



15  
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

TEORIA DE LA MEDICION DEL COLOR Y SU APLICACION  
EN LA INDUSTRIA DE TINTAS PARA FLEXOGRAFIA Y  
PIGMENTACION DE POLIMEROS DE  
ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A N  
SUSANA MEDINA FONSECA  
DANIEL VELAZQUEZ ROQUE

ASESOR: I. Q. I. ALFONSO DANIEL GASCA FLORES

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MEX.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**

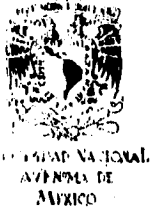


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
SECRETARIA ACADEMICA  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



Departamento de  
Exámenes Profesionales

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N:  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F. E. S. C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Teoría de la Medición del Color y su Aplicación en la  
Industria de Tintas para Flexografía y Pigmentación de  
Polímeros de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno

que presenta la pasante: Susana Medina Fonseca

con número de cuenta: 7807369-6 para obtener el TITULO de:

Ingeniera Química; en colaboración con:

Daniel Velázquez Roque

Consideramos que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlan, Mex., Edo. de Méx., a 14 de Diciembre de 1995

PRESIDENTE Q. Bertha Rodríguez Samano

VOCAL M. en C. Enrique R. Angeles Anquiano

SECRETARIO I. O. J. Alfonso Daniel Gasca Flores

PRIMER SUPLENTE M. en C. Ricardo P. Hernández García

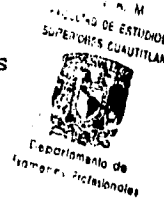
SEGUNDO SUPLENTE I. Q. Ma. Elena Quiróz Macías



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
SECRETARIA ACADÉMICA  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Teoría de la Medición del Color y su Aplicación en la  
Industria de Tintas para Flexografía y Pigmentación de  
Polímeros de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno.

que presenta al pasante: Daniel Velázquez Roque  
con número de cuenta: 7805616-5 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Químico ; en colaboración con :  
Susana Medina Fonseca

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 14 de Diciembre de 1995

PRESIDENTE Q. Bertha Rodríguez Samano  
VOCAL M. en C. Enrique R. Angeles Anguiano  
SECRETARIO I.Q.I. Alfonso Daniel Gasca Flores  
PRIMER SUPLENTE M. en C. Ricardo P. Hernández García  
SEGUNDO SUPLENTE I. O. Ma. Elena Quiróz Macías

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A LA FES-CUAUTITLAN :**

En donde pasamos inolvidables años de nuestra vida.

### **A LOS PROFESORES :**

Por habernos transmitido sus conocimientos y experiencias de trabajo, base de nuestra formación Profesional.

### **AL HONORABLE JURADO :**

Q. Bertha Rodríguez Samano, M. en C. Enrique R. Angeles Angulano, M. en C. Ricardo P. Hernández García, I. Q. Ma. Elena Quiroz Macías, por su valioso apoyo y orientación para la culminación del presente Trabajo.

### **A NUESTRO ASESOR :**

I. Q. I. Alfonso Daniel Gasca Flores, por su Invaluable colaboración y ayuda durante el desarrollo de esta Tesis.

**SUSANA Y DANIEL**

## **DEDICATORIA**

### **A PAPA ARIEL Y MAMA ESTHER :**

Con todo cariño, respeto y admiración para mis queridos papás a quienes agradezco profundamente el haberme brindado la oportunidad de estudiar una Carrera Universitaria dándome en todo momento su comprensión, dedicación y enseñanzas, para hacer de mí una persona responsable. Gracias a Ustedes ahora tengo una Profesión que me ha dado grandes satisfacciones y mayores elementos para valerme por mí misma.

### **A MIS HERMANOS Y TIOS :**

Jesús y Mariseia, Alfredo y Esther, Ariel y Lorena, Tío Nacho y Tía Saco ; por rodearme de un ambiente familiar de apoyo y confianza, dándome un ejemplo de superación para salir adelante.

### **A MIS SOBRINOS Y PRIMOS :**

Sandy, Chuchito, David, Mirelle, Alfredito, Lorenita, Arielito, Ale y Pily, Nachito y Barbarita ; a quienes deseo lleven a cabo todas sus metas e ilusiones y logren vencer todos los obstáculos que se les presenten día a día.

### **A TOÑO :**

Con todo mi amor por su paciencia y motivación para ver concluida una de mis metas más importantes en la vida y por darme la felicidad de estar siempre cerca de mí ayudándome y comprendiéndome. Gracias por transmitirme tú valiosa experiencia y conocimientos para el mejor desempeño de mi trabajo.

**SUSANA**

## **DEDICATORIA**

### **A PAPA CHABELO Y MAMA MARIA :**

Cuyos desvelos, risas, tristezas, ilusiones y sacrificios han sido un motor constante para culminar una más de mis metas.

*" Los adoro cómo solo un hijo puede adorar a sus padres"*

### **A MIS HERMANOS :**

Aurelio, Pilar, Lourdes y Silvia, quienes siempre me han brindado todo su apoyo y plena confianza.

### **A LIDIA :**

Què con su cariño y paciencia me motivaron en la conclusión de este trabajo.

### **A LA MEMORIA :**

De mi querida e Inolvidable abuelita Josefa Benítez M.

**DANIEL**

---

---

**TEORIA DE LA MEDICION DEL COLOR Y SU APLICACION  
EN LA INDUSTRIA DE TINTAS PARA FLEXOGRAFIA Y  
PIGMENTACION DE POLIMEROS DE  
ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO.**

---

---



# INDICE

INTRODUCCION .....	2
--------------------	---

## SECCION I

---

### **CAPITULO I GENERALIDADES SOBRE EL COLOR**

I.1	El Iluminante .....	4
I.2	El Objeto .....	14
I.3	El Observador .....	14
I.3.1	El Ojo Humano .....	14
I.3.2	La Fotocelda .....	16
I.4	Colores Primarios y Secundarios de Luz y Pigmentos .....	17

## SECCION II

---

### **CAPITULO II DESCRIPCION DEL COLOR**

II.1	Antecedentes Históricos .....	21
II.2	Sistemas de Descripción del Color .....	22
II.2.1	Sistemas Aleatorios .....	23
II.2.2	Sistemas Basados en Comportamiento del Colorante .....	23
II.2.3	Arreglos Basados en Leyes de Mezclas de Color .....	23
II.2.4	Arreglos Basados en Etapas de Percepción Visual Igual .....	25

### **CAPITULO III SISTEMA CIE**

III.1	Fuentes Estándar CIE o Iluminantes Estándar .....	33
III.2	Observadores Estándar CIE .....	34
III.3	Valores Triestímulos CIE .....	39
III.4	Coordenadas y Diagrama de Cromaticidad .....	42
III.5	Sistemas Espaciados Cercanamente Uniformes .....	46

## SECCION III

---

### **CAPITULO IV PROCESO PRODUCTIVO Y FORMULACION DE TINTAS PARA UN SISTEMA DE IMPRESION FLEXOGRAFICO**

IV.1	Sistema de Impresión Flexográfico .....	54
IV.2	Formulación General de Tintas .....	55
IV.2.1	Color .....	56
IV.2.2	Vehículo .....	61
IV.2.3	Aditivos .....	63
IV.3	Proceso General de Manufactura de Tintas .....	64

**CAPITULO V PROCESOS DE PRODUCCION DE POLIMEROS ACRILONITRILO-  
BUTADIENO-ESTIRENO ( ABS )**

V.1	Aspectos Generales de los Polímeros ABS .....	68
V.2	Procesos de Producción .....	72
V.2.1	Polimerización por Emulsión .....	73
V.2.2	Polimerización por Suspensión .....	75
V.2.3	Proceso por Masa .....	77
V.2.4	Etapa de Compounding .....	78

**CAPITULO VI APLICACION DE LA TEORIA DE MEDICION DEL COLOR EN LA INDUSTRIA  
DE TINTAS Y PIGMENTACION DE POLIMEROS ABS**

VI.1	Equipos de Medición del Color .....	80
VI.2	Parámetros de Medición del Color .....	84
VI.3	Análisis de los Resultados de la Medición del Color contra un Estándar empleando el Sistema CIELAB .....	91
VI.4	Enfoque actual de la Medición del Color.....	95

<b>CONCLUSIONES</b> .....	97
---------------------------	----

**APENDICE A**

---

Tabla A-1	Energías Espectrales Relativas de los Iluminantes Patrones CIE (1931) .....	99
Tabla A-2	Funciones x, y, z de la Igualación de Color CIE del Observador Estándar CIE a 2 grados .....	100
Tabla A-3	Funciones x10, y10, z10 de Igualaciones de Color para el Observador Estándar Suplementario .....	101

<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	103
---------------------------	-----

---

---

# ***INTRODUCCION***

---

---

## INTRODUCCION

Independientemente de la rama y actividad en la que nos desempeñemos es inegable que percibimos un infinito número de colores a nuestro alrededor diariamente y que, consciente e inconscientemente influyen en una forma por demás importante en un buen número de nuestras decisiones: desde la compra de un artículo, alimento, revista, vestido, etc., hasta la adquisición de autos, muebles e inmuebles, sin pasar por alto que muchas personas deciden vacacionar, invertir o establecer lazos comerciales, solo por el impacto visual de la propaganda o apariencia de las compañías que ofrecen sus diferentes servicios.

Para los usuarios finales su elección seguirá basándose en su particular apreciación y gusto. Sin embargo dentro de la Industria de la Transformación existe un campo que ha venido cobrando una especial importancia, nos referimos a la apreciación de colores como una parte crítica del Control de Proceso de Manufactura de diversos productos. Debido a que la percepción del color por parte de las personas depende de factores fisiológicos e incluso en algunas ocasiones de su estado anímico, para el control del parámetro COLOR se ha desarrollado una Teoría al respecto, en la cual se unifican criterios y formas de cuantificación, así como equipos y técnicas específicas para su medición. Todo lo cual ha dado como resultado una estructura técnica que nos permite manejar un lenguaje en común en el ámbito Industrial.

La sistematización de los conceptos, así como los parámetros de medición del Color se han establecido prácticamente en las tres últimas décadas, la información es de difícil acceso y la disponible se encuentra centralizada en áreas de aplicación muy específicas, lo cual hace complicada su recopilación y difícil su entendimiento.

Sin ahondar en deducciones matemáticas profundas, pero sí con todo el soporte técnico necesario, el objetivo de la presente Tesis es exponer en forma clara los conceptos sobre los que se fundamenta la Teoría del Color. Se analizará el problema de la Medición del Color conciliando el conocimiento teórico con el enfoque práctico que necesita el profesionalista para traducirlo al operador de áreas y líneas de producción, laboratorios y personal de ventas, permitiendo comprender los fundamentos e importancia de la Medición del Color en la Industria de la Transformación.

Los temas de la Tesis se agruparon en tres secciones; en la Primera (Capítulo I) se habla sobre generalidades del Color, abarcando la descripción de los tres elementos necesarios para que éste se produzca: el Iluminante, el Objeto y el Observador.

En la segunda sección (Capítulos II y III) se da una Reseña Histórica de los diferentes Sistemas que se fueron desarrollando respecto a la Medición del Color hasta llegar a los Sistemas actuales, siendo el más importante el Sistema CIELAB por lo cual se le dedicó un Capítulo completo.

En la tercera sección (Capítulos IV, V y VI) nos enfocamos a la aplicación de la Teoría de la Medición del Color en dos ramas Industriales: Tintas para Flexografía y Pigmentación de Polímeros ABS, haciendo previamente una descripción de ambos Sistemas Productivos.

# ***CAPITULO I***

---

---

## **GENERALIDADES SOBRE EL COLOR**

---

---

## CAPITULO I

### GENERALIDADES SOBRE EL COLOR

Para entender la naturaleza del color, debemos en primer lugar considerar los tres elementos básicos, para que se produzca éste:

1. Debe existir un ILUMINANTE o FUENTE DE LUZ, en la oscuridad no percibimos ningún color, por lo tanto la luz es necesaria para poder ver colores.
2. El segundo elemento necesario para producir color es el mismo material u OBJETO. Este puede ser transparente, como un vidrio o acrílico pigmentado o puede ser una hoja delgada de metal (por ejemplo aluminio) cubierta por una película transparente de tinta, un material opaco semejante a la pintura o una película de tinta opaca sobre un papel, un polímero pigmentado, etc..
3. Así mismo es necesario el elemento sensible al color, llámese ojo humano o fotocelda y el interpretador de la sensación, el cerebro humano o un lector electrónico. Que podemos enmarcar en un solo concepto: OBSERVADOR.

Como puede apreciarse el COLOR es mucho más que puramente un aspecto físico, debe darse la conjunción de los tres elementos ya mencionados. En base a lo anterior a continuación se explica de manera general cada uno de los elementos básicos para que se produzca el color.

#### I.1 EL ILUMINANTE

##### Naturaleza de la luz

La luz es una pequeña parte de todo el espectro de energía electromagnética, dado que puede estimular los receptores localizados dentro del ojo, también es conocida como energía visible.

La manera de viajar de la luz y su modo de ser refractada y reflejada, hacen parecer que ella tuviera características de una onda. La manera como la luz trasmite su energía a una superficie coloreada hace parecer que ella estuviera constituida de partículas energéticas llamadas fotones.

##### Espectro Electromagnético

Una onda electromagnética esta constituida por campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio. Actualmente se sabe que hay varios tipos de ondas electromagnéticas, que constituyen el denominado espectro electromagnético (del latín spectrum que significa "fantasma" o "aparición"), ver Figura I-1. El primero en utilizar este término fué Isaac Newton, en 1671 para describir la imagen semejante a un arcoiris que se formaba en la pared de un cuarto oscurecido cuando interponía un prisma en un haz de luz solar.

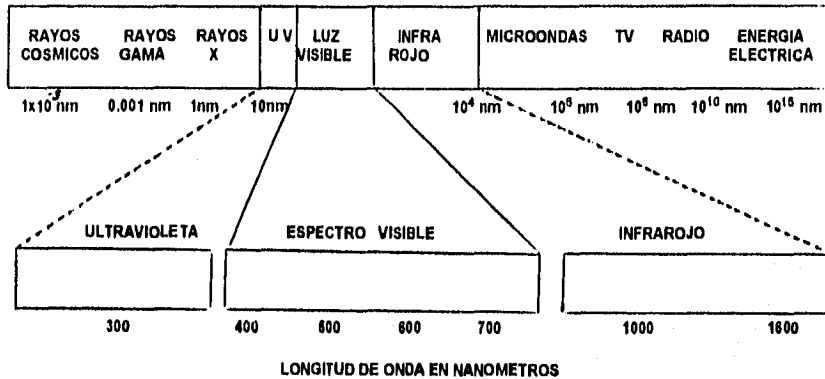


Fig. No.1-1 GRAFICA DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

En el área del Color, la variable más adecuada de medición del espectro electromagnético es la longitud de onda, cuya unidad de medida más ampliamente utilizada es el nanómetro ( $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9}$ ), siendo los rayos cósmicos los de menor longitud de onda ( $10^{-5}$  nm) y en el otro extremo del espectro las ondas de energía eléctrica con longitudes de onda de  $10^{15}$  nm.

El espectro visible es una pequeña parte de todo el espectro electromagnético, en un rango de 400 a 700 nm, región en la cual el ojo humano es sensible. Dado que una fuente de luz blanca tiene balanceadas todas las longitudes de onda del espectro visible, ésta aparentará ser blanca a nuestros ojos. Sin embargo si la luz se hace pasar a través de un prisma triangular transparente, ésta pasará y separará en las longitudes de ondas individuales que constituyen la luz o energía visible y podremos observar el fenómeno conocido como espectro del color o comúnmente llamado "arco iris". Tal y como lo demostró el científico Inglés Isaac Newton en 1704 (Fig. No. 1-2).

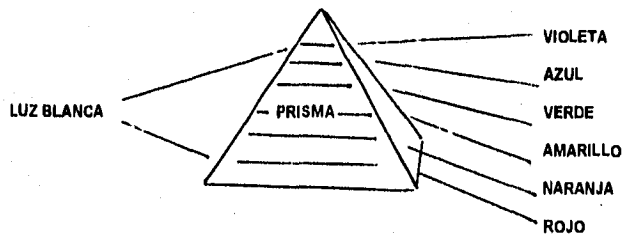


Fig. No.1-2 DESCOMPOSICION DE LA LUZ AL PASAR POR UN PRISMA

Normalmente nosotros podremos distinguir tres bandas anchas de colores entremezclados, estos son: violeta, verde y rojo, con varias bandas más estrechas de azul, amarillo y naranja respectivamente entre ellas (Fig. No. 1-3).

Las longitudes de onda que están asociadas con los colores anteriormente mencionados son las siguientes:

<i>LONGITUD DE ONDA (nm)</i>	<i>COLOR OBSERVADO</i>
390 - 430	<i>Violeta</i>
425 - 515	<i>Azul</i>
510 - 575	<i>Verde</i>
570 - 615	<i>Amarillo</i>
610 - 655	<i>Naranja</i>
650 - 710	<i>Rojo</i>

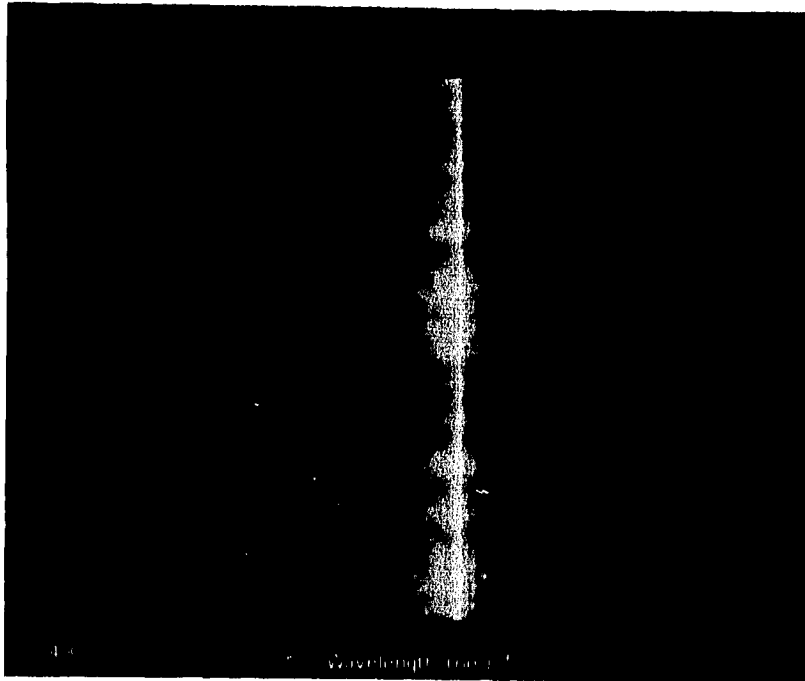


Fig. No. 1-3 ESPECTRO DE LUZ VISIBLE



## Fuentes de Luz

Muchos de los objetos en los cuales pensamos como fuentes de luz, emiten luz la cual es blanca u ocasionalmente blanca: el sol, metales calientes como los filamentos de los focos o de las lámparas fluorescentes entre otros. La luz de cualquier fuente puede ser descrita en términos de su potencia relativa (o cantidad de luz emitida para cada longitud de onda). Dado que la energía es potencia por tiempo la palabra energía es algunas veces usada en lugar de potencia. Graficando ésta potencia como función de la longitud de onda, obtenemos la "Curva de Distribución Energética Espectral" para una fuente de luz. (Fig. No. I-4).

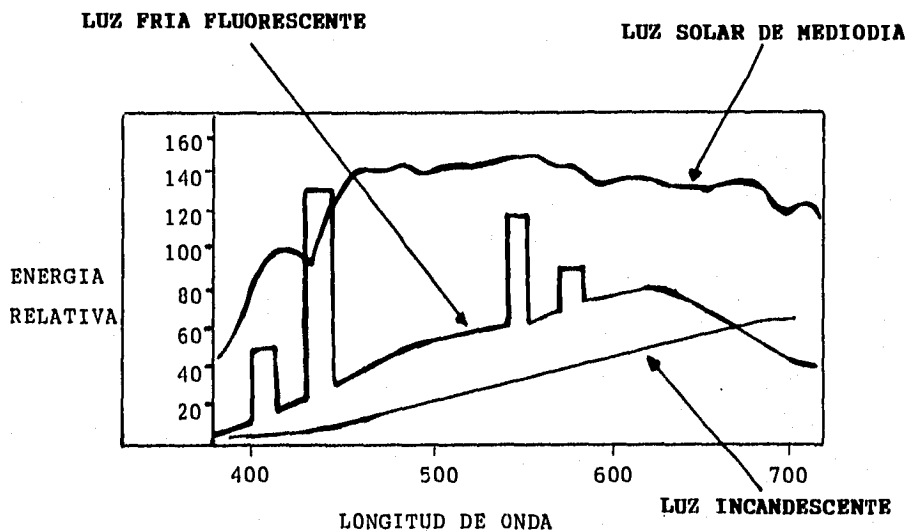


Fig. No. I-4 CURVA DE DISTRIBUCION ENERGETICA ESPECTRAL

Un importante grupo de fuentes de luz son llamados Cuerpos Negros. Un cuerpo negro es un material que absorbe y emite todas las longitudes de onda del espectro. Un cuerpo negro experimental podría ser un trozo de hierro con cavidad en su interior. Si el hierro se calienta a determinada temperatura, se mantiene en ella y se hace un pequeño orificio a la cavidad, entonces se podría medir la intensidad de la radiación que se emite desde la cavidad, con los instrumentos apropiados de detección.

Conforme se calientan éstos cuerpos, logran una incandescencia como la de los metales, primero se observa un rojo débil como el de una parrilla eléctrica caliente, después progresivamente se hace más brillante y el color se torna blanco como el de los filamentos de una lámpara de luz incandescente.

Los cuerpos negros son importantes por sus curvas de distribución energética espectral y por lo tanto su color depende sólo de su temperatura y no de su composición, la temperatura de los cuerpos negros es llamada *Temperatura del Color*. Los filamentos de tungsteno, como los que se utilizan en las lámparas incandescentes comunes, tienen un comportamiento similar al de un cuerpo negro, pero sus temperaturas de color no son exactamente iguales a sus temperaturas verdaderas.

Las curvas de distribución energética espectral para dos cuerpos negros, representan el rango de la temperatura del color de interés en problemas del color, como se muestra en la Fig. No. 1-5. La curva para 2854 K es típica de una Curva de Distribución Energética Espectral para una lámpara con filamento de tungsteno de 100 watts, mientras que la de 6500 K está en el rango de color para una luz de día verdadera.

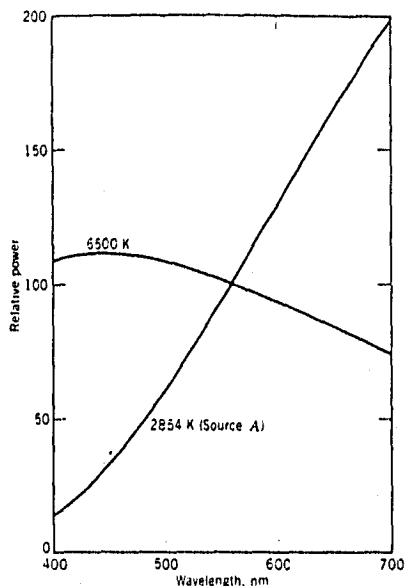


FIG. No. 1-5 CURVAS DE DISTRIBUCION ENERGETICA ESPECTRAL PARA CUERPOS NEGROS CON TEMPERATURAS DE COLOR DE 2854 K (FUENTE A) Y 6500 K

**NOTA:** El símbolo K representa Kelvin ó temperatura absoluta. El signo de grado y la palabra grado no es usado con la temperatura Kelvin.

Muchas fuentes de luz estandar han sido definidas por la Comisión Internacional en iluminación ( Commission international de l' Eclairage ó CIE siglas en francés ) para usar en la descripción del color. Una de éstas, CIE Fuente A, es una lámpara de filamento de tungsteno operando a la temperatura del color de 2854 K, su curva de distribución energética espectral es como se muestra en la Fig. No.1-5 , CIE Fuentes B y C son derivadas de la Fuente A através de pasar su luz por filtros líquidos. La Fuente B con una temperatura de color de cerca de 4800 K, es una aproximación de la luz del sol de mediodía ; la Fuente C son cerca de 6500 K y es una aproximación en promedio de la luz de día. Otras fuentes de luz ampliamente usadas en la igualación de color, son las lámparas de arco de xenón y la luz de día Macbeth 7500 K, la cual fué obtenida por modificación de una lámpara de filamento de tungsteno con filtros de vidrio. Las curvas de distribución energética espectral de algunas de éstas fuentes se muestran en la Fig. No. 1-6.

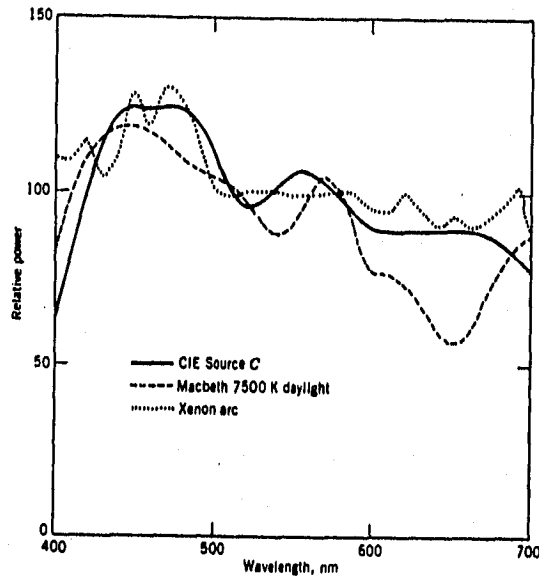


Fig. No. 1-6 CURVAS DE DISTRIBUCION ENERGETICA ESPECTRAL PARA ALGUNAS FUENTES DE LUZ ESTANDAR EMPLEADAS PARA LA DESCRIPCION DEL COLOR

Empleando terminología CIE se debe hacer una distinción entre lo que significa una fuente y un iluminante. Una fuente es una luz física real que puede ser prendida ó apagada y usada en un experimento real de igualación de color. A, B, y C son fuentes, aunque B y C son muy raramente usadas en éste sentido. Un iluminante, por otro lado, es definido por una curva de distribución energética espectral y para éste puede o no ser posible fabricar una fuente que lo represente. La CIE luz de día de las series D de iluminantes, representan un promedio de la luz de día natural, pero hasta la fecha no existen fuentes de luz artificial disponibles que la dupliquen. Una fuente puede también ser un iluminante, como lo son A, B y C porque sus curvas de distribución energética espectral son conocidas, y así en éstos casos es correcto hablar de iluminantes A, B y C. Todas las fuentes estandar que se tienen hasta hoy corresponden a iluminantes, pero no todos los iluminantes estandar que se tienen corresponden a fuentes.

**FUENTE :** Una luz físicamente realizable, cuya curva de distribución energética espectral puede ser experimentalmente determinada. Cuando la determinación es hecha y especificada ésta se convierte en una **Fuente Estandar**.

**ILUMINANTE :** Una luz definida por una curva de distribución energética espectral la cual puede ó no ser físicamente realizable como una fuente, si ésto es posible, entonces se convierte en una **Fuente Estandar**.

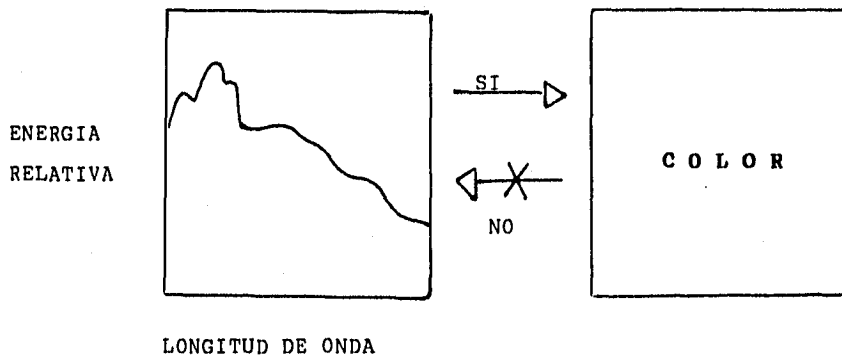


Fig. No. 1-7 EL COLOR SE PUEDE DETERMINAR A PARTIR DE UNA CURVA DE DISTRIBUCION ENERGETICA ESPECTRAL

Es importante señalar que varias fuentes comunes diseñadas para simular la luz de día, así como las cabinas para la igualación de color, pueden ser totalmente diferentes en su curva de distribución energética espectral de alguna otra luz de día real, aunque ellas sean llamadas "Luz de Día" ó "D-65". Estas fuentes también pueden diferir unas de otras y la mayoría de las igualaciones de color en cabinas, no proveen ninguna fuente Estándar CIE dentro de cualquiera de sus fuentes "luz de día" o "tungsteno" ú otra posición. Lo anterior es de especial importancia en el exámen de la igualación de colores, la cual depende de la naturaleza de la fuente de luz. De tal forma que éstas igualaciones son llamadas condicionales ó metaméricas.

#### Transmisión, Absorción y Dispersión

Cuando la luz choca con un objeto, uno o más fenómenos referentes al color pueden suceder:

**Transmisión.** La luz puede pasar a través de un objeto esencialmente sin cambio. Es decir se transmite a través del material, el cual es descrito como transparente. Si el material es coloreado, toda la luz es transmitida excepto una pequeña cantidad la cual es reflejada desde las dos caras del objeto.

**Absorción.** En adición a la transmisión, la luz puede ser absorbida o perderse como luz visible. Si el material absorbe parte de la luz, se manifestará el color del objeto pero éste aún será transparente; si toda la luz es absorbida, el material es negro y se dice que es opaco.

Una ley fundamental de absorción de la luz, ley de Lambert, establece que iguales cantidades de absorción resultan cuando la luz pasa a través de iguales espesores del material. Si 1 cm de material absorbe la mitad de la luz incidente sobre él, otro centímetro detrás, absorbe la mitad de la cantidad que paso la primera capa, de tal forma que únicamente  $1/2 \times 1/2$  o se  $1/4$ , de la luz saldrá de los 2 cm de material, y así sucesivamente.

Una segunda ley de absorción, ley de Beer, establece que iguales cantidades de absorción resultan cuando la luz pasa a través de iguales cantidades de material absorbente. Esta ley es importante dado que explica el efecto de la concentración del colorante sobre el color de un material transparente.

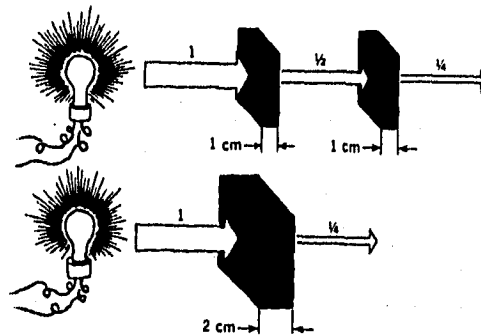


Fig. 1-8-(a) LEY DE LAMBERT

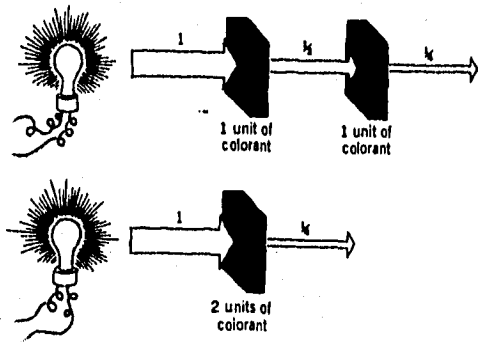


Fig. 1-8-(b) LEY DE BEER

**Dispersión.** Finalmente la luz puede ser dispersada cuando ésta interactúa con el material. Parte de la luz es absorbida y re-emitida a la misma longitud de onda, pero ahora parte de la luz viaja en una dirección y parte en otra, hasta algo de la luz puede viajar en todas direcciones. Los efectos de dispersión de la luz son comunes e importantes. La dispersión de la luz debida a las moléculas del aire contribuyen al color azul del cielo y la dispersión por las

partículas más grandes contribuyen al color blanco de las nubes, humos y de la mayoría de los pigmentos blancos.

Cuando hay suficiente dispersión, podemos decir que la luz es difusamente reflejada desde un material. Si solamente parte de la luz que incide sobre el material es dispersada y parte es transmitida, se dice que el material es *translucido*; si la dispersión es tan intensa que la luz no pasa a través del material se dice que el material es *opaco*. El color del material depende de la cantidad y tipo de dispersión y absorción presente. Si no hay absorción y se dispersa la misma cantidad de cada longitud de onda, el material se verá blanco, de otro modo, coloreado.

