la serie, un color de los mezclados puede venir indicado mediante una fracción, como el " 3 $V_{D/}$ 2 R $_{VQ}$ ", que indica las cantidades proporcionales que se han tomado de los dos colores para formar el nuevo color que se va a mezclar. También puede venir indicado como: $A_H = B_T$, que corresponde a igual cantidad de los dos colores: Amarillo Hansa y Blanco Titán .

El problema para obtener toda la información posible de un color, es localizarlo en la serie a la que pertenece; para lo cual se han agrupado los colores de forma que se encuentren dentro de la serie organizados topográficamente. Así, por ejemplo, el color cuya notación viene dada por "(R_{CM} A_{CL} 6)" sabemos que viene de la mezcla del rojo Cadmio Medio y del amarillo Cadmio Limón, pero observado dentro de su serie podemos ver: el lugar que ocupa, es decir si tiene mucha cantidad de rojo o poca, el tono que tiene, si es más rojizo, anaranjado o amarillento, y la saturación que produce la mezcla de estos dos colores en comparación con otro distinto, tanto amarillo como rojo.

Podríamos haber introducido un número como subíndice o una fracción para especificar el número total de la serie en la que se encuentra el color dado, pero al no ser los cambios totalmente homogéneos y graduales, a pesar de intentarlo, es más significativa la organización topográfica.

3.6. CARACTERISTICAS DEL ESPECTROFOTOMETRO

Con el Espectrofotómetro UltraScan de HunterLab controlado mediante un ordenador (PC) y a través de software específico (SPECWARE V2.O) , se han llevado a cabo las medidas de la reflectancia espectral superficial de las muestras de pintura realizadas; sólo se ha tenido en cuenta la componente difusa de la reflectancia, descartando la componente especular.

Las características, condiciones y geometría de las medidas realizadas han sido las siguientes:

1.- El tamaño medido de la muestra: de 25 mm. de diámetro.

2.- Geometría de iluminación : Iluminación difusa obtenida mediante una esfera integradora de 152 mm de diámetro recubierta de Halón. La fuente de iluminación es una lámpara halógena que simula al iluminante D 65, filtrado para eliminar la componente infrarroja.

3.- Geometría de observación : Es de ocho grados a partir de la normal a la muestra.

4.- Sistema sensor: Red Holográfica cóncava, array calibrado de 76 fotodiodos de Silicio y convertidor Analógico/ Digital de 16 bits.

5.- Rango de medida: De 375 a 750 nm.

6.- Paso de muestreo: De 5 nm.

7.- Precisión del muestreo: De o,5 nm en las longitudes de onda comprendidas entre los 435 y 635 nm.

8.- Las magnitudes colorimétricas se han obtenido vía software.

Si medimos una de las muestras realizadas podemos obtener una serie de datos como los que a continuación se indican expresados a través de los folios siguientes obtenidos mediante un ordenador, como ya hemos indicado.

Permite medir y comparar las características de dos muestras, llamando a una " Sample " y a la otra "Standard". Permite obtener las curvas de reflectancia espectral de las muestras. Señala las coordenadas cromáticas en distintos sistemas de representación de cada muestra con las diferencias existentes entre ellas y según distintos iluminantes: A, C, D 65. Indica los valores de la reflectancia espectral para cada longitud de onda con un paso de muestreo de 5 en 5 nm. La gráfica (IV.2) nos muestra todas estas características.

Una de las características importantes a la hora de observar las curvas de reflectancia espectral de una muestra es considerar que los valores de longitud de onda superiores a los 760 nm , no se consideren en el visible, es decir, no se consideren como luz o color.

Gráfica IV.2. Obtención de los datos de dos muestra. Coordenadas cromáticas con distintos iluminantes y curvas de reflectancia espectral.

G.O.G. Universidad de Granada.
UltraScan SpecWare, Version 1.20

19:22 29:Apr:93
RSEX/UVL OFF/UVF OUT/LAV

STANDARD NAME: v522_r
SAMPLE NAME: v548_r

2 DEGREE A

	STD	SAM	DELTA
Y	40.28	53.55	13.28
x	0.4161	0.4469	0.0308
y	0.5037	0.4921	-0.0116

	STD	SAM	DELTA
L*	69.67	78.20	8.53
a*	-33.46	-24.96	8.50
b*	34.75	48.15	13.39

TOLERANCES	L*	+2.56	-2.56
	C*	+2.52	-2.52
	h*	+1.90	-1.90

CMC 1.00(2.00:1)

DE CMC	DL CMC	DC CMC	DH CMC
+8.75	+3.33	+2.37	-7.73

WIC STD	WIC SAM	DE*	DC*	DH*
-98.25	-89.86	18.01	5.99	-14.69

2 DEGREE C

	STD	SAM	DELTA
Y	43.45	55.54	12.09
x	0.3190	0.3537	0.0347
y	0.4996	0.5009	0.0013

	STD	SAM	DELTA
L*	71.86	79.35	7.49
a*	-50.48	-42.61	7.87
b*	49.27	61.45	12.18

TOLERANCES	L*	+2.60	-2.60
	C*	+2.98	-2.98
	h*	+2.25	-2.25

CMC 1.00(2.00:1)

DE CMC	DL CMC	DC CMC	DH CMC
+6.96	+2.89	+1.42	-6.17

WIC STD	WIC SAM	DE*	DC*	DH*
-275.53	-293.40	16.32	4.24	-13.86

2 DEGREE C	STD	SAM
WI E313	-76.96	-112.07
DOM WL	553.83	561.34

2 DEGREE C	STD	SAM
Z%	13.34	13.64
EP	52.01	61.40

2 DEGREE D65

	STD	SAM	DELTA
Y	44.02	56.08	12.06
x	0.3162	0.3506	0.0344
y	0.5104	0.5101	-0.0003

	STD	SAM	DELTA
L*	72.24	79.66	7.42
a*	-50.58	-42.23	8.34
b*	48.94	60.92	11.98

TOLERANCES	L*	+2.60	-2.60
	C*	+2.97	-2.97
	h*	+2.25	-2.25

CMC 1.00(2.00:1)

DE CMC	DL CMC	DC CMC	DH CMC
+7.01	+2.85	+1.26	-6.28

WIC STD	WIC SAM	DE*	DC*	DH*
-267.06	-282.08	16.38	3.75	-14.11

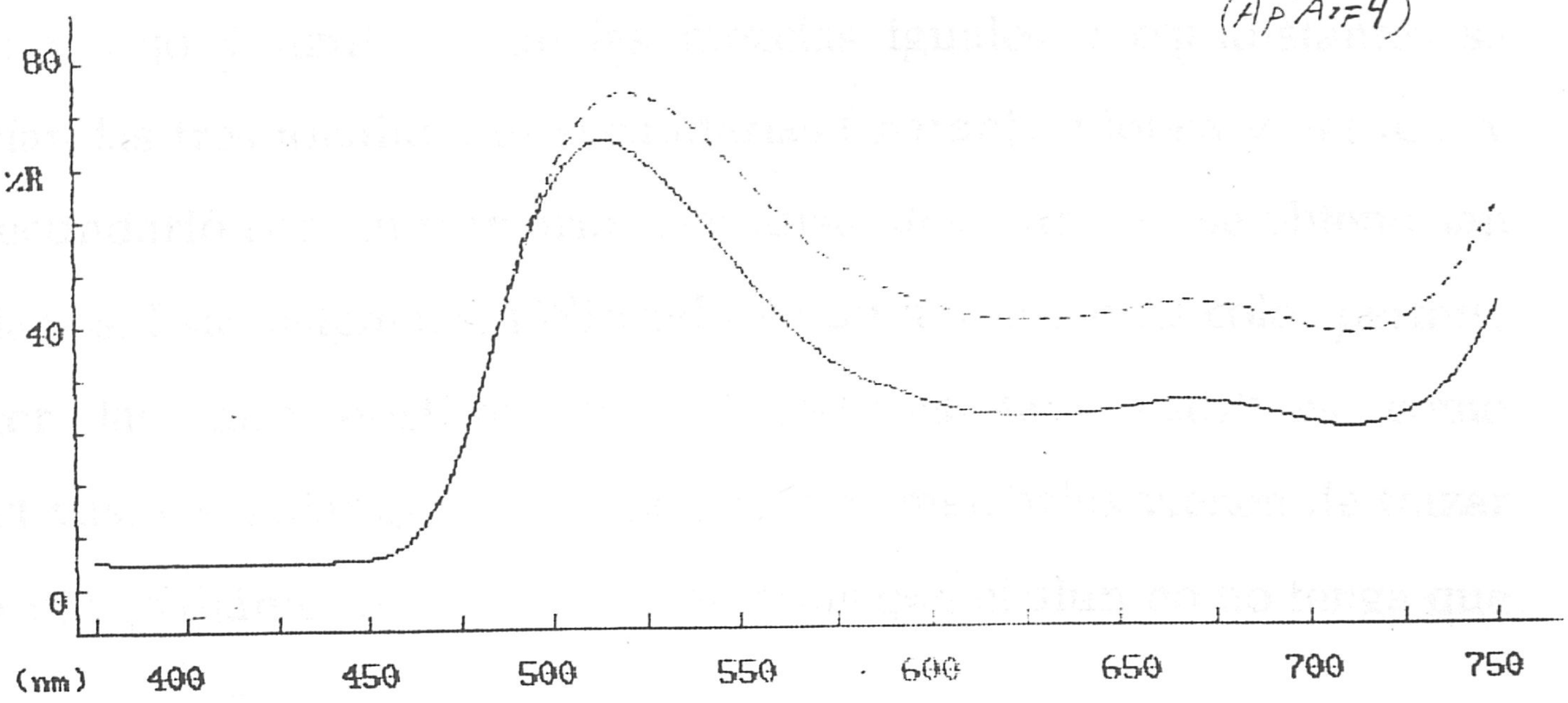
Gáfica IV.2. Obtención de los datos de dos muestra. Valores de la reflectancia con el paso establecido, para cada longitud de onda.

W/L	Standard	Sample	Differences	W/L	Standard	Sample	Differences
375	5.09	5.04	-0.05	565	38.93	54.17	15.24
380	4.96	4.98	0.02	570	36.30	51.59	15.29
385	4.91	4.92	0.01	575	34.20	49.46	15.26
390	4.84	4.82	-0.02	580	32.55	47.75	15.20
395	4.79	4.78	-0.01	585	31.30	46.42	15.12
400	4.80	4.79	-0.01	590	30.26	45.31	15.05
405	4.78	4.78	0.00	595	29.26	44.21	14.95
410	4.81	4.80	-0.01	600	28.30	43.14	14.84
415	4.82	4.82	0.00	605	27.45	42.17	14.72
420	4.85	4.84	-0.01	610	26.83	41.46	14.63
425	4.86	4.86	0.00	615	26.41	40.97	14.56
430	4.87	4.87	0.00	620	26.22	40.76	14.54
435	4.90	4.91	0.01	625	26.13	40.67	14.54
440	4.99	5.00	0.01	630	26.10	40.63	14.53
445	5.12	5.13	0.01	635	26.12	40.67	14.55
450	5.38	5.38	0.00	640	26.26	40.84	14.58
455	5.99	6.00	0.01	645	26.62	41.24	14.62
460	7.45	7.45	0.00	650	27.03	41.74	14.71
465	10.29	10.28	-0.01	655	27.56	42.36	14.80
470	14.88	14.89	0.01	660	28.11	42.99	14.88
475	21.36	21.43	0.07	665	28.45	43.38	14.93
480	29.63	29.82	0.19	670	28.48	43.37	14.89
485	38.88	39.31	0.43	675	28.17	43.06	14.89
490	47.89	48.68	0.79	680	27.74	42.53	14.79
495	55.55	56.87	1.32	685	27.24	41.97	14.73
500	61.29	63.42	2.13	690	26.63	41.26	14.63
505	65.24	68.57	3.33	695	25.95	40.42	14.47
510	67.53	72.44	4.91	700	25.25	39.58	14.33
515	68.04	74.65	6.61	705	24.68	38.88	14.20
520	67.00	75.24	8.24	710	24.46	38.62	14.16
525	64.94	74.60	9.66	715	24.64	38.81	14.17
530	62.31	73.22	10.91	720	25.26	39.55	14.29
535	59.29	71.29	12.00	725	26.30	40.78	14.48
540	56.05	68.97	12.92	730	27.81	42.56	14.75
545	52.61	66.31	13.70	735	30.01	45.03	15.02
550	49.09	63.40	14.31	740	33.14	48.43	15.29
555	45.47	60.27	14.80	745	37.51	52.91	15.40
560	42.00	57.09	15.09	750	43.01	58.34	15.33

Data file:tes3 RSEX/UVL OFF/UVF OUT/LAV

——— STANDARD v522_r (ApAzF5)

- - - - - - LAST SAMPLE v548_r AzF Af 26)
(Ap 11 Az=4)



4. FASES Y DESARROLLO

Una vez determinados los materiales, las características de las muestras y la metodología a seguir, es necesario sentar unas fases o proceso sistemático y ordenado para poder conseguir los objetivos planteados.

En este sentido, uno de los primeros planteamientos es situar en el círculo cromático el lugar aproximado de los colores básicos a utilizar para la mezcla. Hemos visto en el capítulo III, los diferentes sistemas bidimensionales que distintos teóricos y artistas plásticos han desarrollado. Podemos obtener una idea común a todos ellos, esta es : que todos los colores puros o saturados se disponen de un forma continuada a lo largo del contorno del círculo cromático. Sin embargo, las divisiones en cuanto a los tonos - número de tonos significativos y situación de éstos - difieren en gran medida unos de otros.

Por norma general, en los libros de texto para enseñanzas básicas del color, se utiliza el círculo cromático dividido en tres tonalidades primarias (amarillo, rojo y azul) y de las mezclas iguales o equidistantes se obtendrían las tres tonalidades secundarias (naranja, violeta y verde), y de un secundario con un primario - equidistantes entre sí - se obtendrían los terciarios. Este sistema, simplificado en un hexagono de color permite establecer las características de las mezclas tanto aditivas como substractivas, y señalar que los colores complementarios vienen de trazar los respectivos diámetros al círculo. Mientras que el alumno no tenga que

realizar mezclas de colores no habrá problemas, pues el concepto y la forma del diagrama es sencilla. Pero en el campo práctico, cuando el alumno elige un material para realizar las mezclas, es cuando se encuentran los problemas y las dificultades. El profesor le indicará que con los tres primarios, y el blanco y negro es suficiente para realizar todos los colores que desee. Así sucedera que el alumno se verá decepcionado cuando el verde conseguido por su compañero con toda facilidad, un verde hierba (verde saturado y vivo), con azul cerúleo (azul verdoso) y amarillo (amarillo limón), es imposible conseguirlo con sus colores azul ultramar (azul-violáceo) y amarillo cadmio (anaranjado).

Otras anécdotas que suceden en las experiencias de mezclas de colores, incluso en cursos más avanzados son: batir mal los colores, con lo cual la obra no acaba de definirse y las formas no se hacen evidentes; cambiar de marca de pinturas, donde los colores que respondían en sus mezclas de una forma característica y determinada pasan a ser un problema en su ejecución; tener una mezcla y empecinarse en añadirle cada vez más color, cuando si se volviera a empezar, necesitaría muy poca cantidad de los colores mezclados o incluso nunca se conseguiría el color deseado con los tonos de partida; buscar, en el comercio, un color determinado, por ejemplo, verde botella o color carne ,etc.

Realizar mezclas de colores es un proceso que requiere mucho estudio y horas de trabajo práctico. Así la primera labor para todo aquel que quiera aprender, es situar en el círculo cromático los tonos, teniendo en cuenta las matizaciones que presenta, y aprender a discernir o diferenciar entre un color puro o saturado y colores grises o no saturados; aprender a

conocer las mezclas que se obtienen dependiendo de los tonos de los que se parte con sus distintas matizaciones.

Otra de las primeras cuestiones es aprender como en la mezcla de pigmentos, siempre se puede conseguir colores menos saturados o grises, pero colores más puros o saturados, es imposible de conseguir, a no ser que tengamos tonos sin mezclar o tonos que mezclados, sean más saturados que los que buscamos. Por esto los fabricantes de pigmentos presenten en los catálogos tonos naranjas, verdes y violetas que no se consiguen con las mezclas de los primarios. Hay otros colores, como: los ocres, tierras (rojos y naranjas no saturados) que se fabrican a nivel industrial por ser colores utilizados en abundancia en las gamas que realizan muchos artistas, ésto facilita y ahorra tiempo de ejecución de la obra.

Realizar colores poco saturados es una actividad necesaria para todo aquel que se quiera dedicar a pintar. Así, una forma sencilla de enseñar esta tarea a los alumnos, es indicar los nombres por los cuales se suele designar a estos colores dependiendo del tono que domine. Un gris es un tono azul o violeta poco saturado, un ocre o pardo es un tono amarillo o verde poco saturado y un tierra o marrón un tono rojo o naranja poco saturado. Si se les presentan estos tonos y el alumno dice cual de los tonos conocidos es el que domina para cada color, el alumno sabrá, que para conseguir ese color en la mezcla, tendrá que dominar la cantidad utilizada del tono expresado y que los otros dos primarios, tendrán que estar presentes pero de forma subordinada; y en cantidades, que a base de aproximaciones sucesivas, podrá establecer. Esta labor se facilita si parte

de algunas mezclas establecidas de antemano y puede guiarse de ellas para ir comparando.

El color blanco, en pintura, se utiliza para hacer que un color se vuelva más claro sin perder el tono que domina en él. El negro en este sentido se utilizaría para oscurecerlo y desaturar el color. Sin embargo, la experiencia con otras técnicas pictóricas previene tener cuidado y no aplicar algunos pigmentos como: tierras y negro en la mezcla con otros colores. La durabilidad de la pintura, para uso artístico es un factor determinante de las técnicas a emplear, y en este sentido, el negro cambia el tono amarilleando con el tiempo y se contrae rapidamente, de forma que craquela la pintura, produciendo en casos extremos, desprendimientos de zonas de la obra donde se ha utilizado este color, dejando intacta zonas donde no se ha utilizado. Este factor quizás produzca el hecho de que el negro es un color que se utiliza de forma casi individual y que un color es preferible desaturarle con colores complementarios, o utilizando otras tonalidades cromáticas. Además, para aprender, las características y cambios cromáticos de las mezclas de color, es mejor mezclar colores puros entre sí, que no desaturar el color con negro.

La luminosidad de un color es un concepto muy fácil de compreder por parte de un alumno y si se hace una prueba con distintos alumnos pidiéndoles que ordenen unos determinados colores, dentro de una misma gama tonal, seguramente todos conseguirían el objetivo de forma aceptable y con rapidez. Sin embargo, si dentro de una misma gama tonal se les indica que ordenen unos colores que tienen distinta saturación o

indiquen el color que es más saturado de todos ellos esta cuestión dará resultados ligeramente distintos y será de mayor dificultad.

Debido a que la luminosidad es un concepto claro y fácil de determinar, para estudiar las mezclas de pinturas se parte de un sistema plano y no de un espacio tridimensional de color.

Una forma sencilla de conseguir una variada gama de colores es la establecida en el Atlas del Color de F. Munsell. Si observamos las distintas hojas, vemos que hay unos tonos saturados a distintos niveles de luminosidad y de distintos tonos, pero a partir de éstos, se han conseguido las gamas mezclando dicho color con el gris de la misma luminosidad. Esta forma permite desaturar el color y mantenerlo con el mismo tono y luminosidad. Pero, para la enseñanza de las mezclas de colores es más interesante cambiar el tono o desaturarlo con otro color tonal , en vez de con el gris (mezcla de blanco y negro).

Si mezclamos un color saturado con un gris llegará un momento que el color se verá también gris y podemos conocer las distancias que separan un color saturado del centro del círculo cromático. El Sólido Munsell nos muestra que distintos colores presentan distintas distancias del centro o gris acromático (observar la lámina 37 que presenta las hojas de tonos púrpuras - 2.5 P - y amarillo cadmio - 10 YR-). Podemos preguntarnos ¿ a qué se debe esto ?, ¿ esta diferencia de la distancia es porque el tono más distante es más saturado ?. En este caso, el lugar topológico idóneo para la mezcla de colores no es una circunferencia, cuyos tonos equidistan del centro o acromático. Nos podemos preguntar ¿ la mezcla de dos tonos complementarios que nos dé el gris acromático,

estará a la misma distancia del tono neutro o estará más cerca de un tono que del otro ?. Además de la información que tenemos de unos espacios o sólidos de color podemos tener más información si partimos de otras bases.

Por lo tanto y para un mejor estudio de la mezcla de colores, donde no se pretenda ordenar el color en cuanto a las características de tono, saturación y luminosidad, sino de visualizar las características de las mezclas, su origen, tendremos que plantear realizarlas, de forma ordenada, conforme a las siguientes cuestiones:

1º.- Situar en el círculo cromático los colores básicos conforme al tono que domine .

2º.- Situar la escala de grises y realizar las mezclas de los colores básicos con blanco y negro. Ordenarlos posteriormente .

3º.- Realizar todas las posibles combinaciones de mezclas de colores primarios y ordenarlas para poder apreciar las diferencias entre ellas.

4º.- Realizar colores desaturados, mezclando los colores complementarios, para lo cual realizaré las mezclas tomando colores opuestos o que formen un diámetro del círculo, o líneas próximas a los diámetros.

5º.- Mezclar colores secundarios entre si. Ver las características de las mezclas.

6º.- Mezclar colores con gris neutro. Comparar con los colores obtenidos mediante mezcla de complementarios.

El orden o proceso de realizar las muestras también permite, en la medida de lo posible, evitar el metamerismo. Sabemos que cuanto menos

saturado sea el color más posibilidades hay de conseguir realizarlo por distintos caminos, pero si, en el círculo trazamos diámetros en vez de cuerdas, geométricamente será más difícil repetir un color.

La gráfica (IV .3), nos muestra los caminos a seguir en el círculo cromático:

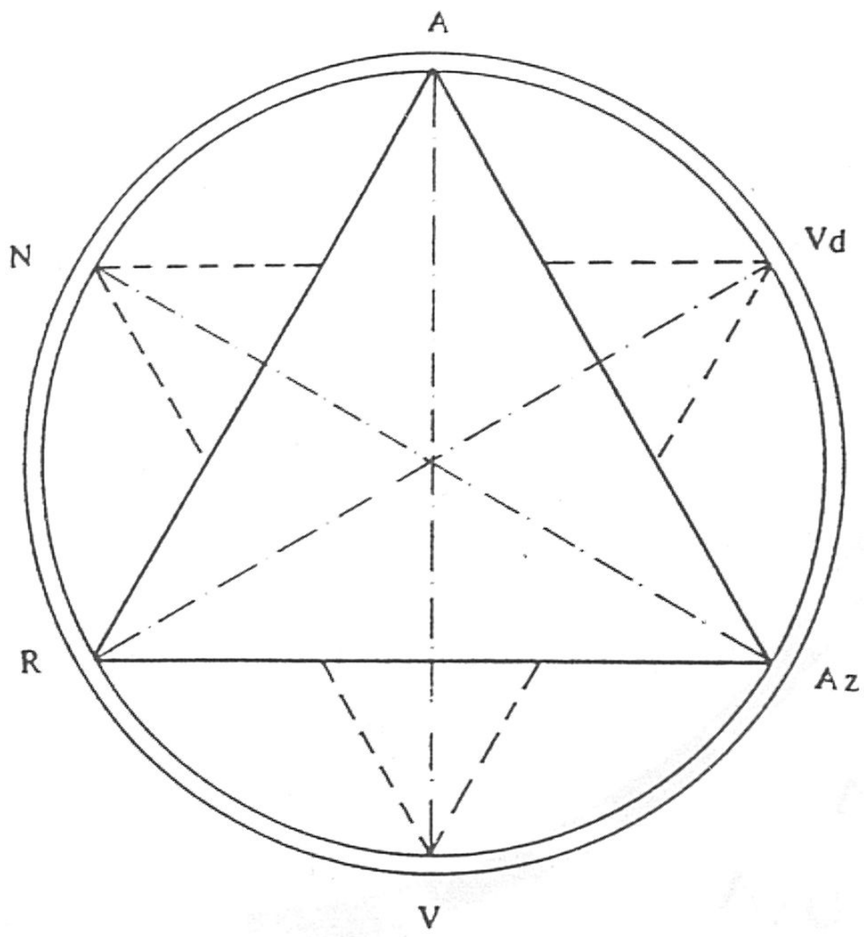
- Señalado con línea contínua las mezcla de primarios: Amarillos con rojos, rojos con azules y azules con amarillos.

- Mezcla de complementarios, indicado con línea discontinua y punto: Amarillos con violetas, azules con naranjas y verdes con rojos.

- Mezcla de secundarios, indicados por línea discontínua : naranjas con violetas, violetas con verdes y verdes con naranjas.

Gracias a que los colores serán medidos en el espectrofotómetro, podremos ver las curvas de reflectancia espectral de cada uno de los colores básicos y gracias a que podemos conocer las coordenadas cromáticas de cada color, también podremos representar estos colores en los lugares correspondientes del Diagrama CIE-1931 y del CIELAB, con lo cual se podrá establecer una mejor y mayor relación entre los campos artístico y técnico.

Gráfica IV . 3 . Círculo cromático .

