

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PIGMENTACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS GILBERTO LEÓN ESCRIBÁ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 1999

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

PIGMENTACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de

INGENIERÍA QUÍMICA

Con fecha, 6 de mayo de 1997

(f)



CARLOS GILBERTO LEÓN ESCRIBÁ

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL 1º	ING. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ RIVERA
VOCAL 2º	ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ
VOCAL 3º	ING. JORGE BENJAMÍN GUTIÉRREZ QUINTANA
VOCAL 4º	BR. DIMAS ALFREDO CARRANZA BARRERA
VOCAL 5º	BR. JOSE ENRIQUE LÓPEZ BARRIOS
SECRETARIA	INGA. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
EXAMINADOR	ING. OTTO RAÚL DE LEÓN PAZ
EXAMINADOR	ING. JULIO ALBERTO RIVERA PALACIOS
EXAMINADOR	ING. JOSÉ ANTONIO DEL CID PACHECO
SECRETARIA	INGA. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

Guatemala, 24 de Noviembre de 1998

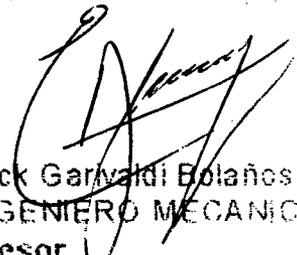
Ingeniero
Julio Chávez Montúfar
Director
Escuela de Ingeniería Química
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Ciudad

Estimado Ingeniero Chávez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de Tesis del estudiante **CARLOS GILBERTO LEON ESCRIBA**, titulado **PIGMENTACION DE TERMOPLASTICOS**, el cual considero cumple con los requisitos requeridos para un trabajo de Tesis. Por lo mismo puede autorizarse.

Sin otro particular, y agradeciendo su atención a la presente, me suscribo.

Atentamente,


Erick Garibaldi Bolaños Gudiel
INGENIERO MECANICO
Asesor

Erick Garibaldi Bolaños Gudiel
Ingeniero Mecánico
Colegiado 3.349

Guatemala,
25 de Enero de 1999

Ingeniero
Otto Raúl De León
Director
Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad

Estimado Ingeniero De León:

Hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de tesis titulado:
"Pigmentación de Termoplásticos", realizado por el estudiante Carlos
Gilberto León Escibá, Carnet No. 87-11697, del cual dejo constancia de mi
aprobación, para proceder a la autorización del respectivo trabajo.

Sin otro particular me suscribo de usted atentamente,



~~Antonio Chuy See~~
INGENIERO QUIMICO
Revisor

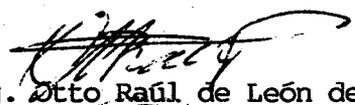
AC

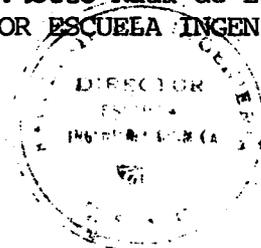
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química; Ingeniero Otto Raúl de León de Paz, después de conocer el dictamen del asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante **Carlos Gilberto León Escribá**, titulado: **PIGMENTACION DE TERMOPLASTICOS.**


Ing. Otto Raúl de León de Paz
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 8 de abril de 1,999.

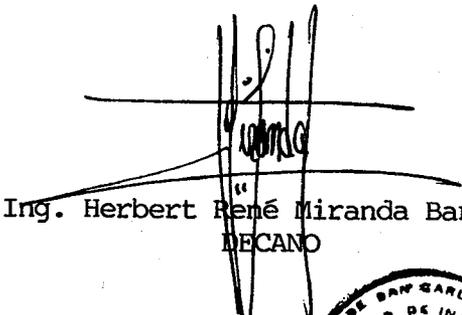
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **PIGMENTACION DE TERMOPLASTICOS** del estudiante **Carlos Gilberto León Escribá**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, 8 de abril de 1,999.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Fuente de sabiduría, que a guiado mis pasos día a día.

A MIS PADRES

Carlos Gilberto León Lemus (Q.E.P.D)

María Estela Escriba de León

Como recompensa a sus sacrificios, que servirán de ejemplo en mi vida y los llevaré presente siempre.

A MIS HERMANOS

Estela Anilú, Edwoard Humberto, Marta Yesenia

Por tener en ellos un apoyo físico y moral.

A MIS ABUELOS

Bonifacio Escribá Santos

Manuela Ovando Barrientos (Q.E.P.D)

Cipriano León Lee (Q.E.P.D)

Faustina Lemus (Q.E.P.D)

Por sus sabios consejos y su amor.

A MIS TIOS

Con respeto y cariño en especial a: María Magdalena

Escribá

A MIS PRIMOS

Con gran afecto y cariño.

A MI NOVIA

Myrna Lima

Por tener en ella un apoyo moral y espiritual siempre, y por ser tan importante en mi vida.

**A MI ASESOR
Y REVISOR**

Ing. Erick Bolaños

Ing. Antonio Chuy

Por su amistad, apoyo, y colaboración para la realización de esta tesis.

A MIS AMIGOS Y
COMPAÑEROS

Por brindarme su amistad sincera.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

Formadora de conciencia, creadora de intelectualidad.

Y A USTED, ESPECIALMENTE.

INDICE

	Página
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	i
GLOSARIO.....	ii
RESUMEN.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
1. TERMOPLÁSTICOS	
1.1 Definición.....	1
1.2 Polietileno.....	1
1.2.1 Propiedades físicas y químicas.....	2
1.2.1.1 Polietileno de alta densidad.....	2
1.2.1.2 Polietileno de baja densidad.....	3
1.3 Polipropileno.....	4
1.3.1 Propiedades físicas y químicas.....	4
1.4 Poliestireno.....	5
1.4.1 Propiedades físicas y químicas.....	6
1.4.1.1 Poliestireno normal.....	6
1.4.1.2 Poliestireno anticalórico.....	7
1.4.1.3 Poliestireno antichoque.....	8
1.5 Policarbonato.....	8
1.5.1 Propiedades físicas y químicas.....	9
2. PIGMENTOS	
2.1 Definición.....	11
2.1.1 Sistemas de medición.....	12
2.1.1.1 Luz diurna.....	12
2.2 Clasificación de los pigmentos.....	13
2.2.1 Pigmentos blancos.....	14
2.2.2 Pigmentos de color.....	14
2.3 Propiedades de los pigmentos.....	16
2.3.1 Poder cubriente.....	16
2.3.2 Poder tintoreo.....	16
2.3.3 Solidez a la luz.....	16
2.3.4 Estabilidad al calor.....	16
2.3.5 Resistencia a la migración.....	17
2.3.6 Resistencia a los productos químicos.....	17
2.3.7 Absorción de aceites.....	17
2.3.8 Peso específico.....	17
2.3.9 Propiedades físicas.....	17
2.3.10 Facilidad de dispersión.....	18
2.4 Selección del pigmento.....	18
2.5 Importancia de la selección del pigmento.....	18
3. MEDICIÓN DEL COLOR	
3.1 Descripción de lo que vemos como color.....	20

	Página
3.2 Procesos para determinar el color.....	20
3.2.1 Fuentes de luz.....	21
3.2.2 Interacción de la luz con objetos.....	23
3.2.2.1 Absorción.....	23
3.2.2.2 Dispersión.....	24
3.2.3 La visión del color.....	25
3.2.4 Metamerismo.....	26
3.3 Descripción del color.....	28
3.3.1 Sistema Munsell.....	28
3.3.2 Lengua universal del color.....	29
3.3.3 Sistema tipo oponente.....	31
3.3.4 Escalas del color.....	32
3.4 Colorimetría.....	33
3.4.1 Iluminantes y fuentes estándar de CIE.....	36
3.4.2 Diagrama de cromaticidad de CIE.....	37
3.5 Instrumentos de medición del color.....	42
3.5.1 Espectrofotómetro.....	42
3.5.2 Colorímetros triestímulos.....	44
3.5.3 Estandarización.....	44
3.6 Igualación del color.....	45
3.6.1 Evitando metamerismo.....	45
3.6.2 Mezclas de color en sistemas transparentes.....	46
3.6.3 Mezclas de color en sistemas opacos y traslúcidos.....	47
3.6.4 Curva espectrofotométrica.....	48
3.7 Control del color.....	49
3.7.1 Cálculos de diferencias del color.....	49
4. EQUIPO DE DISPERSIÓN.....	52
4.1 Mezclado.....	52
4.1.1 Mezclado en seco.....	52
4.1.2 Molienda.....	53
4.2 Extrusión.....	56
5. MÉTODOS DE PIGMENTACIÓN.....	61
5.1 Pigmentación en polvo.....	61
5.1.1 Ventajas.....	62
5.1.2 Desventajas.....	62
5.2 Pigmentación de resina coloreada.....	62
5.2.1 Ventajas.....	62
5.2.2 Desventajas.....	62
5.3 Pigmentación de concentrados de color "master bach".....	63
5.3.1 Ventajas.....	63
5.3.2 Desventajas.....	64
5.4 Pigmentación de pastas concentradas.....	64
5.4.1 Ventajas.....	64
5.4.2 Desventajas.....	65

	Página
5.5 Problemas de pigmentación de termoplásticos.....	65
5.5.1 Dispersión.....	65
5.5.2 Resistencia térmica.....	65
5.5.3 Tamboreo.....	66
5.5.4 Migración.....	66
5.5.5 Solidez a la luz y a la intemperie.....	66
5.5.6 Problemas de equipo.....	67
5.5.7 Contaminación	67
5.6 Técnicas adecuadas de pigmentación.....	67
5.6.1 Selección del pigmento para cada termoplástico.....	67
5.6.2 Temperaturas apropiadas en el proceso de transformación.....	68
5.6.3 Definición del método de pigmentación.....	68
5.6.4 El problema de migración.....	68
5.6.5 Solución del problema de solidez a la luz y a la intemperie.....	69
5.6.6 Mantenimiento de equipo.....	69
5.6.7 Limpieza adecuada para evitar contaminación.....	69
5.6.8 Presecado.....	69
6. EL COLORTRONIC VC-31 COMO MÁQUINA AUTOMÁTICA DE PIGMENTACIÓN	
6.1 Definición.....	71
6.1.1 Terminología usada.....	71
6.1.2 Receta.....	71
6.1.3 SI (incremento seleccionado).....	71
6.1.4 Dosis.....	72
6.1.5 Ciclo.....	72
6.2 Panel de control.....	72
6.3 Componentes.....	74
6.3.1 Teclado.....	74
6.3.2 Interruptor arranque/parar.....	74
6.3.3 Interruptor para habilitar y proteger memoria.....	75
6.3.4 Representación visual.....	75
6.3.5 Interruptor general.....	76
6.4 Modo autocalibración.....	76
6.4.1 Si el valor SI es desconocido.....	76
6.4.1.1 Empezando a autocalibrar.....	77
6.4.1.2 Pesando materiales.....	78
6.4.2 Si el valor SI es conocido.....	80
6.5 Recetas.....	82
6.5.1 Almacenando recetas.....	82
6.5.2 Llamando recetas.....	83
6.5.3 Borrando una receta permanentemente.....	84
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87

**LISTA DE ILUSTRACIONES
FIGURAS**

Página	
1. Estructura molecular del polipropileno.....	4
2. Estructura molecular del poliestireno.....	6
3. Estímulo percibido por el cerebro como color.....	20
4. Curvas de distribución de potencia espectral de dos fuentes.....	22
5. Valores triestímulos de fuente estándar con objeto típico.....	27
6. Muestra de las tres coordenadas matiz, claridad y saturación.....	29
7. Región púrpura del espacio del color.....	31
8. Sistema tipo oponente con coordenadas L, a, b.....	32
9. Manera detallada de obtener valores triestímulos.....	35
10. Diagrama de cromaticidad x,y.....	39
11. Diagrama de cromaticidad mostrando nombre de valores.....	40
12. Diagrama de cromaticidad que especifica área de colores.....	41
13. Componentes de instrumento a)Esfera-integrante b) 45°/0°.....	42
14. Componentes de espectrofotómetro típico.....	43
15. Mezclador banbury.....	55
16. Mezclador universal de dos láminas.....	56
17. Tornillo expulsor.....	58
18. Segmentos de tornillo expulsor gemelo.....	60
19. Panel de control de colortronic VC-31.....	73

GLOSARIO

- **Absorción** Propiedad que tienen los cuerpos de absorber la luz, dispersarla dentro de él sin que sea traslucido, generando calor.
- **Catalizador** Compuesto que acelera una reacción química.
- **Degradación** Es la disminución de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la resina-pigmento cuando ha sobrepasado su punto de fusión.
- **Dieléctrico** Un compuesto es dieléctrico cuando no transmite electricidad
- **Polímero** Son compuestos formados, múltiples de cadenas largas originados de hidrocarburos
- **Dispersión** Contacto entre el pigmento-resina que se obtiene en el rompimiento de las uniones de cada uno.
- **Espectro** Dispersión de la luz en un prisma que genera luces coloreadas simples
- **Estabilidad térmica** Estabilidad de los pigmentos a los cambios por acción de altas temperaturas.
- **Estandarización** Es la determinación de una referencia para su comparación como muestra.
- **Esterilizable** Un compuesto es estéril frente a otro cuando no hay reacción entre ellos.
- **Extrusión** Tornillo sin fin que transporta y dispersa la resina-pigmento con la ayuda de temperatura.
- **Matiz** Forma de describir si un objeto aparece, rojo, amarillo, azul etc.
- **Metamerismo** Cuando dos colores distintos pueden parecer iguales o diferentes en sentidos distintos con los cambios de tipo de luz.
- **Pellets** Forma de presentación de la resina (granos).
- **Pigmento** Sustancias sólidas que al combinarse con un vehículo en el que no se disuelven, desarrollan un color.
- **Polimerización** Reacción química de polímeros en cadena que se realiza con catalizadores o sin ellos.
- **Proceso de** Es el proceso de transformación de una resina a un producto final,

inyección

en donde se utiliza una máquina inyectora con tobera para introducir resina plastificada dentro de un molde.