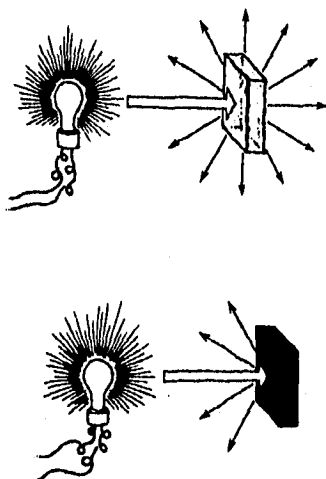


FIG. No. 1-9 DISPERSION DE LUZ EN UN MATERIAL TRANSLUCIDO Y OPACO

Existen otros fenómenos que contribuyen a la apariencia de los objetos, tal como son el brillo, la reflexión metálica, opacidad, turbidez y la fluorescencia.

#### Características Espectrales de los Materiales

Desde el marco de la Teoría del Color, el efecto de la luz sobre un objeto puede ser descrito por su Transmitancia Espectral o Curva de Reflectancia (para materiales transparentes u opacos, respectivamente; ambas son necesarias para objetos translucidos). Estas curvas muestran la fracción de luz reflejada a cada longitud de onda, desde el material (comparada contra un estándar blanco; por ejemplo una placa de BaSO<sub>4</sub>) o transmitida a través del material (comparada contra un estándar adecuado, usualmente el aire). Estas curvas describen al objeto tal y como una curva de distribución de energía espectral describe una fuente de luz. Las curvas de reflectancia espectral de varios materiales coloridos opacos se muestran en la Fig. No. 1-10. De la comparación de estas curvas con los tonos de los colores del espectro y remarcando que los materiales coloreados siempre reflejan la luz de al menos su propio tono y absorben los tonos complementarios, se puede rápidamente desarrollar la habilidad para reconocer colores en forma general a partir de sus curvas de reflectancia espectral o transmitancia.

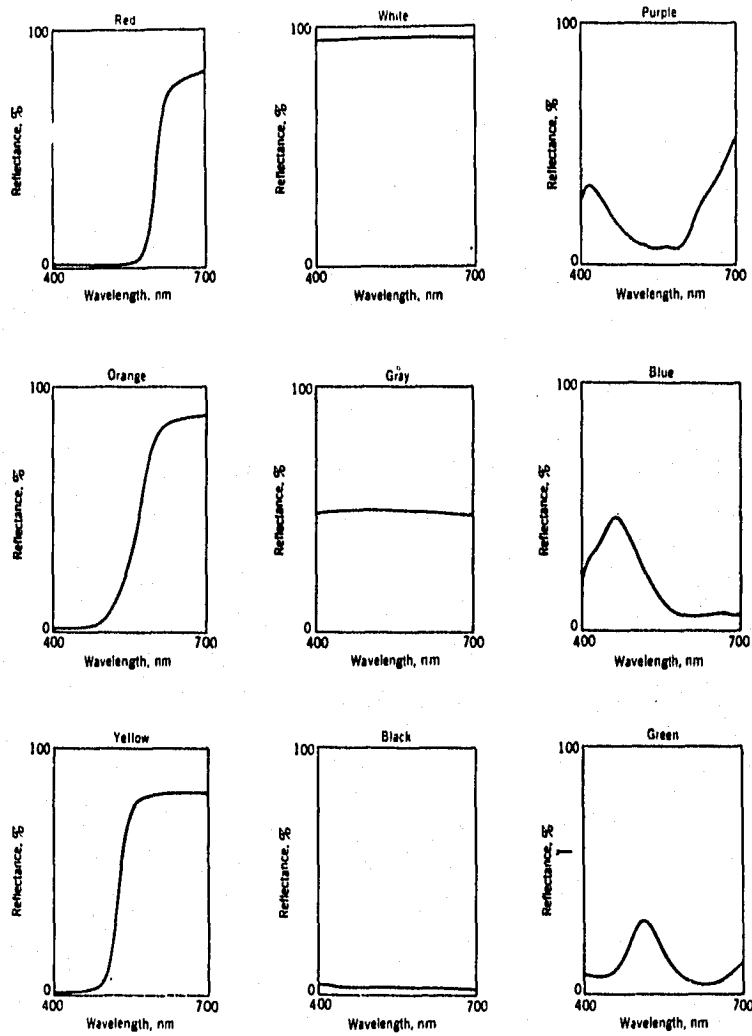


Fig. No. I-10 CURVAS DE % DE REFLECTANCIA ESPECTRAL DE DIFERENTES COLORES

## 1.2 EL OBJETO

El segundo elemento necesario para producir color, es el mismo material coloreado y como mencionamos en el punto anterior; en la medida en que se presenten los fenómenos de transmisión, absorción y dispersión de la luz, al incidir ésta sobre un cuerpo, el objeto será **Transparente, Opaco o Translucido.**

De manera general se puede considerar que un átomo consiste de un núcleo compuesto por protones y neutrones, este núcleo está rodeado por una nube de electrones que circulan a su alrededor. Todos los electrones están cargados negativamente y se repelen entre sí, pero se mantienen cerca del núcleo debido a la carga positiva de éste.

La luz es una radiación electromagnética en forma de onda, esta radiación consiste de pulsaciones de energía eléctrica y magnética. Las pulsaciones eléctricas varían entre cargas positivas y negativas.

Cuando la velocidad de pulsación de la radiación que choca es igual al movimiento de los electrones, el campo eléctrico de la radiación puede transmitir su onda de energía al electrón. Esto incrementará la energía del electrón, haciéndolo saltar fuera de su órbita alrededor del núcleo y colocándose en una órbita inestable de alta energía. Cuando esto ocurre, se dice que el electrón de la molécula ha absorbido la radiación. Como la órbita es inestable, el electrón eventualmente cae a su órbita estable y emite la radiación absorbida.

La luz blanca es una radiación electromagnética que contiene todas las longitudes de onda visibles. La absorción de parte de la radiación por los electrones de la molécula remueve ciertas longitudes de onda de la luz blanca. Las longitudes que quedan, las cuales son transmitidas a través de un material transparente o reflejadas para un material opaco, dan ahora un color específico.

Los pigmentos y anilinas tienen una estructura molecular que conduce a la absorción de ciertas longitudes de onda. Las longitudes de onda que no son sustraídas se reflejan dándole al colorante su tono característico. Un azul ftalocianina absorbe la mayoría de las longitudes de onda de amarillas a rojas entre 550 nm y 700 nm y refleja la mayoría de las longitudes violetas a azul-verdoso entre los 400 nm y 550 nm. Las longitudes de onda absorbidas son re-emitidas como energía calórica.

## 1.3 EL OBSERVADOR

El tercer elemento requerido para producir color es un aparato sensitivo que recibe el color. Este aparato puede ser el Ojo Humano o una Fotocelda ( en la actualidad se cuenta con equipos como el densitómetro, el colorímetro y el espectrofotómetro ).

### 1.3.1 El Ojo Humano

Los colores pueden ser vistos por el ojo humano, el ojo varía de un observador a otro sin embargo, con todas sus variabilidades y peculiaridades es el objetivo primario del color impreso.

La luz que llega al ojo pasa a través de la córnea, el humor acuoso, la pupila, el lente, el humor vítreo y finalmente alcanza la retina ( Fig. No. 1-11 ). En la retina hay dos tipos de receptores llamados bastoncillos y conos. Los bastoncillos (entre 10 y 15 millones) son prácticamente insensibles al color pero son muy sensibles a la luz. Los conos (entre 6 a 7 millones) necesitan más energía para responder y son sensibles al color.



En los bastoncillos hay un material llamado rodopsina que reacciona con la energía radiante de la luz, y pasa una señal a las células neurales. Estas células transmiten la señal al cerebro mediante el nervio óptico.

La función de los conos es más difícil de describir. Una teoría dice que hay tres tipos de conos los cuales reaccionan a tres áreas de longitudes de onda, sensitivos al rojo, sensitivos al verde y sensitivos al amarillo ó al azul. Estos conos están conectados a células nerviosas bipolares. La célula bipolar transmite el impulso neural a una célula ganglio que forma parte del nervio óptico. El nervio a su vez transmite el impulso al cerebro para ser interpretado.

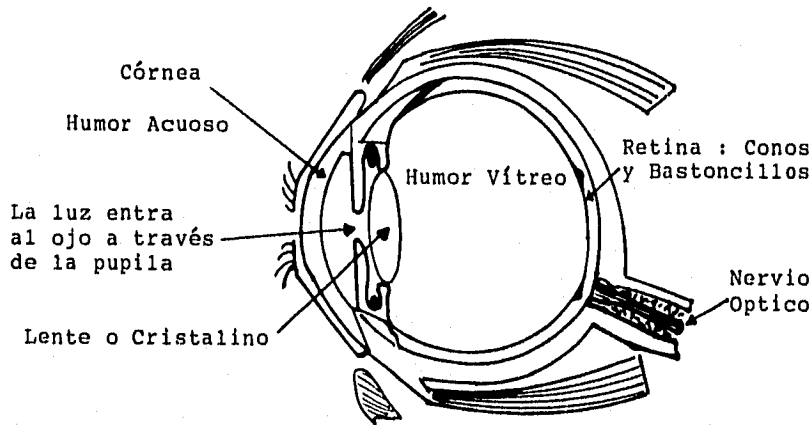


Fig. No. I-11 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL CORTE TRANSVERSAL DE UN OJO HUMANO

También hay que tener en cuenta de que cada uno de los 6 a 7 millones de conos tienen una respuesta cuantitativa diferente a cada longitud de onda de la luz, por tanto se hace aparente la complejidad de éstos receptores visuales.

Sin embargo hay una información conocida acerca del ojo, de gran interés para las personas que combinan ó igualan colores. Primero, es posible combinar cada color que el ojo puede ver haciendo brillar tres luces monocromáticas propiamente seleccionadas sobre una pantalla blanca. Al sobreponer las tres luces coloreadas y ajustar el contenido energético de cada una, se puede hacer una combinación para cualquier otra luz coloreada proyectada en la pantalla. Una restricción en la selección es de que ninguno de los dos colores escogidos pueden ser complementarios. Dos colores complementarios sobrepuestos producirán una mezcla de todas las longitudes de onda en el espectro y aparecerá azul, gris ó negro dependiendo del nivel energético.

El ojo se puede ajustar al nivel energético ó a la intensidad de la luz. Si la intensidad de la luz está a un alto nivel se hace el ojo menos sensible a pequeñas variaciones. A una baja intensidad el ojo se vuelve más sensitivo. Además, cuando hay un cambio repentino en la intensidad, transcurre un lapso de tiempo de que el ojo se ajuste. Si uno entra a un cuarto oscuro, después de salir de uno brillantemente iluminado, queda temporalmente ciego. A

medida que permanezca en el oscuro, el ojo se va adaptando gradualmente hasta que se empieza a ver otra vez.

Otra característica del ojo es que produce imágenes tardías. Después de que el ojo se ilumina con una intensa luz amarilla, todo lo que se mira por un corto tiempo después toma un matiz azul. Alrededor del 10 % de la población sufre de ceguera al color. Esto significa que no pueden diferenciar los colores o que no los pueden ver todos.

### **1.3.2 La Fococelda**

El ajuste del ojo humano a la intensidad luminica, el fenómeno de la imagen tardía y la ceguera de los colores afectan la manera de cómo el ojo ve el color. Un instrumento sensible al color que no se ve afectado por estas características es una fococelda.

Una fococelda es un tubo al vacío o un tubo lleno de gas que contiene dos componentes. Hay un ánodo el cual recoge los electrones emitidos por el fotocátodo. Este emite los electrones cuando un rayo de luz se tropieza con él.

Esta transferencia de electrones provee una señal que es proporcional a la energía de la luz incidente, entonces la señal puede ser electrónicamente amplificada. La fococelda por tanto provee un medio para medir la cantidad de luz, pero no necesariamente la longitud de onda.

### **El Espectrofotómetro**

Si ajustáramos la longitud de onda al rotar un prisma y luego permitiéramos que cada color del espectro visible chocara sobre la fococelda sucesivamente, entonces podríamos interpretar la lectura de la fococelda como una medida de cada color, lo cual constituye la forma esencial de como trabaja el espectrofotómetro.

El espectrofotómetro es capaz de medir la luz reflejada o transmitida. El instrumento genera datos en forma de una curva de distribución de energía espectral llamada curva espectrofotométrica. El espectrofotómetro también puede ser utilizado para medir color en tintas, pinturas y plásticos.

### **El Colorímetro**

Colorimetría es una medición del color que utiliza una lectura triestímulo similar a como se efectúa en el ojo humano. Su diseño se fundamenta a como el ojo humano utiliza conos sensitivos a la luz roja, verde y azul para generar la visión del color. El colorímetro está diseñado para ver colores del espectro de luz visible. Este instrumento ha sido empleado desde 1930 y comúnmente es utilizado en la industria del empaque para igualar logotipos y tintas especiales. El colorímetro también ha sido utilizado para el control de calidad de la industria del papel.

Los colorímetros usan una amplia banda del espectro de luz visible y en esto radica su diferencia con el espectrofotómetro, el cual mide intervalos cortos del espectro.

### **El Densitómetro**

Hay otro instrumento que puede ser utilizado para medir y definir el color, el densitómetro. Este instrumento depende del uso de filtros para colores y de una medida llamada "densidad óptica".

La densidad óptica es aproximadamente el inverso de la brillantez. Es la medida de qué tanta luz es absorbida por un color. Una alta densidad significa una baja brillantez, pero esta proporción no está sobre una base 1:1.

Los receptores del ojo no responden a la luz en una relación directa de 1:1. Esto quiere decir que si se dobla la brillantez o la energía radiante se dobla, el ojo no ve el doble de luz. Realmente el ojo responde de una forma logarítmica a los cambios en la brillantez. La densidad óptica para poder seguir una percepción visual también es definida como la función logarítmica de la brillantez.

Con una definición apropiada de la densidad y un ajuste electrónico apropiado del densitómetro se provee un método para medir la respuesta del ojo a la energía radiante. En vez de medir esta respuesta a cada longitud de onda del espectro, el número de medidas puede ser reducido a tres.

Esto es logrado por medio del uso de filtros los cuales remueven porciones espectrales de la luz que es recibida. Los tres filtros son de color rojo, verde y azul, los colores primarios aditivos.

Idealmente, el filtro rojo solamente permite la transmisión de la luz de la porción de mayor longitud de onda del espectro. El filtro verde trasmite luz de la porción central del espectro. El filtro azul trasmite luz de la porción de menor longitud de onda del espectro. De esta forma el uso de filtros permite al densitómetro leer la fuerza de una impresión en el proceso de tintas. Los siguientes filtros son empleados para evaluar la "fuerza" de la tinta o densidad sobre un sustrato:

- a). Filtro Azul - tinta amarilla
- b). Filtro Rojo - tinta azul o cyan
- c). Filtro Verde - tinta roja o magenta

Dividiendo al espectro en tercios, se cubre el rango espectral completo y se cubren los tres elementos necesarios para producir el color. La escala de medición de densidad en Transmisión (transparencias) inicia en 0 y termina en 3, es posible obtener lecturas de densidad superiores a 3 pero el valor de sombra total de negro o la densidad total ha sido alcanzada en la lectura de 3. La escala de medición para reflexión inicia en 0 y termina en 2, asimismo se pueden obtener valores superiores a 2 pero para fines prácticos un sólido negro es alcanzado en un valor de 2.

El densitómetro mide la densidad (que en realidad es una medida de la energía radiante), a través de cada uno de los filtros y da tres lecturas. Estas lecturas pueden utilizarse para obtener el color original, o para saber que correcciones son necesarias para obtener una mejor réplica. El densitómetro también es usado ampliamente en trabajos sobre separación de colores y para controlar procesos de impresión.

#### **1.4 Colores Primarios y Secundarios de Luz y Pigmentos**

Muchos colores pueden ser distinguidos por el ojo, sin embargo para definir que tan rojo es un color o la diferencia entre dos cafés por ejemplo, es necesario usar un método cuantitativo. La base para un método más preciso en la definición de un color, se encuentra en la observación de que solamente se necesita proyectar tres colores en una pantalla para obtener cualquier color.

Otra manera de expresar esto es diciendo que el color es tridimensional, es decir que el color se compone de tres elementos independientemente variables. Una de las maneras de utilizar éstos tres elementos es estableciendo los tres colores básicos de los cuales se pueden preparar los otros tres colores. Estos colores básicos serán entonces los colores primarios, y las mezclas simples uno a uno serán los colores secundarios. Antes de nombrar estos colores primarios y secundarios, es necesario distinguir entre dos métodos diferentes para mezclar colores.

*El Método Para La Mezcla De Colores De Luz Es LLamado Aditivo el cual consiste en proyectar colores sobre una pantalla, si por ejemplo una luz roja es proyectada ésta luz tendrá cierta brillantez pero si luego se proyecta una luz azul de tal manera que cubra a la luz roja veremos entonces una luz púrpura. Al mismo tiempo, como dos fuentes luminicas están enfocadas sobre una misma área, hay más luz incidente disponible. Entonces el área coloreada reflejará una radiación total mayor que la que reflejó cuando solamente se proyectaba un color debido a que hemos adicionado más luz al color. Los Colores Primarios Aditivos son el VERDE, ROJO y AZUL y la mezcla de los tres nos dará el BLANCO. ( Fig. No. I-12 ). La consideración de los colores para la televisión y fotografía generalmente involucra a los colores Aditivos.*

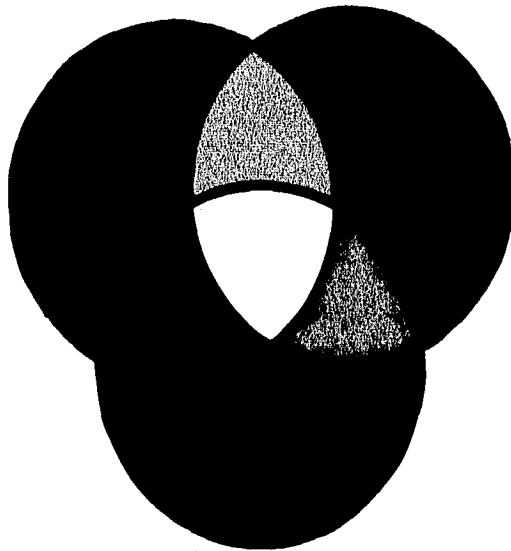


Fig. No. I-12 MEZCLAS DE LUZ : METODO ADITIVO DE COLORES PRIMARIOS

*El Metodo Para La Mezcla De Colores De Pigmentos Es LLamado Sustractivo el cual consiste en la mezcla directa de pigmentos. Los pigmentos adquieren su color absorbiendo longitudes de onda específicas de la luz de la radiación recibida y reflejando lo que sobra. De ésta manera un pigmento es rojo, debido a que sustrae ó absorbe las porciones azul, verde y amarilla del espectro. Un pigmento azul absorbe las porciones roja, anaranjada y amarilla del espectro. Cuando éstos dos pigmentos se mezclan, los colores sustraídos del espectro son el rojo, anaranjado, amarillo, verde y azul. Esto solamente deja al violeta como color reflejado. Además ya que la mezcla de los pigmentos incrementa la cantidad de radiación absorbida, el violeta será más oscuro con una menor radiación total reflejada que cualquiera de los dos pigmentos originales. Los Colores Primarios Sustractivos son el AMARILLO, CYAN y MAGENTA y la mezcla de los tres nos dará el NEGRO. ( Fig. No. I-13 ). La combinación de colores en tintas y resinas pigmentadas involucra a los colores Sustractivos.*

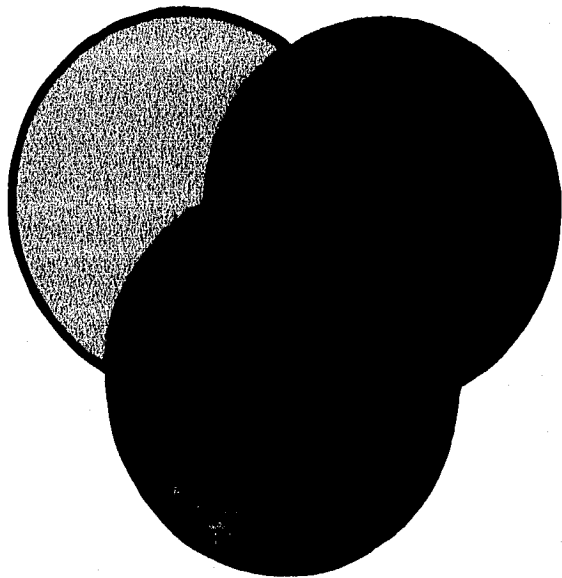


Fig. No 1-13 MEZCLAS DE PIGMENTOS: METODO SUSTRATIVO DE COLORES  
PRIMARIOS

## ***CAPITULO II***

---

---

### **DESCRIPCION DEL COLOR**

---

---

## CAPITULO II

### DESCRIPCION DEL COLOR

#### II.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

A lo largo de la historia de la humanidad, el color ha sido utilizado por el hombre para manifestar ya sea su interpretación de la realidad que lo rodea, su vocación artística o su sentido estético. La experimentación y las técnicas de laboratorio sólo pertenecen al mundo moderno. Sin embargo, Aristóteles escribió una obra *De Coloribus* ( 384 - 322 a.C. ) en la cual manifestaba que el color era una propiedad de la luz y que los objetos aparecían coloreados debido a que "contaminaban" -en la actualidad diríamos que absorben- la luz.

Seguramente los pintores, por razones de oficio, fueron los primeros en establecer las reglas empíricas que rigen la mezcla de los colores. Leonardo da Vinci había hecho algunas consideraciones generales, pero sin mayor trascendencia ( 1452 - 1519 ). El siglo XVII sería fundamental para el conocimiento del color, pues Newton brindaría descubrimientos y una teoría físico-matemática que explicaría la naturaleza de los colores. Fue en 1666 cuando comenzó sus investigaciones en éste campo, la teoría por él formulada es en rigor aún válida en su concepción física general, pero la falta de un método práctico de medir e identificar un color, la hace inapropiada e incompleta.

Newton al ver que la luz solar se descomponía en luces de distintos colores mediante su dispersión a través de un prisma, trató de medir la intensidad de la radiación de cada parte del espectro y si bien lo logró, sus resultados no fueron correctos pues las radiaciones no eran puras ni podía medirlas bien. Representó gráficamente los colores reales mediante un círculo en cuyo centro se representaba el blanco y su perímetro externo era el lugar donde tenían representación todos los colores espectrales puros y los que resultaban de la combinación de las radiaciones de los extremos del ámbito visible. La pureza espectral variaba en forma continua entre el centro del círculo y sus bordes. Newton fue consciente de la necesidad de una tercera dimensión para poder identificar la luminosidad ó claridad de un determinado color.

Goethe (1810) analiza el color desde un punto de vista diametralmente opuesto. Para él las impresiones visuales son realizadas por un observador y a partir de ello considera, como un caso particular, el de las impresiones visuales de color. Para Newton el fenómeno es objetivo, para Goethe el fenómeno es subjetivo.

Goethe expone un simple ejemplo: muestra un objeto iluminado a un observador y a continuación interpone en el camino visual un elemento transparente, pero que modifica el color o la forma del objeto para el observador y sostiene - lo que es evidente - que en ese caso el observador verá cosas distintas según haya o no un elemento intermedio.

Newton habló de colores espectrales : Goethe por su parte definió los colores marginales. Las concepciones y definiciones eran totalmente diferentes. La teoría de Goethe no fue nunca usada en la práctica, pero debe reconocércele el mérito de haber patentado la contradicción de una teoría física absoluta frente a una concepción psíquica y subjetiva. Siglos más tarde habría de aceptarse la dualidad psicofísica del color.

Después de la polémica entre Goethe y Newton, Thomas Young ( 1773 - 1829 ), es el primero en predecir la teoría tricromática del color y explicar que en la retina, existen tres detectores diferentes cuya conjunción produce el estímulo del color.

Herman Ludwig von Helmholtz, completó la teoría de Young, de tal modo que hoy se le conoce como " la teoría de Young-Helmholtz " ( 1892 ). Finalmente él llegó a la conclusión de

que existe alguna forma de estímulo triple generado en la retina del ojo que dá lugar a la percepción en la corteza cerebral mediante un proceso no descrito.

Al mismo tiempo que la solución " física " propuesta por Newton, Young y Helmholtz, existía la corriente " sensorial " ó más correctamente psicológica, cuyo primer adepto, fué precisamente Goethe. Hering reactualizó ésta vieja teoría y la renovó totalmente con un criterio científico que prevee para cada sensación una opuesta y que se diferencia en tres procesos visuales: blanco-negro, azul-amarillo, rojo-verde, es decir un proceso de inhibición. A ésta teoría se le ha denominado " Teoría de los Colores Oponentes ".

En el presente siglo, a partir de la primera reunión del CIE en 1924, en París, las investigaciones y los descubrimientos se sucedieron sin interrupción. Abney, Guild, Wright, Stiles, Crawford en Inglaterra. Le Grand en Francia, Judd, Nimeroff, MacAdam, Nickerson, y muchos otros cuya mención sería interminable, permitieron que la ciencia del color alcanzara su estado actual.

Los siguientes congresos del CIE fueron delineando las pautas a seguir por los investigadores. De éste modo, en 1931 se definió el Observador Patrón de Colorimetría para un campo foveal, en 1963 el Observador Patrón de Colorimetría para un campo visual amplio y en 1987 el espacio de Cromaticidad Uniforme CIE, entre otras resoluciones.

Por otra parte la labor del Bureau International des Poids et Mesures ( B.I.P.M. ) en Francia, centralizó la normalización y el mantenimiento de los patrones de fotometría, labor que sin duda se vió complementada por los más importantes Laboratorios Internacionales de Alemania, Inglaterra, Estados Unidos, Canadá, Australia, la ex-Unión Soviética y el Japón, quienes en conjunto invirtieron en éste campo gran parte del presupuesto dedicado a la investigación, particularmente en la parte metroológica.

Para finalizar ésta breve introducción histórica, cabe mencionar que en nuestro siglo, y como necesidad práctica de las industrias de tener algún sistema de medición, aparecieron diversos sistemas cuya base la constituía un Atlas de Colores. En realidad los primeros Atlas tenían la finalidad de servir a los Naturalistas. Posteriormente Ostwald publicó un Atlas de Colores, cuyas primeras ediciones datan 1917 - 1920 y que se siguió editando como Colour Harmony Manual. Otros son el de Munsell, publicado por primera vez en 1905, y el DIN que son de una utilidad más general. El sistema DIN es más reciente. La norma DIN 6164 DIN Farbenkarte se publicó en 1952. Estos tres sistemas, el Ostwald, el Munsell y el DIN son de aplicación muy local, lo que no implica que no puedan ser utilizados en diferentes lugares de aquéllos en los que se desarrollaron, sino que son más utilizados en Europa, Estados Unidos y Alemania, respectivamente.

## II.2 SISTEMAS DE DESCRIPCIÓN DEL COLOR

La descripción y especificación de un color es una parte esencial en la solución de los problemas al hablar del color. Las lenguas universalmente aceptadas, se requieren para expresar a través de una distancia, en un período de tiempo, o en la ausencia de muestras físicas correctas, nuestras ideas acerca de la apariencia de objetos coloreados.

Debido a que podemos hablar acerca de la medición del color, percepción del color, o la descripción de un producto en particular, se requerirían de diferentes lenguajes para describir todos los aspectos del color. En seguida se mencionan y clasifican los sistemas existentes para acomodar y describir colores, es decir sistemas de orden o espacios de color.



Los sistemas para la descripción del color se pueden clasificar en dos grupos :

a) Los basados en la colección de muestras físicas.

b) El que cuantifica la sensación del color en términos de la cantidad de estímulo y la cantidad de respuesta por el ojo humano, el estímulo es definido en términos espectrales y color de temperatura de la fuente lumínica, la respuesta es obtenida promediando las respuestas de un grupo de observadores para producir un observador estándar.

A continuación describiremos los sistemas que comprenden el primer grupo. El segundo grupo es el Sistema CIE , y dada su importancia, uso y aplicación actual, se le ha dedicado un capítulo en especial.

### **II.2.1 Sistemas Aleatorios**

Las recolecciones de muestras físicas juntas sin tener un principio ó guía para su arreglo son comunes y están dentro del rango de grupos por acomodos aleatorios hasta arreglos semiordenados. La mayor parte de las recolecciones de muestras están diseñadas para ilustrar los colores disponibles en un producto dado. Como ejemplos típicos tenemos tarjetas para modas de temporada, para teléfonos y catálogos de productos de diversos tipos de fabricantes. Otras colecciones conocidas de color son la Muestra Federal del Color Para Pinturas (Especificación Federal TT-C595 ), Colores Para Casa y Jardín y las Muestras de Color de la Asociación del Color de los Estados Unidos Inc. Un importante defecto de éste tipo de muestras, es que no es posible deducir los colores de muestras intermedias a partir de las muestras presentadas.

### **II.2.2 Sistemas Basados en Comportamiento del Colorante**

En muchas industrias, es común producir una gran variedad de muestras coloreadas por medio de una mezcla sistemática relativamente corta de algunos colorantes de alta concentración entre ellos y con la mezcla de blanco y negro. No sólo las muestras se hacen de éste modo sino que también el producto que se vende en el mercado se elabora de la misma manera. La mayor parte de los productores de pintura para casas así como los que elaboran acabados industriales y automotrices, tienen sistemas de éste tipo, utilizando mezclas con dispositivos muy elaborados, ó unidades preempacadas en la fábrica. Sistemas similares se observan en la industria de tintas para impresión y por parte de proveedores de colorantes para plásticos. Una recolección de importancia histórica considerable producida de ésta forma es el Diccionario de Color de Maerz y Paul ( Maerz 1930 ). Una colección única de éste tipo son los Vidrios Lovibond, con los cuales se pueden obtener una gran variedad de colores, mezclando sustractivamente en un comparador visual de color ( Tintómetro Lovibond ) . Sistemas modernos basados en una mezcla sistemática de colorantes son el sistema PANTONE, ampliamente usado para tintas de impresión en las Artes Gráficas, y el Atlas de Color ICI.

Es característica de la mayor parte de éstos sistemas que la Interpolación entre las muestras es posible. Más aún, algunas de las muestras como es el caso de los Vidrios Lovibond, se han medido y pueden relacionarse de una forma aproximada a otros sistemas de color.

### **II.2.3 Arreglos Basados En Leyes De Mezclas De Color**

Se conoce bien que cuando los colorantes ó luces de color se mezclan en las mismas cantidades, siempre se obtendrán los mismos resultados. Las leyes que describen estas mezclas de luces coloreadas por medio de un método de colorimetría de disco se han usado

para proporcionar sistemas de orden de color tanto antiguos como modernos , probablemente el sistema mejor conocido de éste tipo es el Sistema de Ostwald.

**a ) Sistema Ostwald**

Wilhelm Ostwald nació en 1852 y durante los 80 años de su vida dedicó muchos de sus esfuerzos al objetivo de lograr una especificación del color. Su sistema se basa en forma similar al de Goethe, es decir en colores marginales y sus combinaciones. En la Fig. No. 1 se puede ver el corte de un plano meridiano del sólido de colores, cuya forma es la de un triángulo equilátero cuyo eje vertical representa la escala de grises que va del negro ( vértice inferior ) al blanco (vértice superior ) , extendiéndose en el plano horizontalmente hasta el vértice que representa el color puro ó "franco", como lo denomina Ostwald. Es de notar que éstos colores puros no tienen relación directa con los colores espectrales puros, sino que son una aproximación algo arbitraria. Estos colores se pueden ver en la misma figura que muestra un corte del plano horizontal del sólido de colores . Su círculo posee 8 colores diferenciados : Rojo, Púrpura, Ultramarino, Turquesa, Verde mar, Verde hoja, Amarillo y Naranja. Cada uno de ellos está subdividido a su vez en tres sectores, por lo que todo el círculo tiene 24 divisiones. El número variable de cada división se le denota con la letra N, la cual varía de 1 a 24. Las Figuras No. II-1 y II-2 muestran representaciones esquemáticas del sólido de colores de Ostwald.