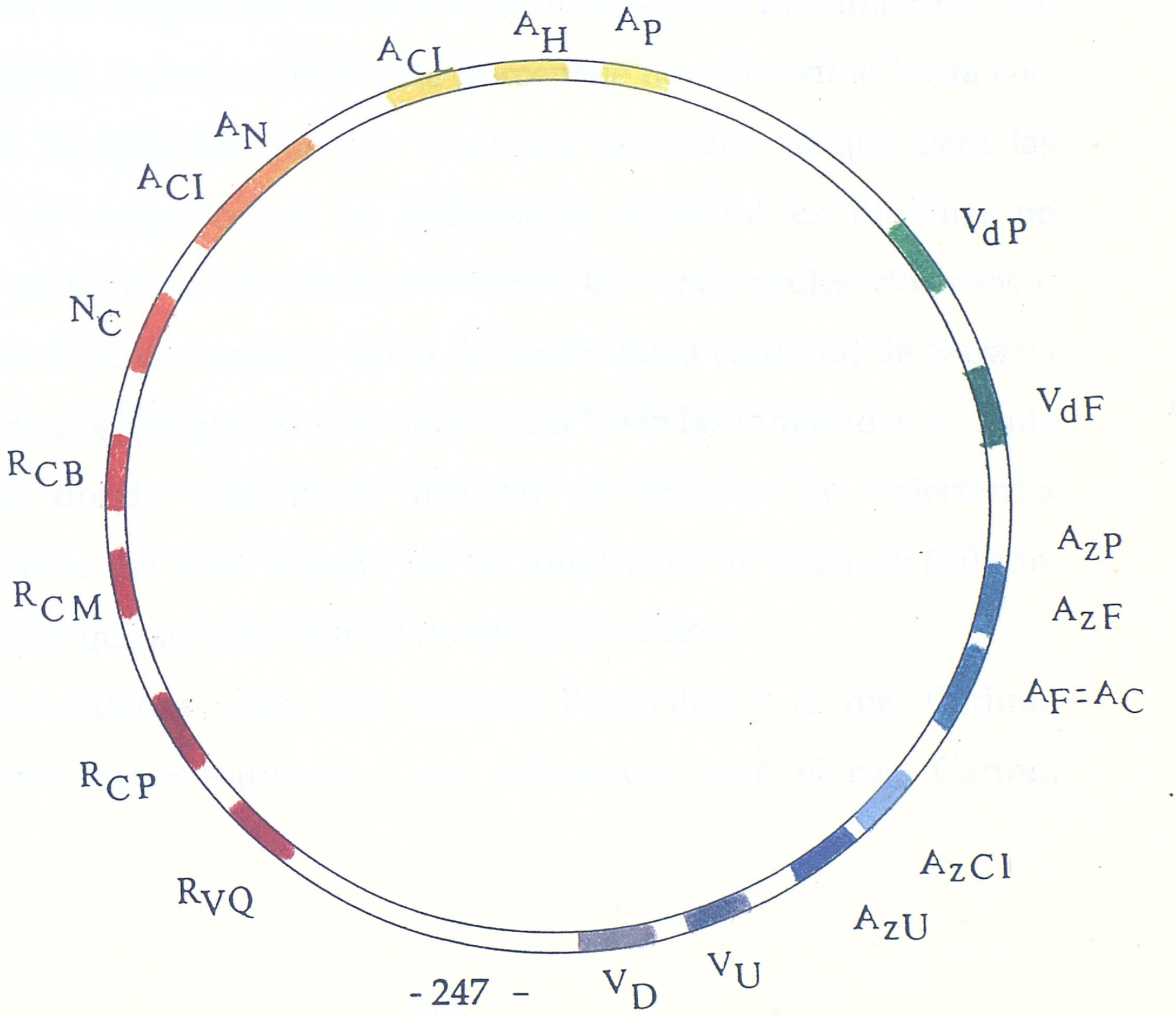


4.1 COLORES BASICOS UTILIZADOS PARA LAS MEZCLAS Y CURVAS DE REFLECTANCIA ESPECTRAL

En la diapositiva 1 y la lámina 41 están representados los colores tomados como básicos. Algunos por ser muy oscuros se han representado con una sóla capa de pintura o de forma transparente y por eso llevan el código del color y la "T ", de transparencia. Entre estos, están el Verde Ftalocianina, el Rojo Violeta Quinacridona, el Azul Ftalocianina, el Azul Prusia, el Violeta Dioxacina, y el violeta Ultramar.

Si situamos en el círculo cromático los tonos más saturados, tenemos la gráfica (IV. 4) .

Gráfica IV.4. Situación de los Colores Básicos en el círculo cromático.



Podemos comentar que dentro del grupo de los amarillos, el amarillo que es más homogéneo y cubriente es el Amarillo Primorosa Limón (quizás por tener algo de blanco en su composición), le sigue el Amarillo Cadmio Limón (presenta un tono más cálido de matices más anaranjados), siendo el Amarillo Hansa y Amarillo Cadmio colores muy transparentes y por lo tanto no idóneos para la mezcla cubriente.

De los naranjas, el único que es cubriente es el Naranja Cadmio. El amarillo Anaranjado y el Amarillo Naranja cadmio son transparentes.

Las gráficas (IV. 5. A, B, C.) presenta las curvas de reflectancia espectral de estos colores, amarillos y naranjas. Podemos observar el matiz más verdoso del tono Amarillo Primorosa , cuyo porcentaje de reflectancia es máximo para las longitudes de onda a partir de los 500 nm; mientras que para el Amarillo Cadmio Limón este porcentaje no es máximo hasta casi los 530 nm. Se aprecian que son amarillos saturados ya que para las longitudes de ondas cortas su reflectancia espectral es mínima, no llegando a estimularse los conos sensibles a las tonos azules-violáceos u ondas cortas. Si observamos la curva de sensibilidad espectral de Naranja Cadmio podemos ver que es muy baja o nula hasta las longitudes de onda de 560 nm, donde sube hasta alcanzar un máximo de reflectancia espectral - cerca del 90%- a partir de las longitudes de onda de 620 nm. Esto nos indica que su color complementario es el azul.

De las tonalidades rojas, rojo Cadmio Bermellón y el rojo Cadmio Medio (tono menos saturado) son cubrientes, pero el rojo Carmín

Permanente y el rojo Violeta Quinacridona son transparentes, por lo tanto malos para la mezcla que queremos realizar.

En la gráfica (IV.5.D.E.) se representan las curvas de reflectancia espectral de los distintos rojos, se puede apreciar como el rojo Violeta Quinacridona es un poco violáceo, ya que tiene una pequeña contribución de las ondas cortas del espectro.

De los tonos azules, ninguno es cubriente, siendo poco homogéneo el azul Manganeso y azul Cobalto Cerúleo. El Azul Cobalto no es un azul saturado (este nombre del pigmento siempre se ha correspondido en otras pinturas artísticas con el azul más puro que no contenía matices verdes ni violetas). El Azul Prusia es un tono muy oscuro y verdoso, pero este azul es poco saturado y poco cubriente. En definitiva, ningún azul, era idóneo para estas mezclas, al menos aislado.

En la gráfica (IV.5 . F, G, H, I.) se representan las curvas de los azules , se puede ver el ajuste automático del instrumento ya que los porcentajes de reflectancia de las distintas curvas varía de un 60 % , 20 % o 90 %. La luminosidad del Azul Fatocianina y del Azul Prusia es mínima, por eso el porcentaje de luz reflejada también lo es. Podemos apreciar que el Azul Ultramar y el Azul Ftalocianina (en este caso mezclado con blanco), son colores bastante saturados por no tener casi contribución de ondas largas, siendo el último más verdoso, por tener contribuciones de ondas medias. El azul cobalto y el azul cerúleo estan poco saturados .

De los verdes, el único cubriente es el Verde Permanente , el Verde Ftalocianina es muy transparente pero saturado, y el Verde Viridian no es homogéneo y es transparente y poco saturado.

Las curvas de reflectancia espectral de los verdes la podemos ver en la gráfica (IV .5 . J , K) . El verde Permanente es un color bastante saturado y no refleja apenas un porcentaje significativo de longitudes de ondas cortas y largas, su pico más alto corresponde a los 520 nm.

Los otros dos verdes son muy oscuros y dan una curva bastante plana, para el verde Ftalocianina; y para el verde viridian una curva con contribuciones de ondas largas y cortas.

De los violetas, ninguno es cubriente pero hay una gran diferencia entre el Violeta Dioxacina y el Violeta Ultramar, es que este último es menos homogéneo y aún más transparente que el anterior.

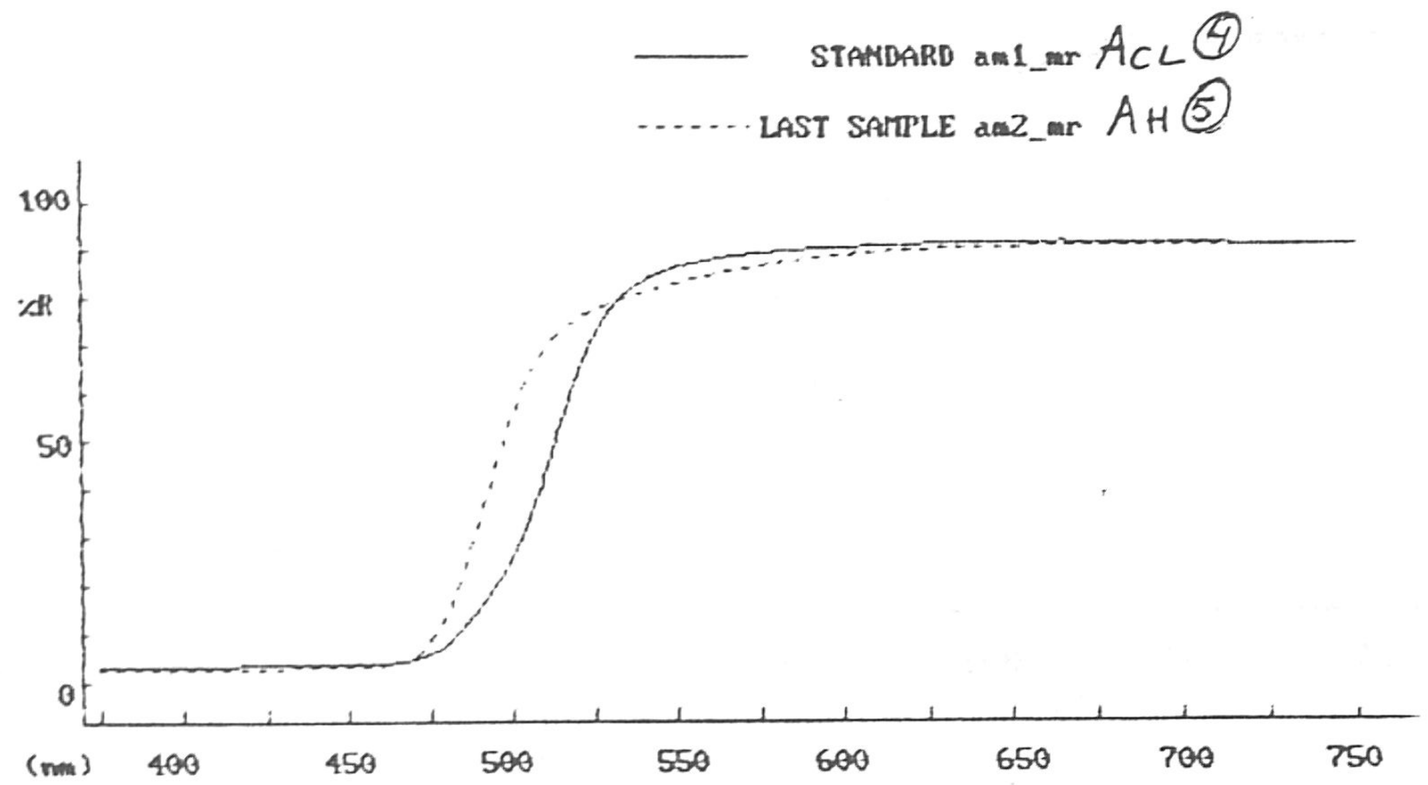
La gráfica (IV. 5 .M y N) representa los Violetas, que por su poca luminosidad se han medido también los mismos tonos de forma transparente. Podemos observar que el Violeta Dioxacina es más rojizo, pues tiene mayor porcentaje de reflectancia espectral para las longitudes de onda largas.

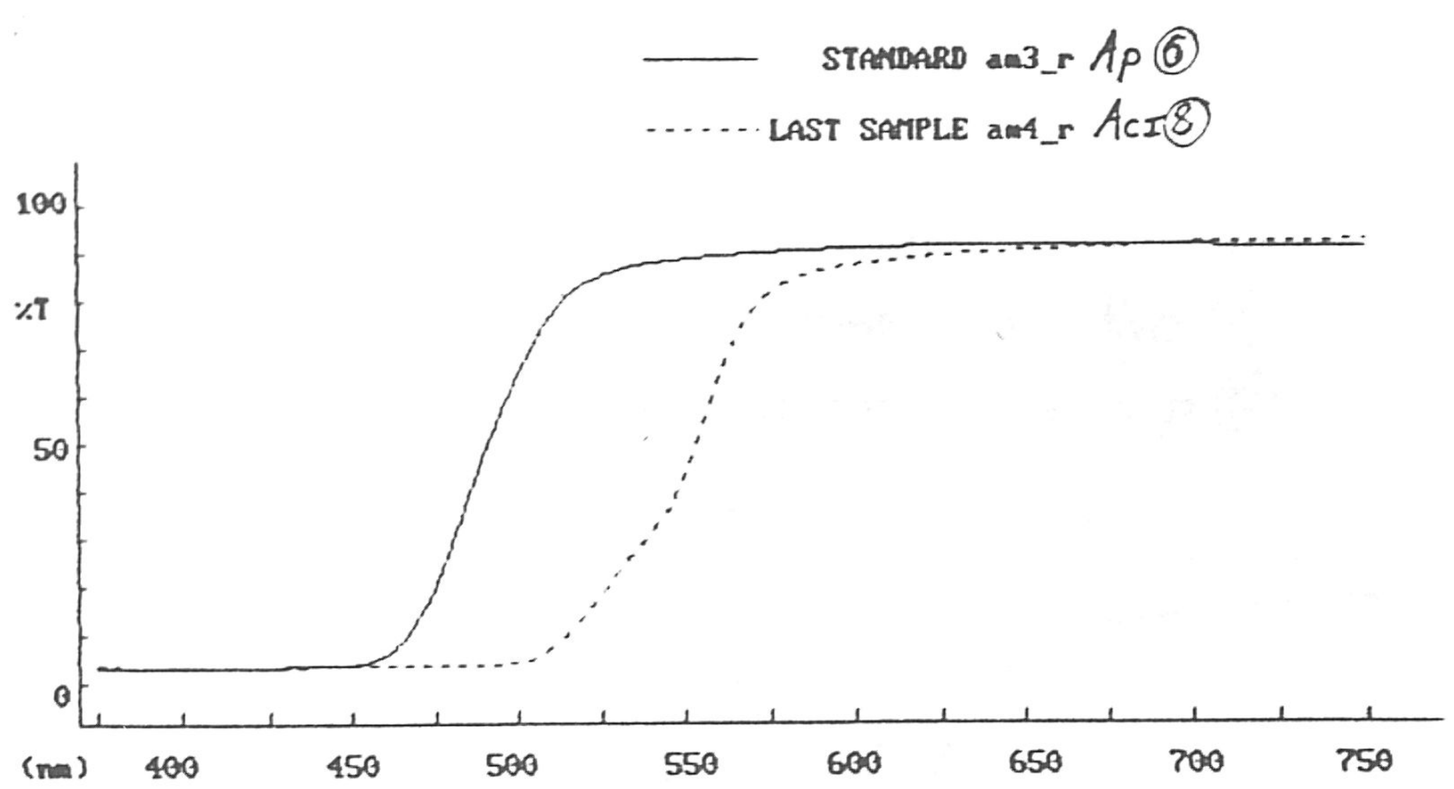
Los blancos y los negros no dan problemas, siendo los blancos muy cubrientes y los negros transparentes pero de gran poder de coloración.

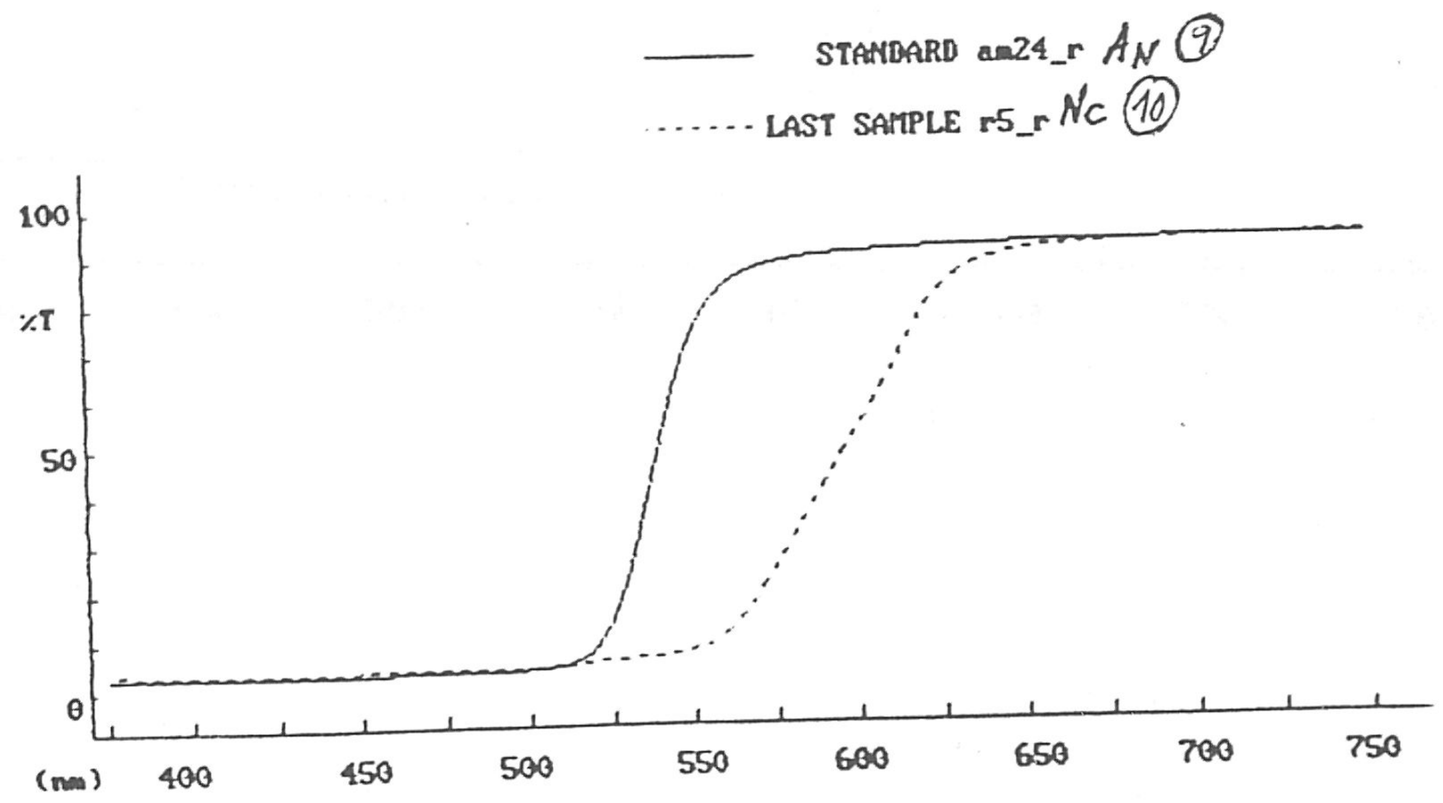
La gráfica (IV. 5. Ñ) representa las curvas de reflectancia del Negro Carbón y del Blanco Titán Anastase. Podemos observar que las curvas son planas o casi planas, y que la diferencia entre el negro y el blanco es el porcentaje de luz reflejada.

Gráfica IV. 5.Las curvas de reflectancia espectral de los colores son las siguientes:

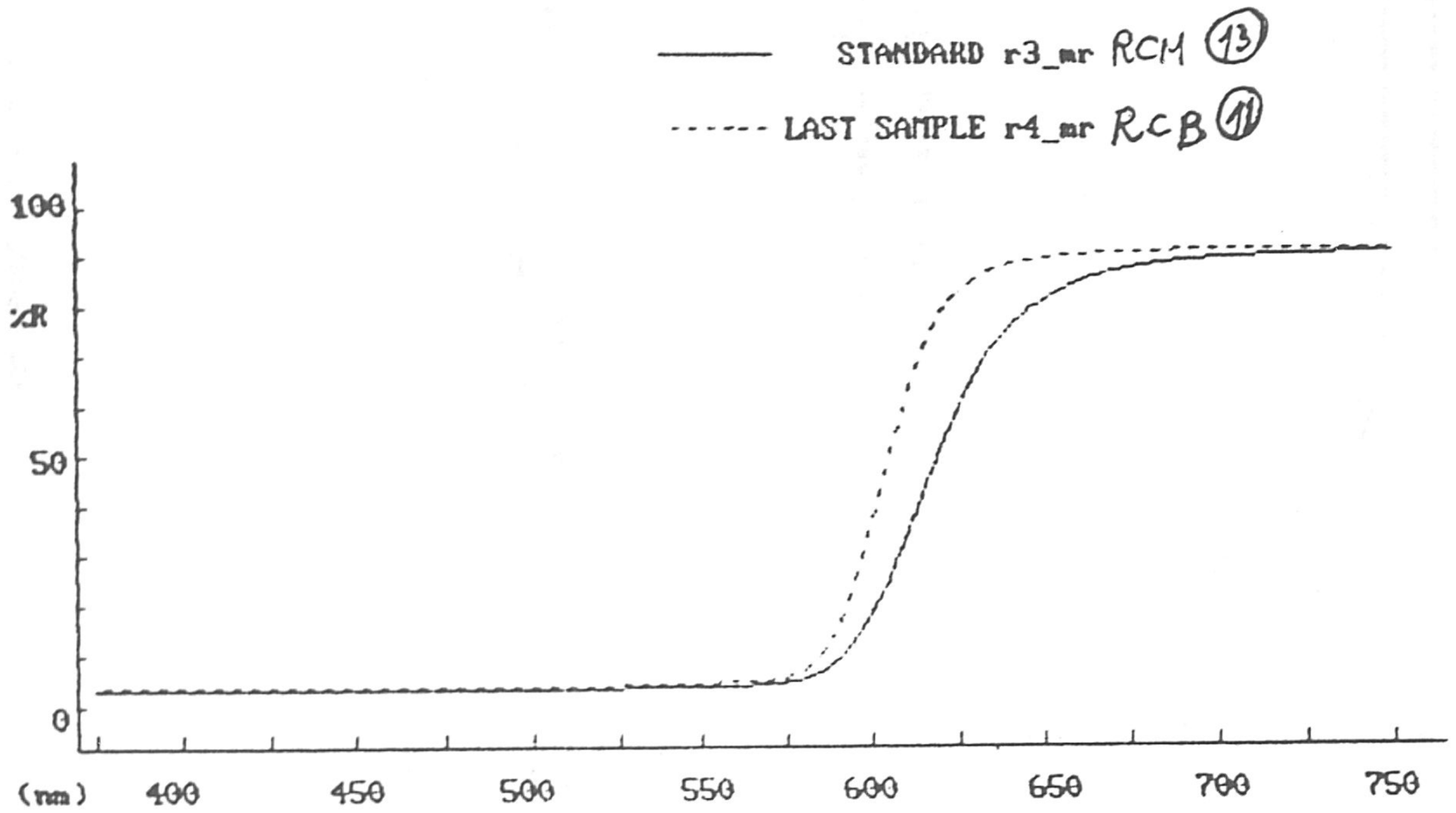
A. B . C. Amarillos y Naranjas.



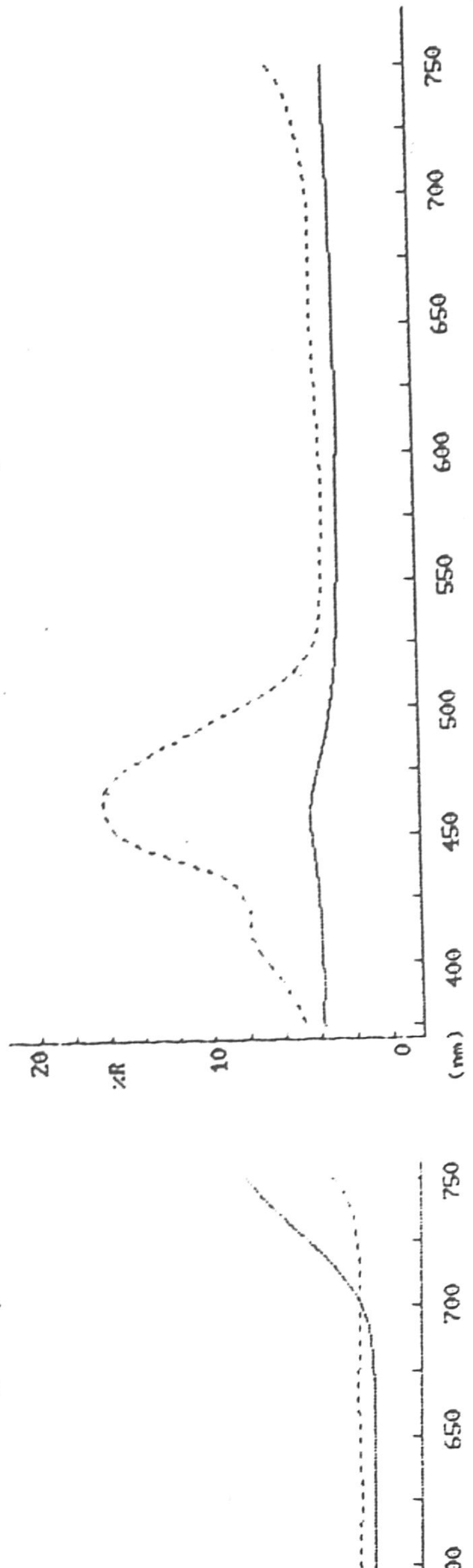


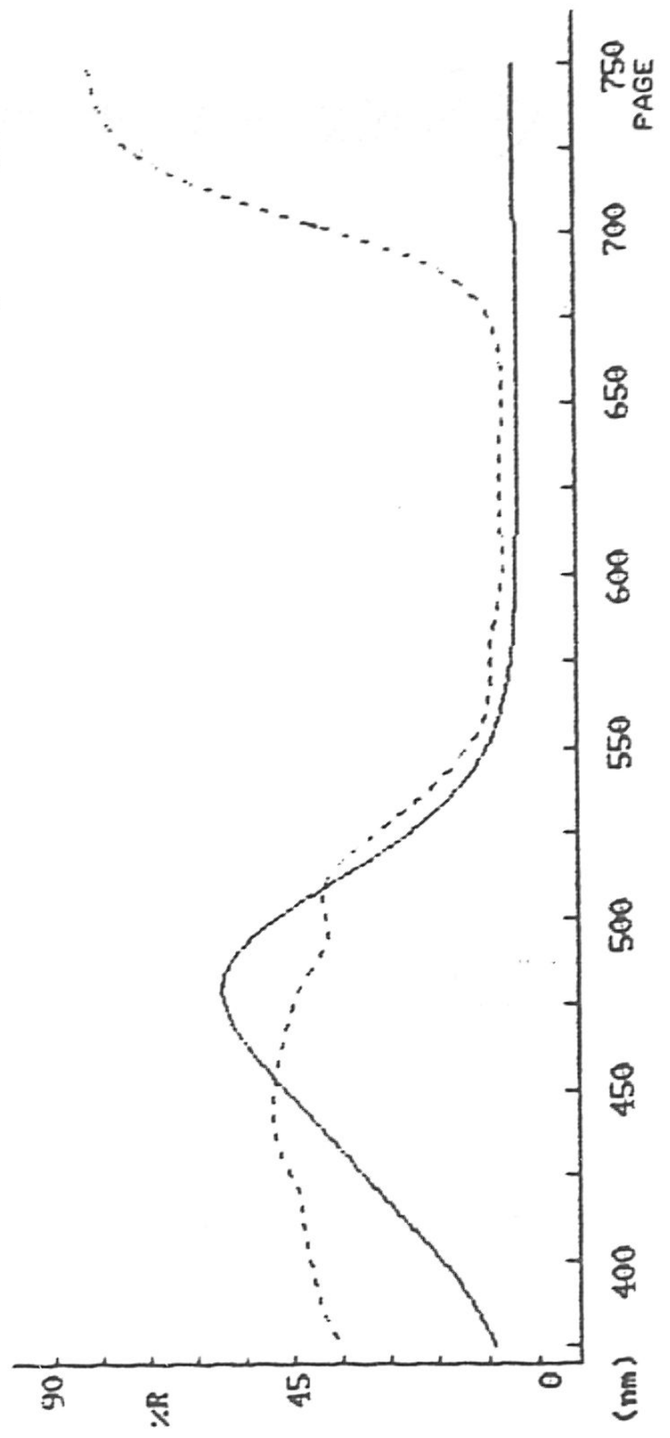


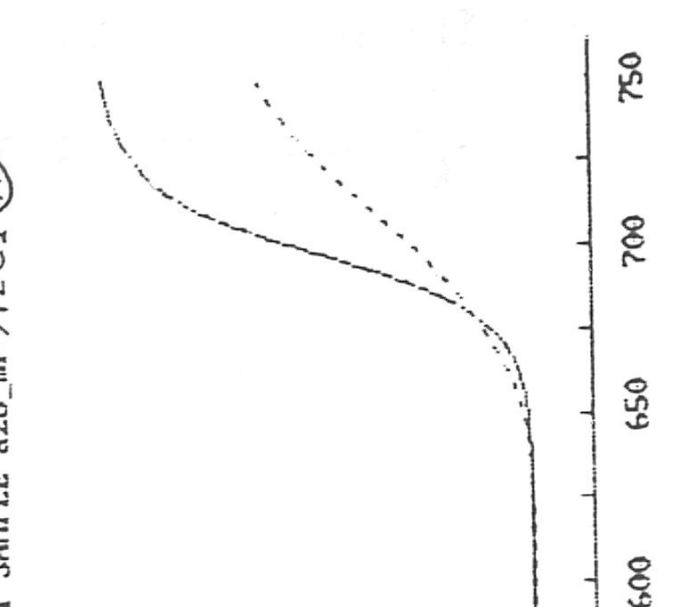
Gráfica IV.5. Rojos .D y E.