• **Punto de fusión**

Temperatura a la cual se funde la resina-pigmento.

• **Sangrado**

Presencia de solubilidad parcial del pigmento en el polímero.

• **Saturación**

Es la suma del color y matiz de un pigmento.

• **Traslucencia**

Propiedad de un cuerpo de no rebotar la luz, es decir la hace pasar a través de él.

RESUMEN

El presente trabajo reúne los datos necesarios para pigmentar termoplásticos utilizando el método adecuado al tipo de pigmentación que se desea. De esta manera, se describe la pigmentación desde el punto de vista de la ingeniería.

Antes de someter los termoplásticos al proceso de pigmentación, se describen las propiedades de los termoplásticos más utilizados en Guatemala; además, se mencionan las propiedades y clasificación de los pigmentos.

Como resultado se determinan los métodos adecuados de pigmentación, las ventajas y desventajas, equipo de mezclado del termoplástico con el pigmento, la forma de controlar los parámetros de pigmentación, y se incluyen procedimientos para el manejo de una máquina automática de pigmentación (en este caso el Colortronic VC-31).

INTRODUCCIÓN

En 1,925 la entera producción mundial de los materiales plásticos alcanzó a duras penas un total de 80,000 toneladas; en la actualidad sobrepasan los 150 millones de toneladas. Para la afirmación del hierro, de la madera y del ladrillo como materiales tecnológicos se necesitaron siglos o millares de años mientras que para los materiales plásticos bastaron pocos decenios y, en tan breve tiempo lograron cambiarle la cara al mundo. Más que las cifras relativas a las cantidades y tipos que se producen, es sorprendente el número de las aplicaciones y la importancia que los materiales plásticos han tenido en la transformación del ambiente en que vivimos, de las máquinas que usamos, de las herramientas, de las viviendas, de los medios de transporte, de los juegos, del arte, del gusto.

Hay muchas razones que explican este éxito arrebatador. Los materiales plásticos son los primeros materiales construidos totalmente por el ser humano y que no se hayan en la naturaleza; han demostrado poder reemplazar con eficacia y muy a menudo con ventaja a casi todos los materiales tradicionales, se pueden proyectar con características en propiedades adecuadas según sus aplicaciones.

Es evidente, entonces, la importancia que actualmente tienen los productos plásticos, pero también es importante mencionar que los productos plásticos son mezclados con una variedad de colorantes según sea el caso, estos colorantes por ser parte de la mezcla del mismo son compuestos de los cuales también dependerá el proceso de transformación de los productos termoplásticos.

De aquí la importancia del estudio de "pigmentación de termoplásticos", porque de los colorantes también dependerá el ciclo de vida, decoloración, deformación, degradación de un producto plástico, los cuales son importantes analizar también porque en ellos se involucran altos costos cuando su utilización en los procesos es inadecuada.

Se describen entonces las características fisicoquímicas de los pigmentos en los procesos de mezclado con los termoplásticos; además, se dan a conocer un conjunto de funciones que la adecuada utilización de pigmentos en los procesos de mezclado con los termoplásticos conlleva. Se establecen criterios para identificar los colorantes, se determinan medidas que se pueden adoptar, cuando ya se ha utilizado una mezcla con colorante inadecuado. Se describen métodos de pigmentación incluyendo ventajas y desventajas que conlleva su utilización, así como algo sobre una máquina automática, su uso, calibración y sus componentes.

1. TERMOPLÁSTICOS

1.1 Definición

Se distinguen los termoplásticos de los plásticos termoestables en que los primeros son permanentemente fusibles; esto es: que alternativamente se funden o se reblandecen por el calor y se endurecen cuando se enfrían, y los segundos fraguan con el calor y son permanentemente infusibles en los productos moldeados terminados.

Los termoplásticos se componen de moléculas lineales; esto es: los átomos están unidos en estructuras largas como cadenas, sin enlaces transversales o con escaso número de ellos. Este tipo de moléculas suelen hincharse o disolverse en algunos disolventes orgánicos.

Son materias primas o sintéticas que contienen como ingrediente esencial una sustancia en su estado terminado, y en alguna fase durante la fabricación o el tratamiento para convertirlos en artículos terminados, se les da forma por moldeo preservación de condensación y polimerización, se sintetizan sustancias orgánicas de peso molecular elevado partiendo de compuestos químicos relativamente sencillos.

1.2 Polietileno

Es el miembro más sencillo del numeroso grupo de resinas termoplásticas que se forman por la polimerización de compuestos que contienen un enlace etilénico. Se referirá entonces a un sólido termoplástico de peso molecular comprendido entre 10,000 - 40,000.

1.2.1 Propiedades físicas y químicas

1.2.1.1 Polietileno alta densidad

Color y aspecto del material corriente en el mercado: masas granuladas, en granza, incoloro opaco (lácteo) y en todas las tonalidades transparentes y opacas. Tacto semejante a la cera.

Propiedades generales del producto acabado: alta rigidez, estabilidad a la temperatura y estabilidad de forma; buena dureza superficial; destacadas propiedades dieléctricas. Insípido e inodoro, resistente a la ebullición y esterilizable.

Ejemplos de aplicación (proceso de inyección): utensilios domésticos(fuente, cubos, barrenos, tintas); juguetes; recipientes de transporte; botellas, piezas para alta frecuencia, aparatos médicos, artículos técnicos, cajas.

Temperatura de uso permanente sin perjuicios, máximo 105° C. estabilidad frente a productos químicos: estable frente a ácidos y álcalis, alcohol. Condicionalmente estable frente a ésteres, cetona, éteres, aceites y grasas. Inestable frente a hidrocarburos clorados, benzol, bencina, carburantes. Comportamiento y olor al aplicar la llama: sigue ardiendo tras separarla. Llama luminosa con núcleo azul, gotea. Olor: a parafina, velas de estearina. Conductibilidad térmica (λ) 0,33 kcal/mh° C. Calor específico © 0,45 kcal/kg° C. Densidad (p) a 20°C 0,94-0,96 g/cm³. Tiempo de secado (secado previo) 1-1,5 h a 65° C. Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 2,0 - 4,0%.

1.2.1.2 Polietileno baja densidad

Color y aspecto del material corriente en el mercado: masas granuladas, en granza, incoloro opaco (lechoso) y en todos los tonos de color transparente y opaco. Tacto semejante a la cera. Propiedades generales del producto acabado: alta flexibilidad, buena resistencia térmica; baja dureza superficial. Muy buenas propiedades dieléctricas, insípido e inodoro.

Ejemplos de aplicación (proceso de inyección): recipientes domésticos (fuentes, cubos y similares), juguetes, flores artificiales, recipientes de embalaje, frascos flexibles, aparatos médicos, piezas para alta frecuencia.

Temperatura de uso permanente sin perjuicios, máximo 85-95° C. estabilidad frente a productos químicos: estable frente a ácidos y álcalis, alcohol. Condicionalmente estable frente a ésteres, cetonas, éteres, aceites y grasas. Inestable frente a hidrocarburos clorados, benzol, bencina, carburantes. Comportamiento y olor al aplicar la llama: sigue ardiendo tras separarla. Llama luminosa con núcleo azul, gotea. Olor: a parafina, velas de estearina. Conductibilidad térmica (λ) 0,26 kcal/mh°C. Calor específico © 0,5 kcal/kg° C. Densidad (ρ) a 20° C 0,92-0,94 g/cm³. Tiempo de secado (secado previo) 1-1,5 h a 65° C.

Nota: los recipientes de polietileno de alta presión son permeables respecto a líquidos volátiles. Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 1,5 a 3,0 %.

1.3 Polipropileno

Tanto el craqueo térmico como el catalítico de las fracciones de petróleo pesados producen gases que contienen grandes cantidades de propileno $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$. La mayor parte de esta mezcla gaseosa se polimeriza por presión a $150\text{-}225^\circ\text{C}$.

Como el etileno y el isobutileno forman grandes polímeros, se han hecho muchos intentos para obtener polímeros lineales del propileno.

Tal Polipropileno será semejante su estructura al caucho natural y poseerá excelentes propiedades de elasticidad. Como el caucho, el Polipropileno tendrá sólo sustituyentes metílicos; pero en lugar de ir ligados a carbonos con dos carbonos, intermedios, los metilos irían sobre carbonos alternos (ver figura 1).

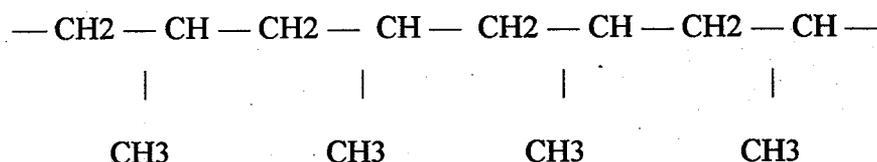


Figura 1 Estructura molecular del polipropileno (Ref. 2)

1.3.1 Propiedades físicas y químicas

Color y aspecto del material corriente en el mercado: masa granulada, incolora opaca y teñida, transparente y oscura.

Propiedades generales del producto acabado: elevada estabilidad de forma al calor, resistencia a la tracción y al choque, rigidez. Buena dureza superficial; sin tendencia a

la corrosión por tensiones. Esterilizable hasta 120° C. prácticamente sin absorción de agua. Se hace quebradizo a temperaturas inferiores a 0° C.

Ejemplos de aplicación (proceso de inyección): recipientes y objetos de uso (cubos, fuentes, barrenos, bidones, frascos), juguetes, artículos para mecánica fina y aparatos eléctricos, cascos protectores, tacones para zapatos de señora.

Temperatura de uso permanente sin perjuicios, máximo 120-130° C. Estabilidad frente a productos químicos: estable frente a ácidos débiles, álcalis débiles. Condicionalmente frente al alcohol, ésteres, cetonas, éteres, aceites y grasas. Inestable frente a ácidos concentrados, álcalis concentrados, hidrocarburos clorados, benzol, bencina, carburantes. Comportamiento y olor al aplicar la llama: Sigue ardiendo al separarla. Llama luminosa con núcleo azul, gotea. Olor débil a parafina o resina.

Conductibilidad térmica (λ) 0,26 kcal/mh°C. Calor específico © 0,46 kcal/kg°C. Densidad (ρ) a 20° C 0,91 g/cm³. Tiempo de secado (secado previo) 1-1,5 h a 75° C.

Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 1,2 a 2,5% en partidas de buena fluidez; de 2 a 3 % en partidas de menor fluidez.

1.4 Poliestireno

Viene del hidrocarburo aromático más sencillo con una cadena lateral no saturada (6 H3 CH: CH2. El estireno se polimeriza en la forma de cabeza o cola (ver figura 2).

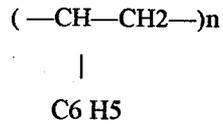


Figura 2 Estructura molecular del Poliestireno (Ref. 2)

La polimerización es una reacción en cadena y se realiza con catalizadores o sin ellos por todas las técnicas conocidas de polimerización. La velocidad de polimerización aumenta de exponencialmente con la temperatura y da por resultado la formación de polímeros incoloros diáfanos como el agua, con excelentes propiedades físicas y eléctricas. Durante la polimerización, se desprenden 160 calorías por gramo y aumenta la densidad desde 0.905 para el monómero puro hasta 4.045 para el otro.

1.4.1 Propiedades físicas y químicas

1.4.1.1 Poliestireno (normal)

Color y aspecto del material corriente en el mercado: masas granuladas uniformes (forma cilíndrica, prismática o esférica); transparente y coloreado hasta opaco.

Propiedades generales del producto acabado: gran rigidez y exactitud de medidas, valores dieléctricos favorables, resistente a la humedad y estable al agua. Insípido e inodoro. Tiende a formar grietas.

Ejemplos de aplicación (proceso de inyección): elementos constructivos y piezas aislantes con pocas pérdidas para la técnica eléctrica y de telecomunicaciones, objetos domésticos, juguetes y artículos publicitarios, de bisutería, botes y pequeños recipientes. Temperatura de uso permanente no perjudicial, máximo 60-75° C. estabilidad frente a productos químicos; estable frente a ácidos y álcalis, alcohol, aceite mineral.