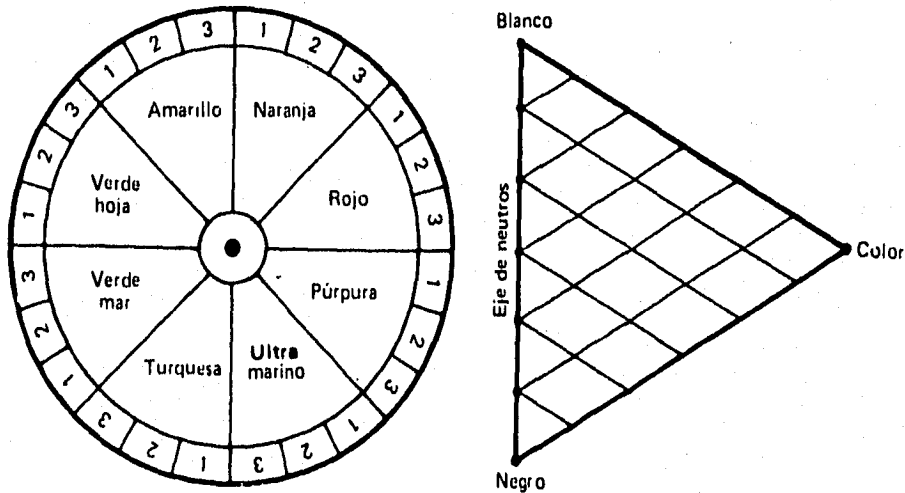


Fig. No. II-1 CORTE DEL SOLIDO DE COLORES DE OSTWALL

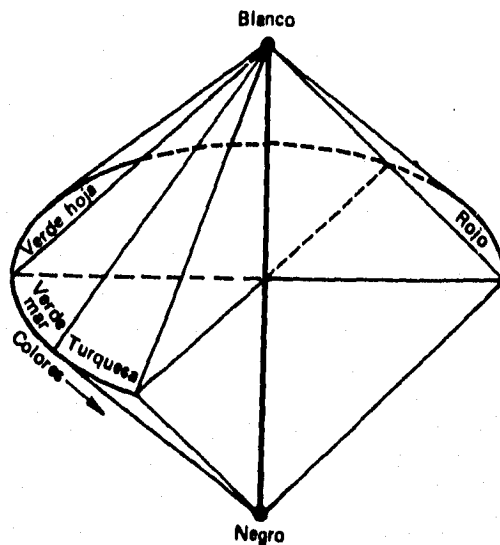


Fig. No. II-2 VISTA ESQUEMATICA DEL SOLIDO DE COLORES DE OSTWALD

Actualmente su sistema se usa principalmente como un atlas de identificación de colores para lo cual es muy útil, particularmente para quienes se interesan por el aspecto estético del color, ya que su elaboración permite utilizar ciertas normas de la armonía de los colores que predice los resultados más aceptables para la mayoría de las personas.

#### II.2.4 Arreglos Basados en Etapas de Percepción Visual Igual.

##### a ) Sistema Munsell

Albert H. Munsell fué un profesor de pintura cuya afición, un tanto infrecuente entre los artistas, de expresar científicamente los parámetros de los elementos que utilizaba para su trabajo y sobre todo para enseñar a sus alumnos, le hizo desarrollar un sistema, que hoy después de una profunda evolución, quizás sea el más conocido de todos los sistemas de orden de color.

La primera publicación de Munsell que se conoce (1905) pone de relieve su visión y afán por establecer una base científica de la especificación de los colores. En esa conferencia decía: "La música está provista de un sistema que define cada sonido en términos de tono, intensidad y duración....De tal modo, el color puede ser especificado mediante un sistema apropiado, basado sobre **tono, valor y croma** (*hue, value y chroma* en su idioma original) de nuestras sensaciones, en lugar de procurar describirlos mediante infinitos y variantes colores de los objetos naturales".

Munsell proponía un sistema que estableciera las tres dimensiones del color y midiera cada una de ellas mediante una escala apropiada :

**TONO (HUE)** - Es el color visto, tal como el rojo, anaranjado, verde, azul, púrpura, etc., otro nombre para hue es simplemente color.

**VALOR (VALUE)** - Es la luminosidad de un color. Es la cantidad total de luz reflejada por un objeto observado. Otros nombres asociados con esta propiedad son limpieza o suciedad.

**CROMA (CHROMA)** - Es la brillantez o lo opaco de un color puro. Eso se puede considerar como la concentración o la dilución de un colorante en un artículo determinado. Otros nombres para esto son: Intensidad, saturación o fuerza del color.

La idea principal respecto de la medición se puede entender claramente con la Figura No. II-3. En ella se observa la dimensión espacial del sólido de colores, que es muy similar al previsto por Ostwald. El sólido tiene un eje principal que es el lugar donde se representan los colores que van desde el blanco hasta el negro (extremo superior e inferior respectivamente), su simetría polar en el plano horizontal indica, mediante el modulo del radio vector, la saturación (croma) del color, cuyo tono está dado por el ángulo de ese radio vector con el eje de coordenadas. El valor es la magnitud que corresponde a la escala de grises.

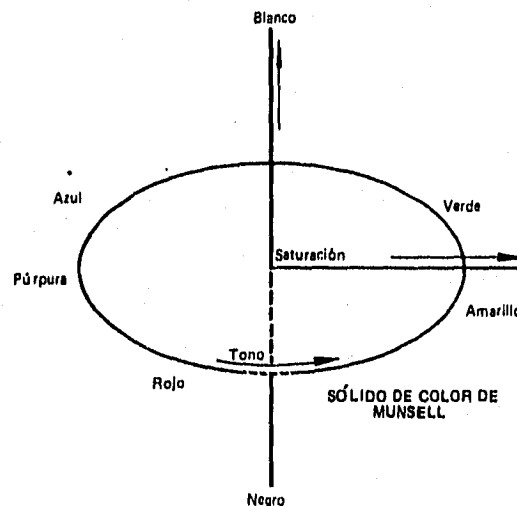


Fig. II-3 CORTE ESQUEMATICO DEL SOLIDO DE COLORES DE MUNSELL

Para simplificar, Munsell dividió el círculo cromático en 100 partes, de 0 a 100. Comienza en RP-R (rojo-púrpura-rojo), pasando por el 5, R (rojo); el 25 Y (amarillo); el 45, G (verde); el 65, B (azul); y el 85, P (púrpura) y los Intermedios YR en 15 (amarillo-rojo); el 35, GY (verde-amarillo); el 75, PB (púrpura-azul) y el 95, RP (rojo-púrpura), como puede verse en la figura II-4.

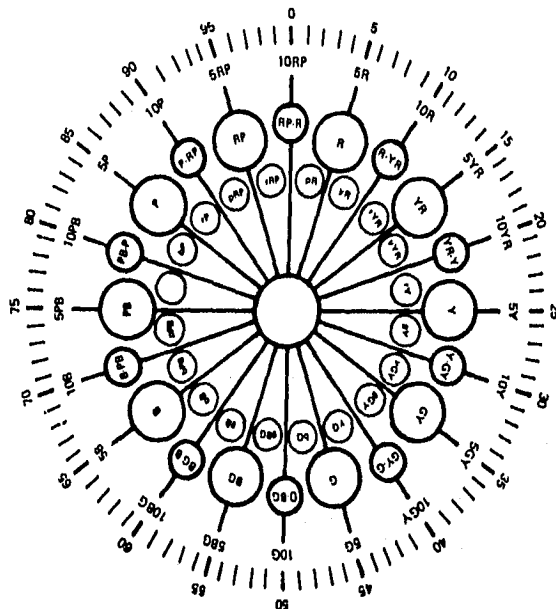


Fig. II-4 CORTE DEL SOLIDO DE COLORES DE MUNSELL EN UN PLANO HORIZONTAL

El Sistema Munsell es tanto una recolección de muestras pintadas para representar intervalos iguales de percepción visual entre muestras adyacentes como un sistema para describir todos los posibles colores en términos de las tres coordenadas, Tono, Valor y Croma.

Las muestras del Libro de Color de Munsell (Munsell 1929) son a menudo acomodadas en planos o páginas de tono constante. En cada página las muestras son acomodadas por medio del uso del valor de Munsell, en la dirección vertical y por medio del Croma de Munsell en dirección horizontal. Una escala de grises, con blanco en la parte alta y negro en la baja, puede pensarse que es el tronco del árbol de color de Munsell o como la columna de cromina en cada página. Cada muestra lleva una Notación de Munsell que denota esta posición; esta notación consiste de tres símbolos que representan el Tono, Valor y Croma en éste orden. Como ya se mencionó, el tono se expresa por medio de una combinación de número y letra como ejemplo 5Y o 10GY en donde las letras se toman de los 10 nombres más importantes de tono (Rojo, Amarillo, Verde, Azul, Púrpura, y cinco pares adyacentes de estos, ej. Verde-amarillo). El valor y Croma se escriben después de la designación del tono y se separan por medio de una línea diagonal (/). Una designación típica de Munsell es 5R 5/10.

Muchas características del Sistema Munsell contribuyen a su utilidad y amplia aceptación.

Una ventaja importante del Sistema Munsell es que su notación no está unida o limitada a las muestras existentes. Cualquier color concebible puede ser ajustado dentro del sistema, ya sea que este pueda ser producido con colorantes existentes o no. En contraste, la mayor parte de las recolecciones de las muestras físicas se basan en especímenes altamente coloreados, y no puede acomodar una muestra aún más altamente coloreada. Esto es particularmente verdad en los sistemas basados en las leyes de mezclas de color, o comportamiento del colorante, inevitablemente están basados en los colorantes más confiables disponibles en un momento dado, y no pueden ser modificados rápidamente para incluir desarrollos más nuevos.

Otra ventaja del sistema Munsell es que las muestras presentes en el Libro de Color de Munsell, se preparan con tolerancias muy cerradas, de manera que el usuario puede contar con las muestras y su copia sea muy cercana en color a las de otras copias o ediciones más nuevas del Libro de Color de Munsell. Nuevamente, se remarca que esto no ocurre en otros sistemas, los cuales a menudo sufren de un defecto serio en el sentido de que la misma notación corresponde a diferentes colores en diferentes ediciones. Por esto, en tales sistemas una notación de color es útil únicamente para designar una muestra específica en una edición específica.

Ventajas adicionales del Sistema Munsell son:

- Cada nombre de un color, autodefine su grado de tono, valor y croma.
- Cada color se puede registrar y comunicar mediante un código (mediante la transformación adecuada es posible conocer su equivalencia en el sistema CIE).
- Se puede escribir la especificación de un color y verificarse mediante pruebas físicas.

Las notaciones del Libro de Munsell de la edición mate original, fueron ajustadas en tal medida para corregir ciertos errores en el espaciado original. Las nuevas designaciones se conocen como las Renotaciones de Munsell y el sistema revisado como el Sistema de Renotación de Munsell. Las muestras mate y brillante ahora se pintan con las nuevas designaciones de Renotación de Munsell, por lo cual ahora el término de Notación de Munsell es universalmente usado. El sistema de Munsell está por esto relacionado con los resultados de medición para todos los colores posibles aún cuando no puedan ser producidos por medio de colorantes ya existentes.

El Sistema Munsell forma la base del sistema ISCC-NBS (International Society Color Council - National Bureau of Standard) para la designación de los nombres de los colores, lo cuales son parte del Lenguaje del Color Universal.

Es importante señalar un aspecto negativo de todo sistema basado en un atlas de colores, el enemigo principal es el envejecimiento. En particular, la humedad y la luz deterioran con mayor o menor velocidad el color de las muestras, por lo cual hay que tener especial cuidado para que se mantengan las condiciones iniciales y hay que tratar de mantener lo menos expuesto a la luz el atlas, así como no someterlo a la acción del calor ni guardarlo en lugares húmedos.

#### **b ) El Sistema de Escalas de Color Uniforme OSA**

Un enfoque independiente para el desarrollo de un catálogo de colores que muestran un espacio visual uniforme se llevó a cabo por medio del Comité de Escalas de Color Uniforme de la Sociedad Óptica de Norteamérica (OSA). Las muestras de las Escalas de Color Uniforme de OSA son el resultado de este trabajo (Mc Adam 1974, 1978; Nickerson 1978, 1981, OSA 1977). Consiste de 558 colores espaciados de acuerdo a su rosadez-verdosidad, amarillez-azulez, y brillantez. Excepto para las muestras límite, cada una de estas tiene 12 vecinos cercanos (4 al mismo nivel de brillo, 4 más claros y 4 más oscuros), todos los cuales son percibidos de forma igualmente distante en color desde el central. El acomodo de los colores en este sistema no se ha usado previamente para un sistema de orden de color, y permite la creación de muchas escalas de color uniformemente espaciada nunca vistas antes debido a que las muestras no estuvieron disponibles.

#### **c ) Sistema de Color Natural**

Un sistema de orden de color basado en parte en etapas de percepción visual igual se ha desarrollado en Suecia (Hard 1970), y adoptado como un estándar Sueco. Su círculo de tonos está basado en el concepto de cuatro tonos únicos, el rojo que se percibe que no contiene ni amarillo o azul, el amarillo que se percibe que no contiene ni rojo o verde, de manera similar los definidos como verde y azul. En cada tono las muestras del Sistema de Color natural se arreglan en escalas de etapas perceptuales iguales en la saturación y "negrocidad" en las muestras triangulares.

#### **d ) Cromas Cosmos 5000**

El Instituto de Investigación del Color de Japón ha presentado una recolección extensa de muestras basadas en el sistema de Munsell, el Cromas Cosmos 5000, revisado por Birren (1979). La recolección contiene 5000 muestras acomodadas en páginas de cromas constante, en lugar de tono constante como sucede con el Libro de Color de Munsell.

#### **e ) Lenguaje de Color Universal (UCL).**

A menudo hemos pensado que muchos de los problemas de la tecnología del color pueden ser solucionados más rápidamente si todos usaran un lenguaje universal del color que pudiera ser entendido por todos, al menos de una forma general. Tal lenguaje debe permitir colores que puedan ser descritos con diferentes grados de exactitud, tanto por nombres como por notaciones numéricas, que se relacionen directamente con los sistemas de orden de color mejor conocidos, y proporcionar traducciones significativas para hacer referencia a los nombres de colores exóticos o promocionales.

Tal lenguaje ha existido por más de 15 años (Kellu 1963, 1976), y es sorprendente que no se haya adoptado más ampliamente. Proporciona únicamente uno de seis niveles de exactitud para describir los colores por nombres (niveles del 1-3) o designaciones numéricas (niveles del 4-6).

El uso del lenguaje universal del color (UCL) puede ilustrarse por medio del ejemplo del ama de casa que compra una silla vendida con el nombre promocional del color *suntan* (bronceado). Para ella la silla es simplemente café. Esta es una designación al nivel de 1 del UCL. Si se pregunta por más detalles, puede describir la silla como un café amarillento (nivel 2), distinguiéndola de un café rojizo o café olivo, o aún como un café amarillento claro, y así puede uno seguirse con los colores universalmente conocidos.

El nombre de café amarillento claro, es una designación del nivel 3 del UCL, el cual también es el Metodo de Designación de Colores ISCC-NBS. Aquí los modificadores se añaden a los nombres de tonos usados en niveles 1 y 2, permitiendo las otras dos dimensiones del color, el valor y el croma, para ser descrito en palabras fácilmente entendibles y por medio de tablas, relacionadas con el Valor y Croma de Munsell..El método publicado dice como asignar un nombre ISCC-NBS a un color a partir de su Notación de Munsell, e Incluye un diccionario de nombres comunes de colores con sus equivalentes de ISCC-NBS. Las muestras han sido pintadas para representar el centro de cada región en el espacio de color de Munsell correspondiendo a un nombres ISCC-NBS.

El vendedor de la silla que mencionabamos puede desear especificar su color café amarillento claro de una manera más exacta. Mientras es probable que pueda continuar usando nombres promocionales como suntan, o bamboo, biscult, blond, o muchos muchos más, que tan útil puede serle ir directamente al nivel 4 de UCL, el cual es la designación del color en el sistema Munsell. La notación Munsell 10YR 6/4 y los otros 1500 aproximadamente como ésta, una vez aprendida, proporciona una descripción por mucho significativa que el suntan, que ha sido usado para describir colores en no menos de cinco bloques de color de ISCC-NBS.

El proveedor de la silla puede sin duda requerir una designación de color aún más precisa, la cual puede encontrar en los niveles 5 o 6 de UCL, consistiendo de Notaciones de Munsell que estan interpoladas visualmente e instrumentalmente y con otras designaciones, como las del sistema CIE.

#### **f ) El Sistema DIN**

El sistema DIN esta basado en un trabajo realizado por la Asociación de Normas Alemanas en Berlín, a través de su Comité de Colorimetría, estableció la norma DIN 6164 que especifica un espacio cromático similar al Munsell, pero con diferencias al evaluar la luminosidad. El círculo de colores es similar a los descritos para el sistema Ostwald y para el Munsell, adopta formalmente las subdivisiones del primero, haciendo que el círculo cromático posea 24 unidades; a lo largo del perímetro de los colores varía el "tono de color", éstos a diferencia de los tonos de Munsell o los colores francos de Ostwald, no son colores empíricos obtenidos con algún medio reproductivo ( esto es, mediante una mezcla substractiva de colores, por ejemplo: pinturas, tintas, etc.) sino manteniendo el principio de color espectral; de tal modo que las líneas de igual tono, son líneas rectas en el espacio cromático. El sólido posee un eje de simetría igual al de Munsell y al de Ostwald, éste es el que representa la línea de grises; es un eje cuyo polo inferior representa al negro y el superior al blanco. Las líneas de igual tono y oscuridad nos dan lugar a un trazo de circunferencia con centro en el polo de simetría. Estas curvas son en realidad un arco de parábola; ese trazo representa la cualidad denominada "saturación". La Figura No. II-5 muestra un corte de este plano.



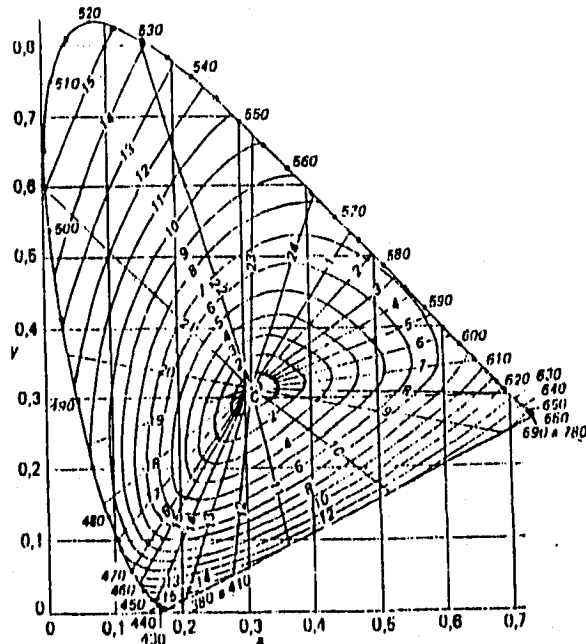


Fig. No.II-5 DIAGRAMA CROMATICO CIE EN EL QUE SE REPRESENTAN LAS CURVAS DE SATURACION CON CONSTANTES DE LOS COLORES EN EL SISTEMA DIN

El espaciamiento de la saturación fué realizado subjetivamente por 317 observadores en un período de varios años. La primera etapa de la investigación estableció los parámetros correspondientes al tono. En la segunda, fijado este atributo, se evaluó la métrica de la saturación. Como resultado de ambas pudo establecerse la evaluación del denominado grado de oscuridad. Estas tres cualidades se simbolizan con las letras T, S y D; con las mismas se puede especificar cualquier color. Por ejemplo: 7.0 : 3.2 : 2.7. Modo similar al de Munsell, donde se simbolizan el tono, el valor y la croma con T, V y C respectivamente.

Originalmente la norma DIN entregaba una carta de colores con muestras, lo cual permite, dada la base teórica del sistema, evaluar los colores para distintas luminosidades (o grados de oscuridad) modificando mediante sistemas ópticos (filtros neutros o reduciendo la intensidad de la luz) hasta obtener la igualación buscada del color que se desea medir. Este principio sirve para la realización de cualquier otro sistema práctico de medición.

# ***CAPITULO III***

---

---

**SISTEMA CIE**

---

---

## CAPITULO III

### SISTEMA CIE

Nos enfocaremos ahora a la descripción de los sistemas de orden de color que están incidentalmente asociados con recolecciones de muestras físicas. El más importante de éstos sistemas, que a menudo son usados en conexión con instrumentos de medición de color, es el sistema CIE (Comisión Internacional de l'Eclairage o Comisión Internacional en Iluminación). El sistema de la notación del color que aparece con este nombre fue inicialmente aceptado en 1931. Esta organización internacional ha continuado supervisando el método y creando modificaciones adicionales. El aspecto más importante de la Comisión es su representación y aceptación internacional de los métodos que desarrolla, dando como resultado que en la ciencia de la colorimetría, hay entonces, un verdadero lenguaje internacional. Este sistema inicia con la premisa en el sentido de que el estímulo para el color se proporciona por una combinación apropiada de una fuente de luz o iluminante, un objeto, y un observador. En 1931 la CIE introdujo el elemento de estandarización de fuente y observador, y la metodología para derivar números que pueden proporcionar una medición de un color observado bajo una fuente estándar de iluminación por medio de un observador estándar.

#### III.1 FUENTES ESTANDAR CIE O ILUMINANTES ESTANDAR

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE), en Cambridge, Inglaterra, en 1931 adoptó los iluminantes patrones para colorimetría. En ese momento la técnica solo permitía la realización práctica de la lámpara de tungsteno, con las condiciones de reproducibilidad exactitud necesarias; por ello teniendo como meta tomar a la luz solar como el iluminante patrón por excelencia, se definió al iluminante "A" que corresponde a la luz emitida por una lámpara de filamento de tungsteno a la temperatura "de color" de 2857 K. Para pasar de la luz emitida por una lámpara incandescente a la luz solar o su equivalente, la CIE recomendó los iluminantes "B" y "C" que se obtienen mediante el filtrado de la luz de la lámpara de filamento de tungsteno definida como iluminante "A" a través de filtros líquidos B1 y B2 para el iluminante "B" y de C1 y C2 para el iluminante "C". Estos filtros líquidos debían estar contenidos en celdas de caras planas de material transparente a la radiación visible, perfectamente pulidos y cuyas caras estuvieran a una distancia de 1 cm. La composición de los líquidos se presenta en la Tabla No. III-1.

Tabla No. III-1. COMPOSICION DE LOS FILTROS LIQUIDOS PARA TRANSFORMAR EL ILUMINANTE "A" EN "B" O "C"

Compuestos	B	C	B	C
Sulfato de Cobre	2.452 g	3.412 g	16.110 g	22.520 g
Manitol	2.452 g	3.412 g		
Piridina	30.0 ml	30.0 ml		
Sulfato de Cobalto y Amonio			21.710 g	30.580 g
Acido Sulfúrico			10.0 ml	10.0 ml
Agua Destilada hasta	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml

El iluminante "B" corresponde a la luz solar media con componente de cielo a mediodía cuya temperatura "de color" es de 4870 K aproximadamente. El iluminante "C" representa la luz media diurna para un cielo completamente cubierto; la temperatura "de color" aproximada es de 6770 K (las energías espectrales para los tres iluminantes pueden consultarse en el Apéndice A, Tabla A-1).

En 1967 en Washington, E.E.U.U., la CIE recomendó asimismo el iluminante D6500, o como se le denomina ahora "D65", correspondiente a la radiación solar para una temperatura de color de 6500 K.

### III.2 OBSERVADORES ESTANDAR CIE

#### El observador estándar CIE de 1931

La segunda recomendación más importante de CIE en 1931, fue la de un observador estándar cuya visión de color sea representativa del promedio de la población humana que tenga una visión normal de color. Sobre las premisas del CIE, W. D. Wright y J. Guild, con la ayuda de diez observadores el primero y de siete el segundo, establecieron los valores experimentales de las magnitudes de los primarios que igualaban los colores espectrales; utilizando para ello sus instrumentos, presentaron al observador radiaciones espectrales suficientemente puras a intervalos regulares del espectro visible, de modo tal que cada uno de ellos obtuvo para cada observador un conjunto de funciones que lo caracterizaba.

En un experimento muy antiguo (Newton 1730), una luz derivada de una lámpara de prueba brilla en una pantalla blanca y se observa por parte de un observador. Una parte de la pantalla se ilumina por una luz derivada de una o más de tres lámparas, equipadas para dar luz de tres diferentes colores: rojo (red), verde (green) y azul (blue). Estas luces primarias son seleccionadas arbitrariamente pero controladas. Ajustando las intensidades de estas luces, el observador puede hacer que los colores se combinen en la pantalla. Las cantidades de los tres primarios son tres números que describen el color de prueba, llamados valores trilestímulos de ese color (ver Figura No. III-1).

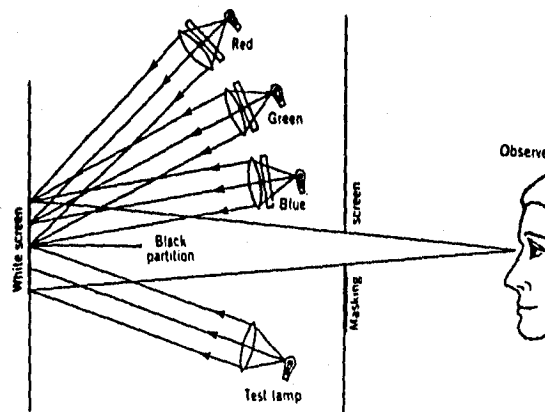


Fig. No. III-1 ARREGLO PARA PRODUCIR UN GRAN NUMERO DE COLORES POR LA MEZCLA DE LUCES DE TRES DIFERENTES LAMPARAS COLOREADAS

Debe notarse que la distribución de energía espectral de la luz de prueba generalmente se diferencia de la de la combinación de los primarios que la están igualando.

Si los colores de las luces primarias son muy diferentes, una amplia variedad de colores de prueba se pueden comparar por este medio, sin embargo en ningún caso se pueden comparar los posibles colores de prueba con combinaciones de un grupo de primarios, aún si los colores de espectro son usados como primarios. Este problema puede superarse haciendo que la luz derivada de uno de los primarios se añada al color de prueba, en lugar de mezclarse con la de los otros dos primarios. A partir de la descripción del color de prueba, esta luz puede pensarse que se sustrae de los otros primarios. Por esto la prueba de color puede ser descrita por medio de una combinación de cantidades negativas y positivas de colores primarios de luz.

Por medio del uso de cantidades negativas de luz como se ha descrito anteriormente, podemos igualar cualquier luz de prueba únicamente mezclando tres luces coloreadas. En un experimento muy importante, todas las luces del espectro pueden ser igualadas por medio de la combinación de cantidades positivas y negativas de tres luces primarias. Si seleccionamos para estos primarios los colores del espectro en el rojo a 700 nm, en el verde a 546 nm, y en azul 436 nm, la Figura No. III-2, muestra las cantidades relativas, las cuales llamaremos,  $r$ ,  $g$  y  $b$ , de estas necesarias por una persona con visión de color normal para igualar cualquiera de los otros colores del espectro. Por esto,  $r$ ,  $g$ , y  $b$  son los valores de trístimulo de los colores del espectro para este grupo en particular de rojo, verde y azul primarios. En su recomendación de 1931, la CIE adoptó los datos promedio de  $r$ ,  $g$ , y  $b$  para un número pequeño de observadores como la definición experimental del estándar para el observador CIE.

Sin embargo, en 1931, se consideró importante eliminar los números negativos entre los valores trístimulos. Por lo tanto se hizo una transformación matemática de los datos del observador estándar, representando un cambio del rojo original, verde y azul primarios, a un nuevo ajuste, llamados simplemente los primarios  $X$ ,  $Y$  y  $Z$ . Los valores trístimulos de los colores con un espectro de energía igual en el sistema CIE  $X,Y,Z$  se muestran en la Figura No. III-3 para proporcionar una definición del observador estándar del CIE en su forma más ampliamente usada (Los datos tabulados se presentan en el Apéndice A, Tabla A-2).

La CIE pudo haber seleccionado cualquiera de un número infinito de grupos de primarios "imaginarios" del tipo  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  en la definición del observador estándar. El que seleccionaron tuvo un número de ventajas las cuales se verán a continuación. Una de estas es que y fue seleccionada para ser exactamente la misma que la curva de respuesta del ojo a una cantidad total de energía. Como resultado el valor correspondiente trístimulo  $Y$  proporciona la información referente al brillo del color, sin importar nada más. La curva  $Y$  es a menudo llamada la eficiencia luminosa espectral; en la cual cada longitud de onda muestra que tan eficiente es el ojo para convertir energía en una sensación luminosa.

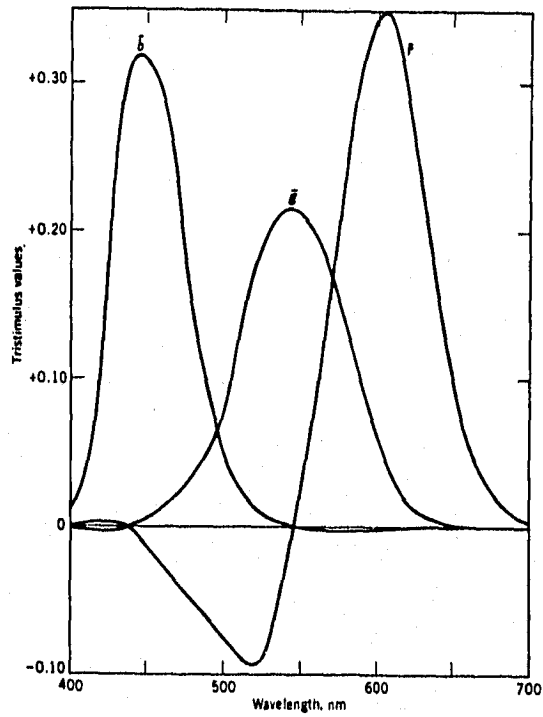


Fig. No. III-2 VALORES TRIESTIMULOS r, g, b DEL ESPECTRO DE COLORES DE ENERGIA IGUAL PARA UN SET DE LUCES PRIMARIAS ROJA, VERDE Y AZUL. DEFINICION EXPERIMENTAL DEL OBSERVADOR ESTANDAR CIE 1931 A 2

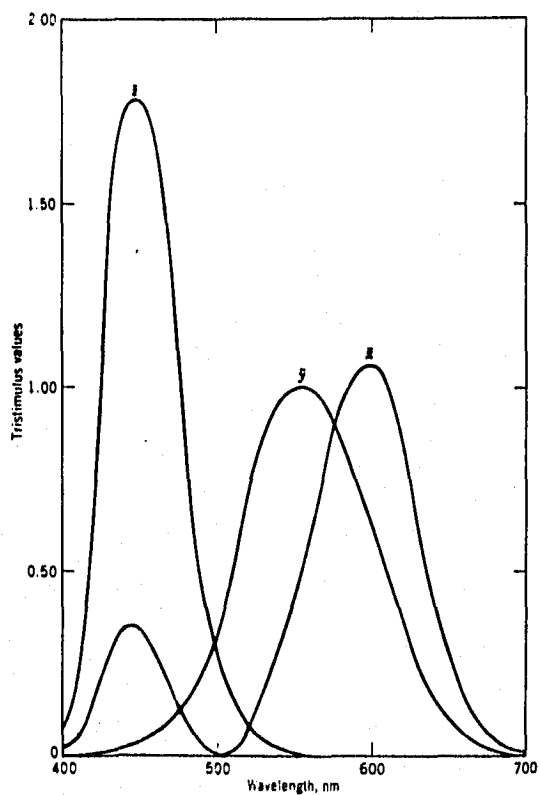


Fig. No. III-3 VALORES TRIESTIMULOS DEL ESPECTRO DE COLORES DE ENERGIA IGUAL EN EL SISTEMA X, Y, Z

#### El Estándar Suplementario para el Observador CIE 1964.

Se ha sabido durante mucho tiempo que la estructura del ojo es un poco diferente en la región central de la retina y en las regiones de los alrededores. Los experimentos que han llevado al estándar del observador del CIE de 1931, se llevaron a cabo usando el área fóvea la cual únicamente cubre un ángulo de visión de  $2^\circ$ . En 1964, la CIE recomendó el uso de un observador en cierta medida diferente para complementar el uso del estándar de 1931 cuando se desea una correlación más exacta con la percepción visual para muestras más grandes, se cubre un ángulo de más de  $4^\circ$  del ojo del observador. Las funciones del estándar suplementario para el observador  $x_{10}$ ,  $y_{10}$ ,  $z_{10}$ , se derivaron a partir de experimentos de comparación de color del tipo descrito anteriormente por medio del uso de un área de  $10^\circ$  en la retina del ojo del observador instruyendo a los observadores para ignorar el ámbito central de  $2^\circ$ , mientras que las funciones de comparación de color  $x$ ,  $y$  y  $z$  de la CIE en 1931 estuvieron basados en experimentos que únicamente usaron los  $2^\circ$  centrales del ojo. El estándar del observador de 1931 algunas veces se le llama el estándar de  $2^\circ$ , y el de 1964 se le conoce  $10^\circ$  para el observador.