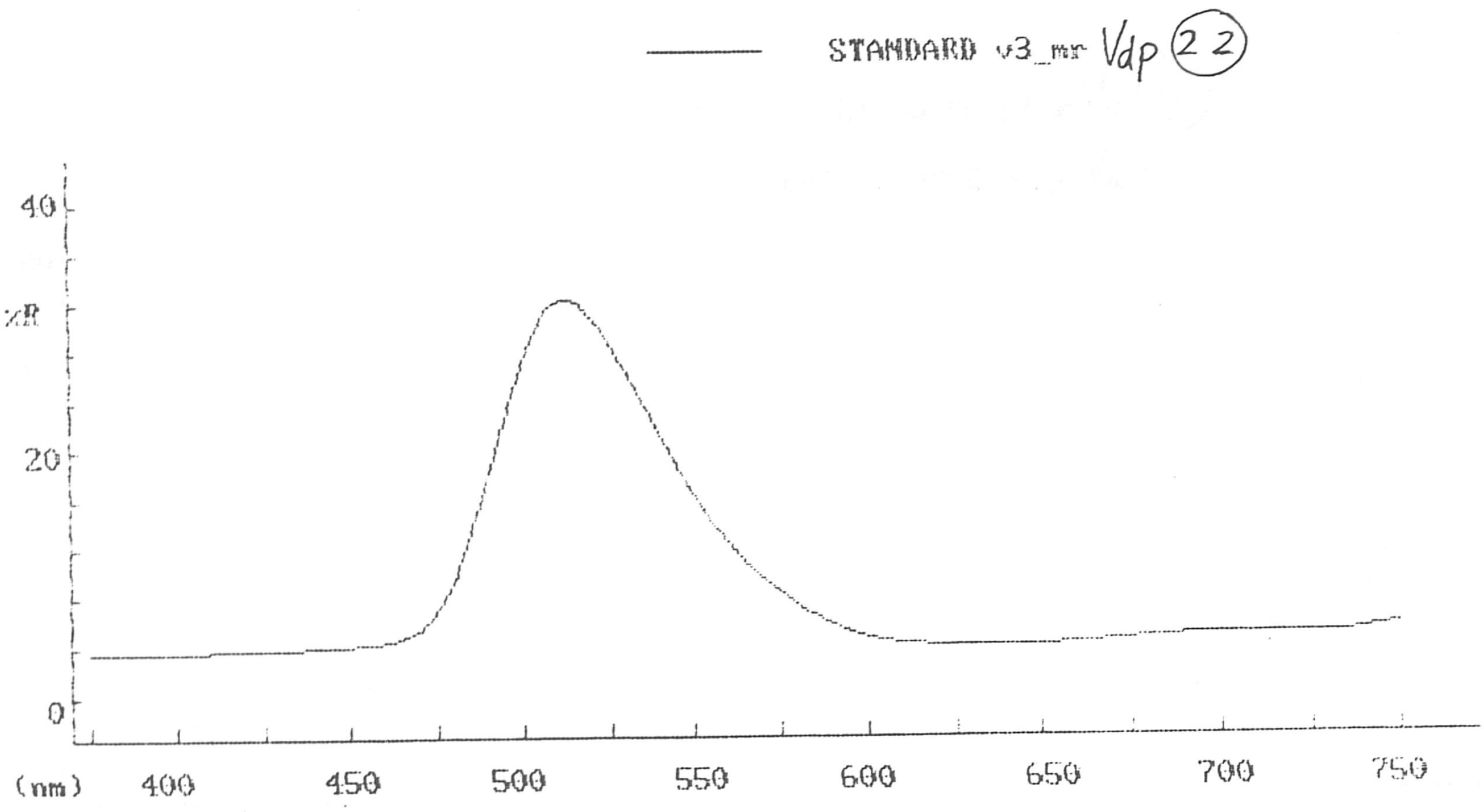
Gráfica IV. 5.F,G,H y I. Azules.

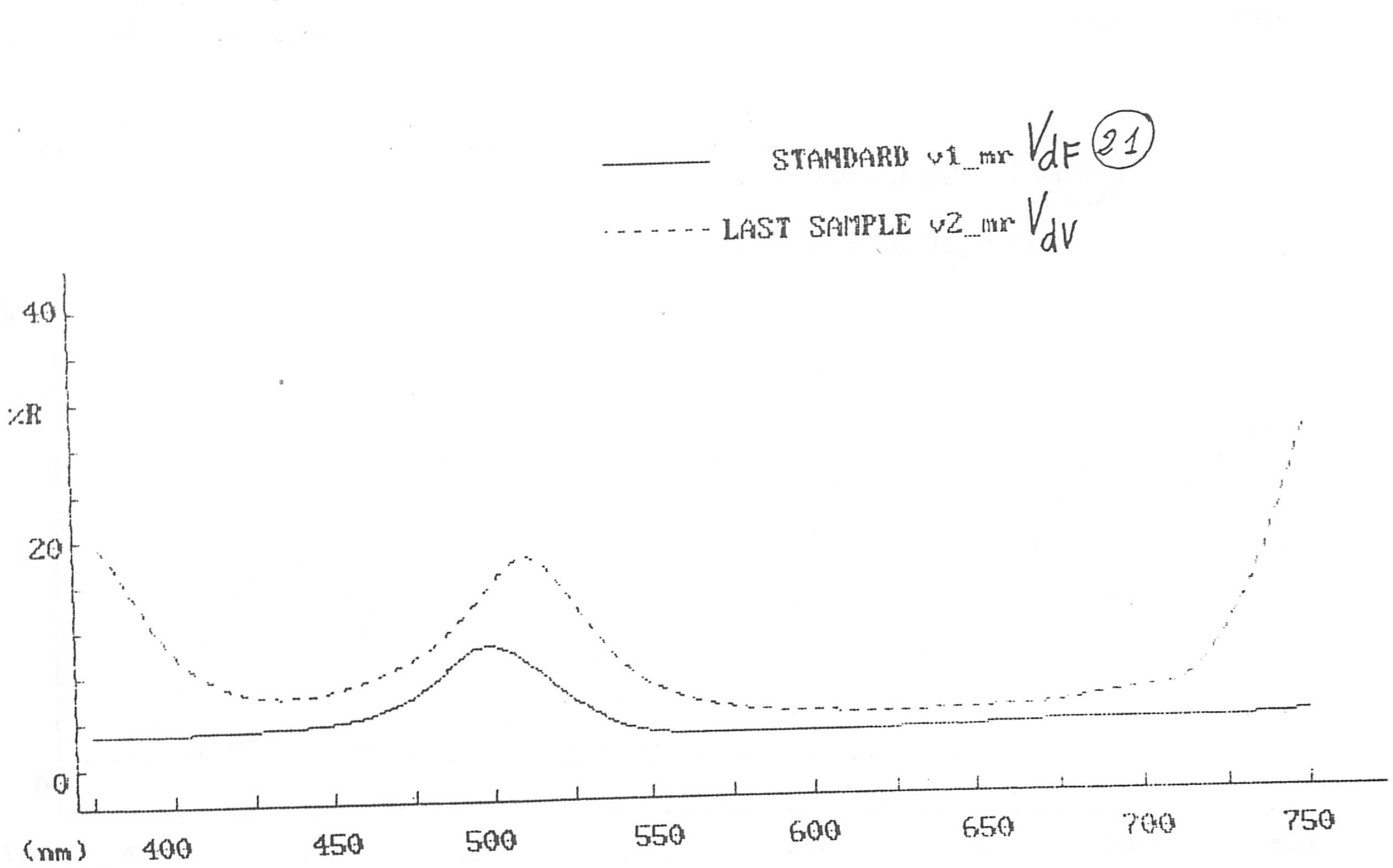




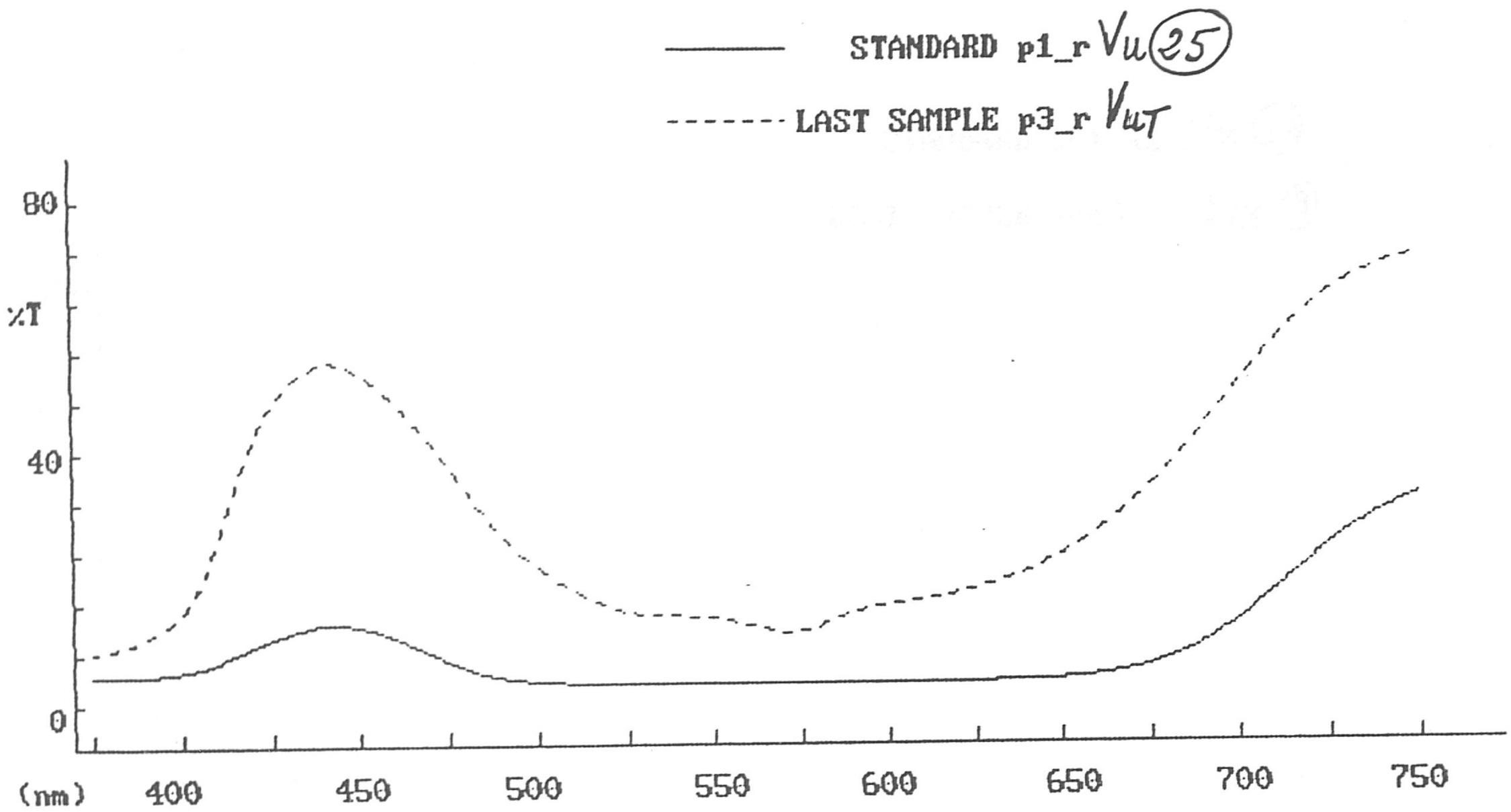


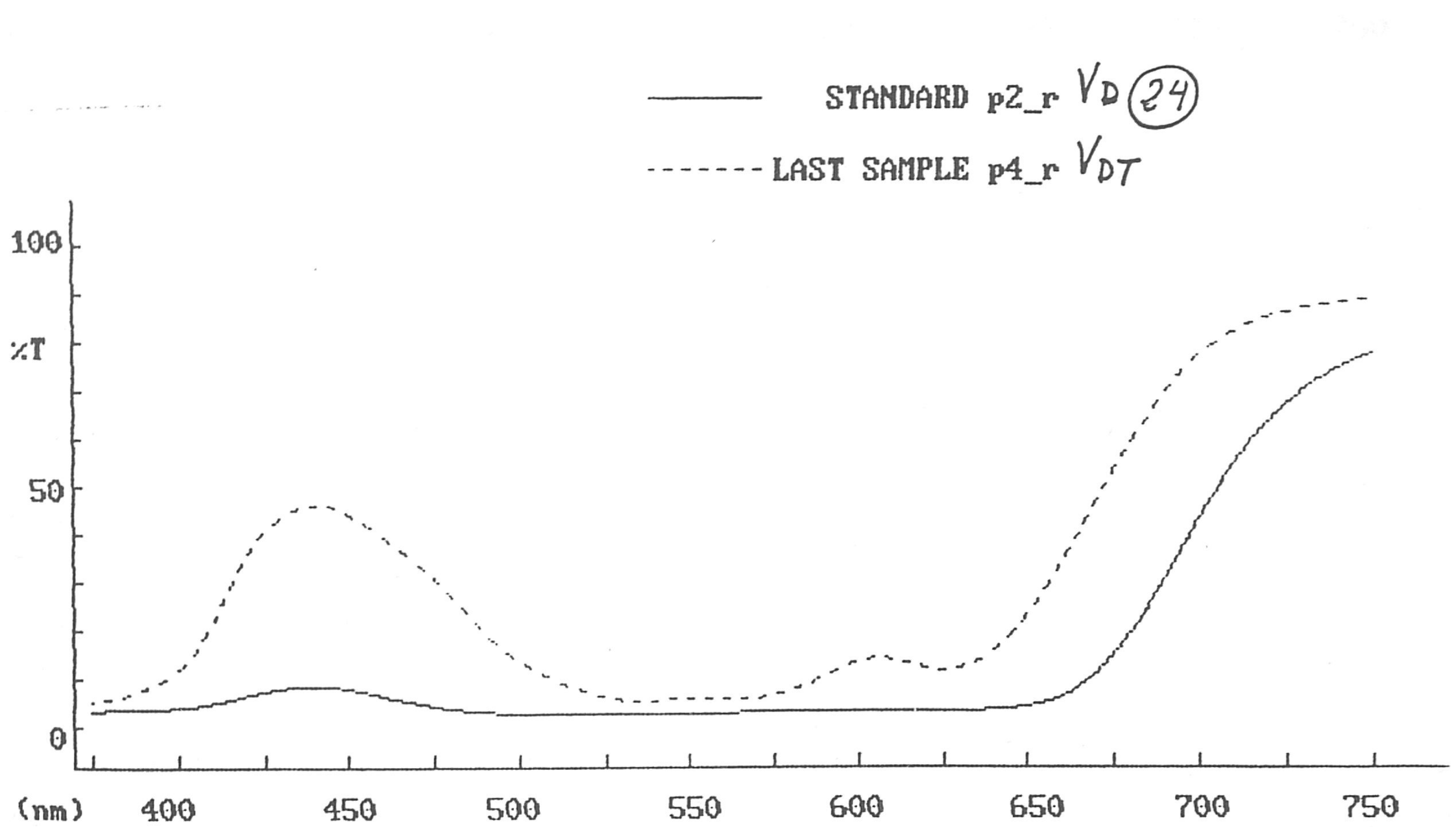
Gráfica IV. 5.J.K. Verdes.



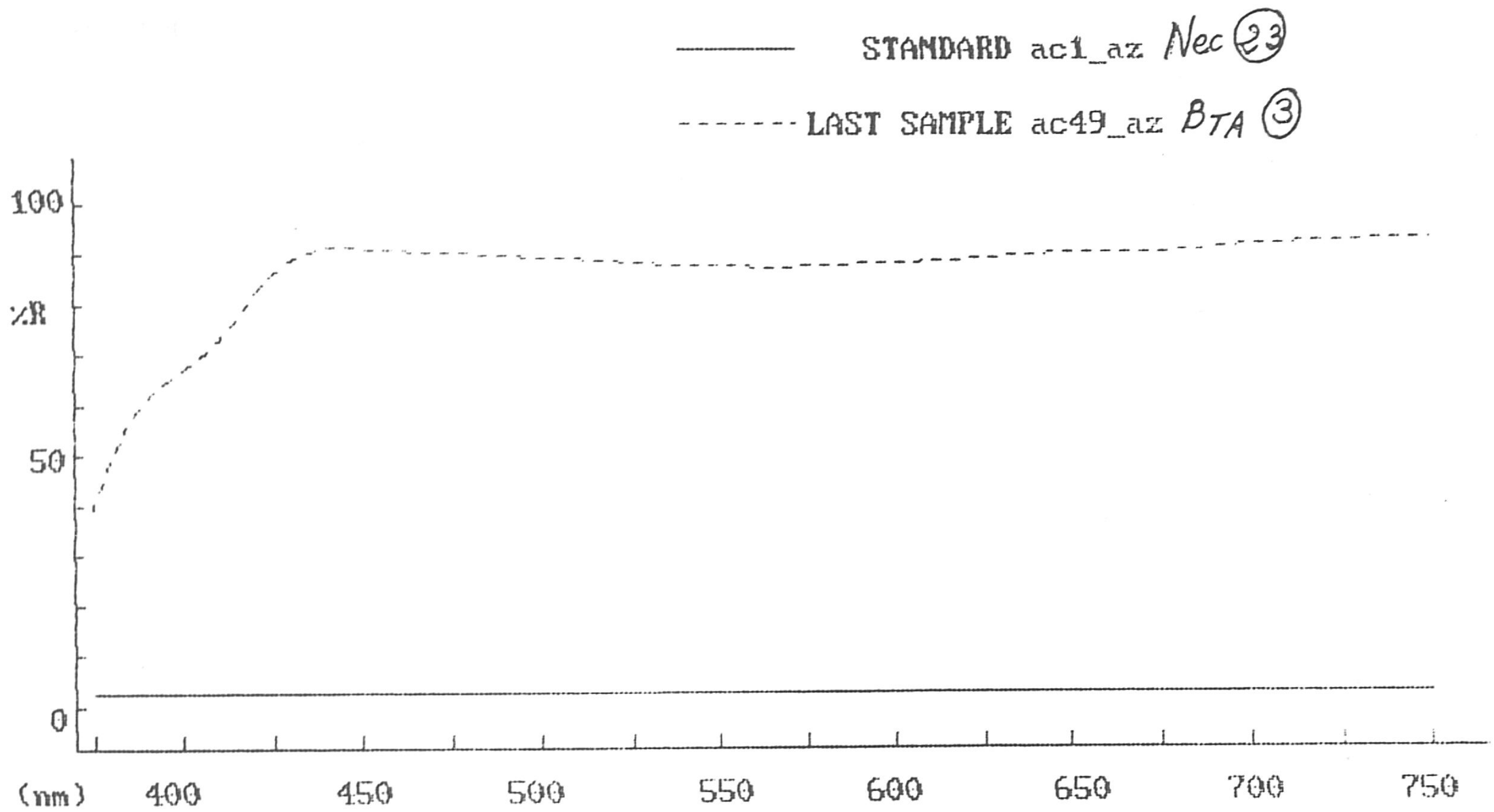


Gráfica IV. 5. L, M . Violetas.





Gráfica IV. 5. Ñ. Blanco y Negro.



Aunque en un principio se compraron para su uso no se han utilizado para las mezclas de las muestras los siguientes: Verde Viridian , Sombra Tostada, Amarillo Oxido de Hierro, Azul Manganeso y Azul Cobalto Cerúleo.

4.2. MEZCLA DE COLORES CON BLANCO Y NEGRO

Debido a que gran parte de los colores primarios eran muy transparentes, debía realizar la mezcla de estos tonos con el blanco para ver su comportamiento. Pero antes de estas mezclas, debía establecer la escala del blanco al negro.

A. MEZCLA DE BLANCO Y NEGRO

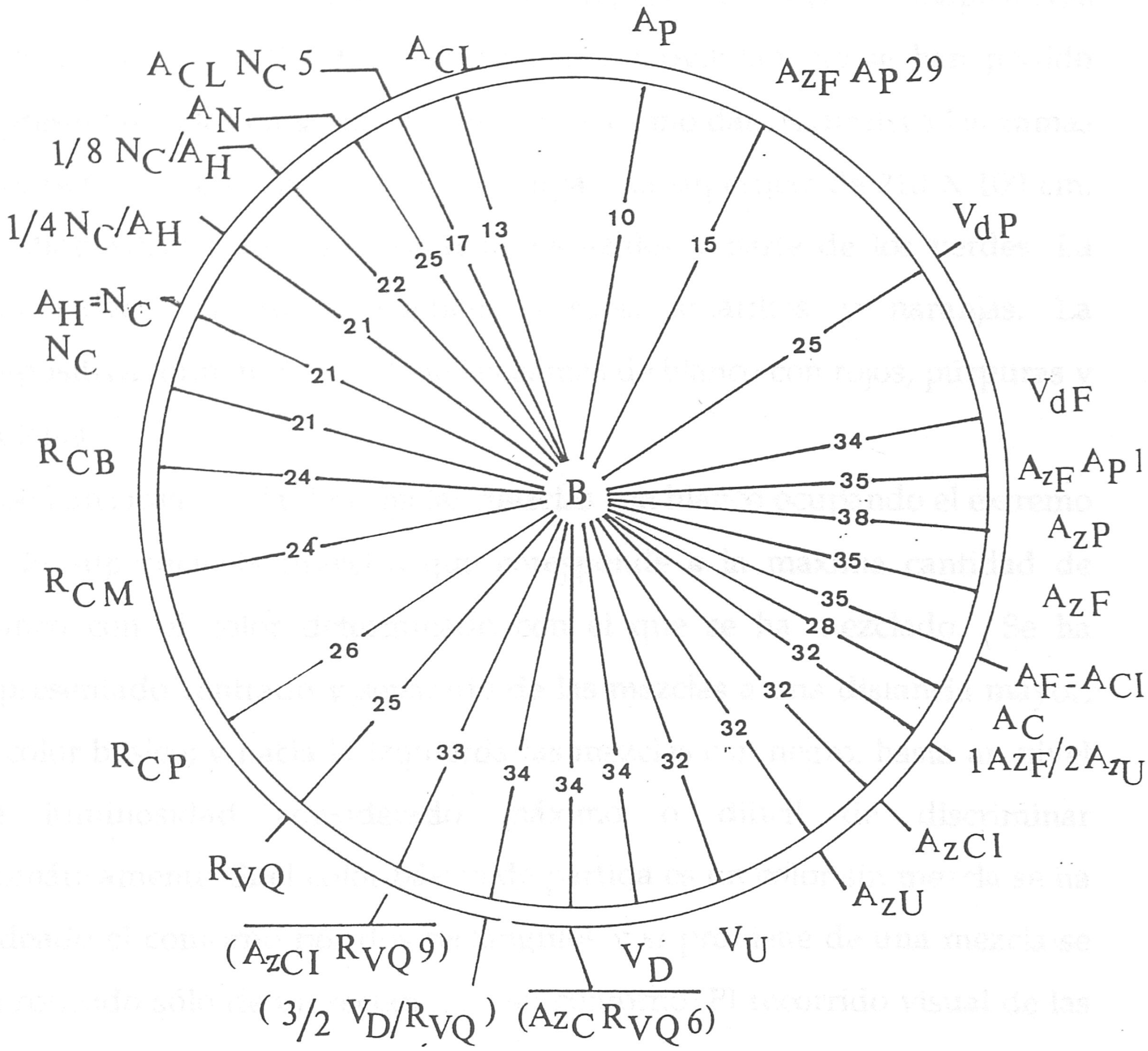
La diapositiva número 3 representa dicha escala. Se han establecido 50 colores, correspondiendo el número 50 al blanco y el número 1 al negro. El negro con un poco de blanco sería el " Nec B_{TA} 1 ".

Esta mezcla ha partido del Blianco Titán Anastase y se le ha ido añadiendo el Negro Carbón. El color que corresponde a igual cantidad de ambos colores se corresponde con el Nº 15, o " Ne_C B_{TA} 14 ", siendo este gris, un gris muy oscuro, por lo tanto el poder colorante del negro es mucho mayor que el de blanco. La primera fila de esta gama está formada por grises muy oscuros de forma que es difícil percibir las diferencias entre ellos, por lo que no se ha llegado a formar más sucesión de colores con mayor participación de negro.

B. MEZCLA DE COLORES CON BLANCO

Todos los colores que se han mezclado con blanco, los podemos ver representados en la la siguiente gráfica (IV.6) del círculo cromático. Hemos indicado, el número total de muestras conseguidas, en los radios trazados en el círculo.

Gráfica IV.6. Mezclas de colores con Blanco.



Como podemos observar, las distancias no son iguales, por lo que establecer cada tono saturado de un color básico a distintas alturas en un espacio tridimensional del color es una idea, no solo acertada sino necesaria. El orden de más claro a más oscuro sería el siguiente: amarillo limón, amarillo cadmio, naranjas, y verde amarillento, y después vendrían los distintos rojos y el verde permanente - situados en un mismo plano - , para situarse los azules y púrpuras en un nivel más bajo , y por último el violeta que estaría cerca del negro.

Estas muestras vienen ordenadas y representadas en las diapositivas número: 4, 5 y 6. Por falta de espacio y movilidad, no se han podido representar todas en la misma superficie. Como dato indicativo las gamas representadas en una diapositiva ocupa una superficie de 210 X 100 cm. La diapositiva número 4 contiene los azules y parte de los verdes. La diapositiva número 5, contiene verdes, amarillos y naranjas. La diapositiva número 6 , contiene las gamas de blanco con rojos, púrpuras y violetas.