Condicionamente estable frente a aceites y grasas animales y vegetales. Inestable frente a ésteres, cetonas, éteres, hidrocarburos clorados, benzol, bencina, carburanto.

Comportamiento y olor al aplicar la llama: sigue ardiendo tras separarla. Llama brillante, fuerte formación de hollín, olor típicamente dulzaina (estireno).

Conductibilidad térmica (λ) 0,14 kcal/mh°C. Calor específico © 0,3 kcal/kg°C. densidad (ρ) a 20° C 1,05 g/cm³. Tiempo de secado (secado previo) 1-3 h a 60-80° C. Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 0.4 a 0.6%

1.4.1.2 Poliestireno (anticalórico)

Color y aspecto del material corriente en el mercado: granza transparente y opaca, en cualquier tonalidad (color natural generalmente algo amarillento).

Propiedades generales del producto acabado: estabilidad de forma al calor especialmente alta, estabilidad de dimensiones y frente a la humedad, buenas propiedades dieléctricas. Reducida tendencia a formación de grietas, insípido e inodoro.

Ejemplos de aplicación (proceso de inyección): objetos de uso sometidos a esfuerzos térmicos (vajillas y tazas, cubiertos para servir, botes de nevera), artículos electrotécnicos, artículos de moda. Temperatura de uso permanente sin perjuicios, máximos 70-96° C.

Estabilidad frente a productos químicos: estable frente a ácidos débiles, álcalis débiles, bencina, aceites y grasas, Condicionamente estable frente a álcalis

concentrados, alcohol, éter, carburantes. Inestable frente a ácidos concentrados, ésteres, cetonas, hidrocarburos clorados, benzol. Comportamiento y olor al aplicar la llama: sigue ardiendo tras separarla. Llama luminosa, fuerte formación de hollín. Olor: dulzaina, similar al de la goma. Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 0.5 a 0.6%.

1.4.1.3 Poliestireno (antichoque)

Color y aspecto del material corriente en el mercado: granza en colores opacos. Propiedades generales del producto acabado: alta rigidez, buenas propiedades dieléctricas. Resistente al choque, duro y tenaz. Poca tendencia a la corrosión por tensiones, por lo que es apropiado para inserción de piezas, insípido e inodoro.

Ejemplos de aplicación (proceso de inyección): cajas de teléfono, radio y televisión, puertas y piezas para neveras, cajas de instalaciones, interruptores, cubiertos, vasos, juguetes, embalajes. Temperatura de uso permanente no perjudicial, máximo 60-70° C. estabilidad frente a productos químicos: estable frente a ácidos débiles, álcalis débiles. Condicionalmente estable frente a ácidos concentrados, álcalis concentrados, alcohol, aceites y grasas. Inestable frente a ésteres, cetonas, éter, hidrocarburos clorados, benzol bencina, carburantes. Comportamiento y olor al aplicar la llama: sigue ardiendo tras separarla. Llama luminosa, con fuerte formación de hollín. Olor: dulzaina, también parecido a la goma, o áspero. Para la construcción de moldes hay que contar con contracción de 0.4 a 0.6%.

1.5 Policarbonato

Con este nombre se conocen las nuevas resinas termoplásticas compuestas de poliésteres aromáticos lineales del ácido carbónico. Los policarbonatos son ésteres del ácido carbónico sin forma generada.

Es posible una extensa variedad de sustitutos en los anillos aromáticos. Así se ha utilizado como tales los grupos alquílicos y los halógenos. El átomo central puede ser carbono, azufre u oxígeno, o bien dos anillos aromáticos están unidos directamente como en el bifenilo. Cuando el átomo central es carbono, puede sostener restos alquílicos, cicloalquílicos o grupos arílicos. Los sustitutos en el átomo de carbono central ejercen una influencia muy marcada en las propiedades de los polímeros. De estos, los que son de interés comercial en la actualidad poseen un átomo de carbono central con dos grupos metílicos.

La temperatura de reblandecimiento de los policarbonatos es elevada, y muy singular sin resistencia al impacto. Otras propiedades que producen justificar su uso como plásticos ideal es su aspecto atractivo, su excelente estabilidad dimensional, su gran resistencia a la tracción y sus buenas propiedades eléctricas, pueden utilizarse en un intervalo de temperatura muy amplio.

En la elaboración de productos la temperatura se mantiene de 27^a a 330° C. Y operar a presión de 1050 y 1400 kg./cm². Las resinas de Policarbonato deben secarse a 121° C. durante no menos de 4 horas.

1.5.1 Propiedades físicas y químicas

Color y aspecto del material corriente en el mercado: granza de grano uniforme, colores naturales (transparente incoloro a ligeramente amarillento), coloreado.

Propiedades generales del producto acabado: alta resistencia mecánica dentro de un amplio campo de temperaturas, alta estabilidad de dimensiones y al calor, buenas propiedades dieléctricas, estabilidad al envejecimiento. Reducida absorción de agua.

Ejemplos de aplicación (proceso de inyección) piezas de aislamiento y cobertura con gran tenacidad y gran estabilidad de forma al calor para la técnica de iluminación, industria eléctrica y del automóvil; aparatos esterilizables para uso médico, cascos de seguridad, objetos con elevadas exigencias para uso doméstico y diario (vajillas); lentes ópticas, cajas, núcleos de bobinas, recubrimientos de cajas de conmutación. Temperatura de uso permanente sin perjuicios, máximo 110-135° C. Estabilidad frente a productos químicos: estabilidad frente a ácidos débiles, alcohol, bencina, aceites y grasas. Condicionalmente estable frente a ácidos concentrados, álcalis débiles, inestable frente a álcalis concentrados, cetonas, éteres, hidrocarburos clorados, benzol, larga permanencia en agua hirviente.

Comportamiento y olor al aplicar la llama; arde en presencia de la llama, se extingue fuera de ella, se carboniza. Llama luminosa, formación de hollín. Olor semejante al fenol. Conductividad térmica (λ) 0.17 kcal/mh° C. Calor específico © 0.28 kcal/kg°C. Densidad (ρ) a 20° C 1.2 g/cm³. Tiempo de secado (secado previo) 8-12 h a 120-130° C. Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción de 0.4 a 0.8%.

2. PIGMENTOS

2.1 Definición

Los pigmentos son sustancias sólidas formadas por pequeñas partículas que al ser combinadas con un vehículo en el que no se disuelven, desarrollan un color.

Los pigmentos tienen la propiedad de absorber una determinada longitud de onda de un rayo de luz del espectro visible y la reflexión de la luz no absorbida imparte las características de tonos y colores a los pigmentos.

Los pigmentos además de la propiedad de color que es algo agradable, también se usa para opacar, proteger y como refuerzo mecánico a la película de pintura o tinta.

Los pigmentos desarrollan color y ésta es la principal característica que proporcionan a las resinas termoplásticas. Por lo que, para poder entender la pigmentación de resinas termoplásticas se tiene que hacer un análisis de lo que es el color:

Color: es la impresión que causa en la retina del ojo la luz reflejada por los cuerpos.

La luz y el color son inseparables, el color es la luz y ésta es energía visible radiante que la vemos en el espectro electromagnético y corresponde a la siguiente lectura de longitud de onda:

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Rayos Gama Rayos X Ultravioleta Visible Infrarrojo Microondas Radio, T.V. etc.

	10	390	780	10 ⁶	10 ⁹				
Violeta		Indigo	Azul	verde	Amarillo	Naranja	Rojo		
390	400	405	450	500	550	660	650	700	780

Cada rayo de luz blanca se descompone en una serie de colores con diferentes longitudes de onda.

*La longitud de onda se indica en nanómetros nm o milimicras (10⁻⁹m.)

2.1.1 Sistemas de medición

Antes de continuar con los pigmentos, es indispensable una pequeña alusión a la naturaleza física del color y a sus modelos de medición:

2.1.1.1 Luz diurna

El método más antiguo consiste en un examen visual de la muestra, bajo una luz diurna, pero tal método ha sido mejorado con la introducción de normas sobre la incidencia de la iluminación, sobre la angulación y la distancia sobre la lectura, etc.

Se ha pasado luego a estandarizar la iluminación artificial con intensidades y composiciones bien definidas, se ha advertido el fenómeno indeseable que en el caso de aplicaciones (igualaciones) críticas para la pieza coloreada, podía provocar dificultades y reclamos. Se trataba del llamado “Metamerismo”, por el cual dos colores objetivamente distintos desde el punto de vista espectral pueden parecer iguales ó diferentes en sentidos distintos, siempre que cambie el tipo de luz.

- Luz solar diurna media (D65)
- Luz lámpara fluorescente de luz fría Iluminaciones
- Luz lámpara de filamento

El ojo humano tiene la capacidad de distinguir cientos de miles de tintes distintos. A medida que la cantidad de energía luminosa de los diversos componentes se va reduciendo gradualmente se nos desplaza hacia colores menos claros ó más grises hasta llegar al negro que corresponden a una absorción total.

La sensación del blanco se debe a una distribución suficientemente uniforme de la energía luminosa y puede obtenerse también de una mezcla, en las proporciones adecuadas de los colores monocromáticos llamados primarios: rojo, verde y azul; así como en la comparación de dos muestras se pueden tener diferencias según si el examen se hace por reflexión ó por transmisión y por eso en el caso de piezas translúcidas es importante efectuar medidas bajo las dos condiciones.

2.2 Clasificación de los pigmentos

Los medios de coloración para los plásticos se pueden dividir en dos clases:

2.2.1 Pigmentos blancos. Pueden ser de alto o de bajo índice de refracción.

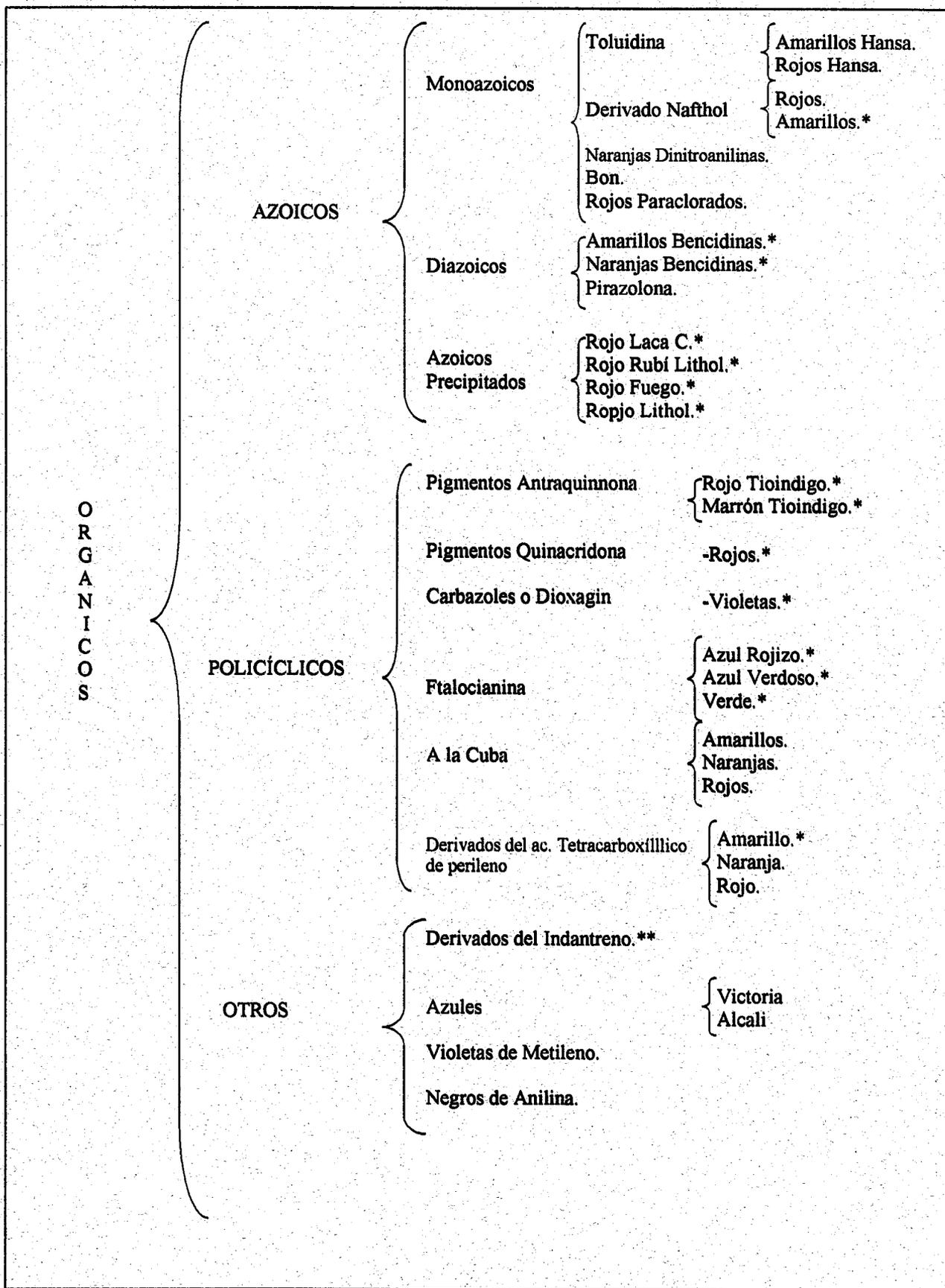
2.2.2 Pigmentos de color. Pueden ser orgánicos e inorgánicos.