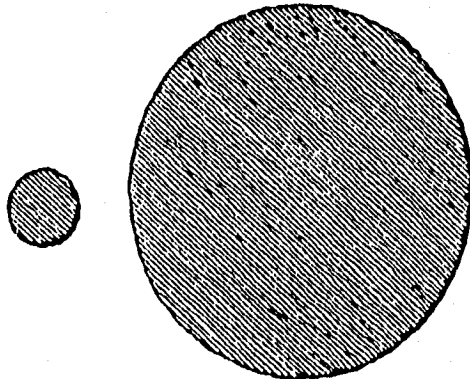


Fig. No. III-4 CAMPO DE VISION COMPARATIVA A UNA DISTANCIA DE 45 cm PARA UN OBSERVADOR DE 2 GRADOS ESTANDAR CIE 1931 Y UNO A 10 GRADOS ESTANDAR SUPLEMENTARIO CIE 1964

Strocka (1970) ha señalado que únicamente hay una ligera similitud entre la evaluación visual generalmente llevada a cabo en la práctica (gran campo de visión) y la del estándar de  $2^\circ$  para el observador. Una mejor similitud con la evaluación visual promedio se puede obtener por medio del uso del observador estándar de  $10^\circ$ .

Los estándares CIE para los observadores son promedios, basados en experimentos con números pequeños de personas con una visión de color normal. Aún dentro de tal grupo, los individuos varían ampliamente en sus funciones de comparación de colores; por lo tanto es poco probable que cualquier observador real sea exactamente el del estándar del observador CIE.



### III.3 VALORES TRIESTIMULO CIE

Los valores del triestímulo para CIE se calculan a partir de la información derivada del objeto, el iluminante estándar CIE y de los observadores CIE. Las figuras No. III-5 y No. III-6 ilustran el método y la Tabla No. III-2 proporcionan un ejemplo numérico. Los valores de P, en cada una de muchas longitudes de onda igualmente espaciados, a lo largo del espectro (los 16 datos ilustrados en la Tabla No. III-2 son un número mínimo), se multiplican juntos con R y x, y, o z, para dar productos en cada longitud de onda, PRx PRy, PRz. Estos se suman para dar los valores triestímulo.

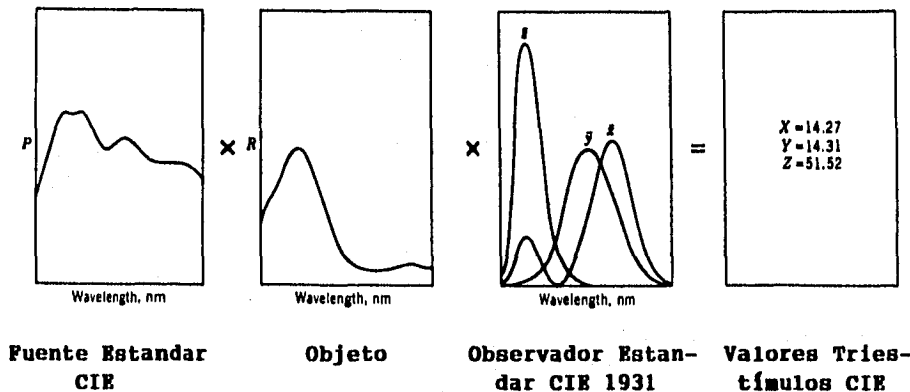


Fig. No. III-5 OBTENCION DE LOS VALORES TRIESTIMULO X, Y Z

**Los valores triestímulo X, Y, Z de un color son obtenidos por la multiplicación de la energía relativa P de un iluminante estándar CIE, la reflectancia R (o la transmitancia) del objeto y las funciones de  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  del observador estándar. Los productos son sumados para todas las longitudes de onda del espectro visible.**

Por convención, cuando se trata con los objetos reflectantes, asignamos el valor Y=100 a un blanco ideal no fluorescentes reflejando un 100% en todas las longitudes de onda, y cuando se trata con objetos transparentes, asignamos el valor Y=100 en la muestra perfecta sin color que transmite 100% en cada longitud de onda. La forma de hacer esto es la de ajustar los valores de los productos, Px, Py, y Pz de manera que la suma de todos los valores de Py sea igual a 1. Los números en la Tabla No. III-2 se han ajustado y el cálculo de los valores triestímulo se dan a continuación:

$$X = k \sum PR\bar{x} \quad \text{ó} \quad X = k \int PR\bar{x} d\lambda \quad Y = k \sum PR\bar{y} \quad \text{ó} \quad Y = k \int PR\bar{y} d\lambda \quad Z = k \sum PR\bar{z} \quad \text{ó} \quad Z = k \int PR\bar{z} d\lambda$$

donde  $k = 100 / (\sum P\bar{y})$  ó  $k = 100 / (\int P\bar{y} d\lambda)$ , y P, R,  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  son todas funciones de la longitud de onda  $\lambda$ .

La CIE ha definido el blanco ideal para ser usado como el estándar de reflectancia. Si se usan x10, y10 y z10 (tabulados en la Tabla No. A-3 del Apéndice A) en lugar de  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ , y  $\bar{z}$  en los ejemplos anteriores, los resultados son los valores triestímulo para el observador estándar suplementario 1964 X10, Y10, y Z10. En el sistema de 1931 Y se conoce como el factor de luminosidad, o la reflectancia luminosa o la transmisión luminosa, la cual se correlaciona bien con el brillo percibido de la muestra.

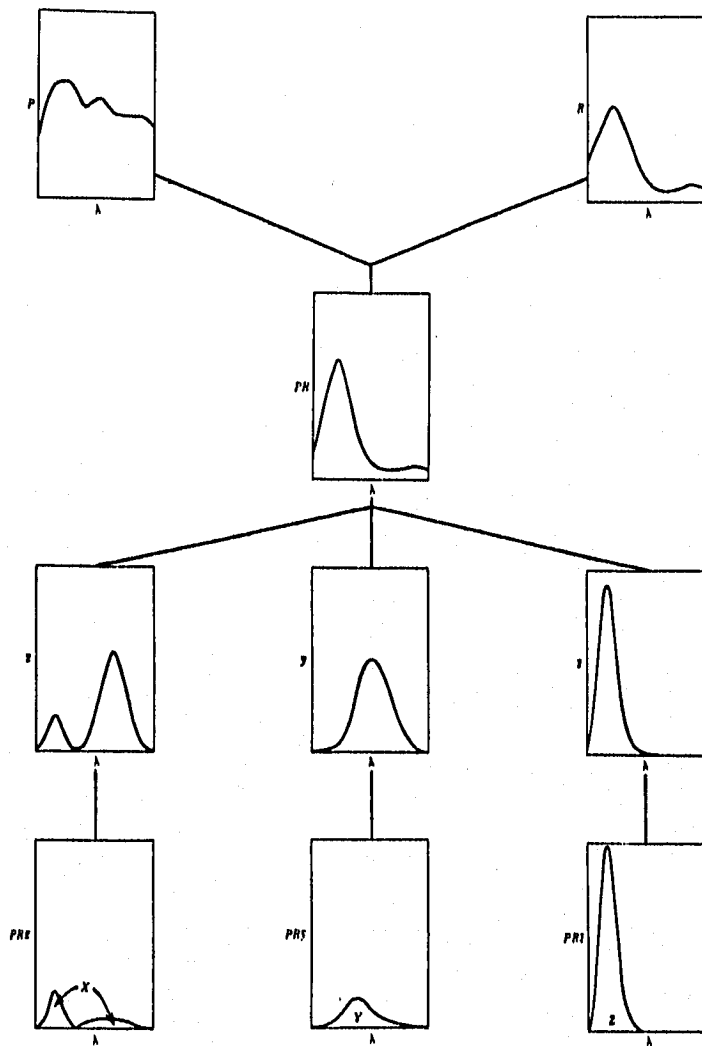


Fig. No. III-6 ESQUEMA DETALLADO DE LA OBTENCION DE LOS VALORES TRIESTIMULO CIE X, Y, Z.

**Los valores de las curvas de P y R son multiplicados a cada longitud de onda para dar la curva PR y posteriormente ésta es multiplicada por  $\bar{x}$ , por  $\bar{y}$  y  $\bar{z}$ , para obtener las curvas PR $\bar{x}$ , PR $\bar{y}$  y PR $\bar{z}$ . Las áreas bajo estas curvas son los valores tristímulo X, Y y Z.**

Tabla No. III-2 CALCULO DE LOS VALORES TRIESTIMULO DE LOS DATOS DE LA DISTRIBUCION ESPECTRAL.

Wavelength (nm)	R (%)	$P_c \lambda$	$P_c R \lambda$	$P_c \gamma$	$P_c R \gamma$	$P_c \lambda$	$P_c R \lambda$
400	23.3	0.00044	0.01	-0.00001	0	0.00187	0.04
420	33.0	0.02926	0.97	0.00085	0.03	0.14064	4.64
440	41.7	0.07680	3.20	0.00513	0.21	0.38643	16.11
460	50.0	0.06633	3.32	0.01303	0.69	0.38087	19.04
480	47.2	0.02345	1.11	0.03210	1.52	0.19464	9.19
500	36.5	0.00069	0.03	0.06884	2.51	0.05725	2.09
520	24.0	0.01193	0.29	0.12882	3.09	0.01450	0.35
540	13.5	0.05588	0.75	0.18268	2.47	0.00365	0.05
560	7.9	0.11751	0.93	0.19606	1.55	0.00074	0.01
580	6.0	0.16801	1.01	0.15989	0.96	0.00026	0
600	5.5	0.17896	0.98	0.10684	0.59	0.00012	0
620	6.0	0.14031	0.84	0.06264	0.38	0.00003	0
640	7.2	0.07437	0.54	0.02897	0.21	0	0
660	8.2	0.02728	0.22	0.01003	0.08	0	0
680	7.4	0.00749	0.06	0.00271	0.02	0	0
700	7.0	0.00175	0.01	0.00063	0	0	0
		Sum = X = 14.27		Sum = Y = 14.31		Sum = Z = 31.52	

**La distribución espectral del iluminante, P, y las funciones del observador estándar x, y, z, son tabuladas en varios libros (CIE 1971, Hunter 1975). Estas se multiplican para dar los productos Px, Py, Pz como aquí se muestra para el iluminante C (CIE) y el observador estándar 1931. Los productos han sido normalizados para que la suma Py sea igual 1.000 (Foster 1970, Stearns 1975).**

El valor Y= 100, asignado a un objeto perfectamente blanco que refleja un 100% en todas las longitudes de onda, o a la muestra perfecta sin color que transmite en un 100% todas las longitudes de onda, es el máximo valor que Y puede tener para muestras no fluorescentes. No existe una restricción similar a un valor máximo de 100 para X o Z, sin embargo, sus valores para los casos ideales se determinan por medio de la distribución de la energía espectral del iluminante usado y las características espectrales del observador estándar seleccionado, y puede ser mayor o menor que 100. Por ejemplo, cuando el iluminante C y el observador estándar de 1931 son usados, los valores para el blanco perfecto o muestras sin color son aproximadamente X = 98 y Z = 118, como se puede confirmar en la Tabla No. III-2 y Figura No. III-5.

Las muestras fluorescentes pueden tener valores más altos de X, Y, y Z que los presentes para el blanco con reflejo perfecto si lo que se mide es la suma de la energía fluorescente y reflejada.

### III. 4 COORDENADAS Y DIAGRAMA DE CROMATICIDAD

Como una ventaja de obtener mapas de colores bi-dimensionales, es común, calcular coordenadas de cromaticidad, las cuales describen las cualidades de un color además de sus factor de luminosidad. En el sistema CIE, las coordenadas de cromaticidad x, y, y z se obtienen tomando la relación de cada valor triestímulo con respecto a su suma, X + Y + Z:

$$x = X/(X + Y + Z)$$

$$y = Y/(X+Y+Z)$$

$$z = Z/(X+Y+Z)$$

estas ecuaciones definen las coordenadas de cromaticidad x, y, z. En algunos textos x, y, z son conocidos como coeficientes tricromáticos. Por convención las letras minúsculas son utilizadas para designar las coordenadas de cromaticidad (como x,y) y las letras mayúsculas para designar los valores triestímulo.

El color como se describe en el sistema CIE puede ser representado en un diagrama de cromaticidad, generalmente una representación de las coordenadas de cromaticidad x y y. Las cromaticidades de iluminantes de cuerpos oscuros, así como los iluminantes estándares de CIE A, B y C y D65 se muestran en la figura No. III-7.

Los diagramas de cromaticidad para los observadores CIE 1931 y 1964 son ligeramente diferentes, sin embargo sus características básicas son por mucho las mismas, ver Fig. No. III-8.

Un grupo alternativo de coordenadas en el sistema CIE, algunas veces denominado como Coordenadas de Helmholtz, longitud de onda dominante y pureza, se correlaciona más cercanamente con los aspectos visuales del tono y croma, aunque sus etapas y espaciamiento no son visualmente uniformes. La longitud de onda dominante de un color es la longitud de onda de un espectro de color cuya cromaticidad esta en la misma línea recta que el punto muestra y el punto del iluminante (Figura No. III-9). La pureza es la distancia desde el punto del iluminante hasta el punto muestra, dividido por el punto del iluminante en el lugar del espectro: pureza = a/(a+b).

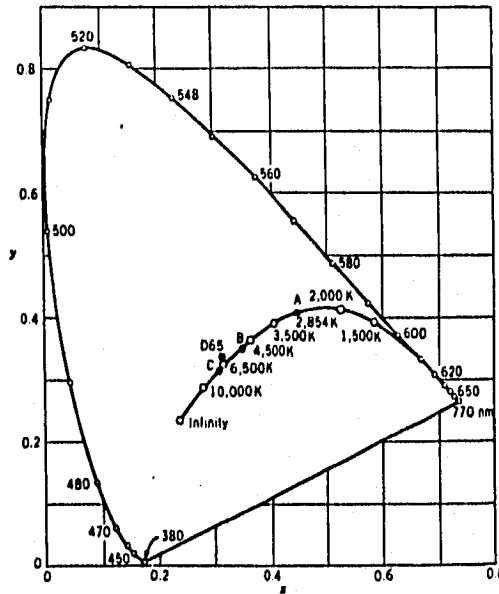


Fig. No. III-7 DIAGRAMA DE CROMATICIDAD CIE 1931  
 Definido para cada iluminante estandar CIE A, B, C y D65 con sus respectivas  
 temperaturas de color Kelvin.

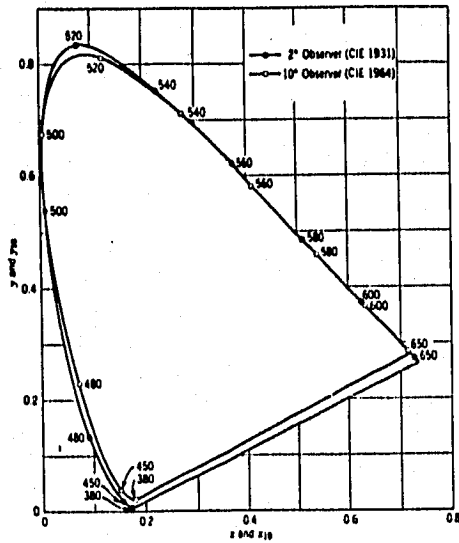


Fig. No III-8 DIAGRAMA DE CROMATICIDAD CIE 1931 x, y, CONTRA CIE 1964 x10, y10.

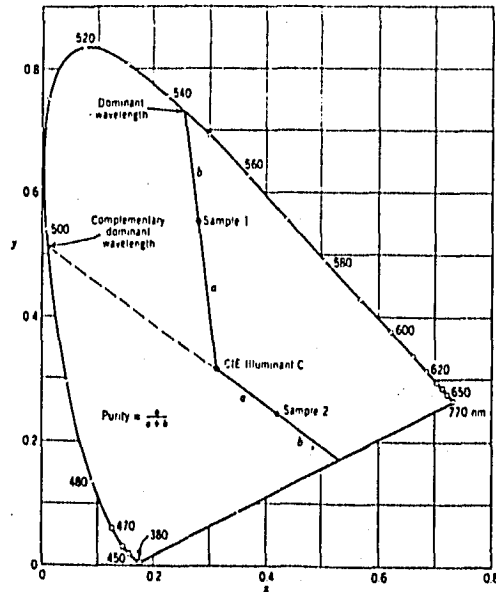


Fig. No. III-9 DIAGRAMA DE CROMATICIDAD CIE MOSTRANDO LAS COORDENADAS DE HELMHOLTZ, LONGITUD DE ONDA DOMINANTE, LONGITUD DE ONDA DOMINANTE COMPLEMENTARIA Y PUREZA.

Si el punto de la muestra 2 recae entre el punto del iluminante y el límite purpura que conecta el final del lugar del espectro, la construcción se elabora como se muestra en la Figura No. III-9 y a la longitud de onda se le conoce como la longitud de onda dominante complementaria, denomianda como  $\lambda_c$ .

El examen del diagrama de cromaticidad presenta dos ventajas adicionales de la selección de un grupo particular de X, Y y Z primarios hechos por el CIE en 1931. Primero, el punto blanco fue hecho para recaer cerca del centro del diagrama, por ejemplo, en  $x=0.310$ ,  $y=0.317$ , para el iluminante C y para el observador estándar de 1931. Segundo, en tanto un rango de longitud de onda grande sea posible, una de las funciones del observador estándar, z, se hizo igual a cero. Esto significa que para los espectros de colores con longitudes de onda mayores de 600nm, Z es eliminado, y estos colores se describen únicamente por los dos valores triestímulos de X y Y.

Es importante hacer notar que el sistema de CIE no está asociado con un grupo en particular de muestras físicas. Únicamente en muy pocos casos incidentales se presentan grupos de muestras para poder ilustrar el sistema. El sistema no está basado en etapas de percepción visual igual en ningún sentido, aunque muchas modificaciones al sistema CIE se han propuesto como enfoques para una percepción igual. De hecho el sistema CIE, está enfocado para proporcionar información únicamente respecto a donde se comparan dos colores (se equiparan cuando estos dos colores tenga los mismos valores triestímulos). El diagrama de cromaticidad CIE, del mismo modo, es usado de manera apropiada únicamente para decir si

dos colores tienen la misma cromaticidad, no para determinar como se ven, o como se pueden diferenciar si no se equiparan.

Sin embargo, a menudo es deseable conocer aproximadamente en donde se pueden colocar ciertos colores dentro del diagrama de cromaticidad, y si nos restringimos unicamente a colores que se pueden observar con una iluminación con luz de día con un observador adaptado a ésta iluminación, será fácil hacerlo. Esta es la base en la cual los nombres de los colores son asignados en el diagrama que se presenta en la Figura No. III-10.

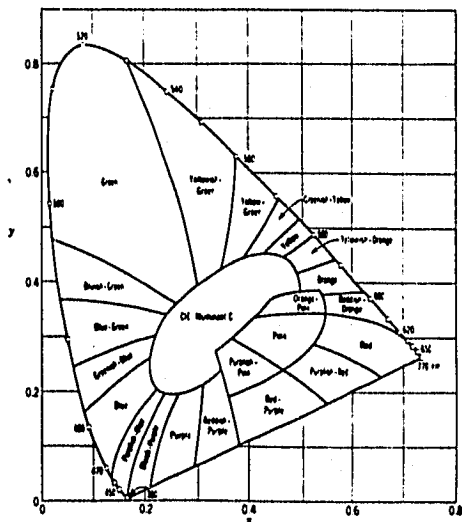


Fig. No. III-10 DIAGRAMA DE CROMATICIDAD CIE CON LOS NOMBRES DE COLORES VISTOS CON UNA LUZ DE DÍA.

Unicamente dos de las tres dimensiones de un color se pueden mostrar en un diagrama de cromaticidad. A menudo, un espacio tri-dimensional de color CIE se hace colocando un eje Y que salga desde el punto del iluminante del diagrama de cromaticidad. Los límites dentro de los cuales todos los colores que tienen una luminosidad dada han sido calculados y se muestran proyectados en el plano del diagrama de cromaticidad en la Figura No. III-11.

Nótese que existe una diferencia significativa en el concepto así como en la forma entre el espacio tri-dimensional CIE x, y, Y y el tono de Munsell, Valor de Munsell, y Cromo Munsell descritos en el capítulo II. Ambos tienen un blanco localizado en un punto simple en la parte alta de un eje de brillantez. En el espacio de Munsell el negro está localizado en un punto simple en la parte baja de ese eje (eje del Valor de Munsell), como nuestros sentidos perceptuales nos dicen que deba ser. En el espacio x, y, Y del CIE, la localización del negro no está bien definida, el negro puede estar en cualquier lugar del diagrama de cromaticidad. Este solo es uno de los muchos ejemplos que apoyan el hecho de que no se debe asociar la apariencia de los colores con su localización en el diagrama CIE.

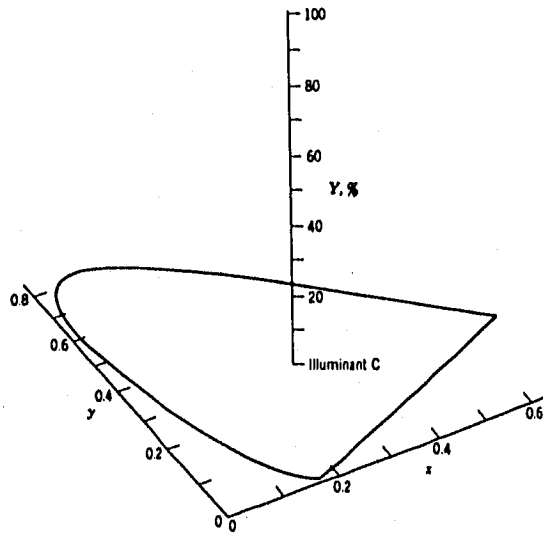


Fig. No. III-11 DIAGRAMA DE CROMATICIDAD CIE INCLUYENDO UN FACTOR DE LUMINOSIDAD

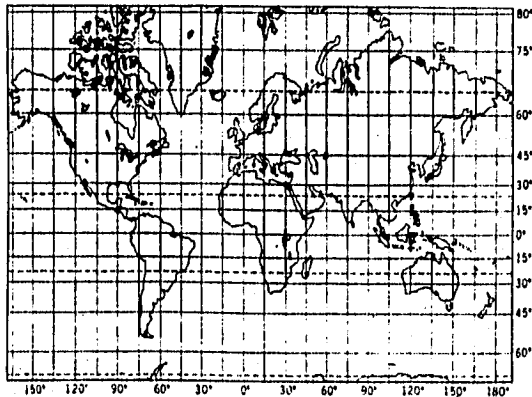
### III.5 SISTEMAS ESPACIADOS CERCANAMENTE UNIFORMES

A menudo se ha dicho que una de las principales desventajas de un sistema CIE es que está muy alejado del espacio visualmente igual.

Nuevamente se recomienda tener cuidado en cada etapa en un intento por relacionar los colores percibidos con el lugar que estos ocupan en el diagrama de cromaticidad CIE. Esta distorsión es similar a la que se observa en un mapa plano del planeta Tierra (planisferio), el cual es un mapa no uniforme, distorcionando los tamaños y formas de los diferentes países y continentes en gran medida, ver Figura No. III-12.

La no uniformidad visual del diagrama CIE lleva a distorsiones similares. Por ejemplo, las líneas de un tono constante visualmente percibido, que son líneas rectas en el sistema de Munsell, son curvadas ligeramente cuando se representan en el diagrama de x, y, CIE y las curvas de un Cromo de Munsell constante no son círculos, sino que son ovalos distorcionados (Figura No. III-13). Es fácil ver que, como consecuencia, las coordenadas CIE de longitud de onda dominante y pureza no se correlacionen perfectamente con el tono y el croma perceptible visualmente perceptible.





**Fig. No. III-12 PROYECCION MERCATOR DE UN MAPA DEL MUNDO**  
***Se observa una distorsion severa en dimensiones de los continentes Artico y Antártico, así como de Australia y Groenlandia comparados con los paises cercanos al Ecuador.***

Debido a estas razones, estas propiedades de un sistema CIE han llevado a muchos intentos durante años para transformar o modificar el sistema CIE o para ver sistemas completamente nuevos que son más cerrados en los espacios visuales y al mismo tiempo permiten una fácil transformación de coordenadas de color de y hacia los valores del triestímulo CIE. Esta transformación no es fácil entre los sistemas CIE y Munsell.

Se puede aprender a aceptar los errores del sistema Mercator y compensarlos y la experiencia ha mostrado que la gente puede acostumbrarse a describir colores y diferencias entre colores en muchos sistemas diferentes, ya sea que sean perceptualmente uniformes o no.

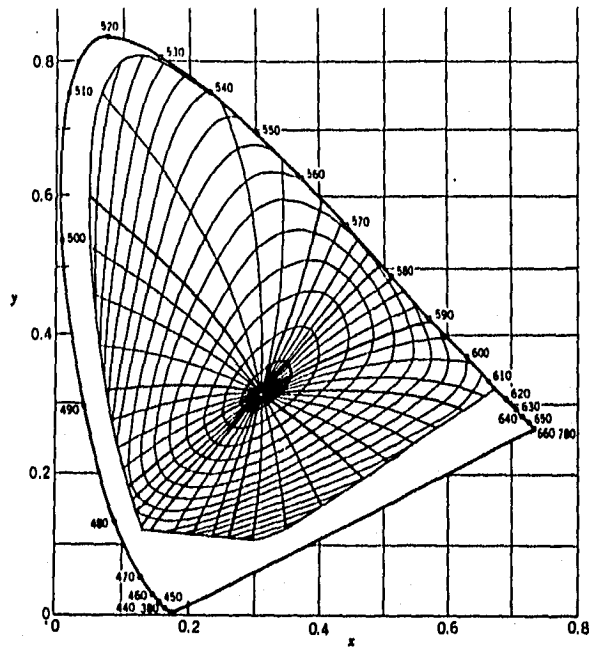


Fig. No. III-13 DIAGRAMA DE CROMATICIDAD CIE  $x,y$  GRAFICADO PARA UN VALOR DE MUNSELL 5, DONDE LAS LINEAS RECTAS Y CIRCULOS PARA UN TONO Y CROMA CONSTANTES SE DISTORSIONAN.

### Sistemas de Tipo oponente

Otra forma para la descripción de un color, es en términos de lo que a menudo se denomina coordenadas de color oponente. Lo ideal detrás de esto, es que en alguna parte entre el ojo y el cerebro, las señales de los receptores cónicos en el ojo se codifican en claro-oscuro, verde-rojo, y amarillo-azul. En las coordenadas de color oponente, el argumento es que un color no puede ser rojo y verde al mismo tiempo, o amarillo y azul al mismo tiempo aunque puede ser rojo y amarillo como naranja, o rojo y azul como purpuras, o así sucesivamente. De este modo, rojo y verdoso pueden ser expresados como un número simple, generalmente llamado "a", el cual es positivo si el color es rojo y negativo si es verde. De manera similar, amarillento o azulado se expresa por medio de una coordenada "b", la cual es positiva para los amarillos y negativa para los azules. La tercera coordenada describe la luminosidad de un color, y generalmente se denomina "L".

El sistema de coordenadas oponentes, de gran uso en la actualidad, es el desarrollado por Hunter, el cual está cercanamente relacionado con las lecturas de los instrumentos de medición de color, Figura No. III-14.

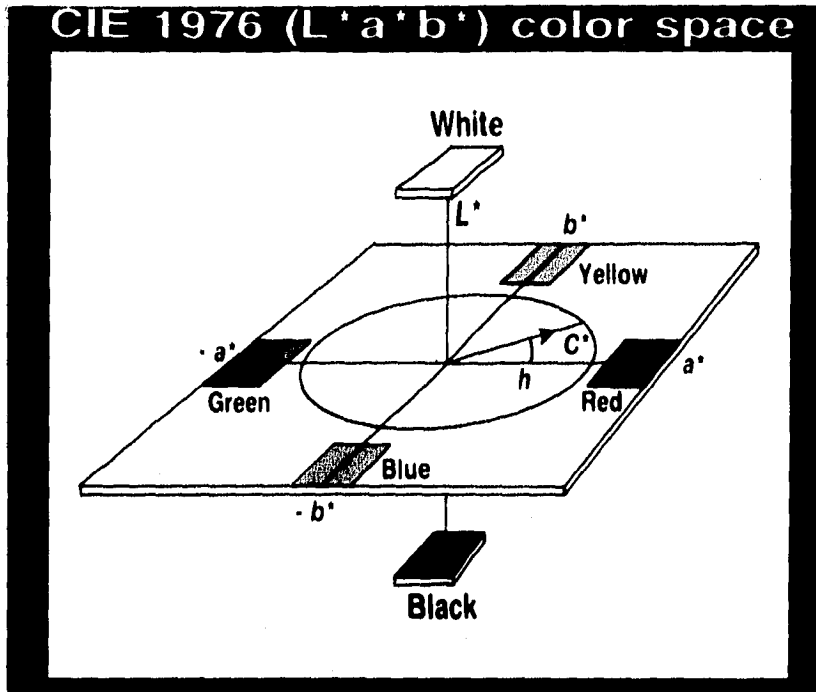


Fig. No. III-14 DIAGRAMA DE ESPACIO DE COLOR Lab

#### Espacios de Color Uniformes

El espacio más comúnmente usado de todos los espacios de color excepto el espacio CIE de 1931, es el de Hunter L, a, b, en 1942. Sirvió para introducir las escalas de color del tipo oponente hasta un amplio uso industrial, en la medida en que este tipo de sistema es conocido como un sistema L, a, b, sin importar si se usan las coordenadas de Hunter. Un factor importante en la popularidad del sistema Hunter fue el hecho de que hay instrumentos disponibles, mucho antes de la era de las nuevas computadoras, para proporcionar valores Hunter de L, a, b directamente.

#### Ecuaciones para las Coordenadas del Espacio de Color de Hunter

Para el iluminante C (CIE), observador estandar a 2 grados:

Para cualquier otro iluminante de luz blanca ya sea un observador estandar a 2 grados o 10 grados:

$$L = 100 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/2}$$

$$a = 175 \left[ \frac{0.0102 X_n}{(Y/Y_n)} \right]^{1/2} \times \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right) - \left( \frac{Y}{Y_n} \right) \right]$$

$$b = 70 \left[ \frac{0.00847 Z_n}{(Y/Y_n)} \right]^{1/2} \times \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right) - \left( \frac{Z}{Z_n} \right) \right]$$

donde  $X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$  son los valores triestímulos del blanco de referencia para el iluminante y observador seleccionados. Los valores más comunmente usados se dan a continuación.

Tabla No. III-3 VALORES TRIESTIMULOS PARA EL BLANCO DE REFERENCIA CON INTERVALOS INTEGRADOS A 20 nm (STEARNS 1975)

Iluminante	Observador	$X_n$	$Y_n$	$Z_n$
A	2 grados	109.83	100.00	35.55
	10 grados	111.16	100.00	35.19
B	2 grados	98.04	100.00	118.10
	10 grados	97.30	100.00	116.14
D65	2 grados	95.02	100.00	108.81
	10 grados	94.83	100.00	107.38

En 1973 MacAdam sugirió la sustitución de la función de raíz cúbica incorporada en  $L^*$  para algunos problemas con la función del valor Munsell. Esta modificación fue oficialmente recomendada en 1976 y se volvió conocida como el espacio 1978 CIE  $L^* a^* b^*$  con la abreviación oficial de CIELAB (CIE 1978).