Se han situado a la derecha las mezclas con blanco ocupando el extremo de la superficie la muestra que coresponde a la máxima cantidad de blanco con el color determinado con el que se ha mezclado. Se ha representado centrado y separado de las mezclas a una distancia mayor, el color básico; y hacia la izquierda las mezclas con negro, hasta un nivel de luminosidad considerado máximo o difícil de discriminar cromáticamente. Si el color básico de partida es un color sin mezcla se ha rodeado el contorno por dos rectángulos y si proviene de una mezcla se ha rodeado sólo de un rectángulo, su contorno. El recorrido visual de las

gamas siempre es en horizontal y se ha representado, uniendo el color básico o de partida con dos líneas horizontales al primer color de la gama. Los demás colores de la gama se han situado de forma próxima pero separados para evitar el efecto conocido con el nombre de Bandas de Mach, explicado en el capítulo II, apartado 6.2.E.

Las diferentes tonalidades se han situado según el tono del color básico utilizado de partida para la mezcla. Podemos observar, por lo tanto, la influencia o cambio de tono producido cuando se aumenta la luminosidad de un color y el cambio de tono cuando se cambia la saturación ; el efecto estudiado por Bezold-Brücke y Abney (tratados en el capítulo II del apartado 6.2.C.).

La siguiente tabla (IV.2) nos presenta las siguientes columnas:

- Color. Colores mezclados según la nomenclatura utilizada.

- Igualdad. El número que ocupa dentro de la serie, el color obtenido de igualar las cantidades de los colores mezclados.

- Total. El número total de muestras obtenido dentro de la gama.

Tabla IV. 2. Mezclas de colores con blanco.

Color	Igualdad	Total	Color
Azules			
Az_U	20	32	B_T
Az_{CI}	20	32	B_{TA}
1 AZ_F/ 2 Az_U	19	32	B_T
Az_P	18	38	B_T

Color	Igualdad	Total	Color
Az_C	15	28	B_T
$Az_F = Az_{CI}$	20	35	B_T
Az_F	15	32	B_T
Verdes			
(Az_F A_P 1)	13	35	B_{TA}
Vd_F	8	34	B_T
Vd_P	8	25	B_T

Color	Igualdad	Total	Color
(Az_F A_P 29)		15	B_{TA}
Amarillos			
A_P	5	10	B_{TA}
A_{CL}	7	13	B_{TA}
(A_{CL} N_C 5)		17	B_{TA}
A_N		25	B_A
Naranjas			
(1 N_C/ 8 A_H)		22	B_T
(1 N_C/ 4 A_H)		21	B_{TA}
$N_C = A_H$	11	21	B_{TA}
N_C		21	B_{TA}
N_{CM}	12	21	B_{TA}

Color	Igualdad	Total	Color
Rojos			
R_{CB}	11	24	B_T
R_M	9	24	B_T
R_{CP}	12	26	B_T
Púrpuras			
R_{VQ}	8	25	B_T
(Az_{CI} R_{VQ} 9)		34	B_T
V_C		11	B_T
Violetas			
(3 V_D / 2 R_{VQ})	17	33	B_T
(Az_{CI} R_{VQ} 6)		35	B_T
V_D	22	35	B_T
V_U		32	B_T

CONCLUSIONES

Azules

En las mezclas de blanco con tonalidades azules vemos que:

1 - El Azul Cobalto y el Azul Prusia son azules muy poco saturados, por lo que no utilizaré esos tonos para las mezclas de primarios u otros colores. Esta es una diferencia importante de señalar pues en otras pinturas, el Azul Cobalto, siempre es el azul más saturado y el que,

responde mejor como primarios de todos los azules , por no tener matices ni de verde ni de violeta. Al Azul Prusia de matices verdodos y vivos en otras marcas , aquí resulta un azul muy poco saturado.

2 - Todos los azules al añadirle un poco de blanco el color se vuelve más cubriente y por lo tanto nos permite realizar las mezclas de forma homogénea y opaca.

3.- Todos los azules al mezclarse con el blanco van adquiriendo más luminosidad pero como podemos observar mantienen el tono dominante. Con poca cantidad de blanco se mantienen saturados y vivos, con predominio del blanco pierden vivacidad. Debido a esta característica del color azul, de mantener el tono aunque domine mucho la cantidad de blanco, es por lo que se toma como ejemplo en las enseñanzas del color para comentar que un mismo tono puede presentar una escala de luminosidad que puede ir desde un negro hasta la sensación de blanco sin variar el tono.

4.- Si observamos las gamas, vemos que el color correspondiente a la misma proporción de blanco que de azul, se encuentra mucho más cerca del azul, por lo que el azul tiene un mayor poder de coloración que el blanco.

He realizado otras tonalidades de azules para buscar un tono intermedio para utilizarlo en las otras mezclas, ya que tengo a disposición solo azules muy violáceos "(Az_U y Az_{CI})", o muy verdosos (A_{zF}). Uno es el "$Az_F = Az_{CI}$" , que viene de igualar las proporciones entre el azul Ftalocianina y el Azul Cobalto Intenso , y el otro de la proporción de "1 Az_F / 2 Az_U" , el doble de Azul Ultramar que de Ftalocianina. Podemos

FACULTAD DE BELLAS ARTES
BIBLIOTECA

observar que el poder colorante del Azul Ftalocianina es mucho mayor que el del Azul Cobalto o del Azul Ultramar, pues del primero seguimos obteniendo un azul un poco verdoso y en el segundo obtenemos un azul más neutro, sin matices violáceos. Estos dos tonos los utilizaré por lo tanto para las mezclas de primarios.

Verdes

Los verdes utilizados son : el Verde Ftalocianina (matiz azulado) y Verde Permanente ; y dos que vienen de las mezclas de dos primarios en distintas cantidades, los primarios que daban verdes más saturados: Azul Ftalocianina y Amarillo Primorosa "(Az_F A_P 1)", y "(Az_F A_P 26)", siendo el primero un verde muy azulado y el segundo un verde muy amarillento. Se puede ver que la serie numérica de éstos, corresponde con el verde quinientos y seiscientos, mientras que los primeros vienen dados por el doscientos y trescientos. Estos se realizaron para unir la gran separación existente entre las gamas de azules con verdes y verdes con amarillos.

Como conclusiones y de forma ordenada podemos resaltar las siguientes características:

1.- Las mezclas con blanco no cambian de tono ni se desatura el color, excepto el verde más azulado formado por gran cantidad de Azul Ftalocianina y un poco de amarillo primorosa. Este color sin mezcla se ve de un tono verde y al añadir blanco paulatinamente va distanciandose el tono percibido del verde y acercandose al azul. Este suceso , en cierto

sentido es lógico puesto que la cantidad de amarillo en el color sin mezclar es mínima, por lo tanto, y proporcionalmente, el color " (Az_F A_P 1) B_{TA} 35 " en el cual domina el blanco, es lógico que el amarillo se aprecie aún menos.

2.- Tanto el Verde Ftalocianina como el Verde Permanente cambian de matiz durante el proceso de la mezcla, presentandose más azulados una vez seca la pintura.

3.- Los primeros cuatro colores de la gama con Verde Ftalocianina ha necesitado cuatro capas, y paulatinemente se vuelve cubriente conforme aumenta la cantidad de blanco.

4.- Si observamos la gráfica (IV. 6) podemos ver que el poder colorante de los verdes utilizados es mucho mayor que la del blanco.

Amarillos y Naranjas con Blanco

En las mezclas de los amarillos con blanco podemos decir que el color se vuelve más claro pero mantiene el tono dominante.

En los amarillos anaranjados, mezclas que corresponden a : "(A_{CL} N_C 5)"," A_N " , "(1 N_C / 8 A_H)" y "(1 N_C/ 4 A_H)"; vemos que según aumenta la cantidad de Blanco el tono gira al amarillo y en los últimos números sería difícil ordenar los colores de las gamas, de los amarillos a los naranjas, sin conocer la procedencia del color.

Los colores que provienen de la mezcla de igual cantidad de Naranja Cadmio que de Amarillo Hansa con blanco, son los últimos, que al

aclararse, conservan el tono naranja y que cuando domina el blanco se ven amarillos.

Los dos Naranja Cadmio siguientes con blanco, además de aclararse se vuelven rojizos y rosas cuando domina la cantidad de blanco en el color mezclado.

El Amarillo Anaranjado - A_N - y el Naranja Cadmio - N_{CM} - corresponden a tarros de Acrílico "Studio" y son muy transparentes.

Observando la diapositiva número **5** correspondiente a las mezclas de amarillos y naranjas podemos ver, por los números de orden del color realizado dentro del tono , que los tres primeros son los últimos realizados y en ellos se buscaba encontrar el naranja límite para que al aclararlo no se observara ni amarillo ni rosa. Este color corresponde al formado de igualar las cantidades de Naranja Cadmio y Amarillo Hansa .

A pesar de que las mezclas con amarillo Hansa son menos cubrientes, se han realizado éstas, cambiando las proporciones entre estos dos colores, por haber empezado a realizar la primera mezcla distinta a los colores puros con este amarillo Hansa (A_H) .

Todas las mezclas con los distintos naranjas se vuelven más anaranjadas al secarse la pintura, húmedas presentan un matiz más amarillento.

El poder colorante de los distintos amarillos y el blanco es similar pues el color correspondiente al igualar las cantidades, queda en el centro, y su coloración también corresponde al centro.

Rojos, púrpuras y violetas

Los tonos rojos con blanco pierden vivacidad y además de aclararse se desaturan, se vuelven rosas o púrpuras, por lo que, al mezclarse con blanco, cambian de tono.

El rojo Carmín Permanente es transparente y en una primera capa se ve de tonos púrpuras pero al aplicar varias capas se vuelve rojo, acercandose a los rojos anteriores. Al añadirle blanco se acerca a los púrpuras.

Todos los rojos cambian el matIz de húmedos a secos, volviendose más rojos, oscuros e intensos cuando secan.

Todos los rojos tienen mayor poder colorante que el blanco (observar la tabla IV. 2) , siendo aún mayor el poder colorante del Rojo Cadmio Medio y del Rojo Violeta Quinacridona.

Este color, R_{VQ} , aunque de forma aislada es rojo y muy transparente resultando casi imposible utilizarlo de forma homogénea, se vuelve opaco y púrpura con blanco. Al secarse la capa de pintura se oscurece el color y se vuelve más intenso y rojizo.

El Violeta Cobalto presentaba una tonalidad saturada y clara pero al utilizarlo era imposible conseguir la mezcla homogénea . Al mezclarlo con blanco, no se ha llegado a conseguir que fuera cubriente y homogéneo hasta que la cantidad de blanco era muy abundante, por lo que se ha deshechado este color para su uso como mezclas cubrientes.

El Violeta Dioxacina y el Violeta Ultramar mezclados con blanco conservan el tono y la saturación además de aclararse. El Violeta

Dioxacina húmedo se ve más claro y rosado y al secar se vuelve más azulado y oscuro. Se obtienen mezclas homogéneas. Esta mezcla con blanco resulta más equiparable el poder colorante del violeta Dioxacina y el Blanco Titanio, incluso de mayor poder colorante el blanco, ya que si observamos la gráfica (IV. 6) el término medio es el 22 de una gama de 34 colores.

El resto de los púrpuras y violetas representados en la diapositiva 6, provienen de la mezcla de dos colores e intentan cubrir el hueco existente entre el Rojo Violeta Quinacridona y el Violeta de Dioxacina . Dos de estas gamas vienen de la mezcla de Azul Cobalto Intenso con Rojo Violeta Quinacridona (violetas saturados) que tienen una característica importante de resaltar, cambian mucho de húmedos a secos, pasan de ser muy pálidos y rosados a ser muy vivos, más violáceos y mucho más oscuros que otras mezclas.

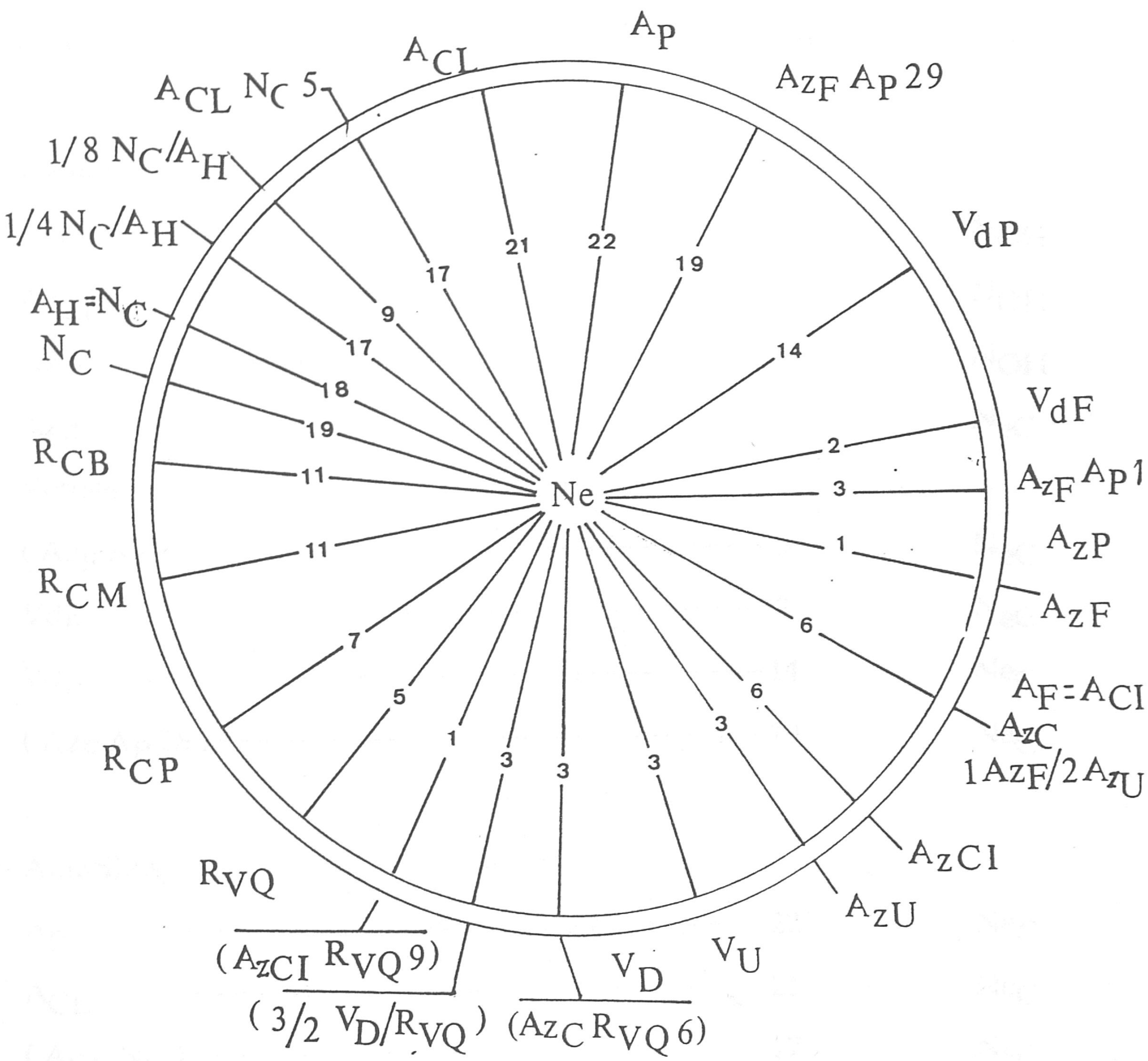
La otra gama viene de la proporción de pigmento empleado, tres partes de Violeta Dioxacina por dos de Rojo Violeta Qunacridona - " 3 V_D / 2 R_{VQ} ". El poder colorante de esta mezcla en comparación con el blanco es equivalente. Todos los púrpuras al aclararse mantienen el tono púrpura dominante.

Como conclusión final podemos indicar que de las mezclas con blanco todos los tonos mantienen su dominante tonal, excepto los rojos que cambian hacia los púrpuras llamados comunmente como rosas, y los naranjas que cambian hacia los amarillos.

C. MEZCLAS DE COLORES BASICOS CON NEGRO.

Las mezclas realizadas podemos verlas en la gráfica (IV. 7) del círculo cromático. Hemos indicado, el número total de muestras conseguidas, en los radios trazados en el círculo.

Gráfica IV. 7. Mezclas de colores con Negro.



Estas mezclas las podemos observar directamente en las diapositivas número: **4, 5 y 6**. Se sitúan, hacia la izquierda, el color que tiene menos luminosidad o más próximo al negro y, hacia la derecha, podemos ver el color básico del que parte la mezcla. Todas las gamas realizadas las podemos observar en la tabla IV. 3 , que a continuación se indica.

Tabla IV. 3 . Mezclas de colores con negro.

Color	Total	Color
Azules		
Az_U	3	N_{OH}
Az_{CI}	6	N_{OH}
Az_C	6	N_{OH}
Az_F	1	N_{eC}
Verdes		
(Az_F A_P 1)	3	N_{eC}
Vd_F	2	N_{eC}
Vd_P	14	Ne_C
(Az_F A_P 26)	19	Ne_C
Amarillos		
A_P	22	Ne_C
A_{CL}	21	Ne_C
(A_{CL} N_C)	17	Ne_C

Naranjas

($1N_C$ / $8\ A_H$)----------9 Ne_C

($1N_C$ / $4\ A_H$)----------17 Ne_C

$N_C = A_H$ ----------18 Ne_C

N_C ----------19 Ne_C

Rojos

R_{CB} ----------11 Ne_C

R_{CM} ----------11 Ne_C

R_{CP} ----------7 Ne_C

Púrpuras

R_{VQ} ----------5 Ne_C

($Az_{CI}\ R_{VQ}\ 9$)----------1 Ne_C

Violetas

($3\ V_D$ / $2\ R_{VQ}$)----------3 Ne_C

($Az_{CI}\ R_{VQ}\ 6$)----------3 Ne_C

V_U ----------3 Ne_C

CONCLUSIONES

En las mezclas de colores con negro es necesario señalar que no hay proporcionalidad o igualación de cantidades del negro con ninguno de los mezclados, pues hasta las mezclas más oscuras de los tonos más claros, se han realizado con muy poca cantidad de negro . La capacidad de coloración del negro es máxima con respecto a los demás colores.

Los tonos azules se presentan muy oscuros por lo que se han realizado pocas muestras con negro. Observando la tabla anterior podemos ver que el Azul Ultramar es muy transparente, teniendo el tono más homogéneo una luminosidad muy baja y que no permite obtener conclusiones. Podemos señalar que el Azul Cobalto Intenso con negro pierde rápidamente el tono violáceo y se desatura. El cambio de color en el Azul Cobalto, por ser menos saturado, es menos brusco, y podemos apreciar que se vuelve de un matiz más verdoso.

Verdes y Negros

De las mezclas de verdes con negro podemos comentar solamente la realizada con el Verde Permanente y el verde amarillento "(Az_F A_P 26)" , puesto que las otras dos son ya tan oscuros que no se pueden apreciar los cambios.

El Verde Permanente con negro se va desaturando de forma progresiva y aparecen los matices pardos o amarillentos cuando la cantidad de negro es mayor.

El verde más amarillento, " Az_F A_P 26 ", en las mezclas con el negro - está representado en la diapositiva nº 5 - se va desaturando además de oscurecerse y aparece con matices muy pardos. Se necesita muy poca cantidad de negro para cambiar el color percibido, tanto es así, que los seis primeros colores de la gama se han conseguido con sólo una pizca de Negro Carbón, es decir, que al añadir una pizca de Negro Carbón al " Az_F A_P 26 ", se obtuvo el color cuya nomenclatura es " (Az_F A_P 26) Ne_C 6 "

por tanto, el resto de los colores del uno al seis, fueron una sucesión de cantidades del color anterior con el original " Az_F A_P 26 ". Esta gama se ve más amarillenta cuando la mezcla está húmeda y más verdosa cuando está seca.

Amarillo y Naranjas con Negro

Todas estas mezclas las podemos observar en la diapositiva IV. 5 .Como característica digna de mencionar, podemos resaltar que en todas las mezclas de amarillos con negro conforme la cantidad de negro es mayor, vemos que resulta difícil distinguir de que amarillo partimos, pues las mezclas se acercan todas ellas a un verde pardo muy similar. Esta característica es importante debido a que ninguno de los colores de las gamas mencionadas, por muy oscuro que parezca, se ha llegado a igualar la cantidad del color original con el negro. En este sentido vemos la gran capacidad de coloración del negro, a pesar de ser - el Negro Carbón - un color muy transparente. El único color que se acerca más a casi igual proporción de negro que del color original es el " A_{CL} Ne_C 21 ", corresponde al último de la serie del Amarillo Cadmio Limón y el Negro Carbón, y presenta un cambio brusco con el anterior, siendo de una oscuridad muy cercana al negro.

De las gamas de las mezclas de los distintos amarillos con el negro, sólo se perciben las matizaciones cuando se observan las primeras tonalidades.

Los primeros números de éstas gamas, han necesitado cuatro capas para conseguir una superficie homogénea.

El Amarillo Anaranjado ," A_N ", no se ha representado por ser imposible conseguir una mezcla homogénea y opaca en la mezcla con negro, sea el negro un Negro Oxido de Hierro o un Negro Carbón. Este color sólo se puede utilizar como opaco si se mezcla a la vez con blanco.

Este mismo caso sucede con el Naranja Cadmio, que viene identificado con el símbolo de " N_{CM} ". Como se puede ver en la misma diapositiva (IV.5), este color, está situado en la última fila y no está representada su mezcla con negro. Ambos colores provienen de la gama Acrilico Studio , son de peor calidad que los colores escogidos y además como nos ha indicado la casa Vallejo se encuentran en estudio. Es interesante ver la diferencia cromática de los dos colores presentados como : naranja cadmio.

De la mezclas de naranjas con negro Carbón podemos señalar :

1º - El Naranja Cadmio es cubriente y mezclado con negro nos da colores tierra o naranjas poco saturados aumentando la oscuridad paulatinamente hasta llegar a la sensación de negro, sin que se halla llegado a mezclar cantidades iguales de los dos colores. Podemos indicar, que el negro desatura pero no cambia el tono dominante del Naranja Cadmio. Los colores procedentes de esta gama se ven más ocres - amarillos cuando estan húmedas y secas se vuelven más naranjas.

2º - Las otras gamas provienen de mezclar el Naranja Cadmio anterior en distintas proporciones con el Amarillo Hansa. Escogí este amarillo, a pesar de ser muy transparente, por ser más primario cromáticamente. El

amarillo Primorosa tenía pequeñas cantidades de blanco y verde y el amarillo Cadmio Limón, tenía matices anaranjados. El interes, residía en la siguiente pregunta : ¿ hasta cuando la mezcla con negro y amarillo - anaranjado me iba a dar tonos verdes pardos ?. Debido a esta pregunta las tres series establecidas tienen distintas proporciones de estos dos colores. Tanto la serie " 1 N_C / 8 A_H " como la serie " 1 N_C / 4 A_H " conforme aumenta levemente la proporción de negro se empieza a ver un verde pardo en vez de amarillos o naranjas poco saturados. Ya en el color " N_C = A_H " , un tono que corresponde a un color cuya tonalidad naranja se separa de los amarillos, es cuando el color negro desatura el tono original y lo oscurece, pero no lo cambia de tonalidad dominante. Estas mezclas, húmedas se perciben más ocres y amarillentas y secas se ven más anaranjadas. Los primeros colores de las gamas podemos apreciar que se muestran bastante transparentes.

Rojos , púrpuras y violetas con negro

Los rojos con negro solo oscurecen y se desaturan paulatinamente, pero no cambian de tonalidad.

En los rojos transparentes como: el Rojo Carmín Permanente y el Rojo Violeta Quinacridona, las gamas se han realizado más espaciadas y se puede observar que siguen dando colores transparentes y se desaturan muy rápidamente.

De las mezclas con violetas y púrpuras no se puede indicar nada ya que apenas permite realizar una sucesión por la oscuridad que presentan estos tonos.

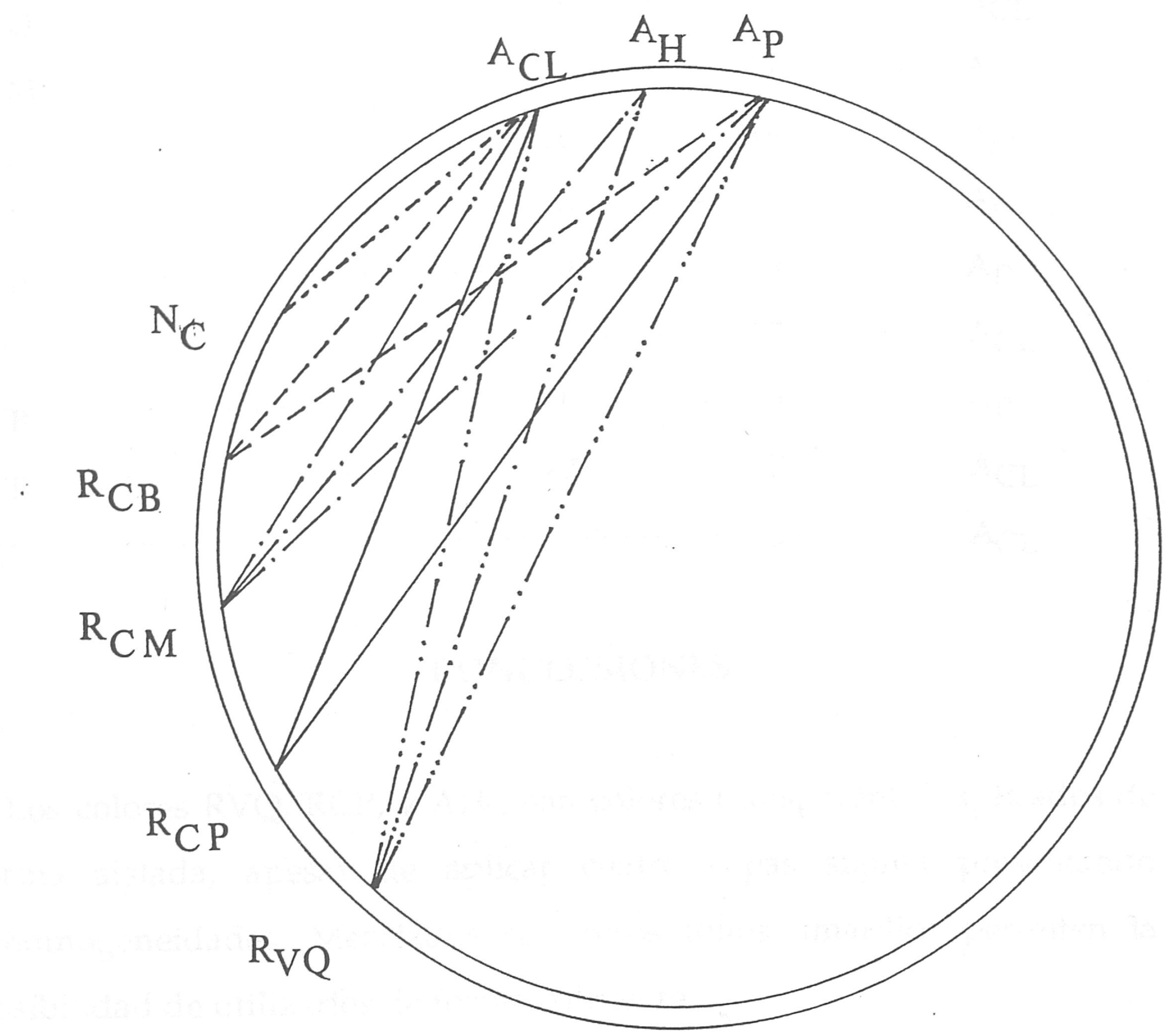
Todas las mezclas de colores básicos con blanco y con negro producen colores que al secar se vuelven más oscuros.