PIGMENTOS BLANCOS

Alto índice de refracción (cubrientes, opacificantes)	}	Bióxido de Titanio	{ Anastásico.* Rutilico.*
		Carbonato de plomo Oxido de Zinc Mezcla de BaSO ₄ y ZnS Oxido de Antimonio	
Bajo índice de refracción (inertes o cargas ampliadores)	}	Baritas. Carbonatos de Calcio. Carbonatos de Magnesio. Silicatos de Magnesio. Silicatos y Tierras Diatomáceas Sulfatos de Calcio	

PIGMENTOS DE COLOR

INORGÁNICOS	}	Cromos	{ Amarillos.* Naranjas. Verdes.
		Molibdatos	{ Naranjas.* Rojos.
		Oxidos de Hierro	{ Amarillos. Rojos. Negros.
		Cadmios	{ Rojos.* Amarillos.* Naranjas.*
		Ferrocianuros Azules de Cobalto Azules de Ultramar (3) Pigmentos Metálicos	{ Azul de Fierro o Azul Milori



2.3 Propiedades de los pigmentos

Las propiedades principales con que debe contar un pigmento para colorear plásticos son:

2.3.1 Poder cubriente. Es el poder que tiene el pigmento de cubrir a otro color.

2.3.2 Fuerza o poder tintoreo. Es la cualidad que posee el pigmento de impartir su color.

2.3.3 Resistencia a la luz o solidez a la luz. Es la estabilidad relativa del color al ser expuesto a la acción actínica de la luz.

2.3.4 Resistencia al calor o estabilidad térmica. Esto es la estabilidad relativa del pigmento a los cambios causados por la acción de altas temperaturas. En el caso de colorear un plástico ésta propiedad depende de los siguientes factores:

- Tiempo de exposición: depende el tipo de transformación.
- Temperatura de exposición: depende del plásticos Naturaleza del pigmento.
- Concentración del pigmento.

La resistencia al calor de un polímero coloreado puede deberse a los siguientes factores:

- Degradación del pigmento únicamente por la temperatura (Cr).
- Interacción entre los dos componentes; el plástico y el pigmento (Cd con PVC).
- Reacción física especialmente solubilidad de un pigmento con un componente del

polímero (pigmentos bencidinas en poliestireno).

2.3.5 Resistencia a la migración. Es la eflorescencia o sangrado que consiste en la difusión del pigmento dentro del polímero. El sangrado es la presencia de solubilidad parcial del pigmento en el polímero en que se usa. Esto depende también de la concentración del pigmento en la resina coloreada. La eflorescencia se presenta cuando la superficie del plástico coloreado llega a formarse una película de pigmento seco.

2.3.6 Resistencia a productos químicos. Es la estabilidad del pigmento a los ácidos y álcalis. En el caso del plástico coloreado, depende de la permeabilidad del compuesto plástico. Esta propiedad engloba la solidez a los disolventes más comúnmente usados (agua, etanol, ciclohexanona, acetato de etílico, tolueno, etc.).

2.3.7 Absorción de aceite. Es la cantidad del vehículo que necesita el pigmento para llenar las interficias entre sus partículas.

2.3.8 Peso específico. Es el peso del pigmento con relación al peso del agua.

2.3.9 Existen otras propiedades físicas que también se toman en cuenta como son:

- Densidad aparente.
- Textura de granos: Tamaño de partícula.
- Intensidad de coloración.
- Propiedades dieléctricas.
- Propiedades fisiológicas.

2.3.10 Facilidad de dispersión. La dispersión es el contacto entre las partículas de un sistema pigmento-resina, que se obtiene mediante el rompimiento de las uniones entre las partículas que pueden formar aglomerados.

2.4 Selección del pigmento

Los pigmentos deben ser seleccionados según sus propiedades, costo, calidad y comportamiento en el plástico en el que se va a usar. Los factores más importantes que se deben considerar son:

- Tipo de material plástico que se va a colorear y las condiciones de proceso.
- La relación de pigmento a resina.
- La aplicación o uso que va a tener el material coloreado.

2.5 Importancia en la selección del pigmento

La selección del pigmento debe estar fundamentada en el producto final (pieza acabada) que se pretende obtener, teniendo bien definido lo anterior se deben contemplar todas las variables del proceso, como son:

- Máquina (tipo y tamaño).
- Moldes.
- Temperaturas.
- Tiempo de exposición a la luz del producto final.
- Material termoplástico.
- Costo.
- Etc.

3. MEDICION DEL COLOR

Ningún informe sobre el color o la coloración de cualquier material debe iniciarse sin señalar que el color, es lo que vemos y por consiguiente depende no sólo del origen de la luz y de los objetos en sí, sino de la naturaleza del ojo y cerebro del observador. La luz que cae sobre los objetos es modificada por ellos y continúa hacia el ojo. Luego se generan impulsos nerviosos, y solamente cuando estos son interpretados en el cerebro, los conocemos como color.

El color es por lo tanto una respuesta muy privada y personal a lo que vemos. Además el color es sólo una parte de la apariencia total de los objetos. En los plásticos debemos considerar (sumado a los factores obvios de tamaño y forma) características como: brillo, traslucencia, uniformidad de superficie, y apariencia metálica, así como el color, para lograr una descripción completa de la pieza que vamos a observar.

Aún si acordamos olvidar todos los otros aspectos de apariencia, ¿qué podemos decir acerca de la medición del color? Claramente, nadie puede saber con exactitud lo que alguien más ve como color, pero a través de la experiencia común y formas estándares de describir las cosas, tenemos las bases para entender, explicar y predecir la conducta de nuestras experiencias visuales. Porque esto es importante en la coloración de plásticos, este capítulo nos da la base para los siguientes, describiendo cómo vemos el color, qué partes del color pueden ser medidas y cómo, y el valor de estas mediciones para la industrial de coloración de plásticos.

3.1 Descripción de lo que vemos como color

La mayoría de las personas dicen que toma tres términos describir el color de un objeto: una forma común es describir su matiz, brillo y saturación. El matiz describe si un objeto aparenta ser rojo, amarillo, azul, verde o alguna sombra intermedia como naranja. Brillo es también fácil de comprender: éste describe la extensión a la cual un objeto parece reflejar más o menos la luz que cae sobre él. Los colores suaves reflejan una fracción mayor de la luz incidente; en los colores oscuros el reflejo es menor. Se utiliza la palabra saturación y se define simplemente como la cantidad de la respuesta cromática (o como la cantidad de color o matiz) que está presente. Posteriormente se relacionan los términos matiz, brillo y saturación, que describe lo que vemos, para las cosas que podemos medir.

3.2 Procesos para determinar el color

¿Cómo surgen el matiz, brillo y saturación de un determinado objeto? Resultan de la interacción de la fuente de luz, el objeto y el observador. Por supuesto, para la coloración de plásticos, es el objeto plástico lo más importante de estos, pero nunca debemos olvidar que lo que vemos depende de los tres aspectos. Esto se resume en la figura 3. A continuación se considera cada uno.

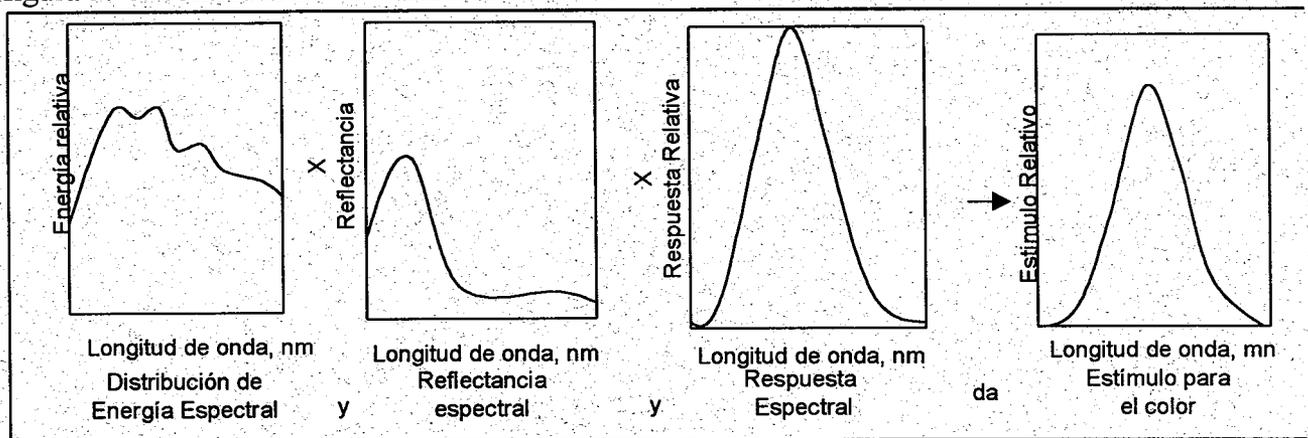


Figura 3 Estimulo percibido por el cerebro como color (Ref. 3)

3.2.1 Fuentes de luz

Las diferentes fuentes de luz que son importantes para la coloración de plásticos son muy conocidas. Entre estas se incluyen la luz del día, natural y artificial, lámparas incandescentes, varias clases de lámparas fluorescentes y muchas más. En términos de lo que debemos saber para la medición del color, las fuentes de luz son descritas por curvas de la cantidades relativa de potencia que estas emiten en cada longitud de onda de luz en la región visible. Estas son llamadas curvas de distribución de potencia espectral, en donde espectral significa longitud de onda por longitud de onda. Los colores del espectro o arcoiris pueden también ser relacionados con estas longitudes de onda expresadas en nanómetros (nm): azules, de violeta a azul verdusco, corresponden a longitudes de onda desde 400 hasta aproximadamente 480 nm; verde, de 480 a 560; amarillo, de 560 a 590; naranja, de 590 a 630, y rojo, de 630 a 700 nm. Estas son aproximadamente las longitudes de onda que el ojo puede ver. Los violeta (morado), los cuales no ocurren en el espectro son mezclas de azul y rojo. La figura 4. Muestra las curvas de distribución de potencia espectral de dos clases comunes de fuentes de luz. La curva que identifica la A es para una lámpara incandescente. Tales lámparas emiten mucho más potencia en la longitud de onda larga en la región amarillo-naranja-roja, que en la región azul-verde en la longitud de onda corta, esto explica su color amarillento. En contraste, la curva de la luz del día natural que identifica como D_{65} en la figura 4, está ligeramente más alto en la parte final azul del rango, como podría esperarse, ya que representa la luz azul del cielo junto con la luz del sol.

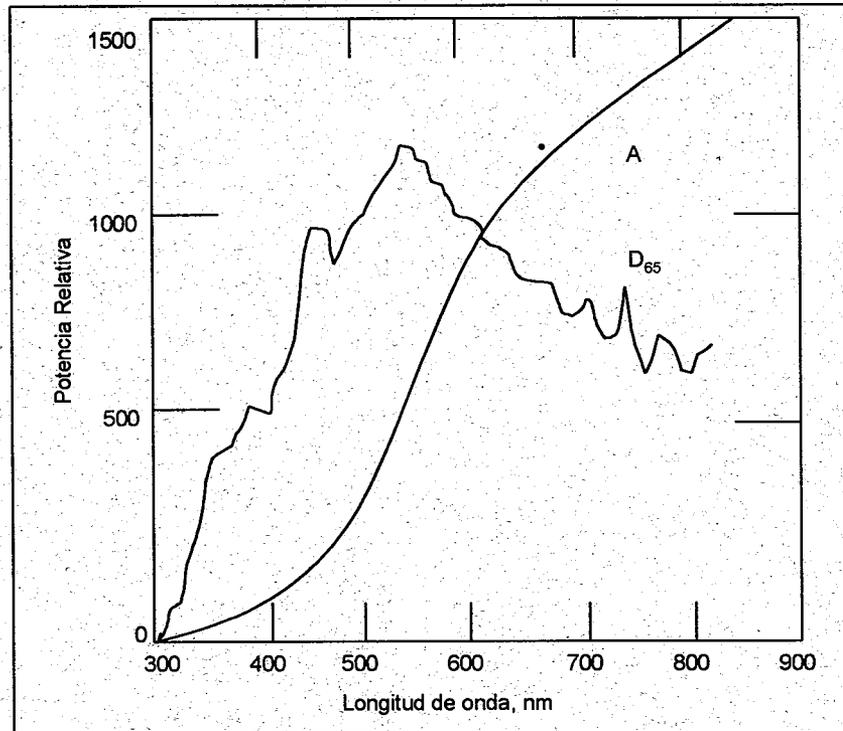


Figura 4 Curvas de distribución de potencia espectral de una fuente incandescente (A) y luz natural del día (D₆₅) (Ref. 3)

A pesar de su importancia obvia, la luz del día natural no puede ser recomendada para un cuidadoso trabajo de color, porque es muy variable. La curva en la figura 4 representa sólo una de muchas clases de luz del día, dependiendo de los diferentes tiempos del día o del año, la nubosidad del cielo, contaminación atmosférica etc. Es mejor utilizar una luz del día artificial estándar, la cual si se mantiene apropiadamente, es de calidad constante. Las lámparas fluorescentes aún tienen diferentes clases de curvas y a menos que sean hechas para uso de ajustes de color, nunca deben ser usadas en trabajos de color delicados, excepto cuando es necesario saber exactamente cómo lucirán los plásticos coloreados, cuando sean iluminados por ellas. Ordinariamente las lámparas fluorescentes no deben ser consideradas como sustitutas de la luz del día.