Ecuaciones para el Espacio de Color CIE  $L^* a^* b^*$  (CIELAB)

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

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

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

Donde  $X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$  son los valores triestímulos del blanco de referencia. Para valores de  $X/X_n$ ,  $Y/Y_n$  o  $Z/Z_n$  menores que 0.01:

$$L^* = 116 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - \frac{16}{116} \right]$$

$$a^* = 500 \left[ f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right]$$

$$b^* = 200 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$$

donde  $f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)$  para  $Y/Y_n$  mayor a 0.008856 y  $f(Y/Y_n) = 7.787 (Y/Y_n) + 16/116$  para  $Y/Y_n$  menor o igual a 0.008856;  $f(X/X_n)$  y  $f(Z/Z_n)$  son definidas de forma similar.

La transformación inversa (para  $Y/Y_n$  mayor a 0.008856) es:

$$X = X_n \left( \frac{L^* + 16}{116} + \frac{a^*}{500} \right)^3$$

$$Y = Y_n \left( \frac{L^* + 16}{116} \right)^3$$

$$Z = Z_n \left( \frac{L^* + 16}{116} - \frac{b^*}{200} \right)^3$$

#### Escalas de Color uni-dimensionales

A medida que se usan las escalas de claridad para describir esta propiedad simple de objetos coloreados, muchos otros sistemas han sido desarrollados para describir el color de una serie de objetos relacionados en términos de un número simple. Estos sujetos se diferencian en un aspecto simple, que es la cantidad de un componente coloreado o impureza, y su color varía con esta cantidad en un rango relativamente angosto y bien definido, por ejemplo, desde sin color hasta un amarillo, naranja o rojo.

Al asignar un número de color en tal caso generalmente incluye una comparación visual del objeto de prueba con una serie de estándares. Si los estándares son seleccionados para una curva de color y una curva de transmisión espectral (o reflectancia) similar a los del objeto de prueba, la comparación no es difícil y la posición del objeto de prueba en la escala se puede determinar fácilmente y precisamente. En estos casos, son muy útiles las escalas uni-dimensionales y de número simple.

**Escalas de Amarillo.**- Debido a que la presencia de pequeñas cantidades de amarillo en el casi blanco (o casi sin color) es común, y generalmente objectionables, se ha puesto considerable atención en la elaboración de escalas para determinar el amarillo uniforme. Algunos colorímetros son leídos directamente en una coordenada de amarillo, el ASTM ha adoptado una escala de amarillo basado en las coordenadas de color CIE. Estas escalas se correlacionan con una percepción visual únicamente para los colores vistos como amarillo o azul; en el último caso, el índice de amarillamiento es un número negativo. Nunca debe ser usado para describir colores que sean visiblemente rojizos o verdosos.

En los colorímetros de Hunter la coordenada de color "b" mide el amarillamiento:

coordenada de amarillamiento = + b

El índice de Amarillamiento (Y.I.) basado en valores triestímulos CIE para el iluminante estandar C y el observador estandar 1931 (ASTM D 1925) se calcula con la siguiente ecuación :

$$Y.I. = \frac{127.5 X - 105.84 Z}{Y}$$

#### **Otras escalas de color unidimensionales**

Muchas escalas se han desarrollado en un intento por definir el color de productos naturales o comerciales (agua, aceites lubricantes, pintura para vehículos, y otros materiales transparentes.) por medio de números simples. Las correlaciones entre ellas se han estudiado por El Consejo de la Sociedad Internacional del Color. Estas escalas son muy valiosas cuando son usadas con las precauciones apropiadas.

**Limitaciones de las Escalas Uni-dimensionales.**- Las escalas de color simple trabajan razonablemente bien en tanto la muestra de prueba es muy similar tanto en el color como en la reflectancia espectral o transmitancia al grupo de estándares usados para calibrar y mantener la escala.

Sin embargo, la muestra de prueba puede diferenciarse en el color de los estándares en cierta medida más que las diferencias entre los estándares. Después la muestra de prueba puede verse como cualquiera de los estándares, sin caer en alguno en específico. En los casos como este se vuelve difícil o imposible hacer un juicio confiable de la posición de la muestra en la escala, y de hecho puede decirse correctamente que no tiene tal posición. Los intentos por usar una escala de número simple pueden producir resultados erróneos y desconcertantes.

#### **Blancura**

Este concepto es muy poco diferente de los descritos en las escalas uni-dimensionales mencionadas. La blancura está asociada con una región o volumen en el espacio de color dentro del cual los objetos se reconocen como blanco, el grado de blancura, es en principio, medido por el grado de alejamiento de un objeto desde el blanco "perfecto". Desafortunadamente, parecen haber fuertes prejuicios asociados con las preferencias nacionales e industriales que han evitado un correcto acuerdo en lo que es el blanco perfecto. Como resultado no hay una fórmula simple para determinar la blancura que sea ampliamente aceptada.

# ***CAPITULO IV***

---

---

**PROCESO PRODUCTIVO Y FORMULACION  
DE TINTAS PARA UN SISTEMA DE  
IMPRESION FLEXOGRAFICO**

---

---

## CAPITULO IV

### PROCESO PRODUCTIVO Y FORMULACION DE TINTAS PARA UN SISTEMA DE IMPRESION FLEXOGRAFICO.

Cuatrocientos años antes de que Johann Gutenberg en 1445 hiciera de la palabra impresión una fuerza arrolladora, la fabricación de tintas de impresión ya era un hecho en China debido a que ellos desde el siglo II imprimían usando bloques cortados a mano y piedras con sello, valiéndose de las modificaciones de las tintas de escribir que habían sido puestas en uso en el siglo III antes de Cristo.

Partiendo de estas raíces antiguas, el arte de la formulación de tintas de impresión se encaminó a través de los siglos sucesivos mano a mano con el de la impresión. Originalmente se inició con el uso de una tinta con negro de humo mas aceite de linaza más tarde se pusieron en uso varios colores vegetales, minerales y de tierras, pero la calidad de la tinta era muy deficiente. La llegada de los colores de alquitrán de hulla en la última etapa del siglo XIX hizo posible la revolución del color. Poco a poco el aceite de linaza básico le fué cediendo el campo a los aceites sintéticos de más fácil secado y las nuevas resinas elaboradas con mayor tecnología mejoraron la versatilidad y la estabilidad de las tintas.

Actualmente las tintas para impresión están formuladas con una infinidad de resinas y aditivos, dependiendo de los sustratos en los cuales van a ser aplicadas y del método de impresión bajo el cual van a ser empleadas. La tecnología de las tintas de impresión a marcado el paso de la revolución impresa al desarrollar tintas que se fijan por calor, tintas de precipitación, tintas acuosas, tintas magnéticas, tintas metálicas, tintas perlescentes y tintas fluorescentes. Hoy en día la industria produce tintas que imprimen y secan a mayor velocidad de la que puede trabajar la impresora más rápida.

Cada adelanto en la impresión y el empaque plantea nuevos retos en la formulación de tintas, por tal motivo los fabricantes de las materias primas para la manufactura de las mismas, trabajan también día a día para estar acorde con los avances en la industria de la impresión y del empaque.

#### IV.1 SISTEMA DE IMPRESION FLEXOGRAFICO

Existen diferentes Sistemas de Impresión, algunos de los más comunes son : FLEXOGRAFIA, TIPOGRAFIA ( IMPRESION DIRECTA ), LITOGRAFIA U OFFSET (IMPRESION INDIRECTA), SERIGRAFIA, y ROTOGRAFADO. Naturalmente, cada sistema de impresión tiene sus ventajas y desventajas, así como también requiere de un tipo de tinta específico que se adapte a las necesidades requeridas del equipo empleado en cada sistema. A continuación se describe brevemente en que consiste la Flexografía, con la finalidad de entender de una manera más clara la formulación de una Tinta Flexográfica.

La Flexografía se imprime por medio de una imagen en alto relieve. Las planchas para la impresión son hechas generalmente, de materiales elastoméricos flexibles. La parte de alto relieve que es la que transfiere la tinta, se obtiene por remoción de las áreas de no impresión por corte, moldeado, grabado, disolución y lavado posterior. Los materiales de las planchas son compuestos de cauchos naturales o sintéticos, o de fotopolímeros moldeables. Las planchas son generalmente fijadas al cilindro de plancha con una cinta de doble pegue.



Las prensas se fabrican de tres tipos : tambor central, en línea y convencional . El sistema de tambor central consiste de un cilindro de Impresión común, alrededor del cual están distribuidas desde dos hasta siete estaciones de impresión. El sistema en línea consiste de una serie de estaciones de impresión dispuestas una a continuación de la otra.. El sistema convencional o de torre, consiste en estaciones de impresión montadas unas encima de las otras en dos cuerpos generalmente de una a cuatro estaciones por cada lado.

La unidad típica de Impresión flexográfica consiste generalmente de cuatro rodillos. Un rodillo de caucho que gira haciendo contacto permanente con la tinta y la transfiere a un cilindro metálico o de cerámica, un cilindro de plancha y un cilindro de impresión. ( Ver Fig. No. IV-1 )

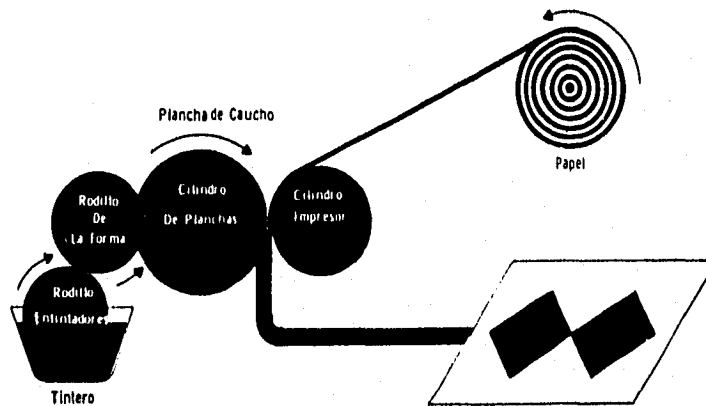


Figura No. IV-1 Unidad de Impresión Flexográfica

## IV.2 FORMULACION GENERAL DE TINTAS

No obstante que como ya se mencionó, cada uno de los Sistemas de Impresión requiere de un tipo de tinta especial, en todo tipo de formulaciones de tintas podemos hacer la siguiente agrupación de sus componentes:

a) **COLOR.** La parte colorida de las tintas está dada por el uso de Pigmentos y Colorantes o Anilinas.

b) **VEHICULO O BARNIZ .** El Vehículo actúa como transportador de los ingredientes del Color y como fijador de los mismos sobre la superficie del material que va a ser Impreso. Su composición determina las principales propiedades de la tinta. De manera general estará compuesto de una RESINA + SOLVENTE , se pueden formular desde tintas líquidas hasta tintas en pasta.

c) **ADITIVOS.** Son compuestos especiales que modifican las propiedades de los Vehículos para obtener características específicas de las Tintas.

En los siguientes incisos se describen cada uno de éstos componentes empleados en la Formulación de una Tinta Flexográfica.

#### IV.2.1 COLOR

Los pigmentos y colorantes o anilinas son compuestos químicos que alteran su apariencia por absorción selectiva o por dispersión de la luz. Arreglos específicos de átomos dentro de éstos compuestos químicos, conocidos como cromóforos, producen este efecto. Los colorantes o anilinas, son solubles en el vehículo de la tinta de impresión. Los pigmentos son partículas coloreadas que pueden ser orgánicas e inorgánicas, son insolubles en el vehículo y esencialmente no son afectados ni física ni químicamente por él. Las propiedades generales de pigmentos y colorantes o anilinas comunmente usados en las tintas de impresión para Rotograbado y Flexografía se pueden resumir de la siguiente forma :

PROPIEDADES	COLORANTES	PIGMENTOS
Color	Fuerte a Brillante	Débil a fuerte.
Resistencia a la luz	Baja	Mediana a excelente
Resistencia al sangrado	Baja	Mediana a excelente
Resistencia Química	Baja	Mediana a excelente
Resistencia al Calor	Baja a mediana	Mediana a excelente
Opacidad o transparencia	Transparente	Transparente a opaco
Reología o flujo	Bueno	Pobre a bueno

Como se puede observar existe una gran variación en las propiedades de los pigmentos. En la Tabla. No. IV-1 se presenta un esquema más completo de Propiedades Generales de los Pigmentos. La variación en la opacidad o transparencia de los pigmentos depende de sus índices refractivos individuales, tamaño de partícula y de la forma en la que estén dispersados en el vehículo.

#### COLORANTES O ANILINAS

Los colorantes o anilinas más comunes son los básicos. Son fuertes y limpios pero presentan severas limitaciones cuando su uso final es para tintas con resistencia al sangrado y a la luz. Normalmente se usan para la impresión en papel con baja calidad y de corto uso y en las cuales se tenga poca posibilidad de exposición a la luz, al agua, a plastificantes y a solventes. Otro tipo de colorantes solubles en alcohol tienen una mayor resistencia a la luz y al agua, pero su intensidad y solubilidad no son tan buenos como la de los colorantes básicos.

#### PIGMENTOS

Los pigmentos se clasifican generalmente como orgánicos e inorgánicos. Los pigmentos inorgánicos incluyen el bióxido de titanio que es el blanco, amarillos cromos, naranja molibdato, negros, azules milori y adelgazadores o cargas. Los orgánicos incluyen amarillos

bencidina, rojos azo, azules ftalocianina, lagos ácidos fosfotungsténicos y fosfomolibdicos de colorantes triarilmetanos. Una clase miscélanca de pigmentos incluye polvos metálicos, perlescentes y fluorescentes.

Índice de color Nombre Número	FADEOMETRO			RESISTENCIA A																	
	20 hrs	80 hrs	320 hrs	Potencia de cubrimiento	Fuente Total	Tinta	Fuente Completa	Time	Pobre Pobre	Oscuridad	Pobre	Ácidos Orgánicos	Ácidos Inorgánicos	Soda Alcalina	Alcoholas	Acueras Minerales	Jabón	Parafinas	Pastificantes	Dicloro Pictórico	
Amarillo cromo	Y-34	77603	O	EG	EG	G-P	G-P	G-P	P	P	P	E	E	P	E	E	EG	E	E	E	E
Amarillo bencidina AAA	Y-12	21090	SO	P	EG	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Amarillo bencidina AADT	Y-14	21095	SO	G	P	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Amarillo bencidina AAMX	Y-13	21100	SO	E	G	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Amarillo bencidina AADA	Y-17	21105	T	G	P	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Amarillo MR	Y-83		T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Naranja melibato	R-104	77605	O	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Naranja bencidina	O-13	21110	SO	G	P	G	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Verde tab	G-7	74260	T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Verde PMTA	G-1	41040	T	G	P	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Violeta PMTA	V-3	42535	T	P	P	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Violeta carostole	V-23	51319	T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Azul miller	B-27	77510	T	E	EG	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Azul italo	B-15	74160	T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Azul alcali	B-19	42750A	T	E	G	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Azul victoria PMTA	B-1	42595	T	G	G-P	G-P	G-P	G-P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Lind de bano	R-49	19630	SO	P	P	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Lind de calcio	R-49	19630	SO	P	P	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rajo natio C de bano	R-53	15885	T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rajo natio claro	R-22	12315	SO	E	G	G	G	G	G	G	G	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rajo natio mediano	R-17	12390	SO	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rajo natio oscuro	R-23	12355	T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rajo linal rubi	R-57	15850	T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rajo bon	R-52	15860	T	G	P	P	P	P	P	P	P	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rajo de bano 2B	R-48	15865	T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rajo de calcio 2B	R-48	15865	T	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rodamina PMTA Y	R-81	45160	T	G	G	G	G	G	G	G	G	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
Rodamina PMTA B	V-1	45170	T	G	G	G	G	G	G	G	G	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E

Tabla No. IV-1 Propiedades Generales De Los Pigmentos

## PIGMENTOS INORGANICOS

1) Bióxido de Titanio. Anatasa y Rutilo son las formas cristalinas de los pigmentos blancos más comunmente usados. El grado rutilo es el más opaco y provee el mayor brillo. Es sin embargo, más amarillento que el anatasa. Los pigmentos anatasa, como clase, son menos abrasivos. Los bióxidos de titanio son tratados para ayudarlos a una mejor dispersión en vehículos orgánicos solventes y vehículos acuosos.

2) Negros. El principal pigmento negro es el negro de horno. El negro de canal solia ser el más común, pero generalmente ya no se consigue debido a los problemas ecológicos que presenta su manufactura. Los negros carbón comprenden las partículas de pigmentos más pequeñas de todas. Esto resulta en una mayor superficie de pigmento por unidad de peso y se requiere más vehículo para dispersar a las partículas de pigmento. Su finura ocasiona una alta área de superficie y por consiguiente tintas con menor consistencia. Tanto los negros de carbón como el bióxido de titanio son químicamente inertes y extremadamente resistentes a la luz.

3) Pigmentos de Cromato de Plomo. Estos pigmentos presentan tonos que van desde el amarillo primoroso verdoso hasta el naranja molibdato de tono rojizo. Son pigmentos muy opacos que proveen tintas con una excelente calidad de impresión y reología. Tienen buena resistencia a la luz a solventes y grasas. Su resistencia a los ácidos y álcalis es de mediana a pobre. Son atacados por materiales que desprenden sulfuro de hidrogeno ya que los oscurecen formando sulfuro de plomo. Tanto el plomo como el cromo son tóxicos y se tiene el indicio de que los cromatos pueden ser cancerígenos, por tal motivo su empleo está restringido para uso en empaques alimenticios.

4) Azules Milori. Estos pigmentos generalmente proveen buenas cualidades de impresión, resistencia excelente a los solventes, grasas, ácidos y la luz. Tienen baja resistencia a los álcalis y por tal motivo no se pueden emplear en la impresión para envolturas de jabones.

5) Óxidos de Hierro. Son relativamente opacos y varían de un tono amarillento sucio a rojo. Son importantes por ser químicamente inertes, resistentes a la luz y son aceptables para ser usados en tintas para la impresión de empaques que vayan a estar en contacto con alimentos.

6) Adelgazadores o Cargas. Aunque se les denomina pigmentos son compuestos relativamente transparentes si se comparan respecto al bióxido de titanio y van de una tonalidad blanca a grisácea. Pueden dar tonalidad, brillo u opacidad dependiendo del tamaño de partícula. Pueden ayudar a mejorar la impermeabilidad y el color aparente. Algunos adelgazadores típicos incluyen a la arcilla, el carbonato de calcio y el bióxido de silicón.

7) Miscelaneos Inorgánicos. Otros pigmentos inorgánicos incluyen colores de cadmio, azul ultramarino y verdes cromo. Los colores de cadmio no se usan generalmente debido a su alto costo y relativa baja calidad de color. Tienen una resistencia excelente a los álcalis, el azul ultramarino es de un tono rojizo limpio pero se usa muy poco debido a su baja calidad de impresión y a su pobre intensidad de color.

## PIGMENTOS ORGANICOS

Los colores orgánicos generalmente contienen metales tales como el bario, calcio o cobre, difieren de los inorgánicos por tener una gravedad específica menor. Las categorías se pueden ver a continuación:

### 1) Azo Insoluble

(a) Amarillos y Anaranjados Bencidina. Los rojos, amarillos y anaranjados bencidina, varían entre transparente a semitransparente en apariencia y tienen buena resistencia al jabón y a

los ácidos. Este grupo representa el remplazo más factible para los amarillos cromados cuando estos no pueden ser utilizados debido a su toxicidad. Por tanto, el uso y la variedad de los bencidina está creciendo. Ninguno de ellos combina todas las propiedades de los pigmentos de plomo, particularmente con respecto a opacidad. Como se observa en la Tabla No. IV-1 de Propiedades de los Pigmentos, el amarillo bencidina aparece en varios tipos. AAA, un tipo de amarillo bencidina, es el más fuerte, y el menos resistente a la grasa. Su resistencia a la luz es extremadamente pobre. AAOT, otro tipo de amarillo bencidina, es uno de los más comúnmente usados en Flexografía. Tiene una mediana resistencia a la luz, una aceptable resistencia a la grasa y a la cera y es algo opaco. El amarillo HR es extremadamente transparente con tono rojizo y tiene una buena resistencia al calor y a la luz.

(b) Rojos naftol. Se tienen rojos de tonalidad azulosa y rojiza. Los rojos naftol son menos brillantes y más costosos que los rubies y los rojos 2B. Son seleccionados por su excelente resistencia al jabón y otros alcalis y tienen buena resistencia a la luz. Su resistencia a la grasa caliente no es tan buena como la del rojo 2B.

## 2 ) Azo Acidos

(a) Rojo lago C. Este pigmento es de un tono anaranjado muy brillante, el cual con una dispersión adecuada se puede hacer extremadamente transparente.

(b) Rojos 2B. El rojo 2B está disponible en un tono amarillento similar al del rojo lago C y en un tono azuloso que aproxima al rubí. Los rojo 2B se seleccionan por una razonable resistencia a la luz y por una excelente resistencia a la grasa. Ellos tienen una resistencia muy pobre a los alcalis, particularmente el tono azuloso el cual se hidrata y se vuelve de un tono amarillento.

(c) Litol 2G y rubí litol. Tienen un tono más azuloso que el tono azuloso del rojo 2B. Se pueden hacer extremadamente transparentes y brillantes. Son usados frecuentemente para magenta de proceso.

(d) Marrones y rojos litol. Estos pigmentos están disponibles en varias tonalidades que varían desde el anaranjado hasta el marrón. Tienen un menor costo que los rubies y los rojo 2B. Tienen una resistencia relativamente pobre al agua. Las propiedades de flujo en tinta solvente son pobres. Son particularmente útiles en tintas acuosas porque sus propiedades de flujo son buenas.

## 3 ) Ftalocianinas

(a) Verdes. Los verdes ftalocianinas son pigmentos tratados con cloro o bromo, disponibles en varias tonalidades. Tienen alta brillantez y buena fuerza de color. Tienen una excelente resistencia a la luz y son resistentes a la mayoría de los químicos.

(b) Azules. Se consiguen dos formas: en cristales alfa con tono rojizo y beta con tono verdozo. El tono verdozo es el típico color cyan para selección de color. Tienen alta brillantez, resistencia química y resistencia a la luz.

## 4 ) Pigmentos de alto desempeño.

Dos pigmentos especiales y costosos, de colores rojo y violeta, son usados cuando se requiere una resistencia extrema a la luz, una estabilidad y una resistencia óptima al sangrado. Estos son los rojos quinacridonas, los cuales son similares a las rodaminas y el violeta carbazol en el color.

## COLORES FLUORESCENTES

Su composición química, baja concentración de color y su solubilidad extrema causan que estos pigmentos cambien la luz ultravioleta invisible a la luz visible. La adición de la luz ultravioleta a la ya disponible luz visible, resulta en una brillantez muy alta, más brillante todavía que el blanco mas puro. Esto se debe a que la luz visible reflejada excede el 100 % de la luz visible incidente.

Los fluorescentes vienen en formas solubles e insolubles. La forma soluble es una mezcla resinosa de un fluorescente. La forma pigmentada es una resina insoluble que requiere de una molienda o dispersión especial. Se debe tener cuidado de no contaminar a los fluorescentes con otros pigmentos, ya que esto resulta en una disminución drástica de la fluorescencia y la brillantez.

## POLVOS METALICOS

Polvos metálicos de aluminio y bronce le dan una apariencia metálica a las tintas. Esta apariencia no se puede obtener sin ellos. Tienen varios problemas como la estabilidad, la resistencia al frote y la sedimentación. Los "oros" o polvos de bronce no son estables en sistemas ácidos, esto limita su uso siendo necesario hacer imitaciones basadas en amarillos bencidinas transparentes y polvo de aluminio.

La Tabla No. IV-1 presenta las propiedades de los pigmentos más comúnmente utilizados en las tintas flexográficas. Incluye el Número de Color Index (C.I.) de los pigmentos, y varias propiedades, como la transparencia, la opacidad, resistencia a la luz, y la resistencia a varios productos químicos. La tabla se usa como referencia para hacer selecciones de colores candidatos para productos particulares. Por ejemplo, la resistencia a ácidos orgánicos sería importante para la etiqueta de un frasco de vinagre. Una mala resistencia a los álcalis indicaría un problema en un empaque diseñado para un jabón. Los perfumes y las bebidas alcohólicas no deben de usar pigmentos que sangren en alcoholes.

La Tabla funciona únicamente como guía inicial. Los fabricantes varían las propiedades de los pigmentos, mediante diferentes procedimientos de fabricación y tratamientos de superficie. El tipo de vehículo usado en un material también alterará las propiedades, consecuentemente, es esencial probar los pigmentos bajo condiciones reales de aplicación antes de hacer cualquier impresión.

### Clasificaciones:

- O opaco
- T transparente
- SO ligeramente opaco
- E excelente
- G bueno
- P pobre

## IV.2.2 VEHICULO O BARNIZ

El vehículo o barniz de una tinta lleva el color desde la fuente de impresión hasta el material que será impreso y contribuye en las principales propiedades funcionales del producto final. En la selección de un vehículo para la formulación de una tinta se deberán tener en cuenta las siguientes propiedades generales:

1. Solubilidad en los solventes apropiados

2. Adherencia al material deseado
3. Buena transferencia
4. Buena dispersión de pigmentos
5. Baja viscosidad
6. Características limpias de impresión
7. Color ligero
8. Flexibilidad
9. Buena compatibilidad con otras resinas
10. Buena liberación del solvente y características de secado apropiadas
11. Resistencia al bloqueo
12. Olor débil
13. Propiedades específicas de resistencia (calor, aceites, etc.)
14. Alto brillo en el caso de tintas para impresión frente
15. Fuerza cohesiva
16. Resistencia al frote

El solvente seleccionado deberá disolver la resina escogida, pero no debe atacar ni dañar las planchas de impresión utilizadas en Flexografía. La plancha de impresión es vista como un factor limitante mayoritario, en la selección de los solventes por parte de los proveedores de tintas flexográficas.

Es necesaria la adhesión de las resinas a la amplia variedad de materiales que pueden ser impresos en Flexografía, los más comunes en la actualidad son: papeles recubiertos y no recubiertos, cartones, polipropileno transparentes y perlescentes, celofán nitro y con recubrimiento de cloruro de polivinilideno, y polietileno transparentes y pigmentados.

Una buena transferencia de tinta al material de impresión depende de la tensión superficial y de reología. Los solventes tienen un gran efecto sobre la tensión superficial, mientras que las resinas influyen sobre la reología y son su principal determinante.

La dispersión o las propiedades de mojado se asocian con la selección de resinas. Algunas resinas dispersan bien los pigmentos, otras no. En el mojado, la resina disuelta rodea a las partículas de pigmentos y las mantiene dispersas.

La impresión básicamente es una función de la solubilidad de las resinas, las cuales también deben presentar una buena liberación del solvente.

Un color claro de la resina es importante, sobre todo cuando se imprimen blancos, o cuando se utilizan las resinas para barnices de sobreimpresión.

La flexibilidad de las tintas es importante en materiales como polietileno, celofanes y polipropileno, en otros casos las resinas son por naturaleza plastificadas.

Al necesitarse dos o más resinas para una tinta, es importante la compatibilidad entre las mismas.

El secado rápido es una función tanto de la resina básica en el vehículo como del solvente empleado. Algunas resinas secarán muy rápidamente, otras lentamente. Una buena liberación del solvente es importante cuando el olor de un solvente retenido es de importancia y cuidado, por ejemplo para los empaques alimenticios.

La resistencia al bloqueo es una función de las resinas y de los plastificantes. Las resinas blandas tienden a bloquear aunque se encuentren bien secas.

Un olor bajo se obtiene mediante la óptima combinación de solventes y resina. Cualquier material puede afectar el olor sustancialmente.

Una alta resistencia al calor es necesaria, para las aplicaciones en donde las impresiones estarán expuestas al calor. Como en los empaques sellados térmicamente.

El brillo es una propiedad esencial del vehículo. Soluciones de alto contenido de resinas, que fluyen suavemente tienden a dar brillo.

La fuerza cohesiva es de gran importancia para laminaciones de alta fuerza de unión.

La resistencia al frote es una combinación de la dureza de vehículo, la y la lubricación de la superficie.

Todas estas propiedades deseadas, no se encuentran en una sola resina. La resina ideal no existe, por esta razón la mayoría de las tintas contienen una combinación de dos o más resinas y la adición de plastificante y otros aditivos.

**La selección del solvente.** La selección del solvente utilizado en un sistema de tinta está determinado principalmente por el sistema de resina utilizado. El solvente debe ser capaz de disolver completamente a las resinas empleadas. Su efecto adverso sobre las planchas de impresión se deben rebajar al límites aceptables.

La manera más importante como los impresores modifican tintas líquidas es con la adición de solventes volátiles. La tinta es hecha usualmente con una viscosidad y concentración más alta que la de impresión. Esto es necesario, porque los impresores deben variar la adición de solvente para controlar la velocidad de secado, el color, la viscosidad y la impresión. No hay una sola velocidad de secado o viscosidad propia. Estas propiedades cambiarán de acuerdo a la velocidad de la máquina, los rodillos anilox, los rodillos de caucho, el equipo de secado, la película, la secuencia de colores, y otras variables que no pueden ser anticipadas por el fabricante de tintas.

Es necesario seleccionar un solvente de tal manera que dé un buen desempeño y economía. Algunas de las propiedades generales que se deben considerar son :

1. Solvencia - Un buen solvente deberá solubilizar rápidamente las resinas sólidas para elaborar el vehículo. La alta solvencia promete una adición mínima para reducir la tinta a viscosidad de impresión, obteniendo la posibilidad de imprimir con tintas de altos sólidos que pueden ayudar al secado y a la calidad de impresión.

2. Velocidad de secado- La impresión final debe contener un residuo de solvente mínimo. El solvente residual puede causar bloqueo de rollos impresos, bajas fuerzas de laminación y problemas de retención de solventes el cual es un parámetro de no aceptación en impresiones para empaques alimenticios. La velocidad de secado se debe controlar en impresión flexo múltiple donde un color se debe imprimir sobre otro, las condiciones óptimas serán haciendo que la primera tinta impresa sea más fuerte, lo menos viscosa, y lo más rápida en secado posible en el punto de impresión. Esto, en efecto significa que la primera tinta impresa seque más rápido que todas, y cada una aproximadamente después seque más lentamente, siendo la última la más lenta en secar, pero no tanto como para causar bloqueo o retención del solvente.

Los alcoholes son la base de la impresión flexográfica debido a que no tienen prácticamente ningún efecto adverso sobre las placas de impresión. El alcohol metílico, el único de los alcoholes que se puede considerar un excelente solvente nitrocelulósico, virtualmente no es usado debido a su toxicidad. El alcohol etílico tiene una solvencia razonable y es relativamente no tóxico. El alcohol isopropílico es un solvente nitrocelulósico pobre. El alcohol n-propílico se usa junto con el alcohol etílico para controlar la velocidad de secado.

Los ésteres se utilizan limitadamente en la formulación de tintas flexográficas. La mayoría de las nitrocelulosas que contienen las tintas flexo, usan entre el 10 y 15 % de éster para mejorar la solubilidad de la nitrocelulosa. El acetato de etilo y de isopropilo son muy volátiles y se pueden emplear en concentraciones muy bajas para acelerar el secado.

Los glicoles pueden ser empleados en tintas base agua para retardar la velocidad de secado y pueden ayudar a mejorar la calidad de impresión.

#### IV.2.3 ADITIVOS

Los aditivos son compuestos adicionados a las tintas en cantidades que van desde 0.1 % hasta 5 % y se les denomina la parte modificadora en una formulación pues contribuyen a modificar las propiedades de los pigmentos y vehículos con la finalidad de obtener



características especiales. Pueden ser clasificados según la función que realizan de la siguiente forma:

**Plasticantes.** Son suavizadores que modifican la dureza de las resinas haciéndolas más flexibles y evitando que las tintas después de impresas en materiales como polietileno, celofanes, poliéster y polipropileno sean quebradizas.

**Dispersantes.** Son agentes tensoactivos que actúan disminuyendo la tensión superficial de la fase líquida de una tinta permitiendo una mejor humectación del pigmento y por lo tanto mayor fuerza del color.

**Promotores de Adherencia.** Actúan oxidando la superficie del material sobre el cual se imprime la tinta mejorando la adherencia de la misma.

**Ceras y Silicones.** Algunas de sus funciones son dar resistencia al frote y al rasgado con las uñas en las tintas impresas. También se emplean para disminuir el coeficiente de fricción en la superficie. Su empleo está limitado a tintas para impresión frente ya que en tintas para laminación éstos aditivos disminuyen o evitan que exista fuerza de laminación.

**Agentes Mateantes.** Ayudan a eliminar el brillo de las tintas impresas para algunos usos específicos en los diseños de los clientes.