4.3 MEZCLAS DE COLORES PRIMARIOS

A. ROJOS Y AMARILLOS

El siguiente esquema , gráfica (IV .8), nos presenta la disposición de estas mezclas en el círculo cromático.

Gráfica IV .8. Mezcla de colores primarios: Rojos y Amarillos.



Dentro de este grupo las mezclas realizadas se pueden observar en la diapositiva número 6 que lleva el mismo título, estando ordenadas según la tabla (IV.4), siguiente:

Tabla IV.4. Rojos y Amarillos.

Color	Igualdad	Total	Color
R_{VQ}	7	16	A_P
R_{VQ}	7	15	A_H
R_{VQ}	6	15	A_{CL}
R_{CM}	7	17	A_P
R_{CM}	6	16	A_H
R_{CM}	8	19	A_P
R_{CP}	9	19	A_P
R_{CP}	9	17	A_{CL}
R_{CB}	9	19	A_P
R_{CB}	7	17	A_{CL}
N_C	16		A_{CL}

CONCLUSIONES

Los colores RVQ, RCP, y AH , son colores transparentes, aplicados de forma aislada, apesar de aplicar cuatro capas siguen presentando inhomogeneidades. Mezclados con otros tonos amarillos permiten la posibilidad de utilizarlos de forma cubriente.

En general todas las combinaciones de rojos con el Amarillo Primorosa dan colores - rojos, naranjas y amarillos - menos saturados que las mismas mezclas del mismo rojo con los otros amarillos. Esto se debe a que el amarillo primorosa contiene algo de blanco y de verde. El Rojo Violeta Quinacridona presenta tonos menos saturados por contener un poco de violetas, y el Rojo Cadmio Medio por ser menos saturado también da tonos naranjas y amarillo poco saturados.

Los colores de tonos rojos, naranjas y amarillos más saturados corresponden a las mezclas de Rojo Carmín Permanente y Rojo Cadmio Bermellón con Amarillo Cadmio Limón como era de esperar.

En cuanto a los cambios producidos entre las mezclas húmedas y secas podemos señalar: que al secar, todas los colores de las mezclas se vuelven más rojizos, excepto el Rojo Carmín Permanente que sólo se aviva; y todos los colores se oscurecen.

Los naranjas y amarillos de la mezcla de Naranja Cadmio y Amarillo Cadmio Limón "(NC ACL)" son más saturados que niguno de los anteriores, debido a que el Naranja Cadmio es más saturado que ninguno de los obtenidos mediante las otras mezclas de colores.

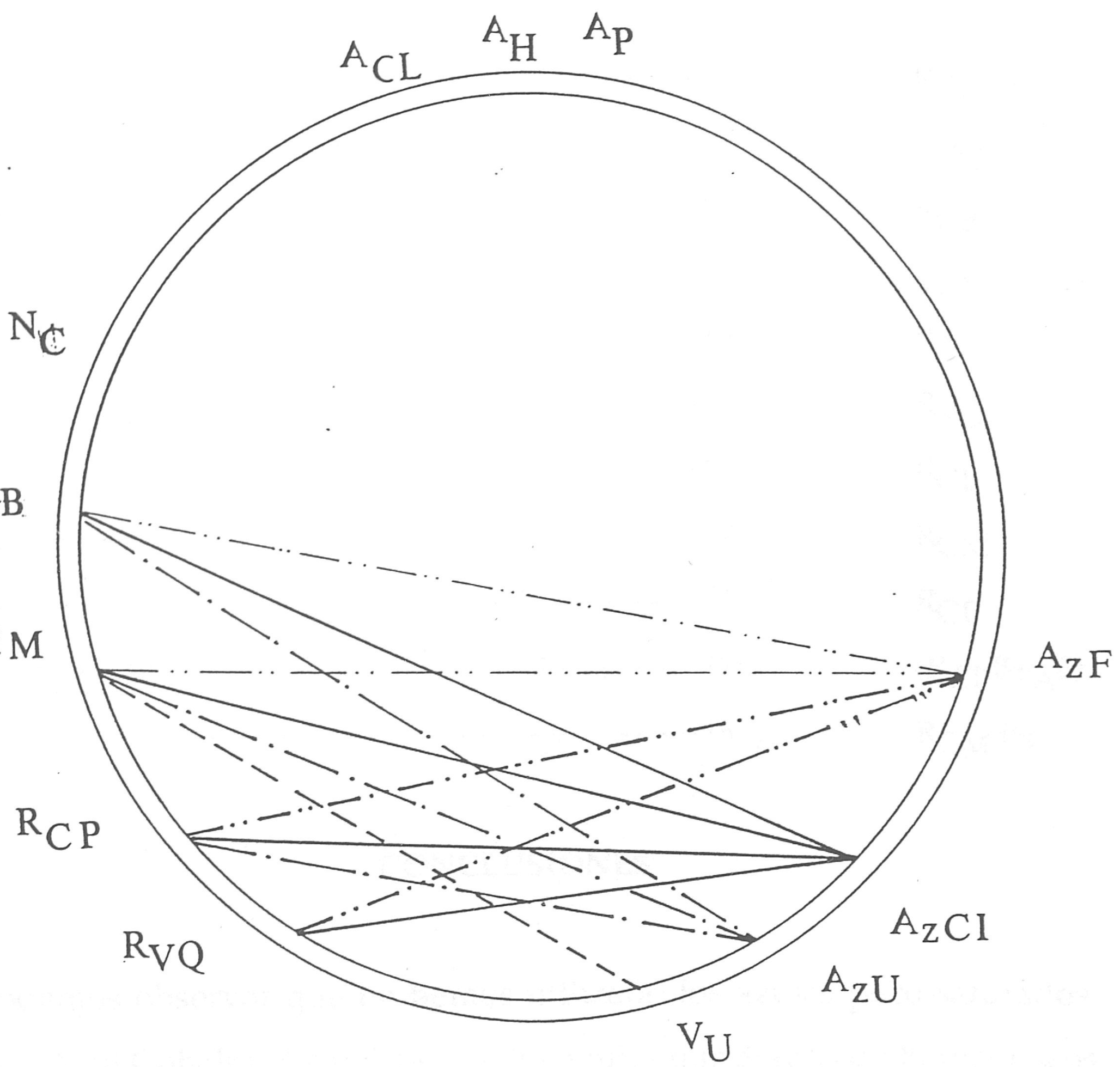
El poder colorante de los rojos es mayor que el de los amarillos, por lo que se necesita mayor cantidad de amarillo que de rojo para conseguir un tono naranja intermedio.

En cuanto a la luminosidad de las mezclas, resulta lineal, en el sentido, que, los rojos se van aclarando paulatinamente, y ningún color de los mezclados es más oscuro que el más oscuro de los mezclados.

B. AZULES Y ROJOS

Las mezclas planteadas podemos verlas en la gráfica (IV. 9) , donde se situan los planteamientos de las gamas realizadas.

Gráfica IV. 9. Mezcla de primarios : Azules y Rojos.



Las mezclas realizadas se pueden observar en la diapositiva número 8, estando ordenadas según la tabla (IV.5) ,abajo indicada.

Tabla IV.5. Mezcla de primarios : Azules y rojos.

Color	Igualdad	Total	Color
(Az_F B_T 13)		26	R_{CP}
(Az_F B_T 10)	11	23	R_{VQ}
Az_{CI}	13	22	R_{CB}
Az_{CI}	12	22	R_{CM}
Az_{CI}	6	12	R_{CP}
Az_{CI}		11	R_{VQ}
Az_U	7	16	R_{CB}
Az_U	8	17	R_{CM}
Az_U	8	13	R_{CP}
(Az_U B_{TA} 6)		17	($R_{CP}B_{TA}3$)
V_U		15	R_{CM} B_T

CONCLUSIONES

Podemos observar que no hemos utilizado los azules poco saturados, como : Azul Cobalto, Azul Prusia, y los azules que eran poco homogéneos (Azul Manganeso).

Por ser el Azul Ultramar y el Rojo Violeta Quinacridona colores muy transparente no se ha conseguido realizar estas series y que sean totalmente válidas conforme a los condicionantes establecidos.

Las mezclas de Azul Ultramar con Rojo Carmín Permanente, otro color también transparente, han dado muestras que se han representado pero que no llevan la numeración utilizada para medirla en el espectrofotómetro, por ser transparentes y presentar colores poco homogéneos. Esta serie está formada por colores poco luminosos por lo que se ha representado, al lado, el mismo color pero transparente; es decir, aplicando una sóla capa de pigmento. Los tonos púrpuras y violetas que se obtienen son los más saturados de todas las gamas de colores realizadas.

En la gama anterior "(R_{CP} Az_U)" podemos apreciar como la forma de aplicar un mismo color puede darnos colores diferentes. De forma tranparente, en los colores que domina la proporción de rojo carmín permanente, se ven tonos rosas o púrpuras, pero si se intensifica el color, con la aplicación de la siguiente capa, se ven rojos. Esto se debe al efecto del fondo blanco, la reflexión del blanco del papel se suma a la del rojo, con la siguiente capa se pierde luminosidad y parte de la reflexión blanca con lo cual se acentua el componente cromático del rojo. En estos tonos tan transparentes, si siguieramos aplicando capas sucesivas llegaríamos a un momento de máxima intensidad, después del cual el tono desaparecería y sólo se observaría el negro. Debido a esta característica muchos artistas usan estos colores muy velados o en capas muy finas para que no pierdan las características tonales. Una capa más gruesa

produciría, no sólo un aspecto pesado por no dejar pasar la luz, sino que también, perdería el color. Si la pintura es opaca o cubriente, las sucesivas capas que se aplicaran sobre un soporte una vez llegado el momento de máxima intensidad - también llamado saturación -, serían homogéneas cromáticamente, es decir, nos darían siempre el mismo color.

En cuanto a las demás mezclas podemos indicar que los distintos azules con el Rojo Cadmio Medio y el Rojo Bermellón nos producen azules, púrpuras y rojos poco saturados. De tal forma que, aunque la mezcla de azul Ftalocianina y estos rojos estaba proyectada para representarla en estas gamas de mezcla de primarios, los he situado en las mezclas de complementarios. Esto se debe a que tanto el azul Ftalocianina como el rojo Cadmio y el rojo Bermellón tienen en su composición pequeñas cantidades de amarillo y al sumarse, los violetas obtenidos se desaturan, convirtiendose en grises.

Las mezclas de Azul Cobalto Intenso con Rojo Violeta Quinacridona y con Rojo Carmín Permanente han necesitado cuatro capas de pintura para conseguir una superficie homogénea, la gama es más corta y los saltos entre colores consecutivos son mayores. Podemos observar como la gama de este azul con el rojo violáceo presenta tonos púrpuras y como la gama de Azul Cobalto Intenso con el Rojo Carmín Permanente presenta, de forma cubriente, tonos rojizos poco saturados.

Resulta también interesante resaltar que, las mezclas de Azul Ftalocianina con Rojo Carmín Permanente y con Rojo Violeta Quinacridona no se diferencian en gran medida de las gamas obtenidas con las series anteriores. En éstas, el azul lo hemos utilizado con bastante

proporción de blanco - el "(Az_F B_T 13)" corresponde a la proporción de " 7 Az_F / 2 B_T " - para que, por una parte, se pudieran percibir las mezclas (el azul Ftalocianina es un tono muy oscuro) y para que, nos dieran tonos opacos. El Azul Ftalocianina a pesar de ser un tono azul verdoso nos va dando en su mezcla tonos azules más violáceos, violetas y púrpuras saturados. La menor saturación de estas mezclas se debe a la mezcla del blanco. Esto nos induce a ver que estos rojos no contienen nada de amarillos (tono complementario de los púrpuras).

Una característica común a todas las gamas, es que los colores obtenidos son más oscuros que los colores de partida. Esta característica no sucedía en las gamas de rojos y amarillos.

Si observamos la tabla IV. 5 , podemos ver que el poder colorante de los azules y rojos es muy similar. Tanto el azul como los rojos cambian enseguida el matiz tonal al mezclarse con mínimas cantidades del otro.

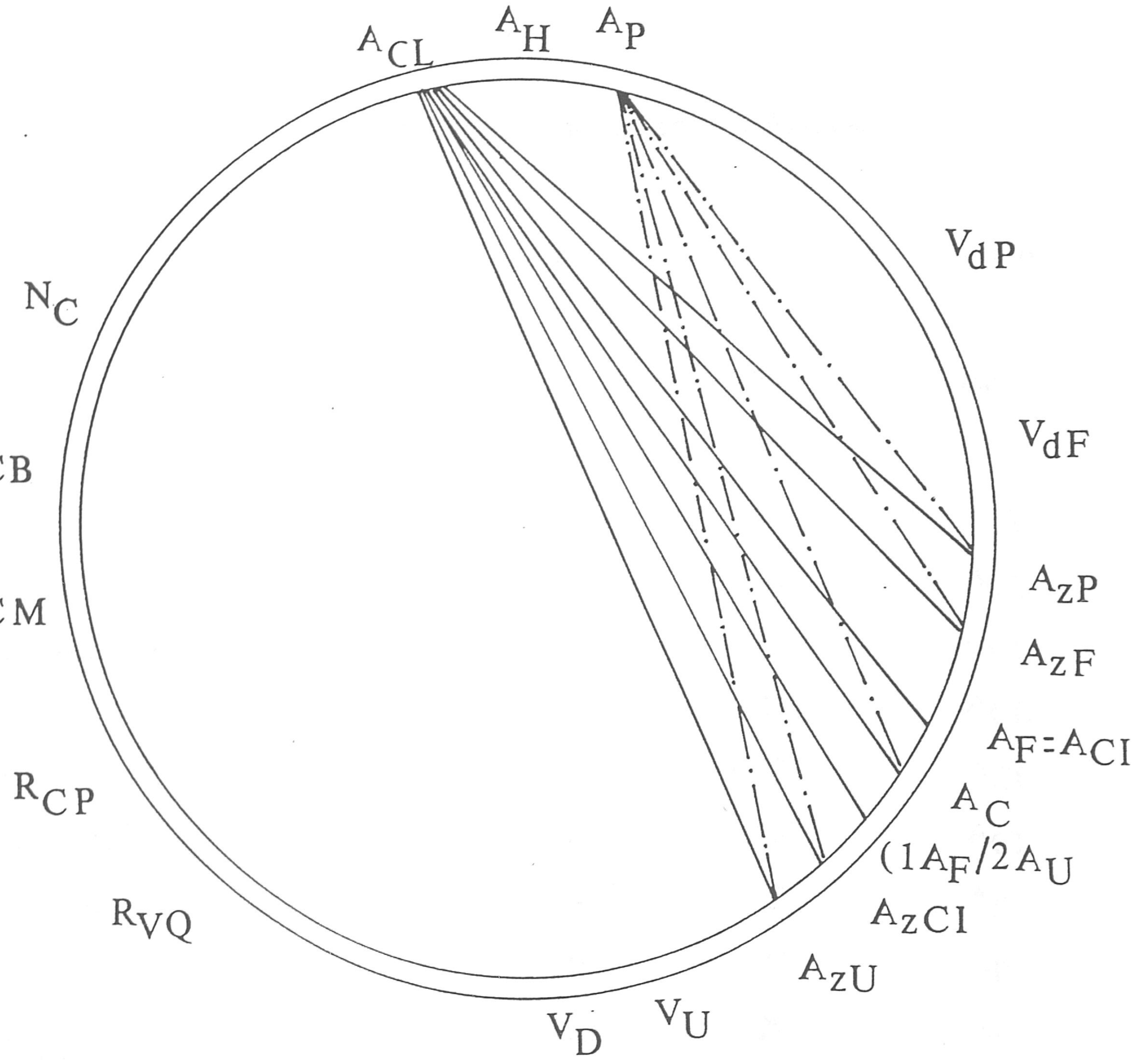
De húmedos a secos, por lo general, pierden el tono púrpura saturado y se vuelven más grises, no siendo interesante el cambio tonal. Todas las gamas se vuelven más oscuras al secar.

C. AMARILLOS Y AZULES

Sabemos que las mezclas de amarillo y azul nos darán colores cuyo tono dominante será el verde. Las características cromáticas de estos verdes dependerá de los distintos matices de los azules utilizados - más violáceos o más verdosos - , y de los matices de los amarillos utilizados - más verdosos o más anaranjados. Debido a que una de las condiciones del trabajo es que se obtengan colores cubrientes y homogéneos, no he utilizado el Amarillo Hansa por ser muy transparente; aunque sus características cromáticas son más idóneas, pues ya hemos visto que el amarillo Cadmio Limón es un poco anaranjado y que el Amarillo Primorosa es un poco verdoso y además contiene una pequeña cantidad de blanco. La gráfica (IV. 10) nos muestra un esquema de las gamas realizadas.

Para poder ver las gamas obtenidas, y siguiendo el orden de la representación, podemos ver la tabla (IV.6.) y la diapositiva número 9 . La tabla IV. 6 , nos especifica, lo mismo que las anteriormente utilizadas, los colores mezclados, el número total de muestras obtenido y el número que se obtiene al igualar las proporciones de los dos colores mezclados. De esta relación de igualdad podemos ver el poder cubriente de los distintos azules y de los distintos amarillos.

Gráfica IV. 10 .Mezcla de primarios: Amarillos y Azules.



Si comparamos la disposición de las muestras en la diapositiva y en la tabla, observaremos que los colores mezclados están invertidos, es decir, en la diapositiva se encuentran los amarillos a la izquierda y en la tabla a la derecha. Este cambio sólo obedece a la representación, en la tabla están situados conforme a la nomenclatura y en la diapositiva obedece a la

situación respecto a las otras gamas de primarios. Por tanto, en la diapositiva los números de las gamas crecen de derecha a izquierda.

Tabla IV.6. Mezclas de Amarillo y Azules.

Color	Igualdad	Total	Color
Az_F	11	28	A_{CL}
(Az_F B_T 8)	16	31	A_{CL}
$Az_F = Az_{CI}$	8	21	A_{CL}
Az_C	10	22	A_{CL}
(1 Az_F/ 2 Az_U)	11	26	A_{CL}
Az_{CI}	11	24	A_{CL}
Az_U	11	22	A_{CL}
(Az_P B_T 4)	15	32	A_{CL}
(Az_P B_T 4)	8	23	A_P
Az_U	18	28	A_P
Az_{CI}	16	29	A_P
Az_C	12	25	A_P
$Az_F = Az_{CI}$	11	27	A_P
(Az_F B_T 8)	16	30	A_P

CONCLUSIONES

Como características cromáticas a destacar podemos indicar las siguientes:

- Las mezclas con el Amarillo Cadmio Limón, nos dan tonos verdes más amarillentos y con el Amarillo Permanente se obtienen verdes más azulados.

- Si tuvieramos que elegir la gama que nos da colores más saturados o verdes más saturados, escogeríamos la formada por el Amarillo Primorosa y el Azul Ftalocianina - situada en último lugar "(Az_F B_T 8) A_P " - o la formada por Amarillo Primorosa y la mezcla de Azul Ftalocianina con Azul Cobalto Intenso en proporciones de igualdad - situada en penúltimo lugar "(Az_F = Az_{CI}) A_P " . Esta gama da tonos muy parecidos a la anterior .

- Las gamas que producen verdes menos saturados son las de Azul Prusia y las de Azul Ultramar, teniendo a su vez las características antes indicadas en sus mezclas con los distintos amarillos - con el Amarillo Cadmio son más ocres los verdes o amarillentos y con el Amarillo Primorosa son más azulados y pálidos los verdes.

- Salvando las características antes expuestas, podemos indicar que se han ordenado primero las mezclas con el Amarillo Cadmio Limón de más saturado a menos saturado; y en segundo lugar, las mezclas con amarillo Permanente de menos saturado a más saturado. De esta forma se pueden

comparar mejor y más rápidamente las diferencias entre las distintas gamas.

- Todos los colores de todas las gamas realizadas de húmedos a secos se vuelven más oscuros. Hay colores que cambian ligeramente el matiz, pero esto sucede de forma particular según cada una de las mezclas realizadas. Por lo tanto, intentaré señalar estas características en los siguientes párrafos.

Las dos primeras filas corresponden a un mismo amarillo con un mismo azul y la diferencia entre ambas es que la segunda fila está formada por mezclas que provienen de la combinación del Azul Ftalocianina con el blanco " Az_F B_T 8 " ; este azul, en cuanto a cantidades, podemos indicar que está formado por la proporción de 9 partes de Az_F y 1 parte de Blanco (B_T). Esta gama fue realizada por dos cuestiones: primera cuestión, el azul Ftalocianina es muy oscuro y apenas se aprecian los cambios tonales cuando domina la cantidad de azul; segunda cuestión, este azul es muy transparente y con un poco de blanco vimos que no cambiaba ni el tono ni la saturación y si, la luminosidad. Estas dos gamas en cuanto a los amarillos y verdes obtenidos son muy parecidas y los verdes más azulados se diferencian en que son más pálidos y verdosos los que provienen de la mezcla con un poco de blanco. Podemos observar que los colores de la primera gama, en la que domina el Azul Ftalocianina, son poco homogéneos por la transparencia de este color, a pesar de tener cuatro capas de pintura; sin embargo, los demás colores de esta gama si son cubrientes hasta llegar al predominio de la cantidad de

FACULTAD DE BELLAS ARTES
BIBLIOTECA

amarillo, donde se presentan poco homogéneos a pesar de aplicarles también, cuatro capas de pintura.

En cuanto al poder colorante, vemos que el del azul es mucho mayor que el del amarillo. Sin embargo al añadir blanco al azul, el poder colorante de las mezclas casi se iguala.

En cuanto al cambio de matiz tonal de húmedos a secos podemos indicar que los amarillos al secar se ven más amarillentos, más cadmio ; los verdes no cambian tanto de matiz y los azules que provienen del Azul Ftalocianina se ven húmedos como si provinieran de un azul más ultramar en vez de un azul verdoso; y los azules que provienen de la mezcla con un blanco, se mantienen más el matiz tonal y solo se aprecia el cambio a más oscuro al secar.

La siguiente gama esta formada por el Azul Ftalocianina con Azul Cobalto Intenso en partes iguales, mezclados con Amarillo Cadmio Limón. Podemos indicar que también son transparentes las mezclas donde domina el azul (a las cuatro primeras se les han aplicado cuatro capas) y las mezclas donde domina el amarillo. Los azules húmedos se ven pálidos y azulados y secos se ven más azul verdoso, los amarillos al secar se vuelven más verdosos.

El Azul Cobalto cambia rápidamente con un poco de amarillo, volviendose un azul verdoso. En cuanto al cambio de matiz podemos indicar que no es tan determinante como esta misma mezcla con el Amarillo Primorosa. Todos los colores de la mezcla cubre bien .

Las mezclas de " (1 Az_F / 2 Az_U) A_{CL} " por ser los dos colores - azules - transparentes se han tenido que dar cuatro capas de pintura a los cinco primeros colores de la gama. Esta gama cambia mucho la oscuridad de húmedo a seco, algo así como tres o cuatro lugares, pero el tono no cambia demasiado.

Las mezclas de azul Cobalto Intenso con Amarillo Cadmio húmedas se ven más azuladas, y secas se vuelven menos saturados los colores, más verdosos y opacos. Por ejemplo, el color " Az_{CI} A_{CL} 5 " húmedo se ve azul y seco se ve verde. También, con estas mezclas los tonos donde domina el azul o el amarillo son poco cubrientes y poco homogéneas, necesitan cuatro capas de pintura. Podemos destacar que este azul cambia de matiz rápidamente con un poco de amarillo.

La mezcla de Azul Ultramar con amarillo Cadmio Limón presenta un cambio tonal; húmedos, los azules se ven más verdosos, y secos más azulados; y los verdes se ven más amarilo cadmio húmedos. Este azul cambia rápidamente el tono, en sus mezclas con amarillo, ya sea el Amarillo Cadmio o Primorosa.

Las mezclas de Azul Prusia con los dos amarillos se han realizado con un poco de blanco para conseguir mayor poder cubriente y para que se pudieran ver las diferencias en todos los colores de la serie, ya que el Azul Prusia vimos que era un color muy oscuro. Estas gamas cubren bien, es decir, son opacas pues con una sola capa de pintura se conseguía cubrir por completo y de forma homogénea la superficie, sin embargo se han

aplicado dos capas como a la mayor parte de todos los colores utilizados. Los tonos cambian de matiz de húmedo a secos, viendose los azules al secar más azulados; los verdes, al secar se vuelven menos saturados y más cadmio, al igual que los amarillos, en las mezclas con el amarillo cadmio. En las mezclas con el amarillo Primorosa todos los colores se vuelven más apagados, más pálidos.

Todos los colores observados en las mezclas con Amarillo Primorosa mantienen las características correpondientes a las mismas realizadas con el amarillo Cadmio Limón . Además, de húmedos a secos, se vuelven más verdosos dejando el matiz amarillento y de verse húmedos más pálidos pasan a verse de un tono más vivo o intenso al secar.

4.4. MEZCLAS DE COMPLEMENTARIOS

Las siguientes muestras a realizar, una vez mezclados los colores considerados como primarios, son los colores que podemos considerar complementarios. Esta decisión se debe a diferentes razones, como:

1.- Al realizar los diámetros del círculo cromático, sería más fácil evitarcolores que se repitan (el metamerismo), ya que los intersecciones de las gamas tendrían menor espacio común .

2.- Es muy difícil saber cual es el color complementario de cada tono. Sabemos que de la zona amarilla son los violetas, de la zona naranja son los azules y de la zona roja son los verdes. Podemos realizar diámetros o paralelas a los diámetros y observar los matices de los grise obtenidos. Las tonalidades poco saturadas o grises acromáticos que obtengamos , nos darán la información de cuales son los colores complementarios.