Las distribuciones de potencia espectral de las fuentes de luz, son descritas algunas veces por números. La fuente A es una de la familia de sustancias incandescentes llamadas cuerpos negros, las cuales pueden ser descritas por su temperatura de color. Esto está cercanamente relacionado con su temperatura actual, medida en la escala absoluta en Kelvins (K). La temperatura del color de la fuente A es 2860 K. Otras fuentes que no son cuerpos negros pueden ser descritas por su temperatura de color correlacionada, si su color está cercana a la de un cuerpo negro. El suscrito "65" en D_{65} es el abreviado para 6,500 K la correlación de la temperatura color de esa luz del día.

Una distinción final es que entre una fuente real de luz y una distribución de potencia espectral, que no corresponde a una fuente que está fácilmente disponible. Esta última es llamada un iluminante, y D_{65} es un ejemplo. Este representa una cierta clase de luz del día natural promedio y es ampliamente usada en los cálculos de medición del color, pero la luz del día real es tan variable que nadie podría garantizar que sería capaz de encontrar D_{65} , cuando así lo desee.

3.2.2 La Interacción de luz con objetos

La luz puede interactuar con y ser modificada por los objetos sobre los cuales ésta cae en muchas diferentes maneras. Aquí se mencionan únicamente las más importantes para la coloración de los plásticos.

3.2.2.1 Absorción

Es el proceso en el cual la luz se pierde, cuando ésta cae sobre un objeto. Por ejemplo, cuando la luz brilla sobre una pieza de plástico negro, poco o nada es reflejado. En realidad, la luz no sólo se pierde si no se convierte en calor. Muchos efectos del color surgen de la absorción de diferentes cantidades de luz incidente a diferentes

longitudes de honda. Así, los objetos rojos absorben todas las ondas longitudinales de luz excepto aquellas de la región roja. En fluorescencia la luz absorbida no se convierte a calor pero es remitida a longitudes de onda más largas, usualmente en la región visible. Un plástico rojo fluorescente, por ejemplo absorbe la luz azul y verde, y refleja, y también emite luz roja (llamada fluorescente). Otros objetos fluorescentes pueden absorber luz ultravioleta y emitir luz en el final azul del espectro; estos son llamados iluminadores fluorescentes.

3.2.2.2 Dispersión

Es el proceso en el cual la luz, a cambio de ser absorbida, es redirigida para que algunas fracciones de ésta, estén viajando en todas las posibles direcciones. La dispersión provee traslucencia y opacidad a los objetos (términos definidos adelante). En muchas formulaciones plásticas donde la dispersión es importante, la luz que emerge del objeto ha sido dispersa muchas veces. Un ejemplo típico son los rótulos traslúcidos que son iluminados desde atrás, por las noches. Lo que se ha visto es la luz dispersa, y en este caso hay suficiente dispersión que la fuente de la luz se oscurece. La dispersión puede originar la estructura cristalina del plástico en sí, así como de las partículas de pigmento agregadas. La luz que emerge de un plástico como resultado del proceso de dispersión interno se dice que está difusivamente reflejada o transmitida.

Otra fuente de luz reflejada de un plástico, además de la reflexión difundida que origina la dispersión dentro de la pieza, es la reflexión de su superficie. Si la superficie es suave, como para una buena pieza moldeada o extruida, ésta actúa como un espejo y la luz reflejada, siguiendo las leyes de la reflexión del espejo, se dirige al brillo. Esto es llamado reflexión especular. La luz especular reflejada, siempre tiene el mismo color que la fuente de la luz, usualmente blanca, mientras que la luz difusa reflejada como consecuencia de dispersión interna tiene el color de lo que está generando la dispersión, por lo general un pigmento de coloración, con o sin que se agregue la dispersión del

mismo plástico. Así, cuando se desea observar el color del plástico, no se ve la reflexión del brillo.

Para la mayoría de plásticos, aproximadamente el 4% de la luz incidente es reflejada en cada superficie cuando la luz es incidente perpendicular a la superficie, y aproximadamente el 7% cuando se calienta a 45°C. Como resultado un plástico claro transparente, medido (como esto usualmente es) con luz incidente perpendicular no puede transmitir más de aproximadamente 92%, el otro 8% es reflejo de sus dos superficies. Si se considera un plástico traslúcido opaco, con una superficie dura, en vez de una suave, éste es de color mate, en vez de brillante, pero el 4% de reflexión especular permanece; ésta se rompe y una parte de ella va en todas las direcciones posibles. Está difusa, y se suma a la reflexión difusa interna que determina el color. De este modo el 4% de luz blanca ha sido agregada a la coloración de la luz resultante de la dispersión. Para la misma formulación, el plástico de superficie mate, luce más clara que la del plástico con superficie brillante. Es decir que se tiene que obtener el brillo correcto antes que observar el color.

3.2.3 La visión del color

Mientras que las propiedades de visión del color son tan importantes para determinar los colores percibidos de los objetos, como lo son las propiedades de las fuentes de luz y los mismos objetos, no es necesario conocer mucho detalle de cómo funciona el ojo humano. Es suficiente saber que para la visión es necesario una razonable luz brillante, al caer la luz sobre la retina en la parte de atrás del ojo, éste genera tres clases diferentes de receptores sensitivos llamados conos y estos envían tres clases de señales nerviosas al cerebro. El número tres es importante y corresponde al hecho que, usualmente el color puede ser descrito por sólo tres términos, tales como matiz, claridad, saturación.

Sin embargo, las señales enviadas al cerebro no corresponden directamente a estas tres cantidades. Muchos hechos de la visión del color parecen ser explicados mejor al asumir que las señales de cono son reconstruidas cuando van hacia el cerebro y son recibidas como señales oponentes las cuales describen el rojo versus el verde, el amarillo versus el azul y claridad versus oscuridad. Esta es la misma idea usada para derivar algunos grupos de número que describen el color, a partir de los resultados de la medición del mismo, como lo veremos más adelante.

3.2.4 Metamerismo

Un dispositivo simple de prueba que muestra las diferencias entre observadores y además entre fuentes de luz, es la Regla de Color D&H. La regla del color D & H está basada en un fenómeno fundamental de medición del color y de combinación del color llamada *Metamerismo*. En la figura 5 se puede ver un bosquejo más completo de cómo las tres señales requeridas para la medición del color son formadas y enviadas al cerebro. El primer panel de la izquierda muestra la distribución de potencia espectral de una fuente de luz, en este caso una fuente estándar se especifica por un grupo llamado la Comisión Internacional sobre Iluminación, conocida como la CIE de las iniciales de su nombre en francés. El próximo panel muestra la curva de reflectancia espectral de un objeto típico, que es, la fracción de la luz de la fuente que es reflejada fuera del objeto. El producto obtenido al multiplicar estos dos paneles, en cualquier longitud de onda, es la potencia reflejada del objeto hacia el ojo a esa longitud de onda.

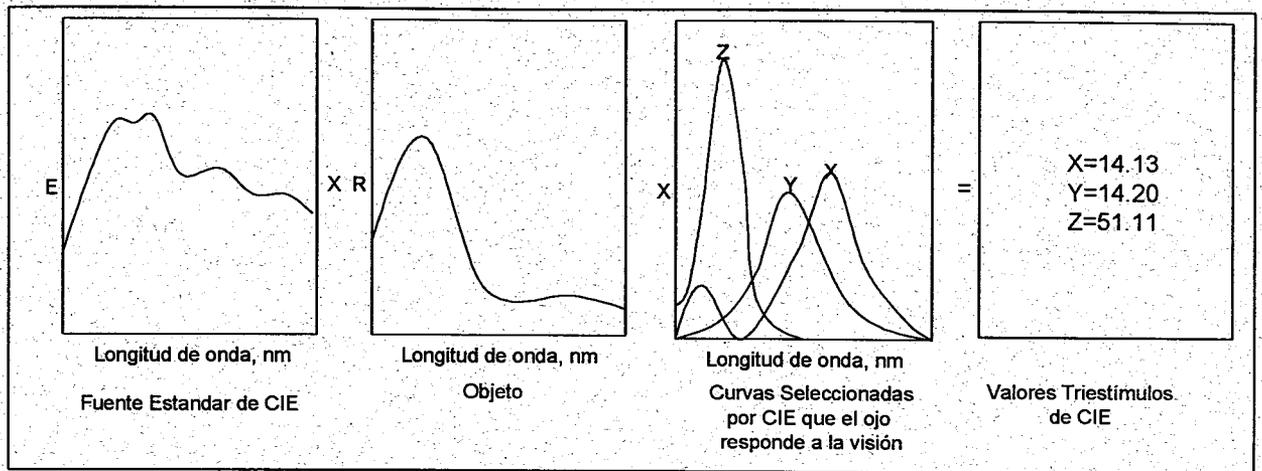


Figura 5 Valores triestímulo de CIE de la fuente estándar con un objeto típico (Ref. 3)

El tercer panel muestra tres curvas seleccionadas por el CIE para representar la manera que el ojo responde a esa potencia, en la visión del color. La interacción de la potencia entrante con estas tres curvas de observadores estándar llevan a las tres señales que representan aquéllas que efectivamente van hacia el cerebro.

Ahora es posible obtener estas tres mismas señales y, por lo tanto, el mismo color al combinar muchas fuentes diferentes, objetos y curvas de observador. Por ejemplo, uno tuvo diferentes objetos con diferentes curvas de reflectancia espectral. Podría ser posible que cuando son combinadas con las curvas para una fuente particular y un observador específico, los grupos de curvas resultantes de las tres señales serían los mismos. Esto significaría que dos objetos formulados en diferentes formas y teniendo diferentes propiedades de reflectancia espectral lucirían similares para cierto observador, cuando sean vistos bajo una fuentes específica de luz. Pero para un observador diferente o bajo una fuente de luz diferente, estos lucirían diferentes. Esto es llamado *metamerismo* y los dos objetos son llamados *un par metamérico*.

3.3 Descripción del color

Antes de discutir la medición del color con instrumentos, observemos los sistemas generales para describir el color en palabras y en números obtenidos por las comparaciones visuales para colecciones de muestras. Además de proveer útiles descripciones de color universalmente conocidas, estos sistemas proveen un grupo de resultados en contra los cuales las mediciones del color pueden ser probadas, para ver qué tan bien éstas describen lo que vemos.

3.3.1 Sistema de Munsell

En el sistema Munsell, internacionalmente usado desde los años 1,900, el color es descrito en términos de matiz, claridad y cantidades de saturación llamados matiz Munsell, valor Munsell, croma Munsell; respectivamente. Estos están arreglados como se muestra en la figura 6. El matiz Munsell es designado, como lo vemos en la figura, por letras que representan los cinco principales matices, rojo, amarillo, verde, azul, púrpura y cinco matices intermedios, los cuales juntamente con los números de 1 a 10 generan un círculo del matiz visualmente espaciado con unanimidad en 100-pasos. El valor Munsell (claridad) va de 0 para negro a 10 para blanco en pasos visuales iguales.

El croma Munsell empieza de 0 para grises y va tan lejos como se necesita en pasos de 2 pasos croma =1 paso valor. El sistema Munsell es ilustrado por las 1500 o más, muestras del libro del color de Munsell, hecho para tolerancias muy restringidas y usado mundialmente como la base para especificaciones de color.