**Agentes Antisedimentantes.** Actúan impartiendo tixotropía a las tintas sin afectar su fluidéz y permitiendo mantener en suspensión los pigmentos periescentes principalmente.

**Antiespumantes.** Son materiales generalmente insolubles en agua, como los silicones y algunos alcoholes como el 2-etil hexanol, que inhiben la formación de espuma. Su efectividad tiende a disminuir con el tiempo después de que son adicionados a las tintas.

#### **IV.4 PROCESO GENERAL DE MANUFACTURA DE TINTAS**

Generalmente el proceso de fabricación de tintas para impresión es por lotes, y sólo en el caso de tintas que se consumen en volúmenes elevados como las que se utilizan para la impresión de periódico emplean un proceso continuo, sin embargo son muy pocas las Compañías que trabajan de ésta forma. En la Figura No. IV-2 se presenta el Proceso General de Manufactura de Tintas.

En la elaboración de una tinta, el paso más importante para su obtención con calidad óptima es el Proceso de Molienda del Pigmento, el cual requiere de una fuerza para hacer que las partículas insolubles del pigmento sean encapsuladas por la resina del vehículo o barniz, este Proceso puede llevarse a cabo en los siguientes equipos: Molino de Tres Rodillos, Molino de Bolas, Molino de Arena o Molino de Balas y Dispersores de Alta Velocidad para tintas con pigmentos blancos.

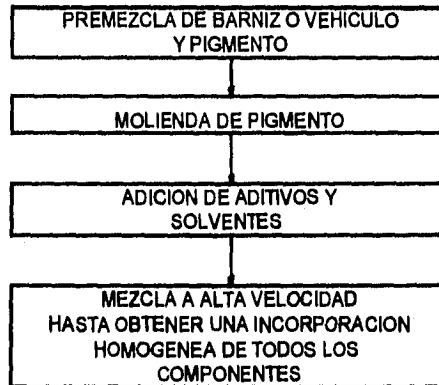


Figura No. IV-2 Proceso General De Manufactura de Tintas

**MOLINO DE TRES RODILLOS.** Este es el equipo más antiguo y ampliamente utilizado en la industria para la fabricación de tintas de alta viscosidad como las de Offset de aproximadamente 5000 cps., puede ser usado para tintas de Flexografía y Rotograbado pero no es el equipo ideal debido a que se necesita un vehículo o barniz de molienda con altas cantidades de plastificantes o solventes con muy bajas velocidades de evaporación los cuales pueden ser perjudiciales en éste tipo de tintas.

Está compuesto por tres rodillos de acero girando en direcciones opuestas a tres diferentes velocidades como se observa en la Figura No. IV-3 la fuerza cortante que se origina en el frote diferencial de velocidad de los rodillos encapsula las partículas de pigmento con una fuerza extrema incorporándolas completamente con el vehículo o barniz.

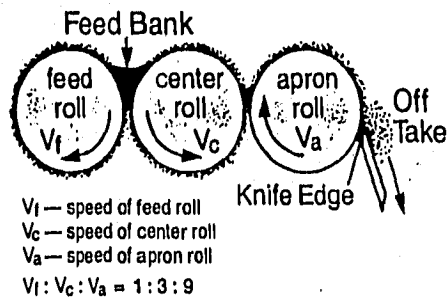


Figura No. IV-3 Rodillos Del Molino De Tres Rodillos

**MOLINO DE BOLAS.** Consiste en una estructura cilíndrica cerrada cargada con bolas de acero o de cerámica, la carga óptima es de 30 % de bolas de molinda, 20 % de espacio libre entre las bolas de molinda y 50 % de espacio libre con aire. El equipo gira a una velocidad constante trabajando de 10 a 24 horas dependiendo de la dureza del pigmento a moler. Se emplea para la fabricación de tintas cuyo vehículo o barniz contiene solventes muy volátiles y con viscosidades bajas que se encuentran entre 1500 y 2000 cps. La premezcla sólo debe ser adicionada hasta cubrir las bolas de molinda para obtener una buena dispersión del pigmento. Fig. No. IV-4 .

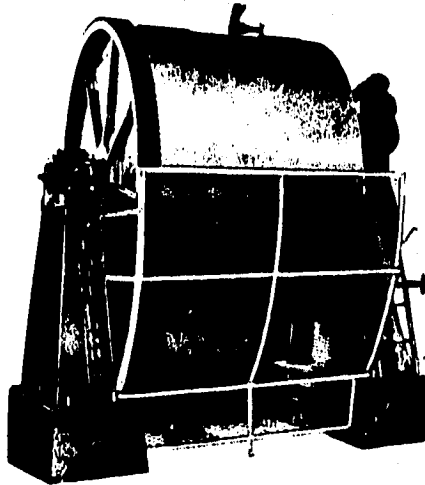
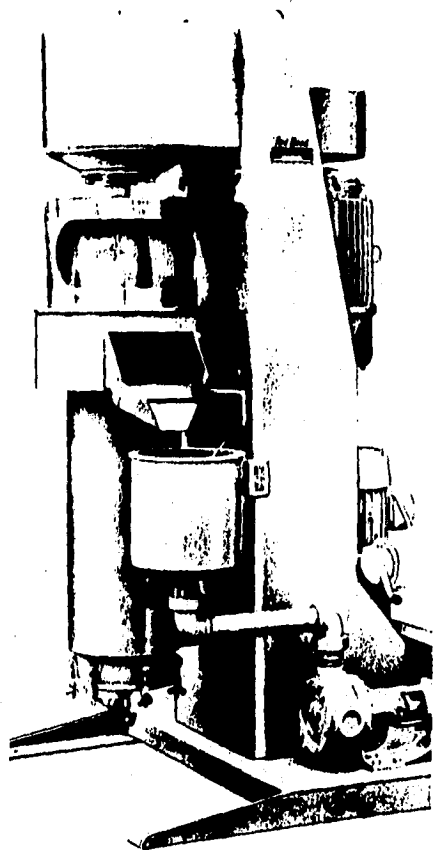


Figura No. IV-4 Molino De Bolas

**MOLINO DE ARENA O MOLINO DE BALAS.** EL molino en ambos casos es el mismo pero puede ser cargado con arena o con diminutas balas de cerámica o de metal, tiene una flecha al centro con discos giratorios y está cubierto por un cilindro de acero vertical. La tinta es forzada a subir desde la parte inferior del molino y es descargada por la parte superior a través de una malla que impide la salida de la arena o de las balas. Este equipo ha cobrado gran importancia en los últimos años debido a que presenta las ventajas de un molino de bolas empleando menor tiempo de proceso. Fig. No. IV-5 .



**Figura No. IV-5 Molino de Arena o Molino de Balas**

También se utilizan mezcladores tipo impulsor y de turbina que emplean la energía cinética generada por las partículas de tinta que quedan suspendidas al acelerar la mezcla a altas velocidades. Ambos tipos emplean discos rotatorios de alta velocidad.

Después de que se lleva a cabo la Molienda del Pigmento, a ésta dispersión se le adicionan los aditivos y solventes en una Mezcladora a Alta Velocidad hasta obtener una incorporación homogénea de todos los componentes. Durante todo el Proceso de Manufactura de Tintas el Laboratorio de Control de Calidad trabaja paralelamente con Producción.

# ***CAPITULO V***

---

---

**PROCESOS DE PRODUCCION DE POLIMEROS  
ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO  
(ABS)**

---

---

## CAPITULO V

### PROCESOS DE PRODUCCION DE POLIMEROS ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)

Una importante familia de polímeros de gran aplicación en las últimas tres décadas en la industria del Plástico, la constituye los polímeros de ABS en sus diferentes grados.

Estos polímeros están formados de tres monómeros químicos: acrilonitrilo, butadieno y estireno. El nombre de ABS ha sido adoptado en base a la primera letra del nombre en inglés de cada uno de los componentes monoméricos, Acrylonitrile- Butadiene-Styrene.

Los materiales plásticos fabricados de ABS fueron introducidos por primera vez a finales de los años 1940's por la compañía U.S. Rubber. Mejoras en la tecnología de mezclado de polímeros durante los años de 1950's, dieron como resultado un mejoramiento significativo en las propiedades de los polímeros de ABS. De esta manera, los polímeros de ABS han sido desarrollados con un mejor flujo, apariencia y características de estabilidad térmica. Con el mejoramiento de estas propiedades, el uso de polímeros de ABS se expandió rápidamente en los campos de inyección, moldeo, extrusión de hoja y termoformado.

El costo relativamente alto de los polímeros de ABS durante los primeros años de introducción limitó inicialmente el crecimiento de esta familia de plásticos. A finales de la década de los 50's, nuevas tecnologías en la síntesis de monómero de acrilonitrilo fueron desarrolladas y el precio de este monómero inició su descenso, asimismo contribuyó la caída dramática de los precios de estireno y butadieno en este período, repercutiendo directamente en los costos de las materias primas para los plásticos de ABS lo cual condujo a una disminución de precios de éstos y por lo tanto a una mayor competitividad con respecto a otros polímeros o sucedáneos.

Con el auge de la Industria del Plástico en las últimas dos décadas en un sin número de aplicaciones en todas las ramas industriales, desarrollo de nuevas tecnologías de control de procesos y métodos de caracterización avanzados, así como sistemas operativos-administrativos más eficientes como son: Economías de Escala, Calidad Total y Justo a Tiempo, entre otros, ha permitido que la familia de polímeros ABS se consolide como un importante componente en las diferentes aplicaciones de la Industria Automotriz, Refrigeración, Electrodoméstica, Juguetera, etc., siendo los principales productores actualmente : General Electric (Borg-Warner), Chi-Mel Co., Monsanto Company y Dow Chemical.

#### V.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS POLIMEROS DE ABS

Los polímeros ABS son compuestos que muestran una excelente resistencia y buena estabilidad dimensional. El componente elastomérico generalmente polibutadieno o un copolímero butadieno, existe como una fase discreta dispersa en el componente termoplástico, un copolímero de estireno y acrilonitrilo (SAN). La flexibilidad en la composición ofrecida por el uso de un sistema de tres monómeros combinados con la opción de alterar el peso molecular, el grado de injerción, el tamaño de las partículas de hule y su morfología permite tener una gran versatilidad en las propiedades para ajustartas a las necesidades específicas que requiera un producto. Los polímeros ABS proporcionan una de las selecciones más amplias de propiedades disponibles en la ingeniería de los termoplásticos.

## PROPIEDADES FISICAS

El rango de propiedades típicamente disponibles para ABS y sus aleaciones se ilustran en la Tabla V-1. Cuando se comparan las propiedades de varios grados de ABS, se presentan diferentes balances de propiedades. Todas las propiedades no pueden maximizarse en forma simultánea, por esto, cada grado está diseñado para ajustarse a requerimientos específicos de cada producto. El balance global de las propiedades, será determinado por medio de la composición, peso molecular y el porcentaje de Inersión. Un balance específico para una propiedad se logra por medio del control de estas características estructurales.

La presencia de la fase de hule Inertada Incrementa en forma importante la resistencia y elongación del ABS, en comparación con el co-polímero no modificado de estireno-acrilonitrilo. Por lo tanto, el ABS está estructurado para disipar de mejor manera la energía de un golpe.

La distorsión por temperatura de los materiales ABS se reporta de forma general en términos del desempeño basado en la prueba de deflexión por calor o prueba de HDT (Heat Deflection Temperature), ASTM D 648. Los grados de ABS de uso general tienen temperaturas de deflexión que están dentro del rango de 82 a 90°C a 1.8 MPa (264 psi)

Una de las más importantes propiedades de los plásticos es el flujo del material cuando este se funde, la prueba es conocida como Flujo Melt Index y se reporta en unidades de peso/tiempo (normalmente gr/10 minutos), esta prueba dará idea del comportamiento del material en los diferentes procesos de extrusión e inyección. La presencia del hule Inertado incrementa la viscosidad disminuyendo el flujo. Los componentes volátiles residuales y lubricantes pueden funcionar como diluyentes para reducir la viscosidad.

En lo referente al brillo los plásticos de ABS ofrecen una cantidad de selecciones estéticas. Los rangos del brillo de la superficie van desde acabados mates a <10% (60° Gardner) hasta superficies extremadamente brillantes en exceso de 95%.

## PROPIEDADES QUIMICAS

La reactividad de los materiales de ABS en la presencia de agentes químicos, fuerzas mecánicas, calor, oxígeno y luz son de vital importancia, debido a que tales condiciones se pueden encontrar durante el procesamiento o en las aplicaciones para diferentes medios ambientales.

**Resistencia Química.**- El término de resistencia química se refiere a su resistencia a la acción inflamatoria por solventes y la resistencia a la ruptura por tensión así como a la reactividad química. El comportamiento del ABS puede ser deducido considerando los grupos funcionales presentes dentro del polímero.

El carácter polar del grupo nitrilo reduce la interacción del polímero con los solventes de hidrocarburo. Por esto, el ABS es resistente al ser atacados por aceites vegetales y minerales, ceras y materiales comerciales relacionados con ellos. Una buena resistencia química proporcionada por el uso de acrilonitrilo combinado con una absorción relativamente baja de agua da como resultado una alta resistencia al teñido en aplicaciones en el hogar. Como sucede con la mayoría de los polímeros, el ABS puede presentar una ruptura por tensión cuando se pongan en contacto con determinados agentes químicos, bajo tensión. La presencia de una insaturación en el componente de polibutadieno incrementa la susceptibilidad a la oxidación, halogenación, sulfonación, etc. Tales agentes químicos reactivos incluyen: ácido nítrico concentrado, ácido sulfúrico concentrado, cloruros y dióxido de azufre.

**TABLA V-1 PROPIEDADES DEL ABS**

<u>PROPIEDAD</u>	<u>UNIDADES</u>	<u>BAJO IMPACTO</u>	<u>IMPACTO MEDIO</u>	<u>ALTO IMPACTO</u>
Impacto Izod	J/m	105-215	215-375	375-440
Tensión Cede	MPa	41-52	41-47	33-44
% de Elongación	%	5-30	15-50	15-70
Modulo a la Tensión	GPa	2.2-2.6	2.1-2.4	1.7-2.1
Flexión a la ruptura	MPa	68-87	68-80	55-68
Modulo a la Flexión	GPa	2.3-2.6	2.2-2.5	1.8-2.2
Temperatura de Defección a				
1820 KPa	oC	94-100	96-100	98-104
455 KPa	oC	100-108	102-104	103-108
Gravedad Especifica		1.05-1.07	1.04-1.05	1.02-1.04



El ABS es resistente a la mayoría de los agentes inorgánicos como es el caso de las soluciones alcalinas diluidas. Para una aplicación, el desempeño se determina por el nivel de tensión, concentración media, temperatura y duración de la exposición. Por ejemplo, la exposición a un aceite vegetal bajo condiciones de una simple inmersión resulta en cambios insignificantes. La exposición a éste mismo medio bajo condiciones de alta tensión puede resultar en un resquebrajamiento. Consecuentemente todo lo que este en contacto con un producto propuesto debe ser evaluado bajo condiciones anticipadas de uso.

Las condiciones de procesamiento pueden influir en las propiedades resultantes. Los cambios químicos pueden ser inducidos por medio de la exposición del polímero a una alta temperatura, la degradación puede ser térmica o por oxidación bajo condiciones de procesamiento. La degradación durante el procesamiento que lleva a pérdidas de impacto se ha atribuido a la degradación de la fase de polibutadieno. Los cambios morfológicos pueden deberse a una aglomeración de las partículas de polibutadieno dispersas durante la inyección en el moldeo a 280°C. Los efectos físicos pueden deberse a cambios químicos; tensiones de moldeo pueden tener graves efectos en las propiedades mecánicas. Por esto, una selección correcta de variables de producción y un buen control de proceso son importantes para mantener un desempeño óptimo de las partes moldeadas. Los antioxidantes añadidos en la etapa de mezclado han mostrado ser de gran utilidad en la retención de las propiedades físicas en el procesamiento.

Los cambios en la apariencia durante ciertas condiciones de procesamiento incluyen desarrollo de color, cambios en el brillo y ráfagas. La estabilidad inherente del color depende de la estructura de la resina, composición y técnica de manufactura. La decoloración se puede minimizar por medio de la reducción de la temperatura durante el moldeo o extrusión. Las ráfagas, que es la formación de imperfecciones en la superficie orientadas en dirección del flujo en partes moldeadas y se deben normalmente por la humedad residual en el polímero; la severidad de las ráfagas varía con las condiciones de moldeo. Las ráfagas ocasionadas por la humedad puede evitarse llevando a cabo procesos apropiados de secado. Otras causas de las ráfagas pueden ser aire ocluido y productos de degradación gaseosa.

Muchos productos ABS son sometidos a exposiciones al aire libre en pequeños períodos de tiempo como parte de un control normal de calidad. Tal exposición incidental no requiere de medidas especiales para proteger el producto de ABS contra los efectos del medio ambiente. Sin embargo, la preocupación por minimizar los cambios en la apariencia y propiedades mecánicas se vuelve una consideración importante para las aplicaciones que requieren de una exposición prolongada a la intemperie, especialmente a la luz solar directa. El incremento en la estabilidad puede lograrse usando aditivos estabilizadores, pigmentos y capas o películas protectoras, los estabilizadores de luz proporcionan cierta medida de protección.

La pigmentación puede incrementar de forma significativa la retención tanto de las propiedades mecánicas como de la apariencia, el negro mantiene mejores propiedades así como los tonos terrosos. Las pinturas también pueden ser efectivas en la minimización de la degradación por el clima. Las pinturas protectoras deben estar compuestas específicamente para evitar desquebrajamiento y deben estar formuladas con resinas resistentes al clima. Una técnica particularmente efectiva para la mejora de la resistencia al clima de productos en hoja, es la laminación de una película acrílica en el ABS. Las películas pigmentadas pueden ser laminadas durante el proceso de extrusión para proporcionar medios efectivos de protección contra el cambio de color, pérdida de brillo y la degradación de las propiedades mecánicas.

La pigmentación puede afectar de forma adversa la estabilidad térmica-oxidativa. Los metales como es el hierro, cobre, manganeso, y cobalto están presentes en los pigmentos y pueden ser capaces de catalizar la oxidación. Los efectos de los pigmentos en la estabilidad al determinarse por la absorción de oxígeno con temperaturas elevadas han mostrado que se correlacionan bien con el desquebrajamiento, monitoreando esto por el seguimiento del comportamiento de las propiedades mecánicas.

## V.2 PROCESOS DE PRODUCCION

En el desarrollo inicial del ABS, los productos estaban basados en una mezcla física de hule con un copolímero de estireno y acrilonitrilo. El uso de copolímeros de acrilonitrilo-butadieno que incrementan la compatibilidad con la matriz afecta de forma contraria la resistencia a la deformación por calor y las propiedades de tensión. En contraste, la compatibilidad lograda por el "grafteo" del copolímero estireno-acrilonitrilo en las partículas de la hule proporciona propiedades de impacto óptimas con mínimos efectos adversos en la resistencia a la deformación por calor, dureza, y resistencia a la tensión. Consecuentemente, los productos de ABS más comerciales ahora provienen de procesos de hule "grafteado" (injertado) disperso en una matriz vídriosa de un copolímero estireno y acrilonitrilo.

### Mecanismo

El "grafteo" (injerto) de los copolímeros de estireno-acrilonitrilo en un elastómero se logra por medio de la copolimerización en la presencia del elastómero. Los posibles mecanismos para este proceso incluye la sustracción de radicales del polibutadieno:



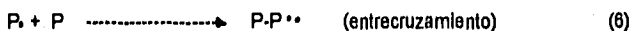
o por adición de radicales al polibutadieno



$I \cdot$  es un iniciador de radicales o radical de una cadena de crecimiento del co-polímero. El ataque del radical sobre el sustrato de polibutadieno compite con la formación de un copolímero de estireno-acrilonitrilo.



$M$  es un monómero de estireno o acrilonitrilo y  $M_n \cdot$  es un radical de polímero lineal estireno-acrilonitrilo en crecimiento. El radical polidieno  $P \cdot$  formado en las ecuaciones 1 y 2, donde  $R$  es igual a  $\text{---}(-\text{CHCH}=\text{CHCH}_2)\text{---}$  o  $\text{---}(-\text{CH}_2\text{CHCH}_2)\text{---}$  puede ahora iniciar alternativamente la polimerización, combinado con un radical del copolímero lineal en crecimiento, induce un entrecruzamiento o llevar a cabo una transferencia de cadena



en donde RSH es un agente de transferencia de cadena.

Existen tres tipos de procesos de polimerización comerciales para la fabricación de ABS: emulsión, suspensión y masa. Cada método de fabricación resulta en la formación de un material compuesto de partículas discretas de hule dispersas en una matriz rígida.

## V.2.1 Polimerización por Emulsión

El proceso de emulsión incluye una polimerización de dos pasos en los cuales se produce un latex de substrato de hule y posteriormente el estireno y acrilonitrilo es grafeado dentro del hule en una reacción separada. Una porción del SAN (copolímero **Styrene-Acrilonitrilo en Inglés**) formado en la segunda reacción se injerta en el hule y el restante es un SAN libre; la proporción de SAN libre a injertado se controla por medio de la formulación y de las condiciones de reacción. Un latex de SAN puede también ser polimerizado separadamente y mezclado con un latex de hule para adicionar otro grado de control en la composición del producto y su estructura. El latex es coagulado y la resina es separada del agua, lavada y secada. Un proceso de emulsión típico se muestra en la Figura V-1. El primer paso en la preparación de una emulsión de ABS es la producción de un polímero sustrato elástico. Este polímero puede ser polibutadieno o copolímeros aleatorios de butadieno y estireno o butadieno y acrilonitrilo. La proporción de estireno o acrilonitrilo generalmente es menor al 35%, de esta manera la contribución a la baja temperatura de transición vítrea por parte del polibutadieno no se pierde. Una formulación típica de la literatura de patentes disponibles al público, se describe a continuación:

Componente	Partes (por peso)
agua	200.0
1,3-butadieno	175.0
oleato de sodio	4.0
hidroperóxido de cumeno	0.3
pirofosfato de sodio	2.5
dextrosa	1.0
sulfato ferroso	0.05

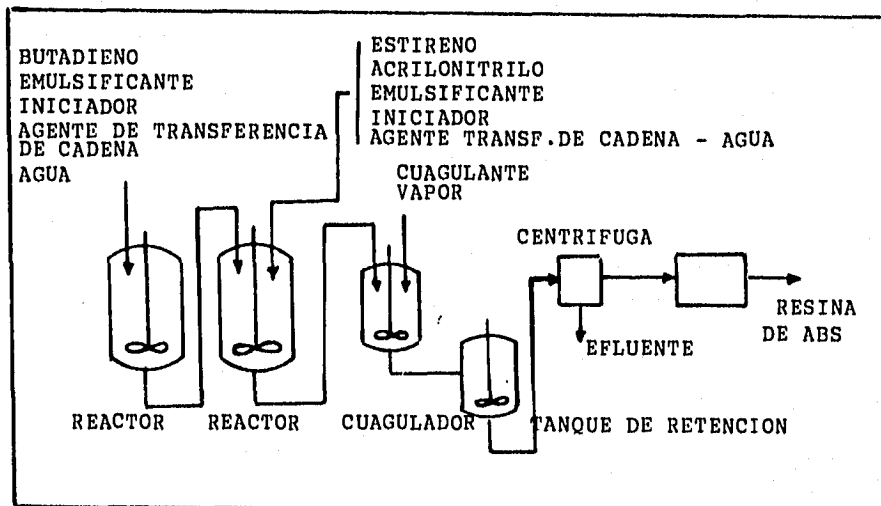


Fig. No. V-1 PROCESO DE PRODUCCION DE ABS POR EMULSION

La reacción del sustrato generalmente se lleva a cabo en un reactor batch agitado. Estos reactores tienen presiones diseñadas de hasta 1000 kPa, trabajando volúmenes de 10.30 m<sup>3</sup> (2500-800 galones), están encaquetados para enfriamiento y son de acero inoxidable. El aire se remueve al inicio de la reacción por medio de vacío o purgado con nitrógeno. El agua,

emulsificantes (por ejemplo el oleato de sodio o potasio, o sales de potasio de un ácido hidrogenado), compuestos para controlar el pH y electrolitos (hidróxido de potasio, o pirofosfato de sodio) y un agente de transferencia de cadena (generalmente un mercaptano) se añaden al reactor y la temperatura se controla a 10 - 85°C. El butadieno y el sistema iniciador, peróxidos orgánicos, persulfatos o hierro, dextrosa, sistemas de peróxidos son entonces adicionados. El calor de reacción es de 1350 J/g (580 Btu/lb) y se remueve a través de la chaqueta de enfriamiento. Cuando se logra la conversión deseada, el monómero residual es removido el cual puede ser recolectado y purificado para poder ser usado nuevamente. El control del tamaño de las partículas del hule es crítico en las propiedades finales del ABS.

En la segunda etapa en el proceso de polimerización por emulsión, ocurre la reacción del estireno y acrilonitrilo en la presencia del sustrato polibutadieno previamente formado. Los reactores son generalmente de acero inoxidable, recipientes con agitación y chaqueta para enfriamiento, que operan dentro del rango de 40- 85°C, a presión atmosférica. Una reacción típica encontrada en la literatura de patentes disponibles al público es la siguiente:

Componente	Partes (por peso)
agua, incluyendo la presente en el látex	300.0
polibutadieno	30.0
estireno	50.0
acrilonitrilo	20.0
1-hexadecil mercaptano	0.1
oleato de sodio	0.5
persulfato de potasio	0.5

El contenido de sólidos, hule y monómeros, de la formulación está generalmente entre el 25-50%. Baja estabilidad mecánica del latex y remoción de calor son los principales problemas a resolver. La polimerización se inicia por medio de peróxidos orgánicos, persulfatos o sistemas redox. La reacción de la segunda etapa requiere de un período de retención de 1 a 4 horas para llegar a conversiones del 90% o más. Los monómeros residuales pueden ser separados del látex con vapor para ser recuperados y re-utilizados. Los antioxidantes generalmente se añaden al látex para proporcionar estabilidad térmica para las etapas subsecuentes y lograr una mayor estabilidad del producto final. El látex producido en la reacción de la segunda etapa se coagula y se recupera la resina. Reacciones similares a las de la segunda etapa, pero sin un sustrato de hule, se pueden llevar a cabo para producir un copolímero SAN. Mezclas del látex puede ser efectuadas antes de la coagulación para combinar dos o más látices con diferentes características.

La etapa de almacenamiento de la resina consiste de la coagulación continua o batch, filtración y secado. El látex es bombeado a un recipiente de coagulación o serie de recipientes, dentro de los cuales se introduce una solución coagulante. Los coagulantes comunes, incluyen sales, como con sulfato de aluminio, sulfato de magnesio, cloruro de calcio, cloruro de sodio, y ácidos, tales como el ácido sulfúrico o clorhídrico. El calor se aplica a través de una chaqueta o por medio de una inyección directa de vapor dentro del recipiente y a temperaturas de operación de 60 a 90°C. El tamaño de las partículas de la resina formada dentro del coagulador depende de factores tales como la temperatura, concentración de sólidos en el látex, tipo y cantidad del coagulante, grado de agitación, y tiempo de resistencia. La lechada que sale del coagulador se deshidrata por centrifugación. El secado de la resina se puede llevar a cabo en una o varias etapas. El presecado puede ser hecho por flasheo o en secadores del tipo de lecho fluidizado. El secado final de la resina se hace generalmente secadores rotatorios o de lecho fluidizado. La estabilidad térmica de la resina debe ser considerada en el paso de secado para evitar una degradación oxidativa de la resina. El ABS puede venderse como un modificador de impacto para hacer aleaciones con PVCs u otros plásticos, o pelletizado con pigmentos y aditivos.

El proceso de emulsión tiene varias ventajas cuando se compara con otros procesos de producción de ABS. Con la selección apropiada de un iniciador en la reacción de grafeo, se pueden usar bajas temperaturas y las reacciones se llevan a cabo a presión atmosférica, de manera que los reactores son relativamente baratos. Los recipientes de coagulación y de lechada son generalmente simples en su diseño y por lo tanto económicos. Otra ventaja ofrecida por el proceso de emulsión es la amplia gama de grados de ABS que se pueden fabricar. Se pueden hacer cambios en el tamaño de las partículas de hule, proporción de hule, relación entre el estireno y acrilonitrilo, peso molecular del SAN grafeado, peso molecular del SAN libre, y la relación del grafeado SAN con el SAN libre, para favorecer cualquier propiedad que se desee en aplicaciones específicas.

Entre las desventajas del proceso por Emulsión, son altos requerimientos de energía en las etapas de coagulación, lavado, y secado. Los grandes volúmenes de agua usados en el proceso deben ser tratados antes de ser descargados a las líneas de efluentes de la planta.

### V.2.2 Polimerización por Suspensión

El proceso de suspensión es un proceso en dos partes en el cual el pre-polímero polimerizado en masa es fabricado y posteriormente la conversión es completada en una reacción de suspensión. Normalmente se utiliza una solución polimerizada que contiene 1,4 polibutadieno lineal cis, el cual es soluble en una mezcla de monómeros de estireno-acrilonitrilo. Hules SBRs pueden también ser usados como el componente de hule en estos productos. Una formulación para la polimerización por masa del pre-polímero se muestra a continuación:

Componente	Partes (por peso)
estireno	75
acrilonitrilo	25
polibutadieno	8
peróxido de benzilo	0.1
ter-docecil mercaptano	0.1

La relación entre el estireno y el acrilonitrilo puede variarse desde aproximadamente 80/20 a 60/40. Fuera de éstos límites, la desviación de la composición durante la reacción es severa, y da como resultado propiedades pobres. El rango de relación de 75/25 a 70/30 se prefiere para un color óptimo, resistencia a la tensión y resistencia química. La proporción de polibutadieno puede variar entre 4 y 15% en el producto final. Los iniciadores tales como el peróxido de benzilo pueden ser usados a 60-100°C, o las reacciones pueden ser iniciadas en forma térmica a temperaturas de reacción más altas, 100-120°C. Un agente de transferencia de mercaptano se requiere normalmente para un control adecuado de peso molecular.

El proceso de suspensión se muestra en la figura V-2. El hule se disuelve en estireno o en una mezcla de estireno-acrilonitrilo. La solución de hule, el restante de los monómeros, el mercaptano y los iniciadores se cargan dentro del reactor de pre-polimerización. El reactor está enchaquetado para calentamiento debajo del nivel del líquido y para calentamiento o enfriamiento por arriba del nivel líquido. El calor de la reacción se remueve a través de la ebullición de los monómeros y la condensación tanto en la superficie interna de la cabeza del reactor o en un condensador externo. Los monómeros condensados se regresan a la reacción. El reactor está diseñado para ser operado a presiones de hasta 400 kPa (60 psig). Se logra una conversión de los monómeros de 15 a 30 por ciento en 2-4 horas. En un punto en el ciclo de la

prepolimerización, el hule graftado se vuelve insoluble en la mezcla del monómero-polímero y ocurre una inversión de fases. Durante la inversión de fases, el hule se precipita de la solución y se vuelve una fase discontinua. Las partículas de hule son generalmente de 0.5- 5  $\mu$ m de diámetro. El tamaño de la partícula puede ser controlado parcialmente por medio de un ajuste en el peso molecular del hule y con la intensidad de agitación. La viscosidad de la masa reactiva en el punto de inversión de fases ajusta el límite superior práctico de incorporación de hule, debido a que el tamaño de la partícula se vuelve excesivo con viscosidades muy altas. El periodo de inversión de fase está marcado por una reducción significativa en el consumo de energía del agitador. Algo del estireno y del acrilonitrilo se atrapa dentro de las partículas de hule y continúan polimerizando e insertándose después de la inversión. Se presenta entrecruzamiento del hule y la geometría de las partículas de hule se fija a medida que avanza la reacción. Cuando la conversión llega a aproximadamente 15-30%, se termina el ciclo de prepolimerización.