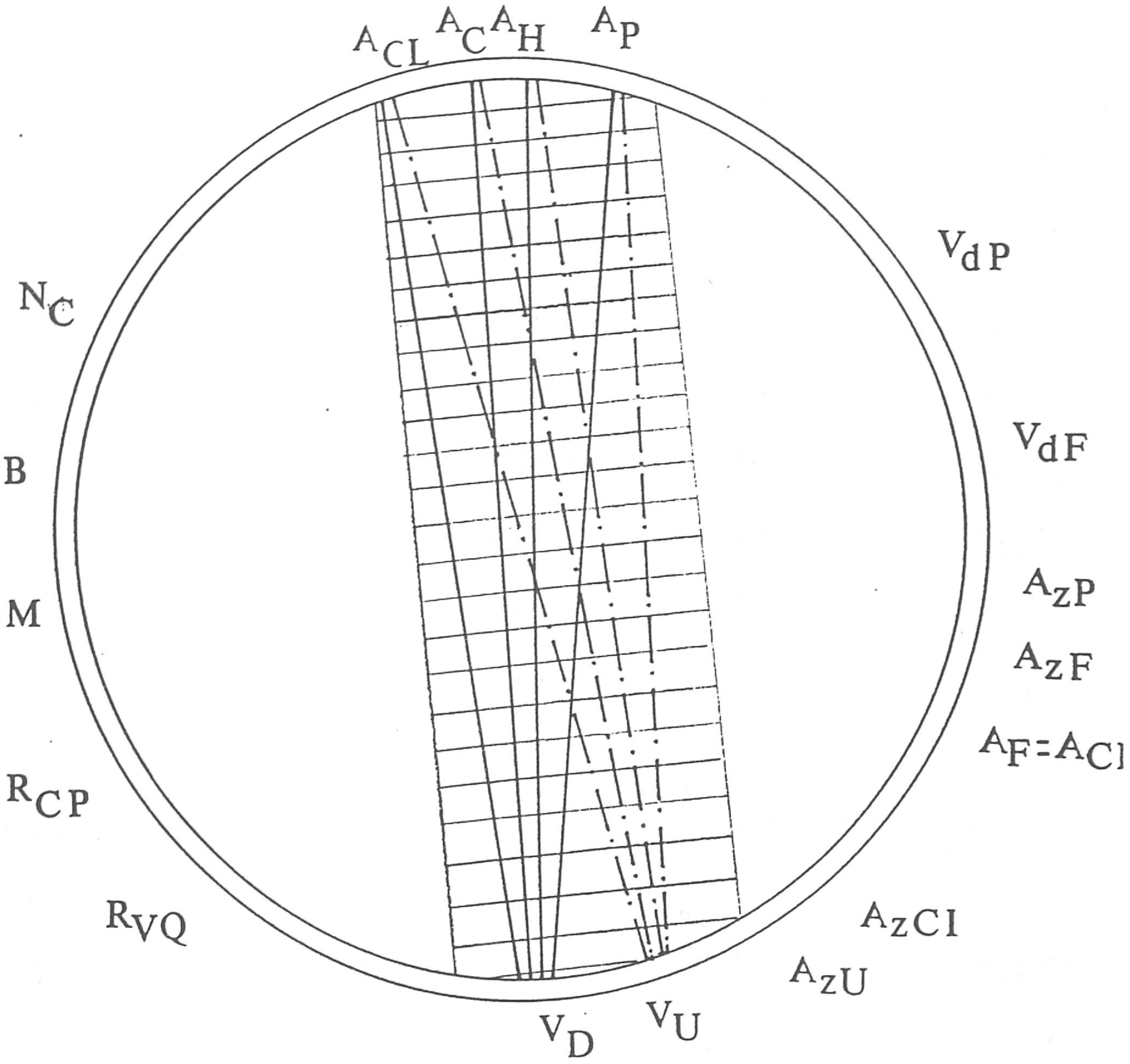
·3.- La forma más sencilla de conseguir colores poco saturados o de desaturar un color es mezclandolo con su complementario, asi sólo intervienen dos colores en las mezclas y no tres o más. Esto supone una simplificación del problema de las mezclas , pues al tener sólo dos variables es sencillo controlar los colores de las gamas.

4.- Una vez obtenido el gris acromático podremos saber si este color está equidistante o no de los colores de partida. Esta característica perceptiva se puede comparar con el color que obtenemos de igualar las cantidades de los dos colores mezclados, ver si coincide o no. Podemos tener idea de ver como sucede la percepción del color para las distintas zonas del espacio acromático.

A. AMARILLOS Y VIOLETAS

Las gamas realizadas comprenden las combinaciones de los distintos amarillos con los dos violetas - Violeta Ultramar y Violeta Dioxacina. Por ser los tonos violetas muy oscuros se han realizado distintas mezclas con violetas más claros a base de combinar estos colores con blanco en distinta proporción. La gráfica (IV 11) , nos representa de forma esquemática, los colores que han formado parte de las gamas. Los colores los podemos ver en la diapositiva 10.

Gráfica IV. 11 . Mezclas de Complementarios : Amarillos y Violetas.



La tabla (IV. 7) siguiente, nos representa las combinaciones realizadas.. La disposición establecida está ordenada situando primero la mezcla de Violeta Dioxacina de más oscuro a más claro, ocho series, y después las gamas con violeta Ultramar de más claro a más oscuro.

Tabla IV. 7. Violetas y Amarillos .

Color	Igualdad	Total	Color
V_D	8	22	A_P
(V_D B_T 9)	10	22	A_{CL} B_T 2
(V_D B_T 14)		21	A_H B_T 7
(V_D B_T 15)	8	19	A_P B_T 6
(V_D B_T 18)	10	20	A_H B_T 2
(V_D B_T 24)	11	19	A_{CL} B_T 4
(V_D B_T 29)	8	17	A_{CL} B_T 6
(V_D B_T 30)		18	A_P B_T 3
(V_U B_T 27)	10	18	A_C B_T 12
(V_U B_T 25)	8	15	A_H B_T 7
(V_U B_T 21)		16	A_P B_T 2
(V_U B_T 19)		13	A_{CL} B_T 4
(V_U B_T 17)	8	17	A_{CL}
(V_U B_T 10)		18	A_C B_T 5
(V_U B_T 6)		20	A_{CL}
(V_U B_T 4)		19	A_H B_T 1

CONCLUSIONES

Como podemos observar, el Violeta Ultramar no está representado en la mezcla con amarillo sin estar a la vez mezclado con blanco. Esta característica se debe a que el Violeta Ultramar es muy transparente, por tanto, se parte del Violeta Ultramar con Blanco Titanio "(V_U B_T 4)".

En cuanto a características cromáticas más significativas podemos señalar que las mezclas de cualquier amarillo con el violeta de Dioxacina dan tonos púrpuras, grises, verdes pardos y amarillos más cálidos que las mezclas de cualquier amarillo con el violeta ultramar, que da gamas de colores púrpuras violáceos, grises y tonos de verdes y amarillos más verdosos y frios.

Si observamos el grupo de los violetas Dioxacina con el Amarillo Cadmio Limón, vemos que nos dan gamas cálidas: púrpuras que se van dasaturando, ocres y amarillos. Cuando la cantidad de blanco de la mezcla es mayor, entonces los ocres resultan más amarillentos. Estos colores se corresponden con las series: "(V_D B_T 9) (A_{CL} B_T 2)", "(V_D B_T 24) (A_{CL} B_T 4)" y "(V_D B_T 29) (A_{CL} B_T 6)".

Los púrpuras, en estas gamas, húmedos se ven más rosados, y secos más violáceos; y los amarillos, al secar se ven más ocres rosados, y pálidos. Todos los tonos oscurecen al secar. El violeta es un color con un poco de más poder colorante que el amarillo, pero, sin embargo, el tono que se observa está más cerca de los amarillos que de los violetas.

El Violeta Dioxacina con el Amarillo Primorosa nos da tonos más verdosos que el anterior pero siguen siendo ocres. Podemos observar las

tres sucesiones realizadas:" V_D A_P ", " (V_D B_T 15) (A_P B_T 6) " y " (V_D B_T 30) (A_P B_T 3) ". Estas gamas de húmedas a secas cambian oscureciendose los tonos, se ven muy pálidas húmedas y al secar se vuelven los colores más vivos, los amarillos más amarillentos y los violetas o púrpuras más violáceos. El poder colorante del Violeta de Dioxacina comparado con el Amarillo Primorosa parece ser mayor que con el amarillo anterior por el lugar que vemos ocupa el término medio en la tablas IV. 7 . Este tono se corresponde más con un gris verdoso o gris púrpura, dependiendo la cantidad de blanco de las gamas.

Comparando las distintas mezclas conseguidas con los distintos amarillos y el Violeta Ultramar podemos comentar los siguientes aspectos:

- Con el Amarillo Cadmio Limón se han realizado las siguientes mezclas: " (V_U B_T 19) (A_{CL} B_T 4)" , " (V_U B_T 17) A_{CL} " y " (V_U B_T 6) A_{CL} ". De estas mezclas se obtienen violetas que se van desaturando, grises, verdes pardos y amarillos. De húmedos a secos se vuelven los violetas más grisáceos y los amarillos más ocres amarillentos, húmedos se ven más amarillo limón e intenso. El poder colorante observado en la gama que resulta de mezclar el" A_{Cl} con (V_U B_T 17)" es similar ya que se obtiene el número 8 de una sucesión de 17 colores.

- Con el amarillo Hansa y el Amarillo Cadmio se han realizado las siguientes mezclas: " (V_U B_T 27) (A_C B_T 12)" , " (V_U B_T 25) (A_H B_T 7)" , " (V_U B_T 10) (A_C B_T 5)" y " (V_U B_T 4) (A_H B_T 1)". Unimos estos dos colores por tener la misma coloración, y además, ambos dan mezclas poco cubrientes, por lo que se han tenido que realizar todas las muestras

mezclados estos colores con blanco. Se obtienen colores violetas que se van desaturando, grises neutros y verdes que se van volviendo amarillentos. En cuanto al poder colorante , si nos fijamos en la gama formada por " (V_U B_T 25) (A_H B_T 7)", vemos que de un total de 15 muestras la que ocupa el lugar equidistante es la número 8 , por tanto es similar. Sin embargo visualmente el color gris neutro está representado en el color que ocupa el lugar 4.

- Con el Amarillo Primorosa se han realizado las siguientes mezclas: "(V_U B_T 30) (A_P B_T 3)" y " (V_U B_T 21) (A_P B_T 2)". Los tonos obtenidos son violetas que rápidamente se desaturan, grises, grises verdosos, verdes pálidos y amarillos verdosos. Los violetas de húmedos a secos, se vuelven más violáceos, y los amarillos más amarillos, es decir, el color se aviva al secar. En las mezclas de estos colores también pasa como con los anteriores , el gris neutro está muy cerca del violeta .

Considero importante destacar estas características en conjunto:

1º.- El Violeta Ultramar se puede considerar como complementario del amarillo neutro (Amarillo Hansa o Amarillo Cadmio): por obtener colores violetas o amarillos poco saturados y pasar de un tono al siguiente sin encontrar otra gama tonal entre ambos, tan sólo el gris acromático.

2º.- El gris que se percibe está mucho más cerca del violeta que del amarillo. Esto implica que el tono acromático no equidista de estos dos tonos, por lo que, el espacio idóneo, desde el punto de vista de la percepción del color, no puede ser una circunferencia.

3º.- Es imposible percibir un color como amarillo si es oscuro o si esta desaturado, se percibirán verdes pardos u ocres pálidos o rosados. La percepción de amarillo va unida a un color claro - luminoso - y vivo o intenso - saturado.

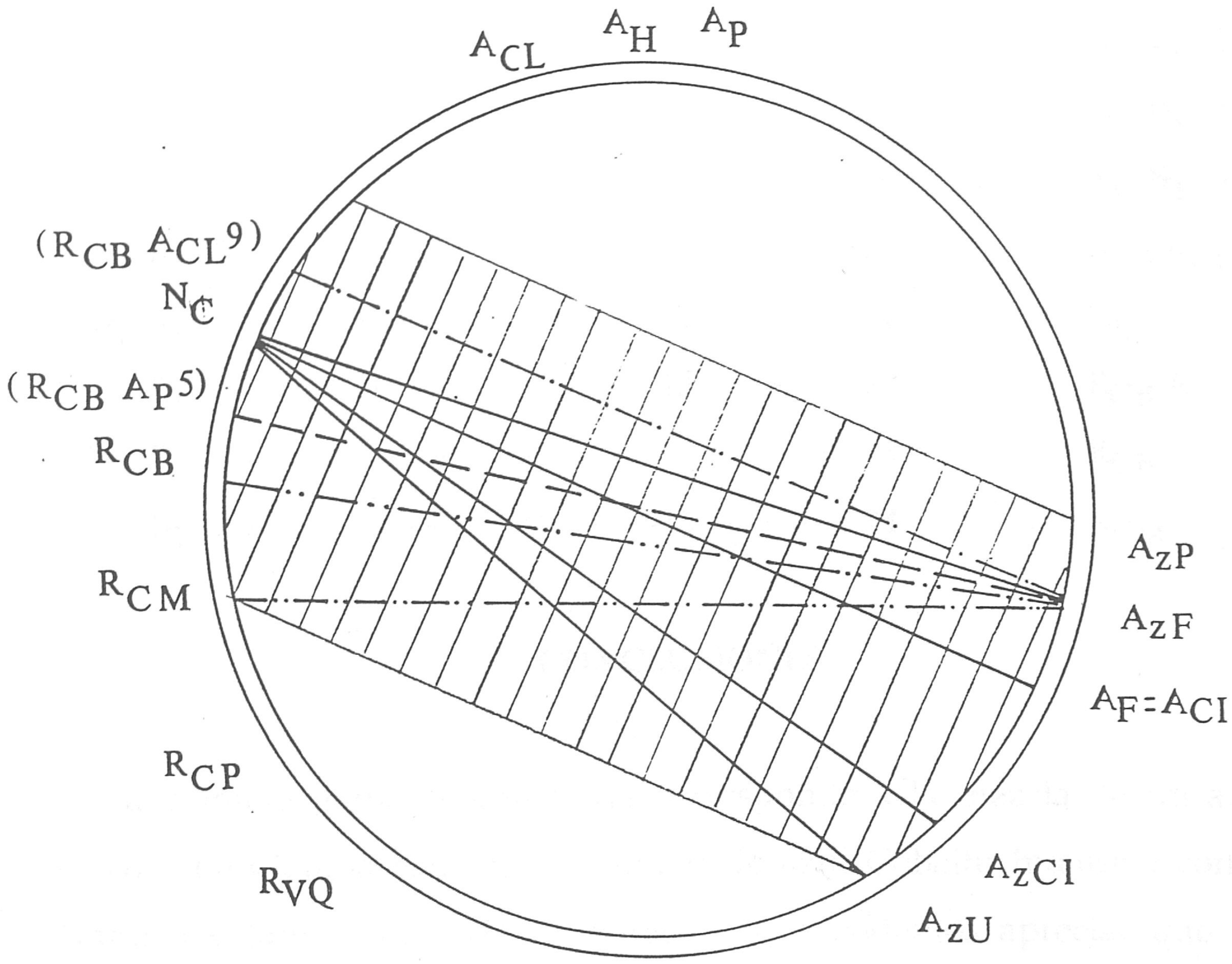
4º.- Todas las muestras anteriores oscurecen al secar.

B. AZULES Y NARANJAS

En las mezclas de azules con su complementario, el naranja, se han utilizado distintos azules y se han mezclado con el Naranja Cadmio que era cubriente. Por ser todos los azules muy oscuros, se han realizado casi todas las gamas con la mezcla de azul con blanco en distintas cantidades. De esta forma, se consiguen colores opacos y además se pueden observar mejor las diferencias de unas tonalidades a las otras, hasta en los matices mínimos.

La gráfica (IV. 12), nos indica un esquema de las gamas realizadas.

Gráfica IV.12. Mezcla de complementarios: Azules con naranjas.



En la diapositiva número 11, podemos observar las gamas ordenadas según la serie que acontinuación se expresa en la tabla (IV. 8) .

Tabla IV. 8. Azules y Naranjas.

Color	Igualdad	Total	Color
(Az_F=Az_{CI})	10	21	N_C
(Az_{CI} B_T 5)	11	21	N_C B_T 3
(Az_{CI} B_T 15)	12	20	N_C B_T 5
(Az_U B_T 23)	11	21	N_C B_T 8
(Az_U B_T 26)	8	20	N_C B_T 15
(Az_F B_T 24)	10	19	N_C B_T 15
(Az_F B_T 20)	11	20	N_C B_T 11
(Az_F B_T 19)	11	20	R_{CB} A_{CL}9
(Az_F B_T 14)	12	22	N_C
(Az_F B_T 15)	12	23	R_{CB} A_P 5
(Az_F B_T 13)	33		R_{CB}
(Az_F B_T 13)	13	24	R_{CM}

CONCLUSIONES

La primera gama representada corresponde a la mezcla de un azul (azul Ftalocianina con igual cantidad de azul Cobalto Intenso) con el Naranja Cadmio sin nada de blanco. Aqui podemos apreciar que los

colores no sólo se dasaturan sino que también se vuelven más oscuros que el más oscuro de los mezclados. Iluminados con poca luz casi parecen negros o marrones anaranjados. Los colores correspondientes a los números " ($Az_F = Az_{CI}$) N_C 8 y 9 " son grises verdosos, que sólo se aprecian cuando se ha dado una sola capa de pintura. El poder colorante de este azul y del naranja si observamos la tabla vemos que es similar.

Del Azul Cobalto Intenso con naranja se han realizado dos sucesiones variando estas en las cantidades de blanco con la que se ha mezclado el azul. Con éstas mezclas, se consiguen gamas de azules y naranjas poco saturados y grises púrpuras. En cuanto al cambio del tono de húmedo a seco, se aprecia que los azules pasan del gris a un azul más intenso y los naranjas se vuelven también más anaranjados. El poder colorante es similar y con esa proporción de blanco no dan ningún problema de opacidad. Todos oscurecen al secar.

Partiendo de las gamas de azules realizadas anteriormente, las gamas con azul Ultramar darán colores grises púrpuras, por lo tanto, se han realizado estas gamas con un azul ultramar muy claro y naranjas cadmio también muy claro. Podemos observar que el " Az_U B_T 23 " mezclado con el " N_C B_T 8 " va desaturando el azul y lo convierte en un gris, después se observan colores grises púrpuras, hasta aparecer un tono naranja pálido y poco saturado que se va volviendo más intenso y anaranjado.

Observando la diapositiva número 11, vemos que la siguiente gama de azul Ultramar está formada por " (Az_U B_T26) (N_C B_T 15)" ambas tonalidades muy claras, de forma que los azules se mantienen con las

mismas características pero los naranjas se perciben como rosas o púrpuras poco saturados.

Estas gamas cambian de secas a húmedas mostrandose pálidos y poco saturado el color cuando estan húmedas y al secar se avivan tanto los tonos azules como los naranjas.

Las restantes series de mezclas están constituidas, todas ellas, por Azul Ftalocianina con distintos grados de claridad a consecuencia de la mayor o menor cantidad de blanco con el que se ha mezclado este color. Estas a su vez estan formadas por las mezclas de distintos colores: Naranja Cadmio, otro naranja más amarillento (R_{CB} A_{CL} 9), otro naranja más rojizo (R_{CB} A_P 5), Rojo Cadmio Bermellón y el Rojo Cadmio Medio.

Las conclusiones de la realización de estas gamas se pueden observar de una forma sencilla si comparamos gamas iguales en un color y que se diferencian en pequeños matices con otro color. Por ejemplo, si comparamos la gama realizada con Azul Ultramar claro y naranja claro, con la de Azul Ftalocianina y el mismo naranja observamos que cuando la cantidad de naranja domina en la mezcla, los colores resultantes apenas se diferencian, después aparecen diferencias, en los números correspondientes al 17, 16, 15 y 14 , ya que se observan matices azulados o púrpuras en las mezclas con Azul Ultramar, y matizaciones más anaranjadas o grisáceas en las mezclas con el Azul Ftalocianina. Los números 12 y 11 ya son básicamente grises con diferentes matices: púrpuras los primeros, y más grises neutros o verdosos, los segundos. En los siguientes colores en orden decreciente, del número 10 al 1 , domina la

cantidad del azul y; por lo tanto, se manifiesta claramente el comportamiento anterior, donde las diferencias son mayores.

La siguiente gama de Azul Ftalocianina está formada por un azul más oscuro, (Az_F B_T 20) y un Naranja Cadmio más oscuro, (N_C B_T 11) ; que comparado con el anterior, (Az_F B_T 24) y (N_C B_T 15), se diferencia sobre todo en la claridad y oscuridad de los tonos.

Si comparamos las gamas siguientes: formadas por azules muy parecidos (Az_F B_T 14) y (Az_F B_T 19) con N_C y con un naranja un poco más amarillento " (R_{CB} A_{CL} 9)", vemos que los resultados son bastante diferentes de lo esperado. La primera gama nos da tonos azules, grises y naranjas, podríamos situarla casi como colores complementarios. La segunda gama nos da tonos azules, verdes, verdes pardo, amarillos y naranjas poco saturados . ¿ A qué se debe la gran diferencia entre estas dos gamas ?. Sin duda alguna se debe a que los dos naranjas que se observan muy iguales podríamos considerarlos como colores metámeros (colores que tienen distinta composición espectral y que se ven iguales). Este problema, hace que sea muy difícil y arriesgado en pintura predecir con exactitud el color que se va a obtener de la mezcla de dos colores determinados, si antes no se ha realizado esa misma mezcla. La diferencia aparentemente más sencilla puede dejarnos, en un momento dado, por mentirosos o por ignorantes.

Lo mismo podemos indicar de las gamas siguientes formadas por "(Az_F B_T 15) con (R_{CB} A_P 5)", y " (Az_F B_T 13) con R_{CB}" . A pesar de que los dos rojos parecen tener un tono muy igual, vemos que las mezclas con Azul Ftalocianina nos dan rojos poco saturados (tierras) de matices muy

diferentes . En el primer caso, muy anaranjados o amarillentos y en el segundo caso, más rojizos.

Las dos últimas gamas representadas tienen un mayor número de colores, debido al menor paso establecido entre colores consecutivos. Los grises conseguidos con el Rojo Cadmio Bermellón son más neutros que los conseguidos con el Rojo Cadmio Medio. Recordemos que estas mezclas se pensaron para realizarlas como mezcla de colores primarios y por los colores obtenidos se han representado como mezcla de colores complementarios.

Por regla general, los colores de las gamas conseguidas con el Azul Ftalocianina se ven más verdosos húmedos y al secar se vuelven más azulados. Los rojos o naranjas se vuelven más intensos y rojizos o anaranjados al secar.

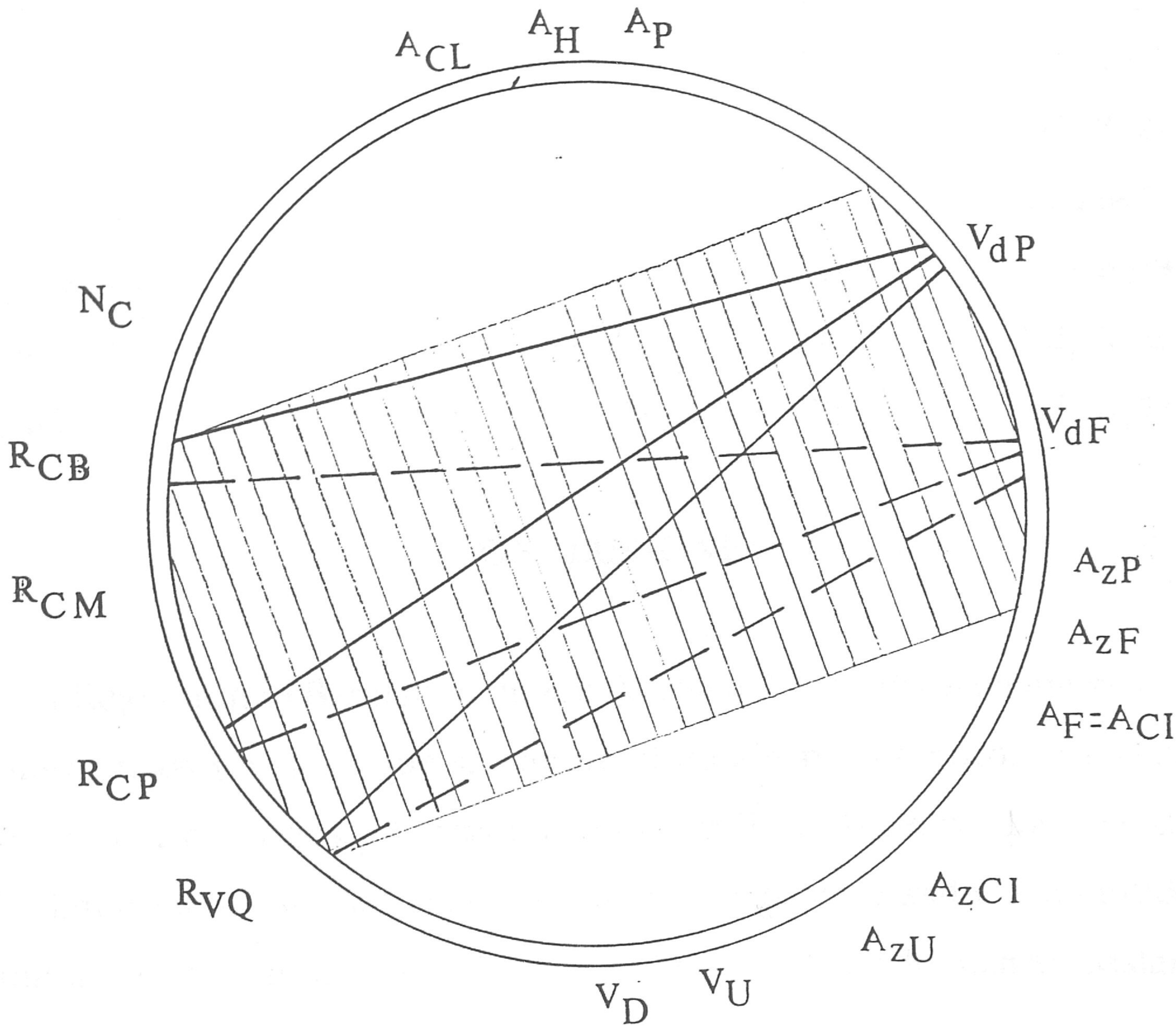
En todas las gamas realizadas, los colores, se vuelven más oscuros al secar.

Si observamos la tabla IV. 8 , vemos que el poder cubriente de los distintos azules con los distintos naranjas es muy similar. Y que la sensación de gris acromático está más o menos equidistante de los colores básicos de partida para las mezclas. Sin ambargo, conforme nos fijamos en las gamas de azul más violáceos, Azul Cobalto Intenso y Azul Ultramar, vemos que el gris acromático se acerca a los azules.

VERDES Y ROJOS - PURPURAS

Para la realización de estas gamas y buscar el complementario de cada uno de los verdes utilizados (Verde Ftalocianina y Verde Permanente) he partido de las mezclas con los distintos rojos y con púrpuras (rosas), es decir mezclando el rojo con blanco en distintas proporciones. Las mezclas realizadas podemos observarlas esquemáticamente en la gráfica (IV. 13). Estas gamas están representadas en la diapositiva número 12.

Gráfica IV. 13 . Mezclas de verdes y rojos-púrpuras.



La tabla (IV. 9) siguientes nos especifica, como las anteriores los colores mezclados, la igualdad de las proporciones utilizadas de cada color en las mezclas y el total de colores obtenido.