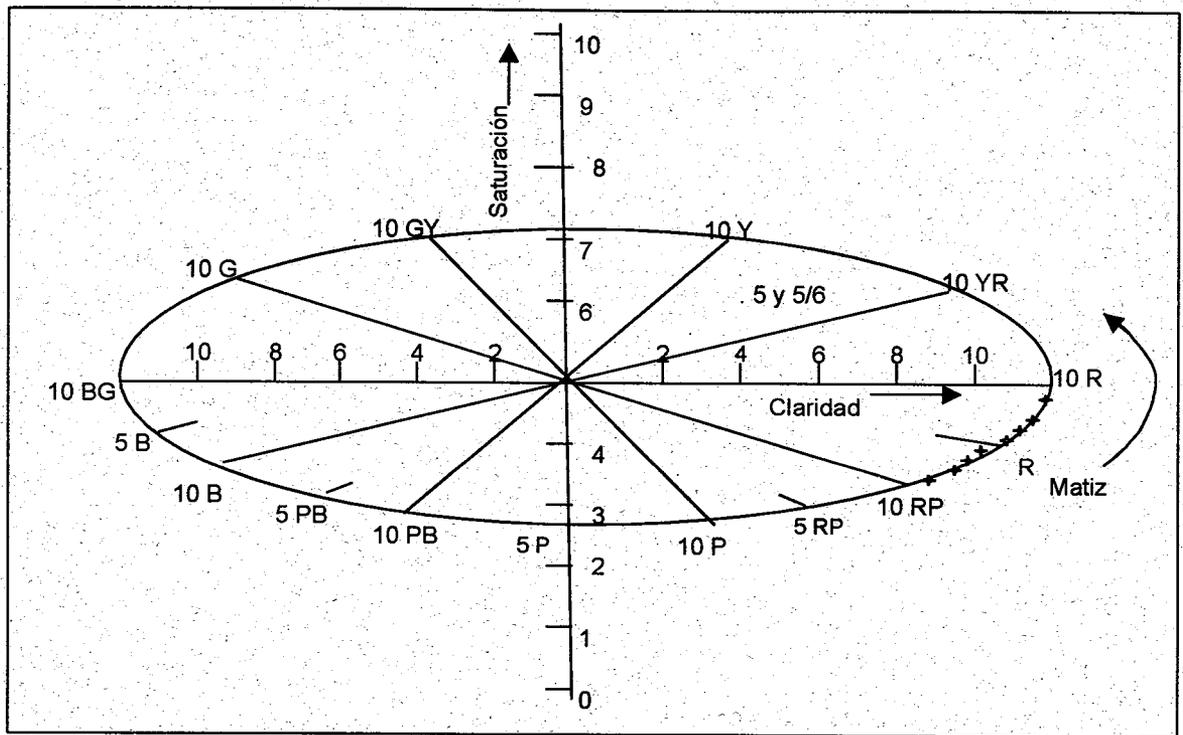


Figura 6 Muestra las tres coordenadas de matiz, claridad y valor de saturación (Ref. 3)

3.3.2 Lengua universal del color

El sistema Munsell es también parte de una lengua universal del color diseñada para proveer un estándar, descripciones fácilmente comprensibles del color a una variedad de niveles, con la selección del usuario dependiendo del grado de complejidad que él necesite, esto significa, de la cantidad de colores diferentes que tiene que describir.

El nivel más simple del lenguaje universal del color (nivel 1) usa únicamente las siguientes palabras para describir el color: rosado, rojo, naranja, café, amarillo, oliva, amarillo-verde, verde, azul, púrpura, blanco, gris y negro. El nivel 2, agrega más nombres de matices que hacen un total disponible de 29. Como un ejemplo de que podemos seguir a través de los diferentes niveles, una pieza de plásticos llamada

simplemente naranja en el nivel 1, podría ser mejor descrita como naranja rojizo en el nivel 2. El nivel 3, del lenguaje consiste en el Sistema ISCC-NB5 (Inter-Society Color Council-National Bureau of Standards), en el cual se usan 267 nombres para los colores.

El sólido tridimensional del sistema Munsell es dividido en secciones (una es mostrada en la figura 7), para el matiz así como para la claridad y saturación. En el nombre del color, se usan adjetivos para describir estas cualidades del color, como se muestra en la figura 7. En este nivel el plástico en mención, sería descrito con mayor exactitud como naranja rojizo oscuro. El sistema ISCC-NBS es ilustrado por los colores centroides, que muestran los colores reales de los centros de cada una de las 267 regiones.

El nivel 4 del lenguaje universal del color consiste en designaciones de las aproximadamente 1500 muestras del libro del color de Munsell. Aquí la muestra que se ha mencionado, sería descrita como 8R 4/10 y su color estaría más cercano al que corresponde a la muestra del libro Munsell.

Para usar el nivel 5 del lenguaje se requiere un juicio visual de cómo exactamente el color de nuestra muestra difiere de las más cercanas a ella, en el libro del color y de la asignación que se le haga de una designación interpolada de Munsell tal como 8.1 R 4.1/9.3. Probablemente 100,000 colores, diferentes podrían distinguirse por tal designación. El nivel final, nivel 6 del lenguaje requiere medición instrumental exacta del plástico y su designación en términos numéricos (tales como $x=0.527$ y $y=0.343$, $Y=12.5$) por métodos que se describen posteriormente.

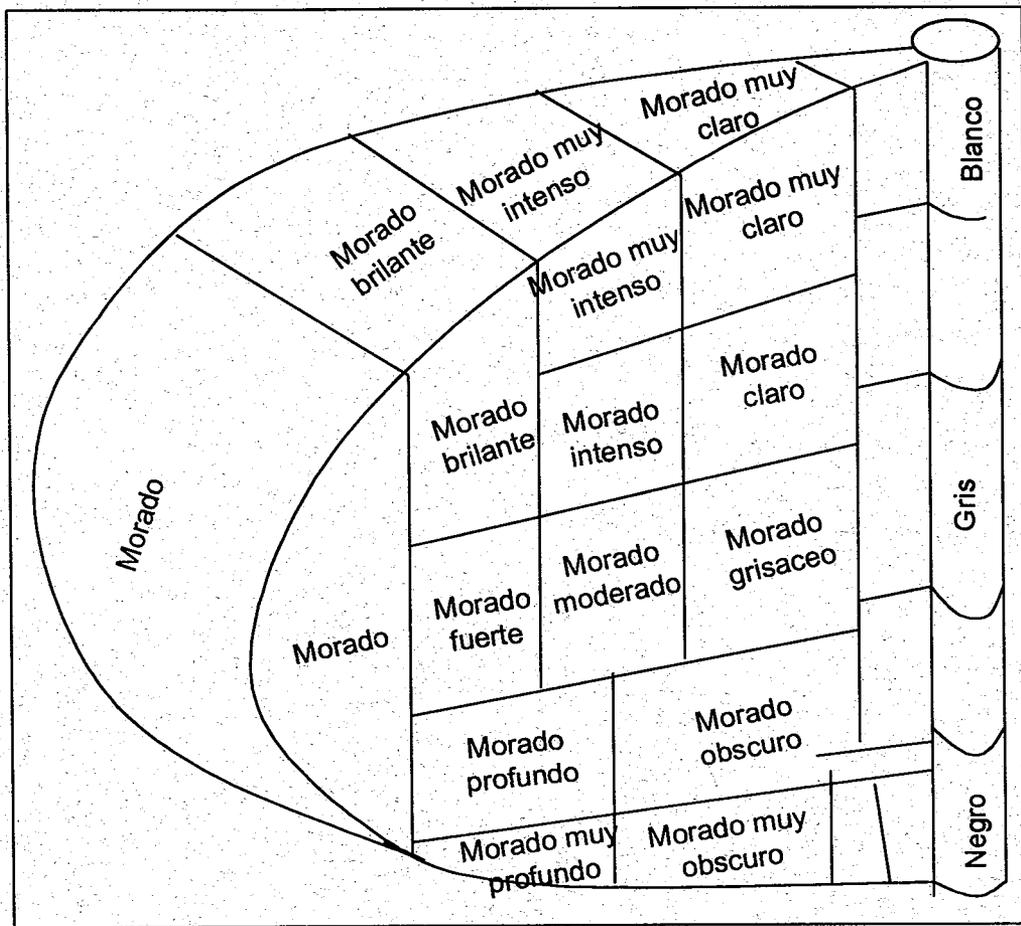


Figura 7 Región púrpura (morada) del espacio del color (Ref. 3)

3.3.3 Sistemas tipo-oponente

Una forma completamente diferente de describir colores, está basada en las teorías de la visión del color que dicen que las señales enviadas del ojo al cerebro llevan información sobre el aspecto rojizo o verduzco, amarillento o azulezco y la claridad. Estos sistemas usan tres cantidades para describir el color, como se muestra en la figura 8. La claridad es usualmente llamada L , la coordenada rojo-verde "a" (la cual es positiva para colores rojo, negativo para verde), la coordenada amarillo-azul "b" (positiva para amarillos, negativa para azules). Este tipo de descripción L,a,b , ha sido ampliamente

utilizada por Hunter, y sus instrumentos de medida del color, para ser descritos, provee mediciones directas de L, a, b. La Sociedad Optica de América (Optical Society of America, OSA) ha desarrollado este tipo de sistema, y sus coordenadas son consideradas para muchos, mejores que cualquier otra, para representar el espacio visual, aunque por años el sistema Munsell ha sido tomado como el estándar a este respecto. El Sistema OSA es ilustrado por 500 muestras pintadas.

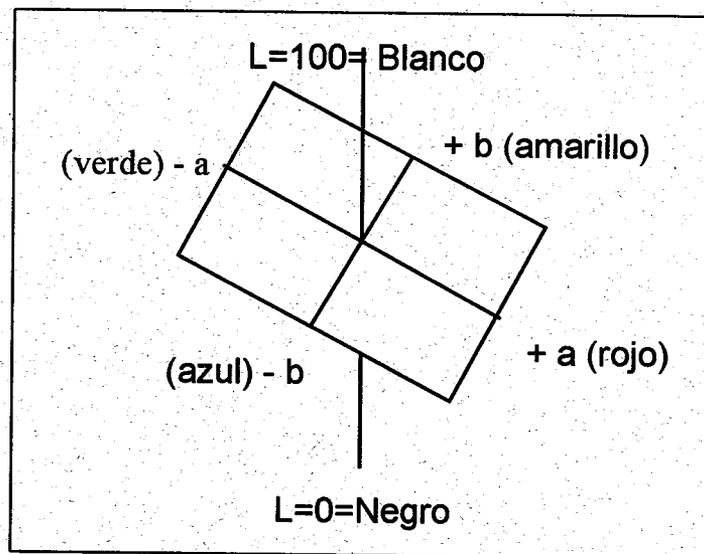


Figura 8 Sistema tipo oponente, con coordenadas L,a,b (Ref. 3)

3.3.4 Escalas del color

Si las variaciones del color entre las muestras son limitadas a una particular dirección es posible describir las muestras por un número simple. Así, todos los colores blancos, grises y negros que no tienen cierto matiz o saturación, pueden ser descritos sólo por su claridad.

Las muestras blancas o sin color que son levemente amarillas pueden ser descritas de esta forma, y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) ha publicado un método para derivar de los resultados de la medición del color, un índice de amarillo que es muy útil para los plásticos. Los esfuerzos para aprovechar índices similares del blanco no han sido muy exitosos, básicamente porque la gente de las diferentes industrias no puede decidir sobre el blanco preferido o direcciones preferidas (matices) para los colores que se derivan de él.

3.4 Colorimetría

Pasamos a la discusión de la colorimetría, que es la medición del color por instrumentos. Esto se refiere, a la medición de aquellos aspectos físicos relacionados con el color, descritos anteriormente. No hay forma de medir la interpretación obtenida sobre la información del color en el cerebro. Antes de discutir los instrumentos, se consideran los métodos e información estándar sobre los cuales se basa la medición. Estos fueron recomendados por la CIE en 1931.

Las bases sobre las que el sistema CIE trabaja son que el color es descrito por tres números, llamados valores triestímulo, designados por X, Y, Z. Si dos colores tiene los mismos valores triestímulo, estos se igualan; de otra manera no. El Sistema CIE definido de esta forma trabaja muy bien, pero no dice nada acerca de cómo los colores lucen o qué tan grande es su diferencia entre ellos, si no se igualan. Estos son problemas mucho más difíciles, que en la actualidad no están completamente solucionados.

El sistema CIE hace un mayor énfasis sobre los objetos involucrados y es usado para determinar si dos muestras se igualan, cuando son observadas bajo un iluminante específico por un observador específico. Para muchos problemas de medición es conveniente asumir que la iluminación sobre muestras está descrita por uno de los

iluminantes estándar CIE y que las muestras iluminadas son vistas por el observador estándar CIE. Ambos son discutidos posteriormente.

En lo que corresponde a la importancia de la muestra en el Sistema CIE, la medición que suple la información más útil es la tabla de números que representa la curva de reflectancia espectral de la muestra (o su curva de transmisión espectral, pero se considera únicamente el caso de reflexión por simplicidad).

Ya que el iluminante particular estándar usado y el observador estándar son siempre los mismos, estos pueden ser usados también en forma de tablas de números. Todos los instrumentos modernos de medición del color, tienen dentro de sí una computadora o son utilizados con computadoras, que combinan todos estos números en la forma apropiada para obtener los valores triestímulo. La forma que esto es hecho fue descrito en la fig. 5 y el método es repetido de manera detallada en la figura 9.