El prepolímero es cargado a un reactor de suspensión junto con agua, agente de suspensión, iniciador y agente de transferencia de cadena. Una formulación típica es la siguiente:

Componente	Partes (por peso)
Prepolímero	100
Agua	100
Celulosa de hidroxietil	0.25
Ter-dodecil mercaptano	0.10
Perbenzoato de terbutilo	0.20

El agua y el agente suspensorio, como es el caso de la celulosa de hidroxietil, se cargan inicialmente en el reactor. el pre-polímero se añade en las inmediaciones del las aspas del agitador para facilitar la formación y dispersión de los polímeros. Un agente iniciador y un agente de transferencia de cadena se añaden simultáneamente al reactor. La relación entre el pre-polímero y el agua es de 1/2 o 5/4. Un perfil de temperatura predeterminado entre 60-145°C se mantiene a través del ciclo de reacción, durante un periodo de 4-10 horas. El contenido final de sólidos del producto generalmente es del 30 al 50%. Las perlas de la suspensión generalmente son de 100 a 500  $\mu$ m en diámetro. Las perlas menores a esto son difíciles de recuperarse en una centrífuga y perlas mayores tienden a tener agua dentro, la cual es difícil de remover. El tamaño de las perlas puede ser controlado por la cantidad de agente de suspensión y el grado de agitación. La suspensión de ABS puede ser almacenada en tanques con agitación para lograr un secado continuo. La suspensión es bombeada y el contenido de humedad se reduce a 1-5%. La humedad restante está principalmente en la superficie de las perlas y se puede usar un secador para eliminarla del producto hasta lograr su contenido final de humedad menor del 1.0%.

Los reactores de suspensión generalmente son de 10 a 30 m<sup>3</sup> (2,500-10,000 galones) de capacidad y estan encaquetados para calentamiento y enfriamiento. El calor de la reacción es removido por medio de la chaqueta y el grado de remoción limita de forma efectiva el grado en el cual los periodos del tiempo de reacción se puedan reducir. El reactor esta diseñado para proporcionar suficiente agitación para mantener la suspensión y prevenir que las perlas aumenten al inicio de la reacción manteniéndose con esto un incremento paulatino de la densidad conforme avanza la reacción. Reactores de acero inoxidable son normalmente usados donde existe contacto con el polímero.

Comparado con el proceso de emulsión, el consumo de agua y energía por unidad de producto se reduce de sobremanera en el proceso por suspensión. Los efluentes de agua de desecho son mucho más pequeños, pero también son más concentrados que en el proceso por emulsión.

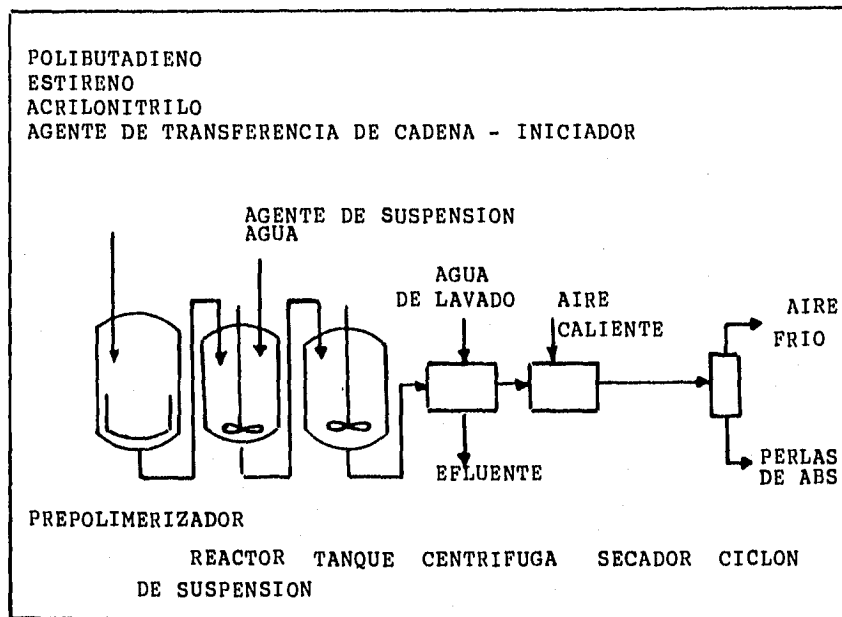


Fig. No. 4 PROCESO DE PRODUCCION DE ABS POR SUSPENSION

### V.2.3 Proceso por Masa

En el proceso por masa de ABS, toda la polimerización se lleva a cabo en un medio de monómero-polímero. Un esquema del proceso se muestra en la Figura V-3.

En este proceso el butadieno se disuelve en estireno y acrilonitrilo y se bombea a un prepolimerizador continuo. Un agente de transferencia de cadena, por ejemplo mercaptano, terpinoleno o alfa-metil estireno, se añade comúnmente con los monómeros, para controlar el peso molecular además de un iniciador de reacción (pero se puede omitir y la reacción se puede iniciar en forma térmica). La conversión del monómero en el prepolimerizador generalmente está entre el 10 y 40%. Las partículas discretas de hule se forman en el prepolimerizador debido a que el hule que se añade no es soluble en el medio de reacción. Las oclusiones de SAN y monómeros se forman dentro de las partículas de hule. Se requiere una alta agitación para controlar el tamaño de las partículas de hule, lo cual es crítico para las propiedades mecánicas y apariencia del producto final. El tamaño de las partículas de hule generalmente se controlan dentro del rango de 0.5 a 10  $\mu$ m para una fuerza de impacto óptima. El prepolímero del primer reactor se bombea continuamente a uno o más reactores de polimerización en serie, en donde la conversión del monómero se incrementa a 50-90%. El entrecruzamiento de las partículas de hule ocurre en los reactores de polimerización. Las temperaturas de reacción en el proceso por masa a menudo son de 90-150°C en el pre-polimerizador y de 110 a 180°C en los polimerizadores. El calor de la polimerización se remueve por medio de evaporación de los monómeros de la mezcla o por medio de un enfriamiento directo. Los monómeros evaporados se condensan, enfrían, y regresan a los reactores.

Los reactores operan a presiones de 0 a 400 kPa (0-60psig). Una construcción de acero inoxidable generalmente se usa cuando se está en contacto con el polímero. Los volátiles pueden ser condensados y reciclados a los reactores. Los aditivos tales como lubricantes y antioxidantes pueden añadirse a la mezcla antes de la fusión para pelletizado. El proceso de masa generalmente está limitado a un porcentaje de hule de hasta aproximadamente 15%.

Arriba de esta concentración, la viscosidad de ésta mezcla es muy alta y el procesamiento se hace difícil. Los hules en forma de SBRs se usan en algunas aplicaciones en lugar del polibutadieno. Estos son copolímeros de bloque con un contenido de estireno de 5-40%.

El proceso de masa tiene varias ventajas sobre los procesos de emulsión y suspensión. Estas ventajas incluyen menores requerimientos de energía y un mínimo de desperdicio de agua. Algunos productos pueden ser vendidos sin mezclarse en etapas posteriores (compoundeo) cuando los aditivos necesarios se adicionan durante el proceso de polimerización, eliminando costos de capital y operación normalmente requeridos al hacer el "compounding". Las principales desventajas caen en el costo relativamente alto del equipo y la dificultad del procesamiento de mezclas de polímeros altamente viscosos.

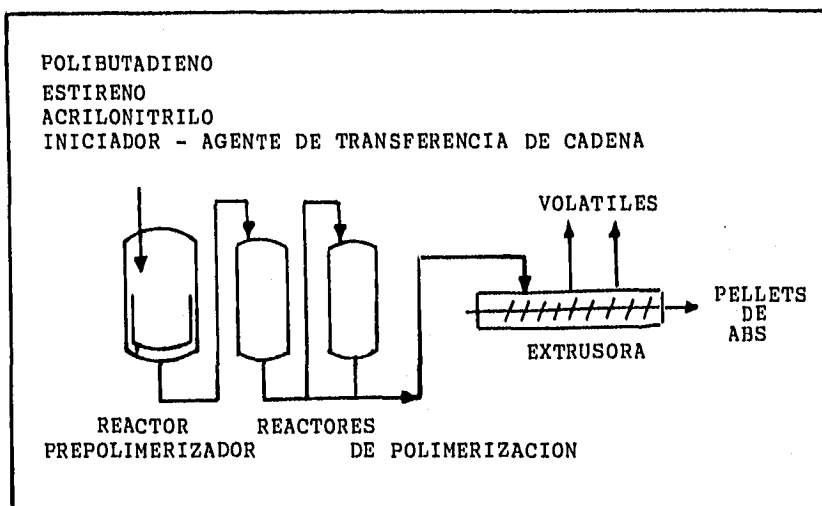


Fig. No. V-3 PROCESO DE PRODUCCION POR MASA DE ABS

#### V.2.4 ETAPA DE COMPOUNDING

Esta es la última etapa del proceso de producción en la cual la resina de ABS seca producida ya sea vía el proceso de Emulsión, Suspensión o Masa, será tratada para dar las características específicas finales del producto.

Los procesos de compounding de la resina se usan para combinar dos o más polímeros para hacer un producto de aleación de mezcla combinada o para la adición de lubricantes, estabilizadores a la luz, retardantes a la flama, pigmentos, y otros aditivos a una resina de ABS y producir un producto terminado para venta a los fabricantes finales de productos de consumo. Equipo para producir un alto esfuerzo de corte es empleado en la etapa de compounding para asegurar una mezcla e integración homogénea de polímeros y aditivos. El equipo típico para el compounding incluye mezcladores Banbury y Extrusoras monohusillo o doble husillo. Se cargan los polímeros, los aditivos y después de un mezclado adecuado el material se funde a través de su paso en el Banbury o Extrusoras obteniéndose tiras continuas de material fundido las cuales son enfriadas con agua, secadas por centrifugación y/o aire, cortadas en pellets y empacadas (previo control de calidad) en sacos, cajas o envados a silos de almacenamiento para posteriormente manejarse por tolvas de ferrocarril.

El detalle del Control del Color en los polímeros ABS se discutirá en el Capítulo siguiente.



ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## ***CAPITULO VI***

---

---

**APLICACION DE LA TEORIA DE LA  
MEDICION DEL COLOR EN LA INDUSTRIA  
DE TINTAS Y PIGMENTACION DE  
POLIMEROS ABS**

---

---

## CAPITULO VI

### APLICACION DE LA TEORIA DE LA MEDICION DEL COLOR EN LA INDUSTRIA DE TINTAS Y PIGMENTACION DE POLIMEROS ABS

En la mayoría de las industrias de transformación los materiales finales son coloreados y dado que el color vende productos, es un parámetro de vital importancia en la colocación de los mismos en el mercado; ya que si un producto cumple con los estándares de calidad y su color no es aceptable, el resultado será que dicho producto no se venderá.

El uso de tintas y polímeros de ABS es sumamente amplio y generalizado en la industria de Manufactura, siendo el color un factor de vital importancia, debido a que; en el caso de las tintas estas se emplean para la impresión de todos los tipos de empaques y envases de productos consumibles y productos intermedios para otras ramas industriales y en el caso de los polímeros de ABS estos se emplean para la manufactura de productos tales como: artículos electrodomésticos, juguetes, refrigeradores, teléfonos, partes automotrices, etc.

La teoría del color y su aplicación para el control de los diferentes procesos productivos es un factor clave para fabricar productos de calidad. Los fundamentos, principios y equipo empleado para el control de color son los mismos para estas dos ramas industriales y cualquier otra.

Por lo anteriormente expuesto y debido a que el color cuesta dinero en términos de productividad, a partir de la década de los '80s, la Tecnología Computarizada del Control de Color ha avanzado a pasos gigantescos, debido a las investigaciones de especialistas en este campo y a las innovaciones de computación y espectrofotometría existentes, dando como resultado diferentes proveedores de equipo para control del color e incluso para la igualación de los mismos.

#### VI.1 EQUIPOS DE MEDICION DEL COLOR

En el mercado existen una gran variedad de proveedores de equipos de medición de color, pero independientemente de la marca comercial, de acuerdo a nuestra experiencia los mejores sistemas están compuestos por:

- 1) Un Espectrofotómetro especialmente diseñado para la medición precisa de colores en la industria, que viene siendo el "ojo" del colorista en el sistema.
- 2) Una Computadora que permite el procesamiento y cálculo de datos, introducidos por el espectrofotómetro y cuya función es similar al "cerebro" del colorista en el sistema.
- 3) Un programa o software que procesa una cantidad de resultados con aplicaciones específicas para diferentes áreas. Estos programas pueden variar de un proveedor a otro, en la forma de presentar los resultados, pero todos están basados en las mismas teorías y parámetros de medición del color mencionados en capítulos anteriores, con la opción de seleccionar dentro del programa los más adecuados para la industria específica que se trate.
- 4) Equipos accesorios de interface para el manejo de la información que generalmente constan de: una terminal de video, un teclado y una impresora.

A continuación se presentan las principales características y funcionamiento del espectrofotómetro por ser este el equipo que ha acompañado en forma paralela el desarrollo de las diferentes Teorías del Color, no siendo el objetivo del presente capítulo ahondar en el funcionamiento de una computadora, ni de paquetes de software comerciales.

## Medición Instrumental del Color

El problema de reemplazar el ojo humano con un instrumento para la medición del color radica en que es un detector muy sensible a las diferencias cualitativas, esto significa que puede PENSAR, y se reemplazará con uno que no tiene esta marcada habilidad pero que por el contrario tiene una habilidad mejorada para medir de una forma cuantitativa. Para obtener números y su repetibilidad se debe sacrificar la habilidad del observador humano al ver una muestra en una fuente razonable de luz y mencionamos su tono, luminosidad, saturación y muchos otros aspectos de su apariencia.

Para un objeto dado y para un detector disponible, debemos variar la naturaleza de la luz para introducir la habilidad en el instrumento para reconocer las diferencias en el color. La naturaleza y cantidad de información que se derive de un instrumento de medición del color depende de la forma y amplitud a la cual se varía la luz que el instrumento use al visualizar la muestra. De este modo llegamos a una clasificación de técnicas instrumentales de medición de color por la forma en que la luz es tratada en el proceso de medición, la luz monocromática es la que se utiliza comunmente.

### El Espectrofotómetro.

La espectrofotometría, es la medición de las curvas de reflectancia espectral o curvas de transmitancia de materiales y tiene muchos usos además de la medición del color. Debemos describir la espectrometría únicamente en la región visible del espectro, que como vimos está entre 380 y 740 nm, al llevarse a cabo en instrumentos especialmente diseñados o adaptados para la medición del color.

**Fuente, Monocromador y Detector.** Los principales componentes de todos los espectrofotómetros son una fuente de radiación, algunos medios de aislamiento de luz monocromática, y un detector fotoeléctrico. En la mayor parte de los instrumentos analíticos y en algunos de los espectrofotómetros que miden el color, la luz blanca de la fuente, a menudo un bulbo de filamento de tungsteno, se esparce dentro de un espectro por medio de un prisma o una apertura de difracción. Se usa una apertura para seleccionar una pequeña porción del espectro para iluminar la muestra. Esta porción puede estar entre algunas décimas y 10 nm de ancho, dependiendo del instrumento. La amplitud de onda de la luz que pasa a través de la ranura se varía automáticamente, para cubrir el espectro visible completo. La radiación monocromática ilumina la muestra, y la luz que se refleja de ésta se recolecta y cae en el detector. Este modo de operación se conoce como una iluminación monocromática (ver. figura No. VI-1). Muchos otros instrumentos de medición del color, son contrarios a éste procedimiento, al utilizar una iluminación policromática. Aquí la luz completa de la fuente, generalmente una lámpara de filamento de tungsteno filtrada, o un arco de xenón, aún un tipo de simulación de luz de día, iluminan la muestra. La luz reflejada se pasa a través del monocromador y cae en el detector (ver figura No. VI-2).

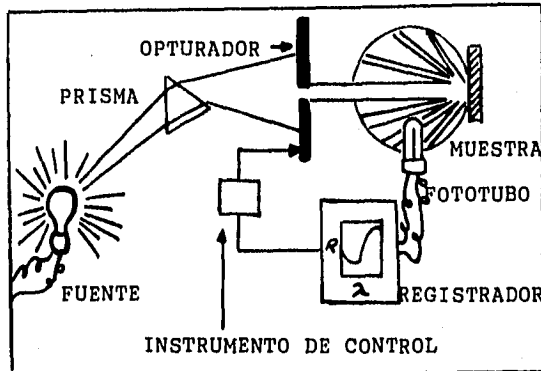


Fig. No. VI-1 ESPECTROFOTOMETRO CON ILUMINACION MONOCROMATICA

*En un proceso con iluminación monocromática la luz es dispersada y transformada a monocromática por medio de un opturador y la cual se emplea para iluminar la muestra. La reflectancia de la muestra, es registrada contra la longitud de onda de la luz para obtener la curva espectrofotométrica de la muestra (o reflectancia espectral).*

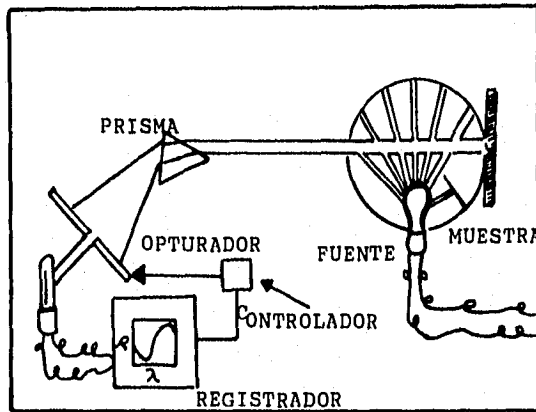


Fig. No. VI-2 ESPECTROFOTOMETRO CON ILUMINACION POLICROMATICA

*En un proceso con iluminación policromática la luz blanca (usualmente filtrada para similar luz de día) ilumina la muestra. La luz reflejada pasa através del monocromador y es detectada.*

**Cálculo de las Coordenadas de CIE.** De acuerdo a lo descrito en el capítulo III, los valores de CIE se obtienen a partir de datos espectrofotométricos multiplicándolos entre sí, longitud de onda por longitud de onda, la reflectancia espectral de la muestra, la potencia espectral relativa del iluminante y los valores triestímulos de los colores del espectro definidos para el observador estándar CIE.

Todos los espectrofotómetros producidos hoy en día para la medición del color vienen con un microprocesador digital conectado en interface con una computadora digital que está programada para almacenar los factores apropiados y valores triestímulos CIE computarizados y coordenadas de cromaticidad así como muchas otras cantidades derivadas de ellas.

Debe señalarse que excepto para materiales fluorescentes, la naturaleza de la distribución de la potencia espectral de la fuente en el espectrofotómetro es relativamente de poca importancia para la medición de la reflectancia (o transmitancia) o para el cálculo de los valores triestímulos. Todo lo que se requiere es que la fuente sea estable y emita suficiente potencia en cada longitud de onda en la región visible para permitir al instrumento funcionar de forma apropiada en la medición de la curva de reflectancia espectral, la curva es independiente de la naturaleza de la fuente del instrumento.

Una vez que se obtiene la curva, los valores triestímulos son calculados a partir de ella usando datos numéricos almacenados para este fin. Estos datos pueden ser para cualquier iluminante deseado.

**Estandarización y precisión de los equipos.** Los instrumentos modernos de medición del color en mediciones repetidas de la misma muestra, dan los mismos resultados con una alta precisión estadística. Ya no existe la inexactitud de mediciones como una parte importante del problema de la medición del color. Ningún instrumento para la medición del color puede dar resultados que sean más exactos que los procedimientos y materiales estándar con los cuales se hubiera calibrado. Cuando éstos son controlados cuidadosamente, el instrumento puede mantener su calibración mejor que muchos estándares de productos.

Los pasos importantes para la calibración de un espectrofotómetro, verificando el desempeño del sistema de medición y cálculo, requiere del uso regular de una variedad de materiales estándares. El primero de éstos pasos, la calibración, requiere de un procedimiento de prueba programado de forma regular para ajustes de la longitud de onda y las escalas de reflectancia con la finalidad de asegurar que el instrumento de trabajo esté operando apropiadamente. Los estándares de los materiales para este fin generalmente los proporcionan los fabricantes de los instrumentos.

Una parte de este procedimiento de calibración es el uso de un material blanco de referencia para ajustar la escala de reflectancia cerca de su punto del 100%. La CIE recomienda que el estándar principal de reflectancia sea un difusor de reflejo perfecto, que refleje el 100% de la energía que incide sobre él, con cantidades iguales de energía reflejada en todas las direcciones posibles. Este estándar primario es un ideal que nunca puede ser duplicado exactamente, aunque los laboratorios nacionales de estandarización (como es el caso del Comité Nacional de Estándares de los E.U.) han desarrollado medios de medición de la reflectancia difusa real de sustancias blancas en términos absolutos, tomando el estándar principal como un 100%. Estos materiales de los cuales el sulfato de bario blanco ( $BaSO_4$ ), compactado sobre una superficie suave, probablemente es el más común, se denominan estándares de transferencia debido a que pueden ser usados para "transferir" la escala de reflectancia absoluta a cualquier espectrofotómetro de reflectancia. Otros materiales más durables como es el caso de placas compactadas de determinados polímeros fluorinizados, platos de porcelana y esmalte, mosaicos de cerámica y vidrios de ópalo a menudo se calibran en términos del estándar de transferencia y después son usados como estándares de trabajo para la reflectancia. Los espectrofotómetros de medición de color más modernos pueden

almacenar los datos de calibración para un estándar de trabajo y computar las reflectancias absolutas de las muestras analizadas.

Desafortunadamente las diferencias en la construcción y en los programas de computación entre los diferentes espectrofotómetros disponibles para la medición del color, hace muy difícil su estandarización para lograr que los instrumentos de diferente marca y modelo den exactamente las mismas lecturas para muestras idénticas.

Los instrumentos más nuevos del mismo fabricante y del mismo modelo proporcionan una repetibilidad y reproducibilidad, y se ha puesto especial consideración al almacenaje de estándares numéricos contra los cuales se puedan hacer comparaciones, en lugar de emplear estándares físicos. Esta es una propuesta riesgosa, que requiere de un cuidado extremo en el mantenimiento y en la estandarización, que en raras ocasiones está disponible en una situación industrial. No se tienen datos que indiquen que la confiabilidad a largo plazo de los instrumentos sea adecuada para esta aplicación crítica. Es una mejor práctica medir la muestra y estandarizar en el mismo instrumento al mismo tiempo para asegurar que las diferencias entre ellas sean evaluadas correctamente.

## VI.2 PARAMETROS DE MEDICION DEL COLOR

Como se indicó en el capítulo III, gracias a los valores triestimulares básicos y las coordenadas de cromaticidad, se puede realizar un mapa del espacio de color CIE (conocido como el diagrama de cromaticidad CIE), que genera tanto una imagen visual como numérica de cualquier color dado (fig. No. VI-3). Es evidente del diagrama que cada color no está representado uniformemente. Se encontraron inconsistencias cuando se usó este sistema de coordenadas para referirse a diferencias de colores entre objetos que estaban muy cercanos en color. Una unidad de diferencia de color en el azul no era igual a una unidad de diferencia de color verde o el rojo. Para alcanzar esta uniformidad en el espacio de color (de modo que una unidad de diferencia en verde, por ejemplo, fuera la misma que una unidad de diferencia en cualquier área del color), se realizó otro modelo matemático. Se aplicaron fórmulas a los valores triestimulares para poder situar el sistema de coordenadas en forma más cúbica, conocida como el espacio de color CIE L\*a\*b\*.

Los valores calculados representan una descripción tridimensional de cualquier color a través del espacio de color. El valor L\* representa la cantidad de claridad u oscuridad presentada en el color. El valor a\* corresponde a la posición del color dentro de la coordenada rojo-verde y el valor b\* es su posición en la coordenada amarillo-azul (Fig. No. VI-4).

La mayor ventaja de este espacio de color uniforme es en la evaluación de diferencias de color cuando los colores son muy semejantes. Ahora una unidad de diferencia del color en la región verde es semejante a una unidad de diferencia en el rojo o azul. Cuando el color de una muestra es comparada con los colores de un estándar, las diferencias pueden ser calculadas empleando los valores L\*, a\* y b\* del estándar y de la muestra. Una diferencia de color ( $\Delta E$ ) se obtiene calculando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferencias de L\*, a\* y b\* :

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

Aunque el espacio de color CIE L\*a\*b\* fue un gran adelanto en determinar las diferencia de color, se encontró que en algunas áreas de medición del color existían algunas diferencias. Debido a que el sistema L\*a\*b\* es de coordenadas rectangulares y la percepción de color visual es elíptica, existían áreas que resultaban en error cuando se fijaban las tolerancias con respecto a la diferencia de color visualmente aceptable.

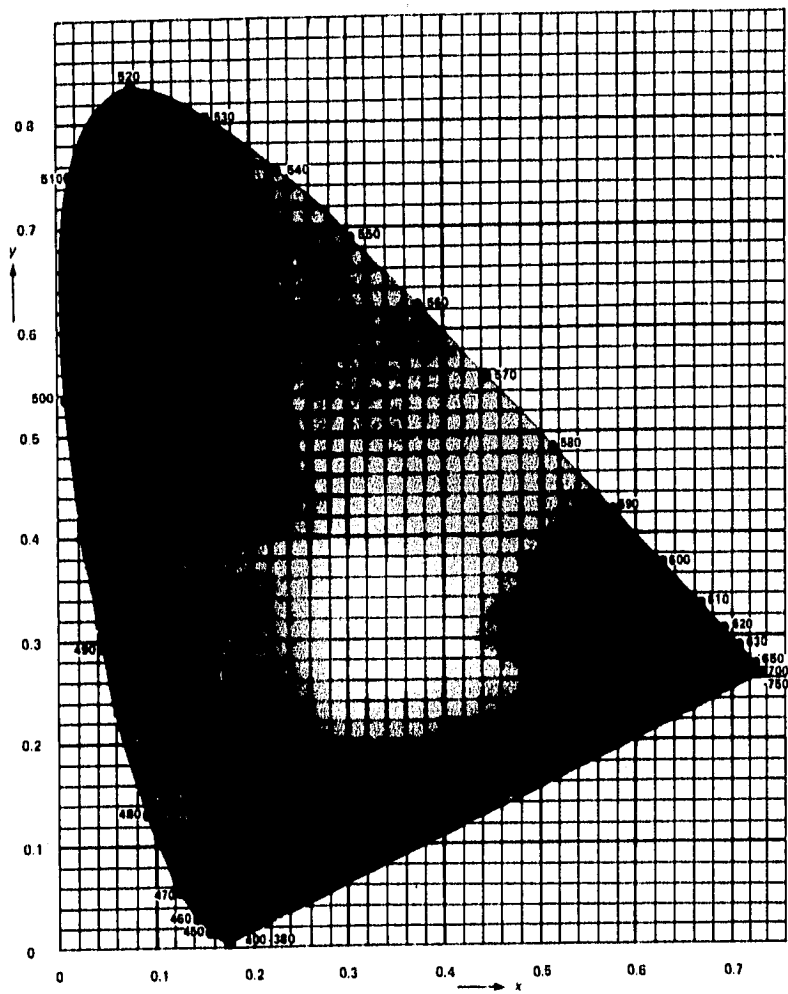


Fig. No.VI-3 DIAGRAMA DE CROMATICIDAD CIE-(x,y) 1931

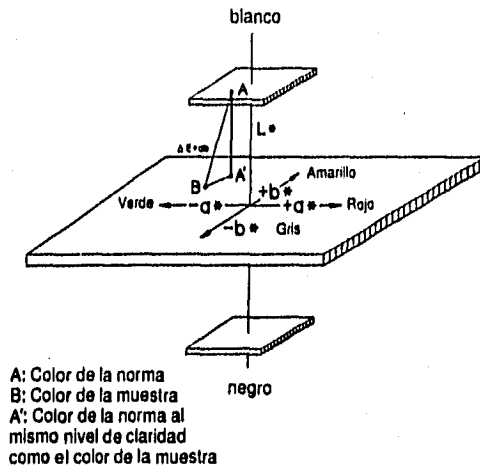


Fig. No.VI-4 COORDENADAS DE COLOR  $L^* a^* b^*$

El sistema  $L^*a^*b^*$  se revisó y se convirtió en un sistema de coordenadas polares que redondeaba las esquinas y transformaba el sistema cúbico en un sistema cilíndrico. Este sistema relativamente nuevo y aceptado actualmente fue conocido como el espacio de color CIE LCH. Este espacio de color polar correlaciona mejor con las respuestas elípticas del ojo. Como resultado, hay menos errores de tolerancia en las diferencias de color cuando se usa el sistema LCH como se muestra en la Fig. No. VI-5.

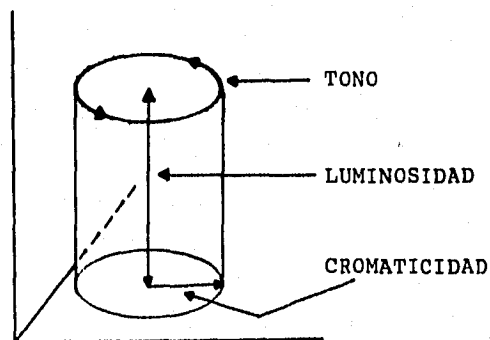
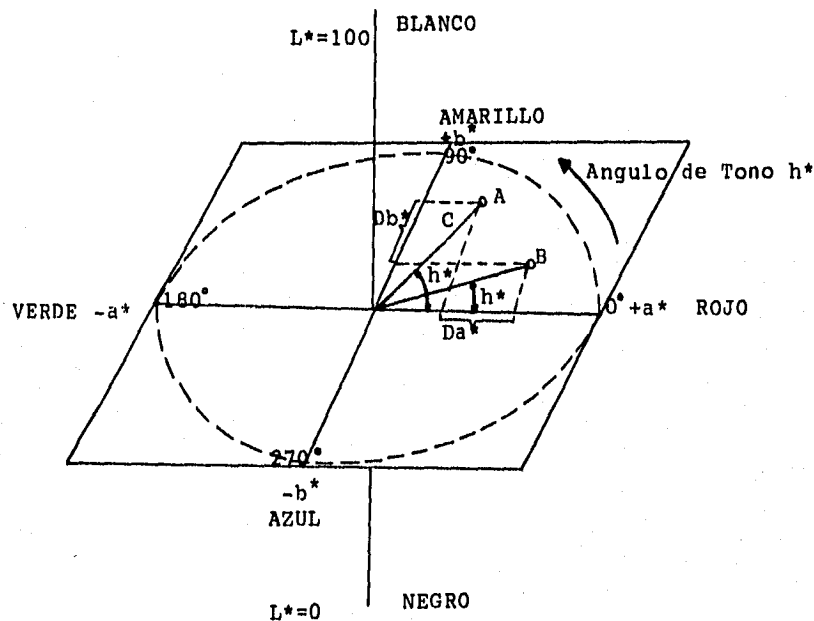


Fig. No. VI-5 REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL SISTEMA LCH



El valor  $L^*$  es nuevamente la claridad u oscuridad de un color (o nivel de grises) y representa un plano particular en el espacio de color en el cual el color reside. Tono H, "hue" se refiere al nombre del color, tal como rojo, azul, verde, amarillo, violeta, etcétera. Cromo C, se refiere a la pureza o la saturación de un color (por ejemplo, la cantidad de rojo que tiene un rojo o la cantidad de azul que tiene un azul, etcétera). Para observar estos valores podemos hacer referencia a la Figura VI-6 que muestra dos colores (A y B) en el espacio de color.



**Fig. No. VI-6 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA DIFERENCIA ENTRE DOS TONOS (HUE) A Y B**

Los ángulos formados desde la coordenada  $a^+$  a los sectores que van a los puntos A y B son conocidos como el tono ( $h^*$ ). La diferencia entre los dos ángulos de color A y B es la diferencia de sus tonos. Si los colores A y B están sobre el mismo vector y el ángulo es el mismo, entonces tendrían el mismo tono. El concepto de tono por ángulo no es usado por la mayoría de los análisis de diferencia de color porque es difícil determinar qué es el significado de la diferencia de tono de los colores en grados para transferirlo a los términos visuales, sin embargo el valor puntual de hue (en grados) es importante debido a que nos ubica en el círculo cromático y nos permite identificar rápidamente de que tono se está hablando (ver Figura VI-7).

La saturación o croma  $C^*$ , se calcula como la longitud del vector desde el origen hasta el punto del color en el espacio. La diferencia  $C^*$ , entonces es la diferencia de la longitud de los vectores respectivos. Un  $C^*$  positivo indica que la muestra es más saturada que el estándar y un  $C^*$  negativo significa que es menos saturado.