Tabla IV.9. Mezcla de complementarios: Verdes y Rojos -Púrpuras.

Color	Igualdad	Total	Color
R_{CB}	15	24	Vd_P
R_{CP} B_T 1	7	21	Vd_F B_T 8
R_{VQ} B_T 5	11	20	Vd_P
R_{VQ} B_T 6		23	Vd_F B_T12
R_{CP} B_T 9	12	21	Vd_F B_T 7
R_{VQ} B_T 16		20	Vd_F B_T21
R_{VQ} B_T 10	11	21	Vd_P B_T15
R_{CP} B_T 18	11	21	Vd_P B_T19
R_{CB} B_T 15	12	22	Vd_F B_T25
R_{CB} B_T 21		17	Vd_F B_T28

CONCLUSIONES

El Rojo Cadmio Bermellón mezclado con el Verde Permanente nos dan colores rojos y verdes que se van desaturando poco a poco, obteniendo colores tierras rojizos y tierras u ocres amarillos, verdes pardos y verdes. Es importante señalar que los colores van perdiendo luminosidad conforme se van mezclando. Este rojo y este verde tienen bastante

FACULTAD DE BELLAS ARTES
BIBLIOTECA

composición de amarillo por lo que resulta normal que los grises sean grises que se desvían hacia la zona amarilla.

Si observamos la gama siguiente, que está formada por la mezcla de rojo Carmín Permanente y Azul Ftalocianina con blanco, vemos que estos dos tonos tienen matices más azulados, por tanto las mezclas entre ellos nos dan colores: rojos, púrpuras, y verdes. Esta gama también produce colores que se van oscureciendo paulatinamente.

Las restantes gamas se han obtenido de añadir blanco al color rojo con lo cual vimos que se producían los rosas o púrpuras. Si nos fijamos en las gamas que parten del rojo Violeta Quinacridona (el rosa más púrpura o con más cantidad de azul), vemos que dan series distintas según se mezclen con el Verde Ftalocianina o con el Verde Permanente. El " (R_{VQ} B_T 6) (Vd_F B_T 12) " nos da una gama que va de los púrpuras a los violetas y de estos a los azules y verdes. La otra serie nos produce los mismos cambios pero con los mismos colores y más claros, formada por " (R_{VQ} B_T 16) (Vd_F B_T 21) ". Estas gamas al secar los rosas se vuelven más púrpuras y los azules más azulados.

De las otras dos series de Rojo Violeta Quinacridona con Verde Permanente, podemos observar que no presenta tonos intermedios, es decir, pasa de los púrpuras poco saturados a los verdes poco saturados. En la mezcla, el color que corresponde a : " (R_{VQ} B_T 5) Vd_P 10 " vemos que puede considerarse acromático, si lo situamos con los púrpuras parece gris verdoso y si lo situamos con los verdes lo vemos como gris púrpura. La otra gama establecida con estos mismos colores pero con mayor proporción de blanco, también nos sugiere la misma característica

cromática. Estas gamas, al secar, se vuelven todos los colores más azulados. El color que presenta la misma cantidad de los dos mezclados, correponde al número 11 de una serie de 21; húmedo se ve gris acromático y seco se ve más azulado.

El Rojo Carmín Permanente con blanco presenta un tono rosa que se aleja más de los violetas que el Rojo Quinacridona. La mezcla con Azul Ftalocianina vimos que nos producía tonos púrpuras, por lo tanto, en esta gama se ha mezclado con Verde Permanente. De esta combinación se han realizado, también dos gamas con distinta cantidad de blanco. Tanto la gama formada por " (R_{CP} B_T 9) (Vd_P B_T7)" como la gama formada por: " (R_{CP} B_T 18) (Vd_P B_T19) " producen colores rosa y verdes que se van paulatinamente desaturando hasta la sensación de gris acromático, que en ambas mezclas coincide con el número 10, dentro de la sucesión establecida. En estas mezclas los tonos, al secar, también parecen más intensos y azulados que húmedos. El poder cubriente de todas las gamas es similar, pues el número que corresponde a igualar las cantidades de los dos colores mezclados, viene a estar en la mitad de la serie.

Las dos últimas gamas representadas corresponden a la mezcla del Rojo Cadmio Bermellón y Azul Ftalocianina con distintas cantidades de blanco. La gama " (R_{CB} B_T 15) (Vd_P B_T25) " ,produce tonos rosas - rojizos que se van desaturando lentamente hasta el número 10 que correponde a un gris acromático, para seguir hacia los verdes cada vez más saturados. El interes de la siguiente gama reside en que al ser más clara produce un menor número de colores y acentúa las características de las anteriores, en la que el gris acromático tiende a verse más cerca de la

zona de los rosas que de la zona de los verdes. Esta mezcla húmeda resulta muy difícil de realizar la sucesión de los colores por ser muy clara. En todas estas gamas se oscurecen los tonos al secar.

Resumiendo, podemos considerar como complementarios: el Rojo Carmín Permanente del Verde Permanente, y el Rojo Cadmio Bermellón del Verde Ftalocianina.

MEZCLA DE COLORES SECUNDARIOS

Las mezclas realizadas y expuestas bajo este título podemos agruparlas en tres grupos : Violetas con verdes, Verdes con Naranjas y Violetas con naranjas.

Al considerar el espacio tonal dividido en seis tonos, nos encontramos con el problema siguiente: ¿ que lugar ocuparían los púrpuras (rosas) ?. Teniendo esto en cuenta hemos añadido y unido el término violeta y púrpura como si de un sólo tono se tratara.

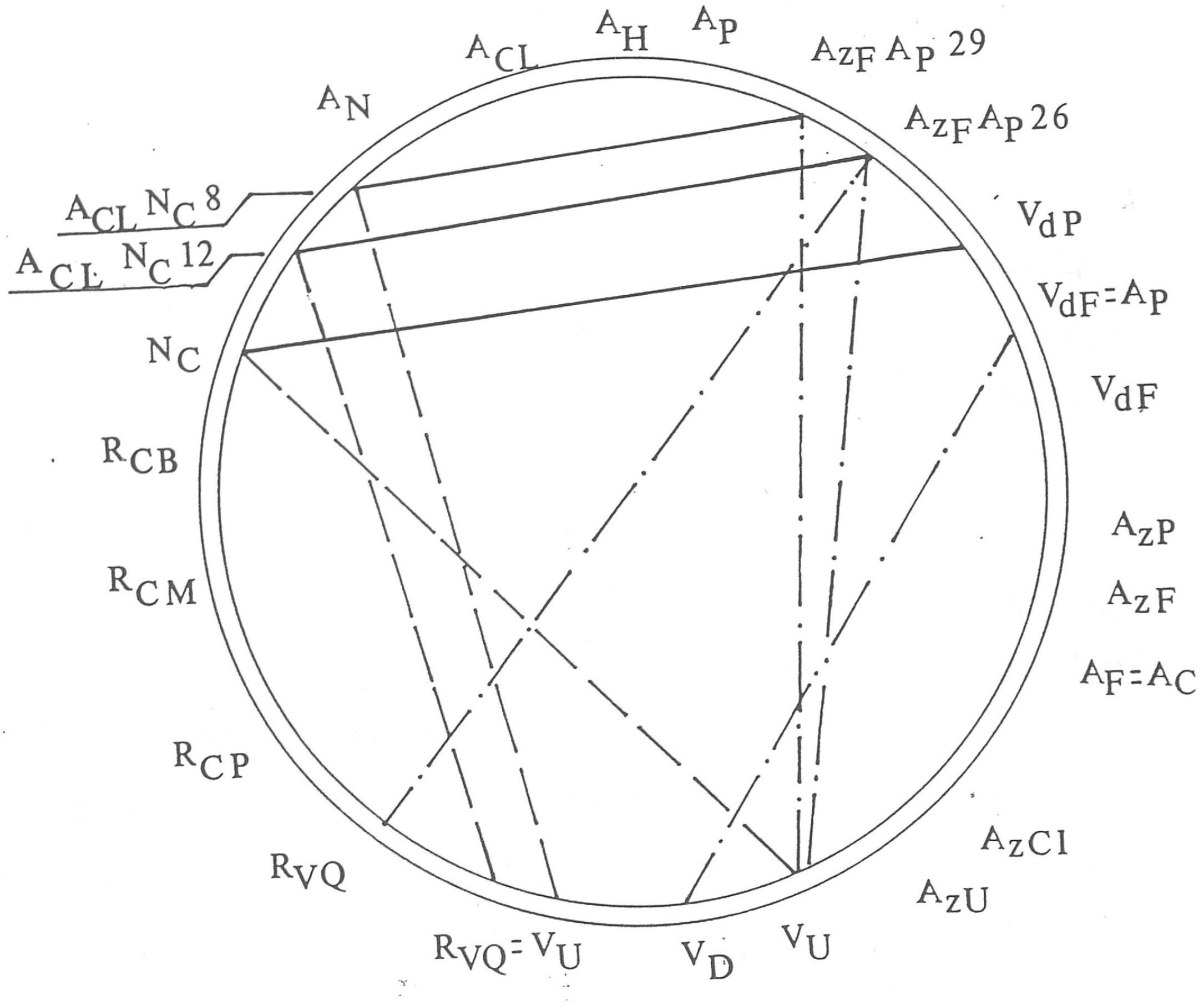
En teoría de las mezclas, un color secundario saturado está formado por la mezcla, en distintas proporciones, de dos primarios y no debe contener nada del otro primario. Por ejemplo, un naranja está formado por un amarillo y un rojo, y si está saturado, no tiene nada de azul. Un verde está formado por la mezcla de amarillo y azul, y si está saturado no tiene nada de rojo. Por lo tanto, si mezclamos el naranja y el verde, estamos mezclando proporciones de los tres primarios, y en consecuencia los colores no podrán salir saturados, tienden al acromático. En este caso la dominante tonal sería el color amarillo, por estar en mayor proporción que los otros dos, pero este amarillo sería un tono ocre.

Según el párrafo anterior en la mezcla de colores secundarios, cuando se trata de pigmentos, no se pueden obtener colores primarios saturados , es decir azules, rojos y amarillos. Los colores que se pueden obtener son azules poco saturados, es decir, grises azulados, rojos poco saturadso, es decir, tierras o marrones, y amarillos poco saturados u ocres. Por

supuesto, siempre se obtendrán colores verdes, violetas y púrpuras, y naranjas poco saturados.

Los esquemas de las mezclas realizadas los podemos ver en la gráfica (IV. 14), siguiente.

Gráfica IV.14. Mezcla de colores secundarios.



En la tabla (IV. 10) siguiente podremos ver como se han colocado las muestras, con el número total de colores obtenidos, y el término que iguala las cantidades de los dos mezclados. Esta tabla corresponde a los colores de la diapositiva número 13.

Tabla IV. 14 . Mezclas de Secundarios.

Color	Igualdad	Total	Color
Violetas - Púrpuras y verdes			
$V_D\ B_{TA}\ 22$	10	19	$V_{dF} = A_P$
$V_U\ B_{TA}\ 21$	13	19	$A_P\ Az_F\ 4$
$V_U\ B_{TA}\ 25$	11	16	$Az_F\ A_P 29$
$R_{VQ}\ B_T\ 17$	10	19	$Az_F A_P\ 26$
Verdes y Naranjas			
Vd_P	10	23	N_C
$A_P\ Az_F\ 5$	8	18	$A_{CL}\ N_C 12$
$A_P\ Az_F\ 1$	8	15	$A_{CL}\ N_C\ 8$
Violetas- Púrpuras y Naranjas			
$V_U\ B_{TA}\ 12$	9	21	N_C
$V_U = R_{VQ}$	8	16	$A_{CL}\ N_C\ 8$
$V_U = R_{VQ}\ B_T$	12	17	A_N

CONCLUSIONES

Violetas y Verdes

De estas mezclas podemos comentar que para evitar los problemas de transparencias he mezclado el violeta con blanco, ya que vimos que este color no cambiaba el tono al añadirle blanco.

La primera serie de colores está formada por la mezcla de Violeta Dioxacina y un verde neutro - ni amarillento ni azulado -, "(V_D B_{TA} 22) (Vd_F = A_P)", es decir podemos considerarlos como representantes de la idea teórica de violeta y verde. Esta gama desde el punto de vista de la cromaticidad nos da colores violetas, grises y verdes poco saturados que se van saturando paulatinamente. Los grises más neutros, corresponden a los números 5, 6 y 7 de la sucesión , podemos considerarlos como gris violáceo, gris azulado y gris verdoso. El color que corresponde a la igualación de los colores mezclados está equidistante, por ser el número 10 de una gama de 19 colores. Por tanto, el poder colorante de los verdes y violetas es similar, sin embargo nuestra percepción del color ve ese color como un verde y percibe el gris mucho antes. Teniendo esta característica en cuenta, cuando realizamos estas mezclas pensaremos que con muy poco verde es suficiente para que un violeta se vuelva gris o verdoso. En cuanto al cambio de húmedos a secos podemos comentar que los violetas se ven pálidos y rosados; y al secar se vuelven más violáceos y vivos (saturados), los verdes no cambian de matiz tonal, solo oscurecen.

Las dos siguientes gamas están formadas por la mezcla del violeta con distintas proporciones de blanco con amarillos verdosos, que vienen de distintas proporciones del Azul Ftalocianina y del Amarillo Primorosa (esta combinación vimos que nos daban los verdes más saturados).

Los colores obtenidos los podríamos encuadrar en la gama de complementarios, pues tienen las mismas características que las observadas para la mezcla de amarillos y violetas. Se obtiene un gris neutro, estando muy cerca del violeta y los verdes no cambian de matiz tonal, solo se desaturan. Si observamos en la tabla IV.9, la columna de igualdad, vemos que el número del color que corresponde a igualar las cantidades de los dos colores mezclados están muy cerca de los amarillos - verdosos, pero se perciben como muy cercanos al amarillo-verdoso, por lo tanto, a pesar de que este color es más cubriente que el violeta, cuando se mezcla sin realizar toda la gama pensaremos que es más cubriente el violeta por cambiar antes de tonalidad.

Debido a estas características la última gama realizada de esta serie, se ha mezclado , el verde -amarillento con un púrpura " (R_{VQ} B_T17) y (Az_FA_P 26)". Las características cromáticas de esta mezcla son las siguientes: que se obtienen púrpuras (rosas por dominar el aspecto claro) que se van haciendo rojizos, anaranjados, amarillentos y verdes pardos, hasta terminar en el verde original. En esta gama el color obtenido de igualar las cantidades de los dos mezclados es un ocre amarillo que resulta equidistante de los dos. Estos colores de húmedos a secos se ven pálidos y rosados los púrpuras, y muy ocres los verdes, al secar se ven

más purpuras y vivos, los ocres más rosados y los verdes más vivos y verdosos.

Verdes y Naranjas

La primera mezcla corresponde al Verde Permanente con el Naranja Cadmio y como podemos ver en la diapositiva (12), la gama que se obtiene está formada por: verdes, verdes pardos, ocres, marrones anaranjados (tierras) y naranjas. El poder colorante del verde en comparación con el naranja es mayor, ya que de la sucesión de 23 colores, el que corresponde a igualar los dos colores es el número 10. Todos los colores de húmedos a secos se oscurecen y los naranjas se vuelven más rojizos.

La siguiente gama está formada por un verde más claro y amarillento con un naranja más amarillento y claro, corresponde a: "(A_P Az_F 5) y (A_{CL} N_C 12)". Los tonos intermedios de las gamas siguen siendo las mismas: verde, verdes más amarillentos o pardos, ocres amarillos, ocres anaranjados y naranjas. En la siguiente gama expuesta resulta más evidente estos cambios, ya que tanto el verde como el naranja son mucho más amarillentos. Está formada por : " (A_P Az_F 1) y (A_{CL} N_C 8)". Estos dos colores resultan muy intensos, muy saturados y la gama que producen es de verdes amarillentos, ocres - amarillos, amarillos anaranjados y naranjas. Las características de las mezclas de estas gamas son muy paracidas, pues ambas cambian de la misma forma de húmedas a secas. Los verdes húmedos se ven más ocres, y al secar se vuelven más

intensos y verdosos, y los naranjas húmedos se ven como ocres amarillentos y al secar se vuelven más naranjas e intensos. La gama que contiene más cantidad de amarillo ha sido necesario aplicar tres capas para que quedara cubriente. En estas mezclas resulta tener mayor poder cubriente el amarillo anaranjado.

Las tres gamas que acabamos de ver resultan un buen ejemplo de mezclas de secundarios. Muchas veces el alumno piensa que si no tiene los primarios no puede conseguir colores primarios, partiendo de los secundarios. Ya vemos que sí se pueden conseguir, pero la única diferencia es que los amarillos - en este caso - no estarán tan saturados como los amarillos primarios. ¿ Pero no vimos que tampoco podíamos obtener secundarios - naranjas saturados - en las gamas de primarios de la mezcla de rojo y amarillo ?. Los naranjas más saturados los conseguimos con el Naranja Cadmio y el Amarillo Cadmio Limón.

Podemos pensar sino será lo mismo, partir de la gama de primarios que de secundarios para la mezcla. Siempre y cuando podamos partir de colores que en su composición tengan cantidades del color dominante en los dos mezclados, podremos obtener colores más saturados. Esta característica nos lleva a pensar que las mezclas aditivas de luces y las mezclas substractiva o de pigmentos tienen más características comunes de lo que conocemos. El problema para el artista es que no sabe la composición espectral que tiene cada color . Por lo tanto sólo cuando se realiza la mezcla es cuando se observan las características.

Violeta- Púrpuras y Naranjas

La primera gama establecida ha sido de un Violeta Ultramar con blanco(para que resultara cubriente) con el Naranja Cadmio. Los tonos obtenidos son violetas, tierras (naranjas poco saturados) y naranjas. Los colores húmedos se veían más grises y rosados, y secos se ven más violetas y rojizos. El poder colorante es mayor el de los violetas.

La siguiente gama es un púrpura que no lleva nada de blanco y viene de la mezcla en partes iguales del Violeta Ultramar con el Rojo Violeta Quinacridona, y se ha mezclado con un naranja más amarillento. El púrpura enseguida se desatura y aparecen tonos tierras rojizos y anaranjados,pasando luego hacia los ocres amarillentos cálidos. Esta gama es muy poco homogénea, por venir el color púrpura utilizado de dos colores, que sin blanco son transparentes. Los primeros colores han necesitado cuatro manos y los tonos amarillos-anaranjados húmedos se ven muy ocres y al secar se vuelven más naranjas y saturados.

La siguiente gama está formada por el color anterior con blanco, de forma que se ve un púrpura más claro, y mezclado con un naranja similar al anterior pero que no viene de ninguna mezcla sino del color Amarillo Anaranjado.Los tonos obtenidos son púrpuras que se van haciendo más rojizos, anaranjados y terminan en ocres amarillos-anaranjados. Por lo poco cubriente que es el Amarillo Anaranjado no he presentado los colores que unen el último de la gama con este tono y se puede apreciar un cambio brusco entre el color "(V_U = R_{VQ} B_T) A_N 17" y el A_N. Los

FACULTAD DE BELLAS ARTES - BIBLIOTECA

colores púrpuras húmedos se ven poco saturados, y secos más rosados y los ocres húmedos más amarillentos, y secos más anaranjados.

4.6 MEZCLAS DE COLORES CON GRIS

El gris utilizado para estas mezclas ha sido la combinación de negro Carbón y de Blanco Titanio Anastase. Como vismos sus curvas de reflectancia espectral nos daban un reparto más o menos homogéneo por todo el espectro visible, por tanto se pueden considerar a estos grises como grises acromáticos. Si realizamos las gamas con estos grises suponemos que los colores resultantes tienen que tener las características de las mezclas con blanco y con negro, por lo que todos los colores se tienen que desaturar, los amarillos tienen que verse paulatinamente más verdosos; y los rojos, además de desaturarse tienen que tender a los púrpuras o rosas. A pesar de preveer los resultados con más facilidad que otro tipo de mezclas, es interesante realizar estas gamas con distintos tonos y comprobar estos cambios o características.

He intentado realizar las mezclas con colores que tuvieran más o menos la misma luminosidad o sino parecida. Por ser los acrílicos, colores que una vez secos oscurecen, la condición anterior es difícil de manejar de forma absoluta, cuestión que con otros materiales sería más sencilla.

Las mezclas realizadas las podemos ver en la diapositiva número 14. El orden establecido se puede observar en la tabla (IV.15).

Tabla IV. 15. Mezcla de colores con gris.

Color	Igualdad	Total	Color
A_{CL}		10	$Ne_C\ B_{TA}34$
N_C		12	$Ne_C\ B_{TA}26$
R_{CB}		11	$B_{TA}\ Ne_C25$
Vd_P		11	$Ne_C\ B_{TA}27$
$Az_F\ B_{TA}\ 9$		11	$Ne_C\ B_{TA}20$
$V_D\ B_{TA}\ 4$		9	$Ne_C\ B_{TA}19$

Como conclusiones de estas mezclas podemos señalar:

1º.- Como habíamos supuesto, todos los colores se desaturan paulatinamente.

2º.- El amarillo enseguida se vuelve verdoso, cambiando la percepción de tono dominante, al igual que pierde su luminosidad de una forma más radical que los demás tonos.

3º.- El tono rojo, Rojo Cadmio Bermellón, en principio se desatura y poco a poco va siendo menos luminoso y cambia el tono hacia los púrpuras.

4º.- El gris con el color violeta, además de obtener una gama más reducida que con las demás tonalidades, podemos decir que muy pronto en la sucesión percibimos el color como gris acromático, efecto que no sucede en las demás gamas.

Esta última característica es interesante, sobre todo por compararla con las gamas obtenidas de los colores complementarios: amarillos y violetas. En todas las gamas veíamos que el color neutro, o gris acromático siempre se formaba más cerca del violeta que del amarillo, dentro de una misma sucesión, y no coincidía con el color que correspondía a igualar las cantidades de los dos mezclados, este siempre se encontraba más cerca del amarillo.

4.7 MEZCLAS DE COLORES TERCIARIOS

Se consideran colores terciarios los que provienen de la mezcla de un primario con un secundario. Por ejemplo, un amarillo-anaranjado, un azul-violáceo, etc. En realidad las mezclas de estos colores no se han considerado por no tener características específicas para las combinaciones de colores. En este sentido si el color terciario, se acerca en el tono dominante al primario, se considera con las características de la mezcla de primarios y si participa en mayor grado el tono secundario se le considera como tal.

Los colores representados en la diapositiva número 15, corresponden a colores primarios y secundarios que por sus características y comportamiento en las mezclas podríamos considerarlos como terciarios.

Los colores representados vienen indicados en la tabla IV. 16 .

Tabla IV. 16. Colores terciarios.

Color	Igualdad	Total	Color
$A_{CL}\,N_C\,5$		12	R_{VQ}
$A_{CL}\,N_C\,4$		17	$R_{VQ}B_T11$
$V_D\,B_T\,26$	9	17	$N_C\,B_T\,14$
$A_N\,B_{TA}\,5$	9	17	$Az_UB_{TA}21$

La primera gama está formada por un amarillo -anaranjado mezclado con el Rojo Violeta Quinacridona, que vimos que era un tono púrpura. Como podemos observar en la diapositiva, los tonos que dominan son el amarillo y el rojo por lo que dicha gama podríamos relacionarla con la mezcla de primarios, se obtienen: amarillos, naranjas y rojos. Sin embargo, estos primarios serían menos saturados que los realizados con la mezcla de primarios. Los colores de la gama obtenidos donde domina el rojo son poco cubrientes y poco homogéneos. Al secar los colores tanto los naranjas como los púrpuras se vuelven más rojizos y oscurecen.

Si al color rojo le añadimos blanco, obtenemos un púrpura, entonces ¿ qué tonalidades obtendríamos al mezclar estos colores ?. La gama siguiente: "(A_{CL} N_C 4) con (R_{VQ} B_T 11)" nos produce colores amarillos, rojos y púrpuras poco saturados y que podemos llamar colores pastel, por tener una gran proporción de blanco y presentar por esto un aspecto pálido y claro.

La mezcla siguiente formada por el violeta con naranja ambos mezclados con blanco tendría que estar localizada en las mezclas de secundarios, pero por cambiar el tono del naranja al mezclarse con blanco, la gama obtenida corresponde a la mezcla de un violeta con un rosa. Los colores obtenidos son púrpuras y rosas rojizos, que también podemos considerarlos como colores pastel.

La siguiente gama está formada por un Azul Ultramar (azul- violáceo) y un amarillo anaranjado, ambos mezclados con grandes proporciones de blanco. Al ser mínima la cantidad de naranja que contiene el amarillo utilizado, los colores obtenidos podrían considerarse como primariosi

poco saturados. Esta gama va desde los amarillos, a los verdes y a los azules. También podemos considerar la gama como tonalidades pastel. Los azules húmedos se ven más grises y al secar se vuelven más azulados e intensos.

Apendice

Los siguientes colores representados en la diapositiva 15, podemos considerarlos como un apéndice. Cada gama se ha realizado por un motivo específico.

La gama formada por la mezcla de Rojo Cadmio Bermellón con Amarillo Primorosa mezclado con blanco, es decir, " R_{CB} (A_P B_T 7)", se ha realizado para ver el cambio que podría obtenerse al mezclar el rojo con un amarillo sin que domine ni la cantidad de amarillo, para no obtener tonos naranjas, ni la cantidad de blanco, para no obtener tonos rosas. Antes de esta mezcla se realizó la mezcla de los distintos rojos utilizados con el Amarillo de Titanio claro, que resulta ser un color poco saturado y que no se puede comparar con el amarillo de Nápoles de los óleos. De esta gama sólo se han representado los colores obtenidos de igualar las cantidades de los rojos con el Amarillo Titanio claro, como síntesis de los distintos matices que se pueden obtener de estas mezclas. Entonces, debido a lo poco saturados que resultan las mezclas con este amarillo, se ha utilizado el Amarillo Primorosa con el Rojo cadmio Bermellón para contestar a la siguiente pregunta: ¿ hasta qué cantidad de blanco con amarillo podemos mezclar el rojo para que se aclare y se pueda mantener el tono?. Si observamos los colores conseguidos - un total de 24 colores-, podemos ver que presentan tonalidades: rojas, naranjas y

amarillos. De esta gama podemos comentar, como característica interesante, el cambio que da, tanto el rojo como el amarillo, con sólo una pequeña cantidad del otro. El rojo cambia a un matiz más rosado y el amarillo se vuelve más cálido. El color que se obtiene de igualar las cantidades de los dos mezclados, corresponde al número 10 , siendo un rojo más cercano al Rojo Cadmio Bermellón. Esta gama, también pueden considerarse como colores pastel.

La siguiente gama fue buscada para tener tonos que representaran las "carnaciones", es decir, tonos naranja rojizos poco saturados y pálidos. Esta gama es la única que se ha realizado con cinco colores, el blanco, mezclado con otros dos emparejados de dos en dos,la gama tiene el código " ((A_{CL} N_C 4) = (R_{VQ} B_T11)) con B_T" consta de ocho colores.