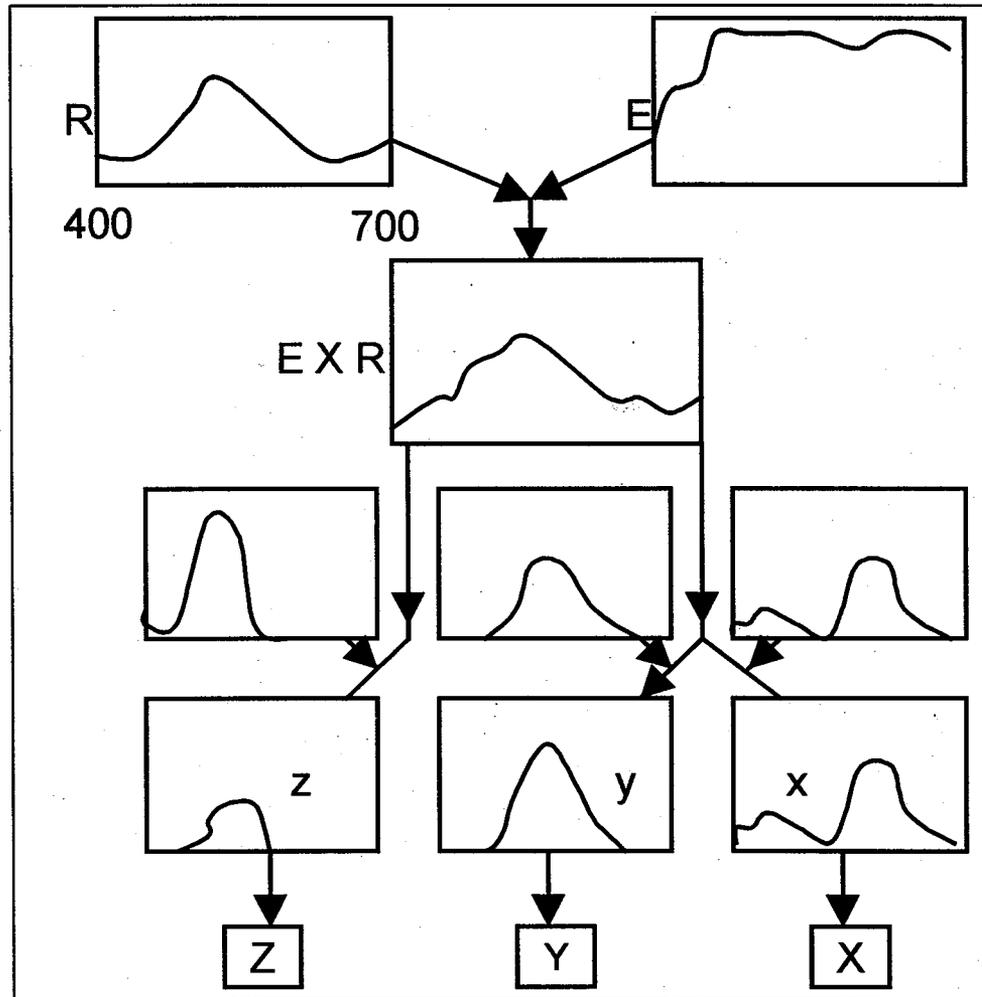


Figura 9 Manera detallada de obtener los valores Triestímulo (Ref. 3)

La curva de reflectancia espectral es mostrada en la parte superior izquierda y la curva de distribución de potencia espectral del iluminante estándar en la parte superior derecha. A cada longitud de onda los números que se leen son multiplicados; cuando se plotean, generan la curva E X R, como se muestra. Las próximas tres curvas señaladas como x, y y z representan al observador estándar. La curva E X R es multiplicada por cada una de las tres curvas que se encuentran en la parte inferior de la figura. Las áreas bajo estas curvas son medidas; éstas son los valores triestímulo X, Y, Z. Un paso

adicional, que no se muestra en la figura, tiene que ser agregado: los valores triestímulo tienen que ser ajustados a alguna escala estándar. Esto es siempre hecho igualando el valor del triestímulo Y a 100 para un blanco perfecto, cuya reflectancia es 100% en todas las longitudes de onda. El valor del triestímulo Y es seleccionado porque los datos del observador estándar fueron elegidos como para hacer que Y correlacione con la claridad de la muestra. El valor del triestímulo Y es algunas veces llamado reflectancia luminosa (o de transmisión).

3.4.1 Iluminantes y fuentes estándar de la Comisión Internacional sobre Iluminación(CIE)

En 1931 la Comisión Internacional sobre Iluminación recomendó el uso de fuentes estandarizadas A (los cuales se pudieron observar en la figura 4), B y C. La fuente A es una lámpara incandescente operada bajo condiciones estándar; para obtener B y C se colocaron filtros azulados fueron colocados frente a A para obtener aproximadamente una luz del sol de medio día y una luz del día de la parte norte del cielo, respectivamente. Todas son fuentes reales, pero B y C no son muy convenientes y virtualmente nunca son utilizadas. Hoy día las tres son sido usadas a través de sus distribuciones de su potencia espectral estándar como Iluminantes Estándares.

B y C tienen una gran desventaja, no contienen tanta luz ultravioleta como hay en la luz natural del día. Esto se ha vuelto importante hoy en día, como consecuencia del incremento en el uso de iluminadores fluorescentes, estos colorantes que absorben la luz ultravioleta y emiten una luz visible fluorescente, dando la apariencia que depende de la cantidad de potencia ultravioleta en la fuente. Muchas de las muestras que incorporan iluminadores fluorescentes han sido diseñadas para ser vistas en la luz del día. En 1964 la comisión internacional de iluminación (CIE) recomendó el uso en los cálculos de una serie de iluminantes estandarizados basados en la luz natural del día, el más importante de los cuales es D_{65} o los otros iluminantes D están convenientemente disponibles, pero

los métodos de cálculo que están siendo perfeccionados, pronto harán innecesario su uso. La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) ha afirmado que se espera que en el futuro los iluminantes A y D₆₅ sean los únicos ampliamente usados.

3.4.2 Diagrama de cromaticidad de la CIE

¿Ahora que tenemos valores triestímulo de la CIE, qué podemos hacer con ellos? Desde luego pueden ser usados directamente para ver si dos colores se igualan, para probar un color contra una especificación, o para derivar más información como diferencias en color; pero probablemente éstos son más usados en mapas del espacio de color llamados "Diagramas de cromaticidad".

El principio aquí es separar la información del matiz y saturación de la muestra, llamada su cromaticidad, y hacer puntos mostrando estas cualidades. Esto se hace calculando las coordenadas de cromaticidad:

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

La tercera coordenada de cromaticidad z se puede obtener de esto: $z = 1 - x - y$. El diagrama de cromaticidad 1931 de la CIE, mostrado en la figura 10, es un gráfico trazando x contra y.

El diagrama de cromaticidad tiene las propiedades que todos los colores reales se trazan dentro de la línea en forma de herradura sobre la cual los colores del espectro, designado para sus longitudes de onda, se encuentran. Los extremos de esta línea, llamados punto del espectro, se unen por una línea que atraviesa la parte inferior, en donde ocurren los colores púrpura (morado).

La línea que sube hacia el centro del diagrama es el punto de cuerpo negro, en donde se encuentran las cromaticidades de cuerpo negro. La localización de fuentes estándares A, B, y C se muestra, y D_{65} está localizado justo arriba del círculo marcado con 6500° .

El propósito básico del diagrama de cromaticidad es de nuevo, señalar cuando los colores se igualan: dos colores que tienen los mismos valores de x , y y Y se igualan, de otra forma, no.

El sistema de la CIE no dice nada acerca de cómo los se ven los colores. Sin embargo, es cierto, que los colores iluminados por una fuente estándar y observados por un observador estándar que tienen cromaticidades que corresponden a las apariencias del color, y muchos usan el diagrama de cromaticidad CIE, para mostrar dónde descansan los diferentes colores.

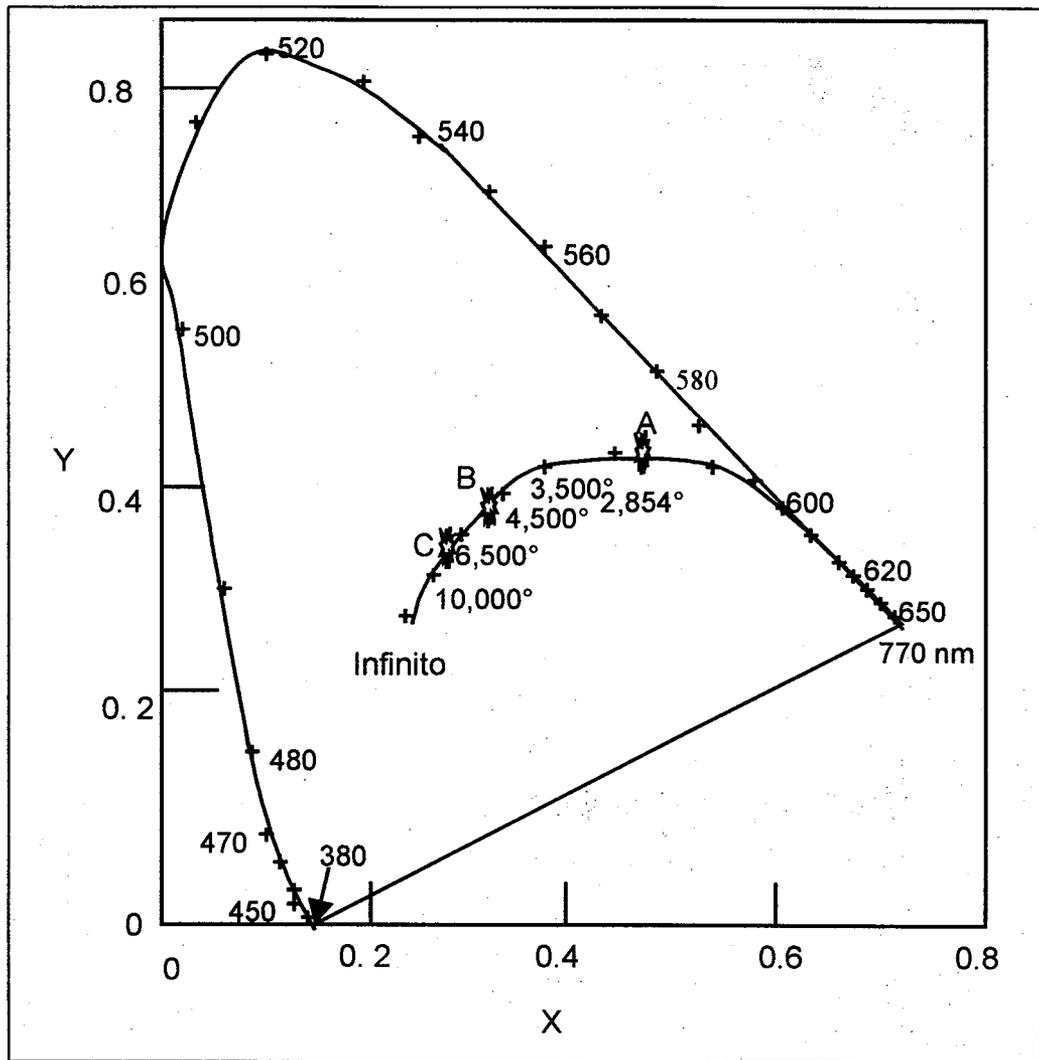


Figura 10 Diagrama de Cromaticidad x, y (CIE 1,931) (Ref. 3)

La localización de los colores del diagrama de la CIE depende en la fuente de luz usada y el estado de adaptación del ojo del observador; por eso estas designaciones son muy aproximadas de. La figura 11 muestra donde algunos colores en común están cuando C es la fuente pero se advierte que estos usos del diagrama son bastante limitados.

Un ejemplo específico del uso de las coordenadas de cromaticidad de la CIE, y un diagrama de particular interés para la industria de plásticos, es ilustrado en la figura 12. Este diagrama muestra los límites dentro de los cuales deben caer las señales de luz para uso automotriz. Por ejemplo, un color emitido por una luz roja debe tener cromaticidad dentro del área marcada en “rojo” cuyas líneas límite son $Y=0.33$ (en la parte superior “límites amarillos”) y $y=0.98 - x$ o su equivalente $z=0.02$ (en la izquierda “límites azul”).