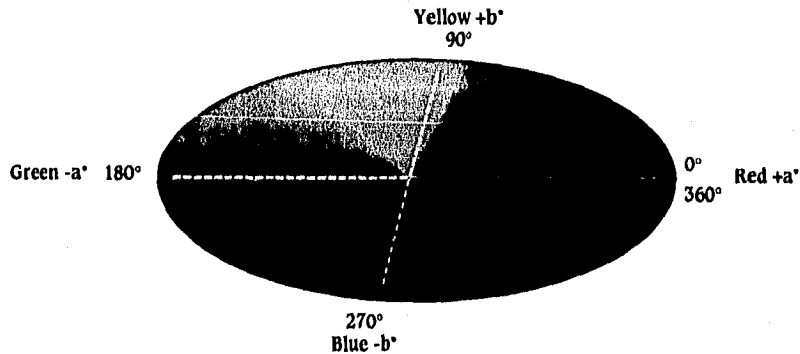


Figura No.VI-7 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE HUE (TONO) EN FUNCION DE SUS ANGULOS

<i>Rojo</i>	341° - 38°	<i>Verde</i>	123° - 186°
<i>Naranja</i>	38° - 71°	<i>Azul</i>	186° - 283°
<i>Amarillo</i>	71° - 123°	<i>Violeta</i>	283° - 341°

Basicamente el sistema CIE  $L^*a^*b^*$  ó CIELAB compara una muestra contra un estándar y hace una determinación numérica basada en la diferencia de color percibida. En otras palabras este color es dado por un valor y graficado en una carta.

En la tabla No.VI-1 se resumen los Parámetros de Medición del Color del sistema CIELAB.

**Tabla No.VI-1 PARAMETROS DE MEDICION DEL COLOR DEL SISTEMA CIELAB**

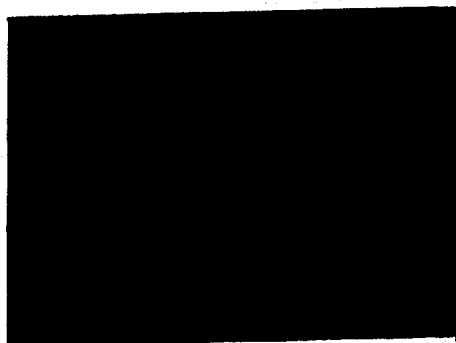
<u>Parámetro</u>	<u>Descripción</u>
L*	Luminosidad / oscuridad (0= Negro ; 100=Blanco)
a*	Tono Rojo, si el valor es positivo Tono Verde, si el valor es negativo
b*	Tono Amarillo, si el valor es positivo Tono Azul, si el valor es negativo
DL*	Más claro que el STD si el valor es positivo Más oscuro que el STD si el valor es negativo
Da*	Más rojo que el STD si el valor es positivo Más verde que el STD si el valor es negativo
Db*	Más amarillo que el STD si el valor es positivo Más Azul que el STD si el valor es negativo
DC*	Más Cromático, saturado ó intenso que el STD si el valor es positivo Menos Cromático, saturado ó intenso que el - STD si el valor es negativo

*NOTA: Para todos los cálculos de delta, el valor del estándar (STD) es restado del Valor de la muestra. Ejemplo  $DL^* = L^* \text{ Muestra} - L^* \text{ Estandar}$*

En la figura No. VI-8 se presenta la impresión de dos tintas azules, visualmente similares en tono, elaboradas a nivel laboratorio y de las cuales se tomaron lecturas en una Computadora de Color (Applied Color Systems de Datacolor International)

Los resultados de esta medición se presentan en la Tabla VI-2 para tres diferentes tipos de iluminantes : 1) D65= Luz de día, 2) A= Luz incandescente (luz amarillia de filamentos de tungsteno), 3) CWF= Luz fluorescente fría (Lámparas de neón). En los tres casos el ángulo del observador es a 10 grados.

Fig. No. VI-8 IMPRESION DE DOS TINTAS AZULES ELABORADAS A NIVEL LABORATORIO



ESTANDAR

MUESTRA

TABLA VI-2 RESULTADOS DE LA MEDICION INSTRUMENTAL DEL COLOR

----- CIELAB Diferencia -----		28-MAR-95 11:14:31 Area Peque/Espe Incl d/8 1) D65 /10 deg 2) A /10 deg 3) CWF /10 deg					
	Ilu/Obs	L*	a*	b*	C*	h	
AZUL STD. TESIS	1	52.33	-27.04	-42.30	50.20	237.42	
	2	44.31	-39.51	-57.36	69.65	235.44	
	3	44.34	-17.24	-54.51	57.17	252.45	
AZUL MTR. TESIS	1	50.20	-22.36	-43.37	48.80	242.72	
	2	42.50	-34.66	-57.74	67.35	239.02	
	3	42.58	-13.38	-54.99	56.60	256.32	
		DE*	DL*	Da*	Db*	DC*	DH*
	1	5.25	-2.13	4.67	-1.08	-1.40	4.58
	2	5.19	-1.82	4.85	-0.39	-2.30	4.29
	3	4.27	-1.77	3.86	-0.49	-0.57	3.85

### VI.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MEDICION DE UN COLOR CONTRA UN ESTANDAR EMPLEANDO EL SISTEMA CIELAB

Para el control de color en la Producción de Tintas y de Polímeros Pigmentados ABS, se requieren las siguientes condiciones generales:

a) Realizar un arrastre impreso en el sustrato específico (ejemplo: papel, polietileno, poliester, celofán, polipropileno etc.) tanto de las tintas standar como de la muestra a evaluar, empleando un Equipo de Laboratorio que reproduzca el sistema de impresión en el cual va a ser empleada la tinta.

b) Partiendo de que se tienen fichas estandar aprobadas por los diferentes clientes, el área de producción envía una muestra de aproximadamente 3 kg., se procede a purgar la inyectora e inyectar 7 fichas, tomándose normalmente la ficha intermedia, para su evaluación contra el estandar.

En ambos casos no obstante de que estamos hablando de dos sistemas productivos diferentes se debe de tener un estandar de referencia para comparar contra la muestra de producción que se desea evaluar.

A continuación se realiza el análisis de los parámetros  $L^*$   $a^*$   $b^*$   $c^*$  y  $h$  para el primer iluminante ( D85/10 grados ). Resumiendo previamente el significado de cada uno de los parámetros.

#### PARAMETRO $L^*$

La luminosidad de una muestra es representada por el símbolo " $L^*$ " y su valor se basa en el porcentaje de luz reflejada. Como ejemplo consideremos una muestra gris la cual no tiene tono. Si el valor de  $L^*$  es cero, la muestra es negra, si el valor es 100, la muestra es blanca. Cualquier muestra sin tono que se encuentre entre 0-100% de reflectancia será una variación de gris. Si el valor es cercano a 0% será un gris oscuro y si es cercano a 100% será un gris claro.

#### PARAMETRO $DL^*$

La Delta  $L^*$  determina la luminosidad / oscuridad de una muestra respecto a un estándar, se obtiene por la diferencia de  $L^*$  de la muestra menos  $L^*$  del estándar. Si el resultado es positivo la muestra será mas clara que el estandar, si es negativo la muestra será mas oscura que el estandar.

En los resultados de la Tabla No.VI-2,  $DL^* = 50.20 - 52.33 = - 2.13$ , lo cual significa que la muestra es 2.13 unidades CIELAB mas oscura que el estandar.

#### PARAMETRO a\*

El valor de a\* se refiere a la tonalidad rojo / verde. Esto no necesariamente significa que el color de la muestra sea rojo ó verde, sino que puede tener una tonalidad rojiza o verdoza. Si el valor de a\* es positivo la muestra tendrá una tonalidad rojiza, si el valor es negativa entonces tendrá una tonalidad verdoza.

#### PARAMETRO Da\*

La Delta a\* determina la tonalidad rojiza o verdoza de una muestra respecto a un estándar. En los resultados de la Tabla No.VI-2 :  $Da^* = (-22.33) - (-27.04) = 4.68$ , lo cual significa que la muestra tiene una tonalidad mas rojiza respecto del estándar.

#### PARAMETRO b\*

El valor de b\* se refiere a la tonalidad amarillo / azul. Esto no necesariamente significa que el color de la muestra sea amarillo ó azul, sino que puede tener una tonalidad amarillenta ó azulosa. Si el valor de b\* es positivo la muestra tendrá una tonalidad amarillenta, si el valor es negativo entonces tendrá una tonalidad azulosa.

#### PARAMETRO Db\*

La Delta b\* determina la tonalidad amarillenta o azulosa de una muestra respecto a un estándar. En los resultados de la tabla No.VI-2 :  $Db^* = (-43.37) - (-42.30) = -1.07$ , lo cual significa que la muestra es más azulosa respecto al estándar. Si el resultado hubiera sido positivo nos indicaría que la muestra sería más amarillenta respecto al estándar.

#### PARAMETRO C\*

El valor C\* se refiere a la Cromaticidad, Saturación ó Intensidad de un color y es un vector localizado en un plano iniciando desde el centro de la gráfica de color. De nuevo si nosotros consideramos una muestra gris sin tono entonces su cromaticidad aparecería en el centro de la gráfica de color con un valor de cero, pero esto no significa que todos los grises tengan un valor de  $C^*=0$  debido a que existen muchas tonalidades de grises y éstas tonalidades pueden a su vez tener diferentes grados de Cromaticidad.

Es importante observar que:

- 1) El valor de C\* de un color se incrementa desde el centro hasta los extremos del plano +a, +b, -a, -b y perpendicular al eje L\*.
- 2) El valor de C\* nunca puede ser un número negativo.

#### PARAMETRO DC\*

La Delta C\* determina la Cromaticidad, Saturación ó intensidad de una muestra respecto a un estándar. A diferencia de C\* si puede tener un valor negativo, el cual nos indicará que se trata de una muestra con menor cromaticidad que el estándar, éste es el caso para los resultados de la tabla No.VI-2 :  $DC^* = 48.80 - 50.20 = -1.40$ .

#### PARAMETRO h

El valor de h representa el tono de los colores que son percibidos por el ojo humano y se puede identificar como naranja, amarillo, beige, café, rosa o cualquier otro color visible a las personas. CIELAB mide el valor del tono en términos de grados geométricos como se muestra en la tabla No.VI-2 y en la Fig. No.VI-7 por lo tanto nunca puede ser un número negativo. Debido a que la cromaticidad (C\*) es dependiente del tono, el valor de C\* no puede ser determinado si previamente h no ha sido localizado en el perímetro del círculo.

#### PARAMETRO DH\*

La Delta H indicará la tonalidad de una muestra respecto al estandar ubicandola en el círculo de la Fig. No.VI-7.

En los resultados de la tabla No.VI-2 :  $DH^* = 242.72 - 237.42 = 5.26$ . Un valor de h comprendido entre estos valores nos indica que se trata de un color azul, el  $DH^*$  indicará la tonalidad con respecto al estandar, si el valor de  $DH^*$  es negativo indicaría que la muestra es mas verdeza que el estandar, si  $DH^*$  da un número positivo la muestra es más rojiza.

#### PARAMETRO DE\*

Este es el parametro comunmente empleado para determinar la aprobación o rechazo de un color. El sistema CIELAB usa el calculo de  $DE^*$  como un número de referencia para establecer tolerancias. Desafortunadamente muchos departamentos de calidad tienen la tendencia errónea de aceptar este valor sin considerar los otros parametros del color como son : Luminosidad, Cromaticidad, y Tono.

El cálculo de  $DE^*$  esta determinado por la siguiente formula:

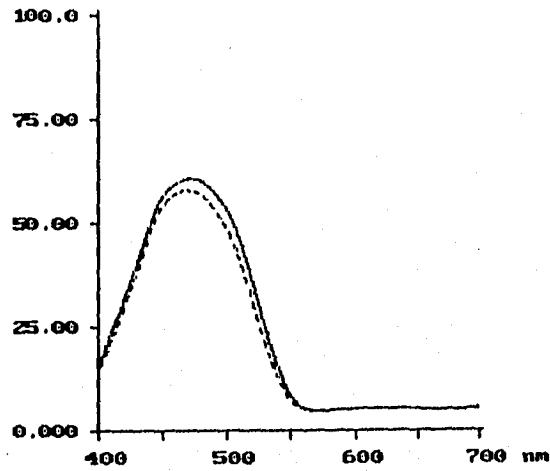
$$DE = \{ (DL^*)^2 + (Da^*)^2 + (Db^*)^2 \}^{1/2}$$

dado que se le esta asignando igual peso a los tres parámetros de la muestra ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) la  $DE^*$  viene a ser muy arbitraria. Por ejemplo si :  $DL = -1.00$ ,  $Da = 0.00$ ,  $Db = 0.00$  entonces  $DE$  sería igual a 1.00 . Si por otro lado evaluamos otra muestra con :  $DL=1.00$ ,  $Da=0.00$  y  $Db=0.00$  entonces  $DE$  continuará siendo 1.00 . Para ambas muestras, no obstante que una es más oscura y la otra más clara con la misma magnitud numérica el valor obtenido de  $DE^*$  no refleja esta diferencia, la cual no sería tolerable al evaluar visualmente 2 colores.

Consecuentemente, el resultado del cálculo de  $DE^*$  nunca debe de ser un parámetro único de aceptación, rechazo o de caracterización entre dos colores, siempre se deberán de tomar en cuenta los otros parámetros del color para una evaluación completa.

La curva espectrofotométrica y la representación gráfica de la diferencia de Color CIELAB  $L^* a^* b^*$  de la dos tintas azules analizadas se presentan en la Figura VI-9

%R vs L.O.



CIELAB  
D65 /10 deg  
Area Peque/Espe Incl

AZUL STD. TESIS  
AZUL MTR. TESIS

	Ptn	Lote
L*	52.33	50.20
a*	-27.04	-22.36
b*	-42.30	-43.37
C*	50.20	48.80
h	237.42	242.72
DL*	-2.13	
Da*	4.67	
Db*	-1.08	
DC*	-1.40	
DM*	4.58	
DE*	5.25	

Lote es  
2.13 OSCURO  
4.58 MAS ROJO  
1.40 MENOS SATURADO

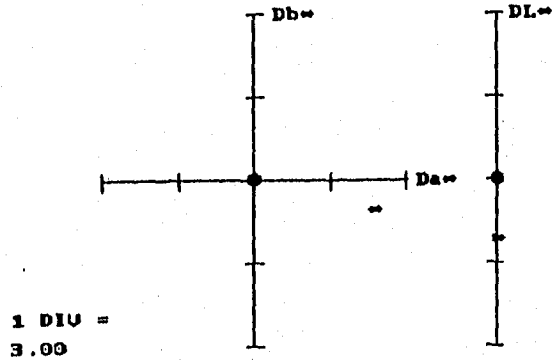


Fig. No. VI-9 CURVA ESPECTROFOTOMETRICA Y DIFERENCIA DE COLOR  
CIELAB L\* a\* b\*



#### VI.4 ENFOQUE ACTUAL DE LA MEDICION DEL COLOR

La tarea de desarrollar un modelo de Color perfecto, nunca se termina. Actualmente se esta promoviendo un enfoque basado en un Sistema denominado CMC.

CMC es definido por un juego de ecuaciones de diferencias de Color. El desarrollo de CMC se basó en un amplio estudio de la aceptabilidad visual de las diferencias de color en todas las regiones del espacio de Color.

Las ecuaciones CMC utilizan los valores CIELAB  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  de un color estándar para determinar las longitudes de los semiejes de un elipsoide que contiene todos los colores que serán visualmente aceptables cuando se comparan contra el estándar. Los tres semi-ejes del elipsoide de aceptabilidad son definidos en las direcciones  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$ .

La clave para utilidad de CMC es que los elipsoides de aceptabilidad varían en tamaño y forma dependiendo del área del espacio de Color en el cual cae el estándar. Las ecuaciones CMC permiten que el espacio de Color CIELAB, visualmente no uniforme sea diferencialmente subdividido en elipsoides visualmente uniformes para cada punto en el espacio de color.

Los valores de diferencia de color CMC fueron desarrollados para estar acordes con la percepción visual de la diferencia de color para todos los colores. El uso de CMC permite que las muestras sean estudiadas contra un estándar o controladas con el mismo número de tolerancia para todos los colores.

La diferencia de Color total CMC y los valores de diferencia de Color de cada componente son más Indicativos de las diferencias de Color visual CIELAB. CMC permite seleccionar la importancia relativa de las diferencias en Luminosidad en los calculos de la diferencia de Color y también permite seleccionar las tolerancias de aceptabilidad para materiales individuales y aplicaciones.

El uso de CMC está creciendo a través del mundo para los estudios de diferencia de Color en una gran variedad de Industrias y esta ganando un amplio reconocimiento como la mejor ecuación de diferencia de Color disponible actualmente.

#### Relación Luminosidad a Cromaticidad

Cuando se usa la diferencia de Color CMC, es necesario decidir si la relación de Luminosidad a Cromaticidad es aceptable para cada aplicación particular. CMC permite cambiar la relación de Luminosidad a Cromaticidad (l:c). La relación de Cromaticidad a Tono es fijada por los cálculos CMC.

Una relación 1:1 de Luminosidad a Cromaticidad es recomendada para el estudio de perceptibilidad de diferencia de Color.

Una relación 2:1 de Luminosidad a Cromaticidad es recomendada para el estudio de aceptabilidad de diferencia de color, ya que a menudo podemos tolerar mayores diferencias en Luminosidad que diferencias en Cromaticidad y Tono.

El valor seleccionado para la relación, es usado en los cálculos CMC para ajustar la importancia de la Luminosidad en los valores resultantes de diferencia de color. Cuando se reportan datos CMC, es siempre necesario indicar la relación l:c que está siendo usada.

---

---

## ***CONCLUSIONES***

---

---

## CONCLUSIONES

Durante las tres últimas décadas, no obstante que el desarrollo teórico y técnico en los diferentes campos relacionados con el Color y su medición ha sido notable, es un hecho que la combinación del ojo y el cerebro humano es un detector perfecto no superable. Sin embargo, a lo largo de nuestra experiencia profesional hemos constatado que la comprensión de los conceptos teóricos expuestos en la presente Tesis, conjuntamente con los Instrumentos de medición actuales, constituyen un mecanismo valioso para la unificación de criterios entre las personas de las diferentes áreas de una Industria cuando se evalúa un Color estándar contra una muestra para aceptar o rechazar un producto.

Actualmente un error común en la gran mayoría de las Industrias consiste en rechazar un material basándose en la medición instrumental del parámetro  $\Delta E$ , a pesar de que visualmente éste es aceptable. Nosotros hemos puesto en práctica con buenos resultados, el hacer mediciones de Color por un período determinado, seleccionando muestras de la producción en donde se observen todas las posibles variaciones que se pueden esperar de un proceso y ponerse de acuerdo con el Cliente cual será el rango del Color aceptable visualmente y que parámetros de medición del Color ( $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta L$ ) serán los determinantes para fijar límites de aceptabilidad, quedando  $\Delta E$  como un parámetro de referencia.

Asimismo debe considerarse que todas las mediciones están sujetas a errores instrumentales y se debe tener cuidado de que los instrumentos usados estén operando apropiadamente empleando estándares de calibración en los equipos.

---

---

***APENDICE A***

---

---

**Tabla A-1 ENERGÍAS ESPECTRALES RELATIVAS DE LOS ILUMINANTES PATRONES  
CIE (1931)**

$\lambda$ (nm)	$E_{a, \lambda}$	$E_{b, \lambda}$	$E_{c, \lambda}$	$\lambda$ (nm)	$E_{a, \lambda}$	$E_{b, \lambda}$	$E_{c, \lambda}$
380	9,79	22,40	33,00	590	121,73	99,20	93,20
390	12,09	31,30	47,40	600	129,04	98,00	89,70
400	14,71	41,30	63,30	610	136,34	98,50	88,40
410	17,68	52,10	80,60	620	143,62	99,70	88,10
420	21,00	63,20	98,10	630	150,83	101,00	88,00
430	24,67	73,10	112,40	640	157,98	102,20	87,80
440	28,70	80,80	121,50	650	165,03	103,90	88,20
450	33,09	85,40	124,00	660	171,96	105,00	87,90
460	37,82	88,30	123,10	670	178,77	104,90	86,30
470	42,87	92,00	123,80	680	185,43	103,90	84,00
480	48,25	95,20	123,90	690	191,93	101,60	80,20
490	53,91	96,50	120,70	700	198,26	99,10	76,30
500	59,86	94,20	112,10	710	204,41	96,20	72,40
510	66,06	90,70	102,30	720	210,36	92,90	68,30
520	72,50	89,50	96,90	730	216,12	89,40	64,40
530	79,13	92,20	98,00	740	221,66	86,90	61,50
540	85,95	96,90	102,10	750	227,00	85,20	59,20
550	92,91	101,00	105,20	760	232,11	84,70	58,10
560	100,00	102,80	105,30	770	237,01	85,40	58,20
570	107,18	102,60	102,30	780	241,67	87,00	59,10
580	114,14	101,00	97,80				

Tabla A-2 FUNCIONES x, y, z DE LA IGUALACION DE COLOR CIE DEL OBSERVADOR  
ESTANDAR CIE A 2 GRADOS 1931.

Wavelength (nm)	x	y	z	Wavelength (nm)	x	y	z
380	0.0014	0.0000	0.0065	580	0.9163	0.8700	0.0017
385	0.0022	0.0001	0.0105	585	0.9786	0.8163	0.0014
390	0.0042	0.0001	0.0201	590	1.0263	0.7570	0.0011
395	0.0076	0.0002	0.0362	595	1.0567	0.6949	0.0010
400	0.0143	0.0004	0.0679	600	1.0622	0.6310	0.0008
405	0.0232	0.0006	0.1102	605	1.0456	0.5668	0.0006
410	0.0435	0.0012	0.2074	610	1.0026	0.5030	0.0003
415	0.0776	0.0022	0.3713	615	0.9304	0.4412	0.0002
420	0.1344	0.0040	0.6456	620	0.8544	0.3810	0.0002
425	0.2148	0.0073	1.0391	625	0.7514	0.3210	0.0001
430	0.2839	0.0116	1.3856	630	0.6424	0.2650	0.0000
435	0.3285	0.0168	1.6230	635	0.5419	0.2170	0.0000
440	0.3483	0.0230	1.7471	640	0.4479	0.1750	0.0000
445	0.3481	0.0298	1.7826	645	0.3608	0.1382	0.0000
450	0.3362	0.0380	1.7721	650	0.2835	0.1070	0.0000
455	0.3187	0.0480	1.7441	655	0.2187	0.0816	0.0000
460	0.2908	0.0600	1.6692	660	0.1649	0.0610	0.0000
465	0.2311	0.0739	1.5281	665	0.1212	0.0446	0.0000
470	0.1954	0.0910	1.2876	670	0.0874	0.0320	0.0000
475	0.1421	0.1126	1.0419	675	0.0636	0.0232	0.0000
480	0.0956	0.1390	0.8130	680	0.0468	0.0170	0.0000
485	0.0580	0.1693	0.6162	685	0.0329	0.0119	0.0000
490	0.0320	0.2080	0.4652	690	0.0227	0.0082	0.0000
495	0.0147	0.2586	0.3333	695	0.0158	0.0057	0.0000
500	0.0049	0.3230	0.2720	700	0.0114	0.0041	0.0000
505	0.0024	0.4073	0.2123	705	0.0081	0.0029	0.0000
510	0.0093	0.5030	0.1582	710	0.0058	0.0021	0.0000
515	0.0291	0.6082	0.1117	715	0.0041	0.0015	0.0000
520	0.0633	0.7100	0.0782	720	0.0029	0.0010	0.0000
525	0.1096	0.7932	0.0573	725	0.0020	0.0007	0.0000
530	0.1655	0.8620	0.0422	730	0.0014	0.0005	0.0000
535	0.2257	0.9149	0.0298	735	0.0010	0.0004	0.0000
540	0.2904	0.9540	0.0203	740	0.0007	0.0002	0.0000
545	0.3597	0.9803	0.0134	745	0.0005	0.0002	0.0000
550	0.4334	0.9950	0.0087	750	0.0003	0.0001	0.0000
555	0.5121	1.0000	0.0057	755	0.0002	0.0001	0.0000
560	0.5945	0.9950	0.0039	760	0.0002	0.0001	0.0000
565	0.6784	0.9786	0.0027	765	0.0001	0.0000	0.0000
570	0.7621	0.9520	0.0021	770	0.0001	0.0000	0.0000
575	0.8425	0.9154	0.0018	775	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla A-3 FUNCIONES  $x_{10}$ ,  $y_{10}$ ,  $z_{10}$  DE IGUALACIONES DE COLOR PARA EL OBSERVADOR ESTANEOAR SUPLEMENTARIO A 10 GRADOS CIE 1964

Wavelength (nm)	$x_{10}$	$y_{10}$	$z_{10}$	Wavelength (nm)	$x_{10}$	$y_{10}$	$z_{10}$
380	0.0002	0.0000	0.0007	580	1.0142	0.8689	0.0000
385	0.0007	0.0001	0.0029	585	1.0743	0.8256	0.0000
390	0.0024	0.0003	0.0105	590	1.1185	0.7774	0.0000
395	0.0072	0.0008	0.0323	595	1.1343	0.7204	0.0000
400	0.0191	0.0020	0.0860	600	1.1240	0.6583	0.0000
405	0.0434	0.0045	0.1971	605	1.0891	0.5939	0.0000
410	0.0847	0.0088	0.3894	610	1.0305	0.5280	0.0000
415	0.1406	0.0145	0.6568	615	0.9507	0.4618	0.0000
420	0.2045	0.0214	0.9725	620	0.8563	0.3981	0.0000
425	0.2647	0.0295	1.2825	625	0.7549	0.3396	0.0000
430	0.3147	0.0387	1.5535	630	0.6475	0.2835	0.0000
435	0.3577	0.0496	1.7985	635	0.5351	0.2283	0.0000
440	0.3837	0.0621	1.9673	640	0.4316	0.1798	0.0000
445	0.3867	0.0747	2.0273	645	0.3437	0.1402	0.0000
450	0.3707	0.0895	1.9948	650	0.2683	0.1076	0.0000
455	0.3430	0.1063	1.9007	655	0.2043	0.0812	0.0000
460	0.3023	0.1282	1.7454	660	0.1526	0.0603	0.0000
465	0.2541	0.1528	1.5549	665	0.1122	0.0441	0.0000
470	0.1956	0.1852	1.3176	670	0.0813	0.0318	0.0000
475	0.1323	0.2199	1.0302	675	0.0579	0.0226	0.0000
480	0.0805	0.2536	0.7721	680	0.0409	0.0159	0.0000
485	0.0411	0.2977	0.5701	685	0.0286	0.0111	0.0000
490	0.0162	0.3391	0.4153	690	0.0199	0.0077	0.0000
495	0.0051	0.3954	0.3024	695	0.0138	0.0054	0.0000
500	0.0038	0.4608	0.2185	700	0.0096	0.0037	0.0000
505	0.0154	0.5314	0.1592	705	0.0066	0.0026	0.0000
510	0.0375	0.6067	0.1120	710	0.0046	0.0018	0.0000
515	0.0714	0.6857	0.0822	715	0.0031	0.0012	0.0000
520	0.1177	0.7618	0.0607	720	0.0022	0.0008	0.0000
525	0.1730	0.8233	0.0431	725	0.0015	0.0006	0.0000
530	0.2365	0.8752	0.0305	730	0.0010	0.0004	0.0000
535	0.3042	0.9238	0.0206	735	0.0007	0.0003	0.0000
540	0.3768	0.9620	0.0137	740	0.0005	0.0002	0.0000
545	0.4516	0.9822	0.0079	745	0.0004	0.0001	0.0000
550	0.5298	0.9918	0.0040	750	0.0003	0.0001	0.0000
555	0.6161	0.9991	0.0011	755	0.0002	0.0001	0.0000
560	0.7052	0.9973	0.0000	760	0.0001	0.0000	0.0000
565	0.7938	0.9824	0.0000	765	0.0001	0.0000	0.0000
570	0.8787	0.9556	0.0000	770	0.0001	0.0000	0.0000
575	0.9512	0.9152	0.0000	775	0.0000	0.0000	0.0000

---

---

***BIBLIOGRAFIA***

---

---



## BIBLIOGRAFIA

Bassemir, Robert W. The Interpretation of Spectral Color Curves. ACS Datacolor International. January 1988. 4 pp.

Billmeyer, F. W. and Saltzman, M. Principles of Color Technology. 2nd. Edition, John Wiley and Sons. New York 1981. 240 pp.

Blanco, Frank Jr. Four Color Process Inks. Screen Printing. April 1991. p 74-77.

Boesch, Ueli and Williams, Charles. Sistemas de Medición y Control: Piedra Angular Para La Calidad Del Color. Tecnología Flexográfica Para Impresores y Convertidores FLEXO. Vol. 9 No. 2 1994. p 13-18 .

Castillo, Gregory. Introduction to Color Theory. INX International Ink Company. Mayo 1985. 12 pp.

Coudray, Mark. Densitometers on Textiles: The Key to Controlling Process Color. Screen Printing. January 1994. p 54-59.

Fellmann, H. R. Medición del Color Como Base Para Asegurar Una Calidad Precisa Del Color. Color World, ACS Datacolor International. Edición 1, 1994. p 6-7.

Field, Gary G. Color and Its Reproduction. Graphic Arts Technical Foundation. c.1988. 379 pp.

Flexographic Technical Association Inc. Flexography Principles and Practices. Foundation of F.T.A. New York c. 1970. 2nd. Edition 460 pp.

Foster, Robert S. Weights for Calculation of Tristimulus Values From Sixteen Reflectance Values. Color Eng. 8, No. 3. 1970. p 35-47.

Galloway, Kim. Color Customer Support Bulletin: Transmission, Absorption, and Scattering of Light. ACS Datacolor International. 1991, 8 pp.

Gabel, Peter. A Comparison of Different Colorimeters. European Coatings Journal. No. 6, 1992. p 356-363.

Gravure Association of America. Gravure Process and Technology. Arcata Graphics Company. c. 1991. 580 pp.

Harvey, Brian. Computerised Colour Matching. European Coatings Journal. No. 12, 1990. p 718-719.

Hunter, Richard S. The Measurement of Appearance. Jhon Wiley and Sons. New York, 1975. 190 pp.

Kober, Bill. Turning Color Into Numbers. Screen Printing Network. August, 1991. p\_82-85.

Lighting Busines Group. General Electric. New York, February 1978. 32 pp.

Loging, Robert L. Computerized Colorant Formulation. Reprinted from September 1990 issue of Quality Hitchcock Publishing Company by ACS Datacolor International. 5 pp.

Lozano, Roberto Daniel. El Color y su Medición con una Introducción a la Optica Fisiológica y al Estudio de la Visión. Editorial Americalee S.R.L. Marzo 1978. 640 pp.

Mac Adam, David L. Maximum Visual Efficiency of Colored Materials. Journal Opt. Soc. Am. No. 25, 1935. p 361-367.

Martín, Antonio. Color en la Industria. ACS Datacolor International. Noviembre, 1993, 6\_ p.

Nelson, Peder. An Overview of Color Control Instruments. Screen Printing. May, 1991. p 122-124.

Patton, Temple C. Characterization and Physical Relationships. Pigment Handbook, Volume III. Jhon Wiley and Sons. New York, 1973. 503 pp.

Russell, W. N. Computerised Colour Matching. Flexo Word Magazine. August, 1978. p 13-14.

Shubart, Helmut. Memorias de Seminario de Tecnología del Color en la Industria. Universidad de Santiago de Chile. Applied Color Systems, Inc. Octubre 1985. 22 pp.

Sierra, Carmen. Composición de las Tintas Base Solvente. Screen Printing. Junio/Julio 1994. p 80-83.

Simons, Jeffrey. Color Matching By Computer. Graphic Arts Montly. February, 1978. p\_ 48-49.

Stanzola, Ralph. A Beginners Guide to Spectrophotometers. American Ink Maker. October, 1994. p 15-17.

Stanzola, Ralph. Colorimetry and the Calculation of Color Difference. Industrial Color Technology. p 1-45 .

Stearns, E. I. Weights for Calculation of Tristimulus Values. Clemson Rev. Ind. Manage Text Sci. 14. No. 1, 1975. p 79-113.

Teng, Andy. Outlook on Flexo. More Color Solvent Alternatives. Ink World. July/August 1995. p 32-38 .

Uress, Norman. Machinery Controls Color Matches. Flexographic Technical Journal. October 1983. p 34-38 .

Webber, Thomas G. Coloring of Plastics. Jhon Wiley and Sons. New York. March 1979. 217 pp.

W. Rogers, Thomas. Printing Ink Organic Pigments. American Ink Maker. Vol 73, No. 6 . June 1995. p 44-49 .