La siguiente gama es la combinación de un amarillo anaranjado con un gris neutro, es decir: " (1 N_C / 8 A_H) y (B_T Ne_C 11)". Podemos observar los siete colores resultantes, que estan bastante espaciados, pues sólo se pretendía ver los cambios de tonalidad producidos por el gris neutro con el amarillo anaranjado. Se obtienen colores que van de los naranjas, amarillos, verdes amarillentos, a los verdes poco saturados hasta llegar el gris neutro.

Los últimos colores representados corresponden a tres verdes con distintas proporciones de Verde Permanente: Uno a igual cantidad de verde que de Amarillo Primorosa, otro a mayor cantidad de Amarillo cadmio Limón que de verde, y el

otro a mayor cantidad de verde que del último amarillo.

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. Mayer, Ralph. Materiales y Técnicas del arte. ED. Hermann Blume. Madrid (1988); pp. 369 - 379.

2. Mayer, Ralph. Materiales y Técnicas del arte. p.91.

3. Garrido, Mº Carmen. *Algunas consideraciones sobre la técnica de las Pinturas Negras de Goya*. Boletín del Museo del Prado. Tomo V. **Nº 13**. Enero- Abril de 1994. Ministerio de Cultura y Dirección General de Bellas Artes y Archivos.pp. 4 - 41.

- CAPITULO V -

APORTACIONES Y CONCLUSIONES

FACULTAD DE BELLAS ARTES
BIBLIOTECA

APORTACIONES

Este trabajo de investigación aporta dos estudios importantes :

1º.- Un estudio sistemático, bibliográfico y de relación de distintos aspectos del color: físico, fisiológico, perceptivo, de representación de color en sistemas bidimensionales usados en el campo artístico y sistemas de ordenación del color (atlas de colores) conforme a las tres variables cromáticas, desde las formas más básicas a los estudios más especializados como el presentado por la Sociedad Americana de Optica (O.S.A.). Y los diferentes Sistemas de Especificación del color propuestos por La Comisión Internacional de Iluminación (C.I.E.) utilizados para el estudio técnico del color y uso a nivel industrial.

Este estudio tiene como primer objetivo la unificación de conceptos reconocidos internacionalmente y hacerlos evidentes para los distintos profesionales del campo artístico y técnico, en un lenguaje, que sin perder especificación y exhaustividad, sea fácil de asimilar por las distintas áreas de conocimiento, sin necesidad de ser un especialista en dicho campo o enfoque. Debido a esto los conceptos que se expresan son básicos y fundamentales. Lo cual nos permite tener una visión de conjunto del color, y poder valorar y promediar los sucesivos problemas o investigaciones.

2º.- La segunda aportación es la realización de un atlas de color que consta de 3.000 muestras de colores distintos, realizadas, cada una de ellas, en dos texturas diferentes: lisa y rugosa. La ordenación de las muestras está pensada para ver las características cromáticas de las

diferentes gamas obtenidas dependiendo del color de partida y no sobre las características de ordenación del color según el tono, luminosidad y saturación. La separación entre dos colores diferentes y consecutivos dentro de la gama cromática es mínima y constante a lo largo de todas las gamas realizadas. Se ha buscado colores que pudieran estar por distintas zonas según los demás atlas pero sin que esto sea específico ni determinante. Sí es determinante, el estudio de las mezclas de colores de forma cubriente y homogénea, y la ordenación según provengan los colores de : mezclas con blanco o negro, mezclas de distintos primarios entre sí, de secundarios, y de complementarios y, un último apartado, que podríamos considerarlo como apéndice formado por colores terciarios y parejas sueltas de zonas no estudiadas o representadas. La ordenación se ha representado, por una parte en cartones de proyectos - para las muestras de textura rugosa - , y por otra parte, en hojas DIN A4 de forma que las muestras puedan extraerse y realizar comparaciones entre colores.

El Atlas se llamaría: **Mezclas de pinturas Acrílicas de forma Cubriente y Homogénea**. Muestrario constituido por 3.000 colores diferentes, de tamaño 4 X 4 cm., montados en paneles de forma ordenada según la gama en la que se encuentran, conforme al planteamiento siguiente:

a) Mezclas de colores primarios: amarillos y rojos, azules y rojos, y amarillos y azules. Dos paneles de 100 X 140 cm., y uno de 100 X 280 cm.

b) Mezclas de colores complementarios. Dos paneles de 100 X 140 cm., el correspondiente a los azules y naranjas, y a los verdes con rojos-púrpuras; y uno de 100 X 135 cm , el correspondiente a la mezcla de amarillo y violeta.

c) Mezcla de colores con blanco y negro. Tres paneles de 210 X 100 cm.

d) Mezcla de secundarios. Un panel de 100 X 140 cm.

e) Mezcla de colores con gris. Un panel de 100 X 70 cm.

f) Apéndice y mezcla de terciarios. Un panel de 100 X 70 cm.

La visualización de las mezclas sigue una disposición horizontal, por tanto , verticalmente no tiene lectura.

Otro aspecto importante del Atlas realizado, es que no existe un único ejemplar, existen otras cinco ejemplares con el total de muestras realizadas. Uno de estos ejemplares esta a disposición del Dpto. de Optica con las seis mil muestras, y está formando parte integrante de otros proyectos de investigación.

CONCLUSIONES

1º.- Todos los colores de la gama utilizada, marca acrílico Valejo, aunque sean transparentes y poco homogéneas sus mezclas, pueden emplearse como colores cubrientes al añadirles un poco de blanco. El blanco puede ser tanto Blanco Titanio (más amarillento) como Blanco Titanio Anastase. Todos los colores cambian de húmedos a secos oscureciendose. El cambio de matiz tonal es más leve y característico de cada tonalidad. Este cambio no es demasiado transcendente debido a la rapidez de secado en el empleo de estas pinturas y puede percibirse y corregirse sobre la marcha.

2º.- En cuanto al cambio de tono (ley de Abney) en la mezcla de un color con blanco, el único que cambia de tonalidad dominante es el rojo (desde los naranjas Cadmio a los rojos Violeta Quinacridona).

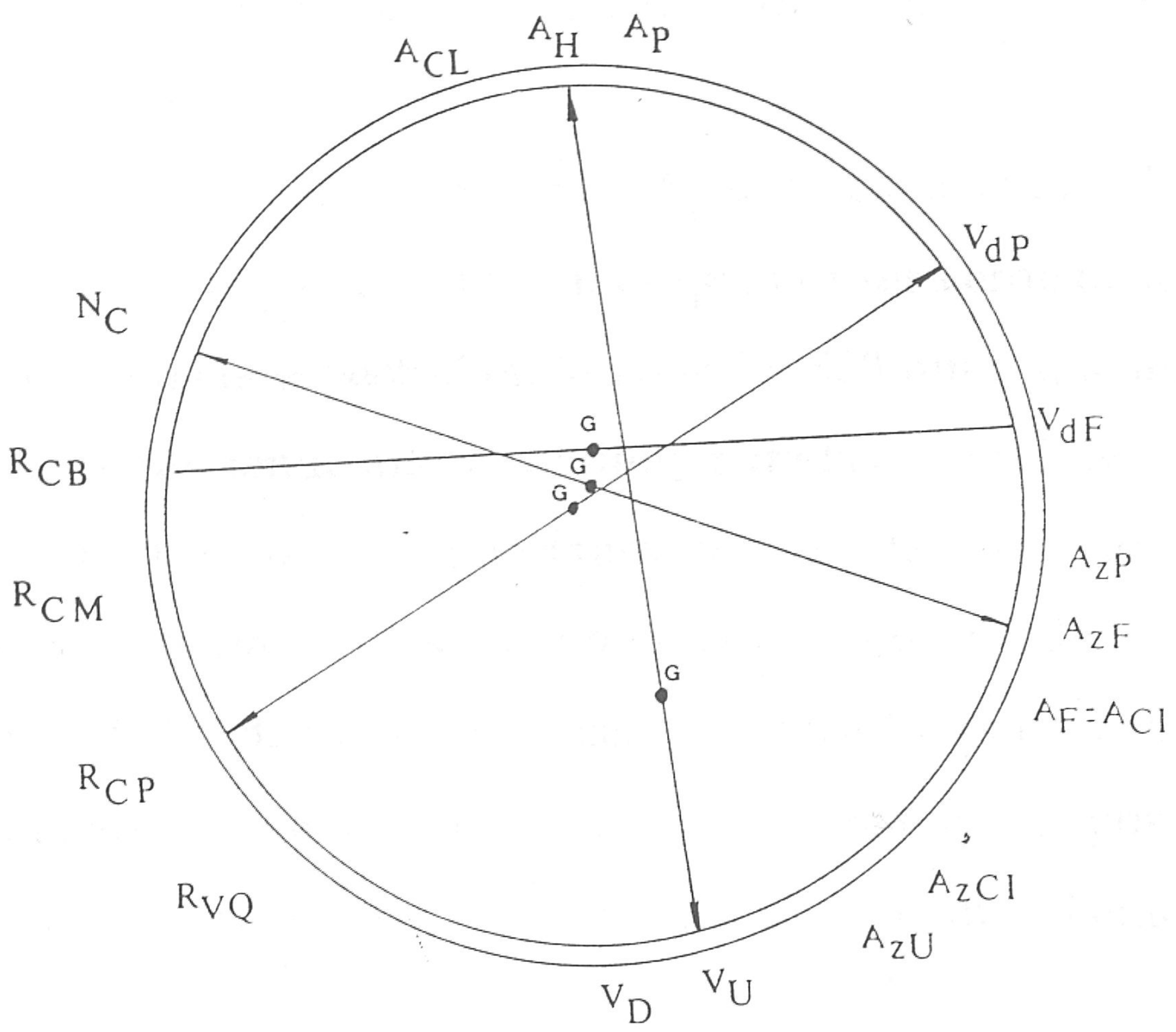
3º.- Todos los colores que en su composición entra a formar parte el dominante tonal amarillo - desde los verdes amarillentos, a los naranjas amarillentos-, en su combinación con el negro se obtienen tonos verdes pardos no saturados. Y además a partir de una luminosidad baja, todos los verdes percibidos parecen venir de un único color- dominante tonal.

4º.- El color negro es el que tiene mayor poder colorante . El amarillo el que menos.

5º.- Las mezclas de azules y rojos ; y de rojos y verdes produce colores más oscuros que el más oscuro de los mezclados. Esta característica no sucede con las mezclas de : amarillos y rojos, amarillos y violetas, y naranjas y azules.

6º.- Los tonos complementarios vienen indicados por la siguiente gráfica, donde se une mediante una flecha los colores que al mezclar producían la percepción del gris acromático y con un punto se representa la situación o distancia a la que es percibido este gris. Es interesante destacar que en la gama "(V_U B_T 25) (A_H B_T7)" - se puede observar en la diapositiva nº 10, correspondiente a los colores complementarios violetas y amarillos -, el tono obtenido de mezclar en partes iguales el amarillo y el violeta, corresponde al número 8 en una sucesión de 19 colores y el color percibido como gris neutro, corresponde al número cuatro. (Leer la página 299 y 300). Siempre que en una gama se mezclan amarillo y violeta el tono gris queda más cerca del violeta que del amarillo.

Gráfica de complementarios.



7º.- Los amarillos oscuros y amarillos poco saturados, provienen de las mezclas de verde y rojo sin nada de azul. Es decir, si al rojo y al verde se le añade un poco de blanco se produce el gris. Si el rojo es un rojo amarillento como el Rojo Cadmio Bermellón y se mezcla con Verde Permanente (no tiene nada de azules o longitudes de onda largas) produce ocres amarillos oscuros; al igual que el verde amarillento con un naranja amarillento (diapositiva 13) , " (A_P A_{ZF} 1) y (A_{CL} N_C 8)" sus mezclas nos dan colores ocres amarillos.

8º.- Si observamos las curvas de reflectancia espectral de los colores básicos utilizados podemos ver que la percepción del amarillo saturado viene dada por una emisión nula para las ondas cortas del espectro y máxima para las longitudes de ondas medias y largas. Esto contradice el concepto de color saturado, según el cual un color saturado tenía que venir dado por un pico más alto en un determinado ancho de bandas del espectro pero no por una ausencia total de ondas cortas y máximos de ondas largas y medias.

Si observamos el color (Az_F A_P26) , cuya curva de reflectancia espectral esta en la página 239, vemos que por ser verde tiene un pico más alto de reflectancia espectral en la zona l = 520 nm y que aunque baja el porcentaje sigue siendo alto y continuo para las ondas largas del espectro. Si el color no tuviera esta reflectancia y presentara sólo un pico para las longitudes de onda medias se percibiría como un verde (ver la emisión del verde y de los demás colores básicos utilizados para la mezcla).

La conclusión anterior nos da la respuesta a : ¿ por qué cuando añadimos negro al amarillo o colores que se vean amarillentos percibimos

verde ?.Y ¿ por qué los amarillos poco saturados u oscuros sólo se perciben cuando provienen de verdes y rojos sin nada de azul o blanco?. Es decir, sin contribuciones de las longitudes de onda cortas.

9º.- Para conseguir un rojo, más claro y saturado que el proporcionado por la marca comercial o pigmento, no se puede mezclar ni con blanco ni con amarillo claro en grandes proporciones, pues se perciben: rosas, naranjas o rojos poco saturados. Por lo tanto, sólo hay dos formas de conseguir un rojo más claro sin desaturarlo o cambiar la tonalidad: aplicar el rojo (que se quiera conseguir más claro) como veladura para que actúe como un filtro, y el otro rojo (más oscuro) de forma cubriente; o utilizar el contraste simultáneo para potenciar el efecto visual deseado de mayor luminosidad o mayor saturación.

10º.- Debido al metamerismo existe la posibilidad de conseguir colores iguales de muy diversas formas, pero también , y puesto que no conocemos la composición de cada color, cuando realizamos las mezclas, es necesario utilizar gamas reducidas como colores primarios para poder controlar los colores que vamos a conseguir y la armonía cromática de los colores obtenidos. Cada artista podrá utilizar la paleta que quiera para cada obra, pero si nos fijamos bien, cuanto más conoce el artista el color, más cuidado y esmero pone en la elección de su paleta.

11º.- La relación de la mezcla aditiva (luces) y la mezcla substractiva (pigmentos o materiales que transmiten o reflejan la luz) es más similar de lo que a primera vista parece, la mezcla aditiva siempre añade más luminosidad y la mezcla substractiva siempre quita luminosidad y por lo tanto desatura el color. Es interesante estudiar si la mezcla de pigmentos -

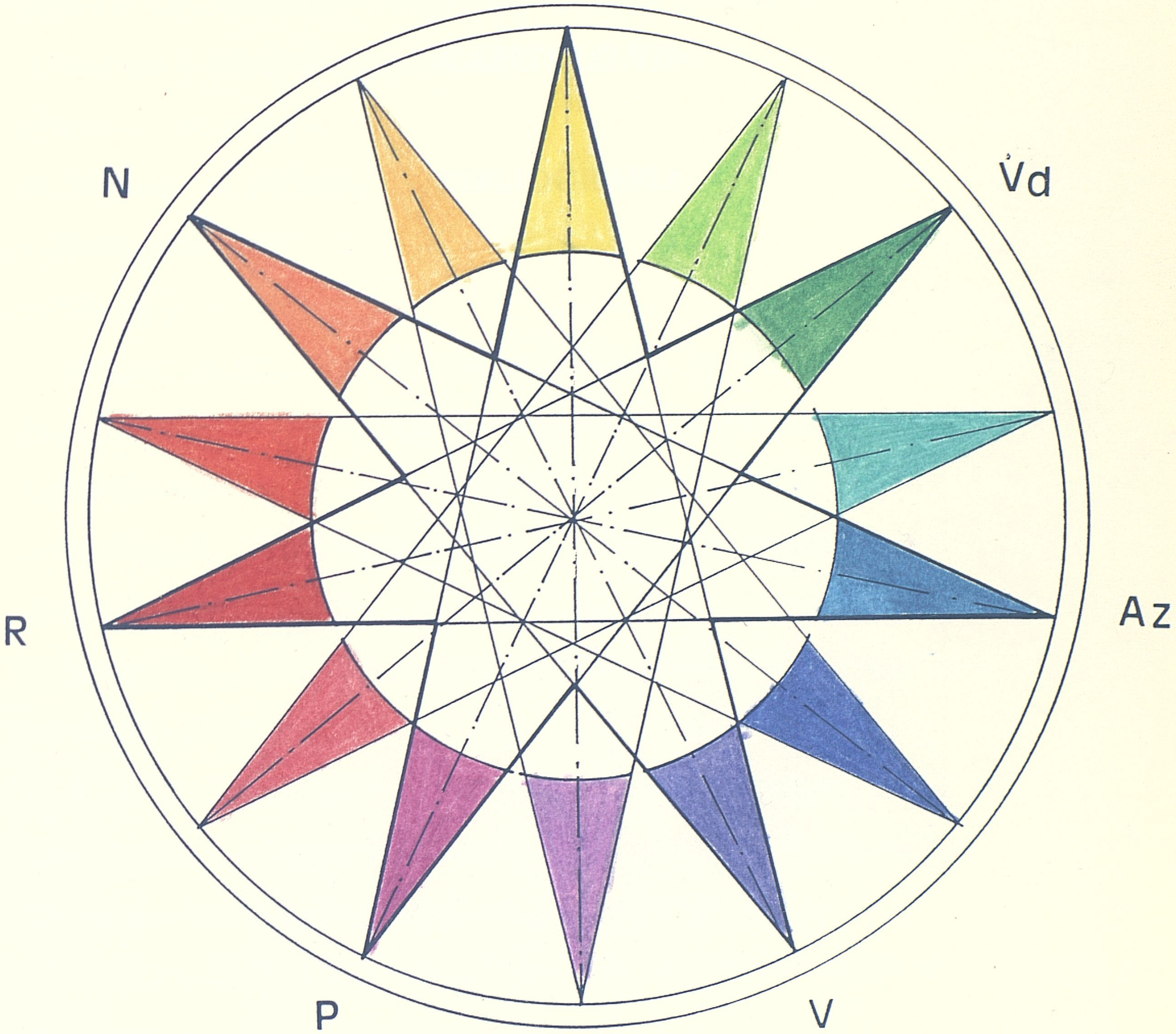
cubrientes o transparentes - en las distintas técnicas artísticas responde como mezcla aditiva o como substractiva. El estudio y relación de estas mezclas es un trabajo que actualmente se está realizando formado por un equipo dentro del Departamento de Optica, cuando el trabajo se termine se podrá indicar con más precisión algunas características de este estudio.

Por último, señalar que el círculo cromático, para un nivel de mayor especialización en las teorías de las mezclas, tendría que dividirse en siete tonos: amarillo, naranja, rojo, púrpuras, violeta, azul y verde. Tendría que especificarse y situarse el color según las parejas de complementarios pasando el diámetro por el centro del círculo. Y tendría que especificarse, que si mezclamos primarios o colores colindantes, se realizan arcos de circunferencia y si mezclamos, los colores conocidos como secundarios, se realizan cuerdas de la circunferencia.

El ejemplo de círculo cromático que propongo, estaría formado por siete tonalidades fundamentales, los siete tonos descritos anteriormente y otros siete que servirían de enlace entre los primeros, para representar tonos comprendidos entre los anteriores. La idea de continuo cromático va dada por la idea del círculo, y éste se puede dividir en multiplos de siete, cuantas más divisiones se realicen mejor caracterizado quedará el color. En este caso lo he dividido en catorce partes. Uniendo los puntos en forma de polígono estrellado de siete lados, con paso dos. Cada vértice de este polígono estrellado al unirlo con su vértice correspondiente especifica la zona donde se encuentran los colores complementarios al dado. Por ejemplo, el color amarillo (A) se encuentra unido al violeta (V) y al púrpura (P), por lo tanto todos los tonos que se encuentren en esta zona

serán complementarios del amarillo. Los nombres especificados son sólo a nivel teórico. Cuando cualquier persona quiera trabajar con las mezclas de colores pigmento, solo tiene que ver el matiz que presenta el tono dado o los colores de base y situarlos en la zona correspondiente. Aunque la lámina presenta unos determinados colores que mediante el proceso de reproducción serán matizados, espero que se comprenda la idea y no se particularice en la imagen impresa.

A



-CAPITULO VII-

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I.- NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. Corsweet,T. N. Visual Perception. Academic Press.London (1970) ; p.137.

2. Colin , M. K. Fundamentos Científicos de Oftalmología ; p. 236

3. Cohen, J. Sensación y percepción Visual. Ed. Trillas, Mexico (1973); p. 57.

4. Ruskell, G. *Neurología de la percepción Visual* del libro Optometria . Editado por Keith, E. y LLewellyn, R. Ed.Masson- Salvat. Barcelona (1993); p. 7

5. Romero Mora , J. y Garcia fernández , M. T. Curvas de absorción espectral de Fotopigmentos visuales en conos. "Ver y Oir" **Nº 36** .Enero-Febrero (1982); p. 21

6. Kuffler, S. W. y Nicholls , J.G. De la neurona al cerebro.Ed. Reverté. Barcelona (1982); p. 28

7. Saraux H. -Lamasson C. Anatomía e Histologíaa del ojo. Ed. Masson. Barcelona (1985); p. 198

8, 9, y 10. Ruskell, G. Neurología de la percepción Visual del libro Optometria . Editado por Keith, E. y LLewellyn, R. Ed.Masson- Salvat. Barcelona (1993);pp.9, 10 y 11 respectivamente.

11. Kuffler, S. W. y Nicholls , J.G. De la neurona al cerebro.Ed. Reverté. Barcelona (1982); pp.35-56.

12, 13, 14 y 15. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); pp: 51, 55, 140-141, y 142 respectivamente.

16. García García, J. A. Tesis Doctoral: Determinación experimental de diferencias de color : Normalización colorimétrica y modelos de visión. Granada (1991);pp. 33-88.

17. Kowaliski, P. Vision et measure de la couleur. Ed. Masson . París 1978; p.42.

18. Hoog, M. The Nympheas of Claude Monet. Ed. RMM. París (1987); p.93

19. Obras Maestras Impresionistas y Neoimpresionistas. RMM. París (1987); p. 102.

20 y 22. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); pp.146 y 130 respectivamente.

21 y 23. Lozano, D. El color y su medición. Ed. AmericaLee (1978); pp. 479 y 480.

24. Romero, J. V. Optica Fisiológica.Dpto. de Optica. U. de Granada (1991); pp. 158-160.

25. Goldstein , E. B., Sensación y Percepción visual. Ed. Debate (1988); p. 45-46.

26. Cohen, J. Sensación y percepción Visual. Ed. Trillas, Mexico (1973); pp. 45-46.

27. Garau, A. Las armonías del color. Ed. Paidos.Barcelona (1986); p.77.

28. Arheim ,R. Arte y percepción visual . Alianza Forma. Madrid (1979); p. 404.

29.Albers , J. La interación del color. Alianza Forma.Madrid (1979); p.81

30. Rainer Wick, Pedagogía de la Bauhaus.Alianza Forma . Madrid (1986); pp. 180-186.

CAPITULO II.- NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. Martinez Lozenzo, A. Fisica y Química 3º de BUP. , Ed. Bruño. Madrid (1985); p.65.

2. Hita Villaverde , E., La Visión del color y sus anomalías. Publicaciones de I.C.E. U. de Granada (1980); p.17.

3. Asimov, Isaac, El Universo, Alianza Editorial.Madrid;p. 317.

4. y 5. Eisberg , R. y Resnick, R.,Física cuántica, Ed. p.88 y 89.

6. Soriano , J. y Valero, E. Física para COU. Valencia (1976); p. 406.

7. Casas, J. Optica,Dpto. de Optica . Universidad de Zaragoza (1985); p.352.

8.9 y 10 Hecht - Zajac . Optica; ED. Addison Wesley (1990), Madrid, pp. 367,367 y 376.

11. Wyszecki, G. y Stiles, W. S.; Color Science: Concepts and Methods, Qualitative Data and Formulae. Ed. Wiley (1982) New York, p.487.

12. Romero Mora, J.; Optica Fisiológica; Dpto de Optica. Universidad de Granada (1992); p.142.

13 y 14. Lozano, R.D. ; El color y su medición . ED. AméricaLee (1978), Buenos Aires.p. 198 e idém.

15. Billmeyer- Saltzman.; Principles of Color Technology.2º Edición. Wiley (1981). Toronto; p. 57.

16. Hita Villaverde , E. Contribuciones físicas a los mecanismos de la percepción cromática. Discurso de entrada en la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada. Granada (1993).

17. Romero Mora, J.; Optica Fisiológica; Dpto de Optica. Universidad de Granada (1992); p. 154.

18. Jimenez Cuesta , J.R. Tesina : Parámetros de Discriminación en pares metámeros acromáticos. Universidad de Granada .Noviembre 1990; p. 29.

CAPITULO III.- NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1.- Küppers, Harold ; El Color: origen, metodología y aplicación. Ed. Lectura, Barcelona (1973);p. 16.

2.-Küppers, H.; Fundamentos de la teoría de los colores.; Ed. GG; Madrid (1982); p. 69.

3.- Obras Maestras Impresionistas y Postimpresionistas. Museo de Orsay. (1987) París; p. 11.

4.- Di Grandis, Luigina. Teoría y uso del color. Ed. Cátedra. Madrid (1985); p. 27.

5.- Agoston , George A .Color theory and its Application in Art and Design. Ed.Springer- Verlag. New York (1987);p. 258.

6.- Di Grandis, Luigina; Teoría y uso del color. Ed. Cátedra. Madrid (1985);p. 24.

7.- Wick,Rainer; Pedagogía de la Bauhaus.Alianza Forma . Madrid (1986); p. 90.

8.- Wick, R. ;P. de la Bauhaus. pp. 226-228.

9.- Wick, R. ;P. de la Bauhaus. p. 230.

10 y 11.- Küpper , H. El Color. El Color: origen, metodología y aplicación. Ed. Lectura, Barcelona (1973); pp. 113 y 113.

12 Küppers, H. El color...pp. 103-106.

13 y 14.Küpper, H. Fundamentos de la teoría de los colores.pp. 39 - 46 , y 69.

15,16 y 17 Agoston, G. A. Color theory and its Application in Art and Design. Ed.Springer- Verlag. ; pp. 117, 132, y 133-138.

18. Gerstner, Karl. Las formas del Color. Ed. Hermann Blume. Madrid (1988); p. 58.

19. Jiménez del Barco, Luis, y Melgosa Latorre, Manuel. "Sistemas de Ordenación del Color ". Ver y Oir. **Nº 29**. (1987); pp. 17-23.

CAPITULO IV.- NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. Mayer, Ralph. Materiales y Técnicas del arte. ED. Hermann Blume. Madrid (1988); pp. 369 - 379.

2. Mayer, Ralph. Materiales y Técnicas del arte. p.91.

3. Garrido, Mº Carmen. *Algunas consideraciones sobre la técnica de las Pinturas Negras de Goya*. Boletín del Museo del Prado. Tomo V. **Nº 13**. Enero- Abril de 1994. Ministerio de Cultura y Dirección General de Bellas Artes y Archivos.pp. 4 - 41.

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA DE GRANADA

000304658

FACULTAD DE BELLAS ARTES