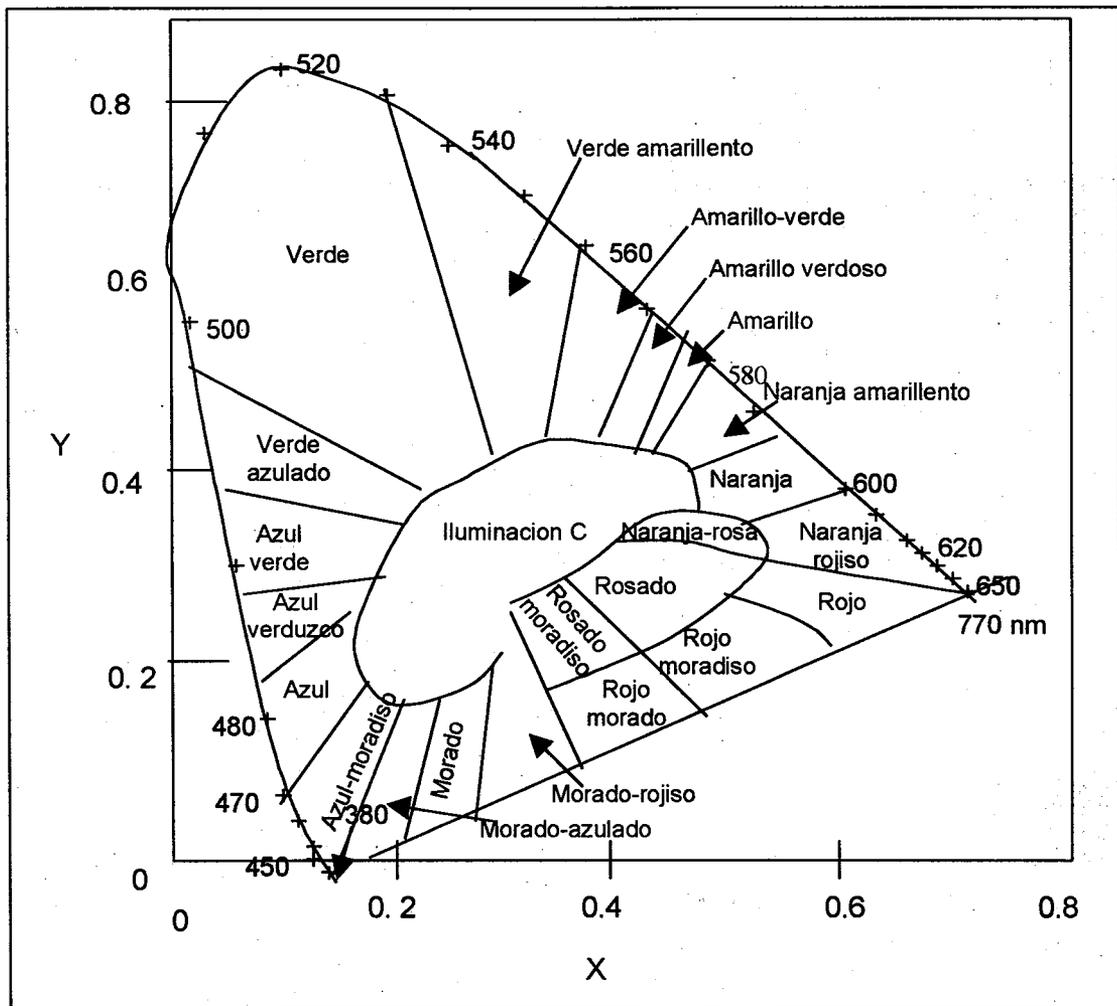


Figura 11 Diagrama de cromaticidad de la CIE mostrando los nombres de los colores (Ref. 3)

El área marcada en blanco en la figura 12 señala claramente el daño que involucra el uso descuidado del diagrama de cromaticidad. Este se centra en la fuente A de cromaticidad, una lámpara incandescente. Para un observador cuyos ojos están adaptados a una luz incandescente, los colores en ésta área parecen blancos, pero para un observador cuyos ojos están adaptados a una luz del día en el cielo norte, la calidad de la fuente C, para quien el diagrama de la figura 11 es más cercano a lo correcto, el color blanco en la figura 12 parecería verdaderamente muy amarillento.

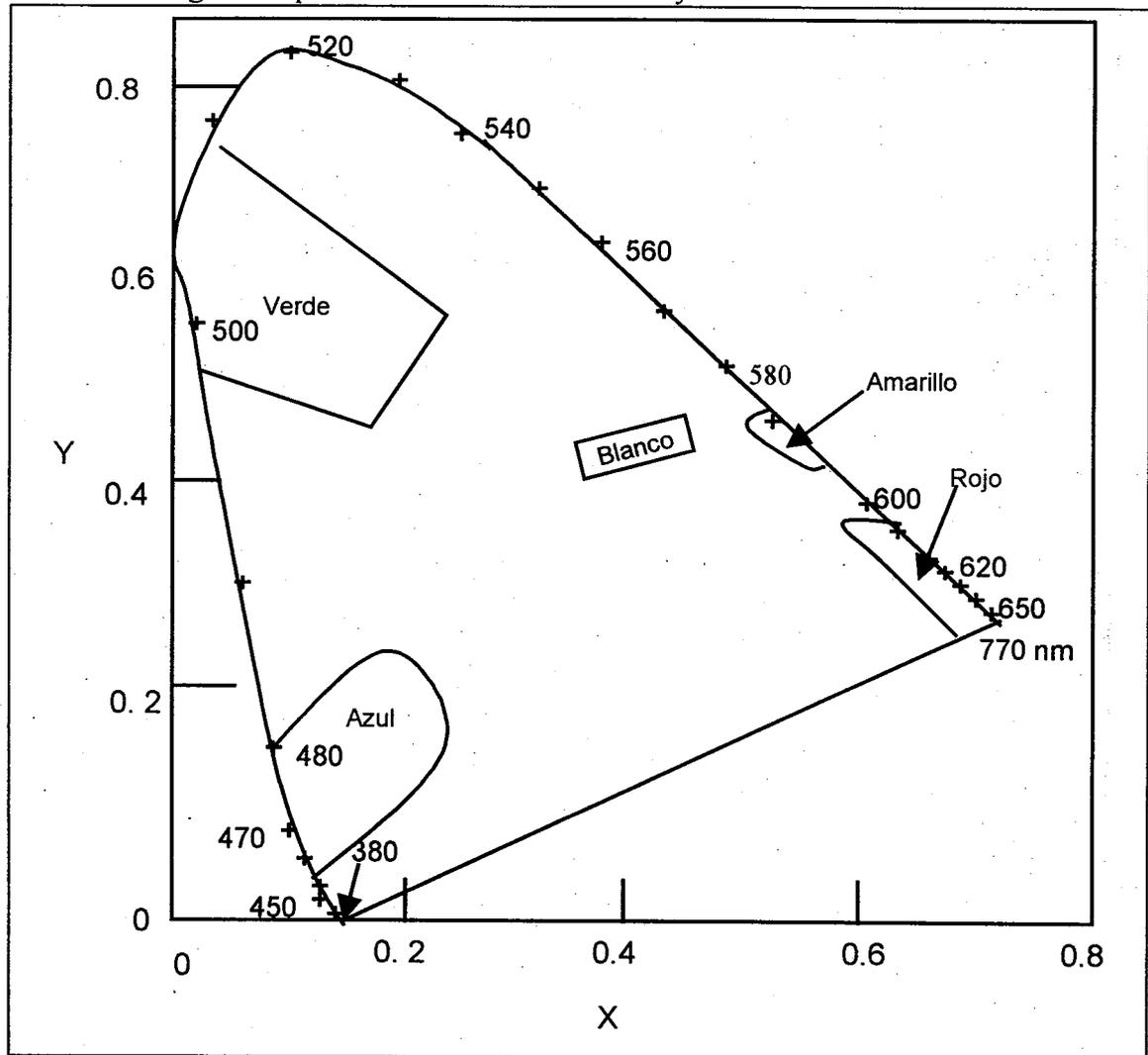


Figura 12 diagrama de cromaticidad de la CIE que muestra las áreas de especificación para los colores luces de señales automotrices (Ref. 3)

3.5 Instrumentos de medición de color

La razón por la cual se usan instrumentos para medir el color es clara, permanentemente ellos proveen información verdadera acerca del color, en forma de curvas de reflectancia espectral y valores triestímulo estándar derivados.

3.5.1 Espectrofotómetro

Ya que la información básica necesaria referente a una muestra para obtener su valor triestímulo en la curva espectral de reflectancia, el instrumento básico para la medición del color es el Espectrofotómetro. La operación de este tipo de instrumentos se presenta en la figura 14.

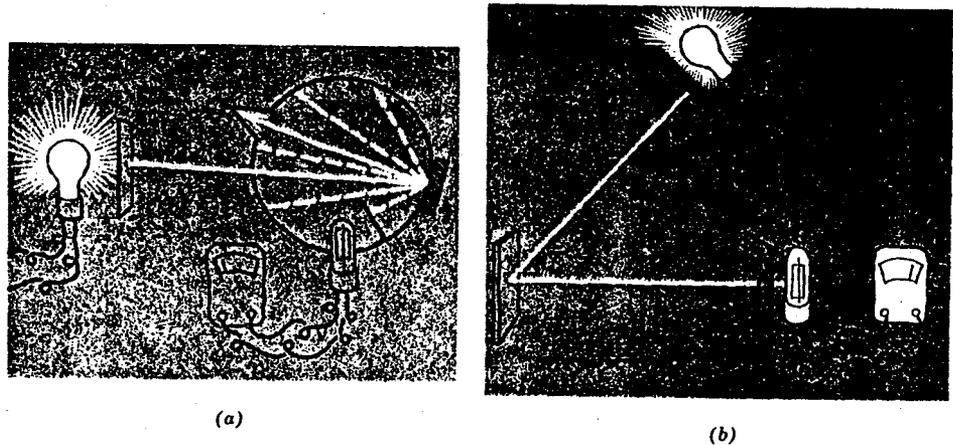


Figura 13 Arreglo de componentes de instrumento en (a) esfera-integrante y (b) 45°/0° iluminando y viendo geometría (Ref. 3)

Una luz desde la fuente es dispersada dentro de un espectro por medio de un prisma de difracción permitiendo ingresar lo que es conocido como monocromato. Una banda

estrecha de longitud de onda es seleccionada por medio una abertura pequeña y cae en la muestra. Mientras se van seleccionando diferentes longitudes de onda, la curva de reflectancia espectral se va trazando. En ambas figuras 13 y 14, las posiciones de la fuente de luz y el detector pueden ser intercambiadas, esto no hace diferencia con el arreglo que se use, excepto que los resultados correctos con muestras fluorescentes pueden obtenerse, solamente cuando la muestra es iluminada directamente con luz desde la fuente. Con una sola reciente excepción, todos los espectrofotómetros de mediciones de color comúnmente usados en los años recientes han utilizado geometría de esfera integrante.

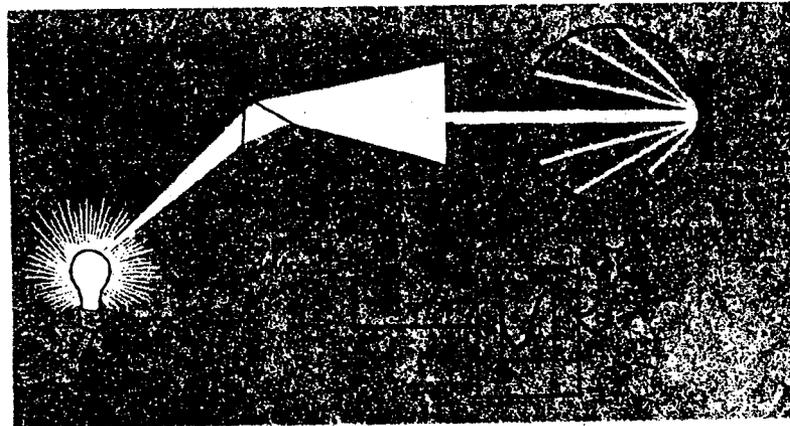


Figura 14 Arreglo de componentes de instrumento en un espectrofotómetro típico (Ref. 3)

3.5.2 Colorímetros triestímulo

Los colorímetros triestímulo son instrumentos que usan una técnica analógica óptica que involucra filtros con una banda ancha en vez de un monocromato para proveer (en una versión moderna con la capacidad de una computadora interna) lecturas directas de valores triestímulo aproximados de la CIE, coordenadas de cromaticidad y coordenadas de tipos "oponentes" L, a, b. La aproximación surge desde la dificultad al hacer la técnica analógica óptica, exacta. Esto quiere decir que estos instrumentos no proveen valores triestímulo exactos, aunque proporcionan diferencias exactas en valores triestímulo entre pares de muestras no metaméricas y pueden ser usadas satisfactoriamente como métricas de diferencias de color. No miden la curva de reflectancia espectral y por lo tanto no detectan metamerismo. Son de poco valor como una ayuda para igualar colores. Es posible que como consecuencia de estas limitaciones y el hecho de que su costo bajo, comparado con los espectrofotómetros, ya no es una ventaja mayor, pronto veremos cómo desaparece el uso de los colorímetros triestímulo.

3.5.3 Estandarización

De ninguna clase de instrumento puede esperarse que proporcione resultados satisfactorios sin una cuidadosa estandarización. Para la medición del color por espectrofotometría debe tenerse un cuidado particular en asegurar su exactitud en la longitud de onda y las escalas de reflectancia o de transmitancia, y seleccionar y mantener el blanco de referencia estándar. Existen varios filtros y azulejos de reflexión para una verificación de estandarización y deben usarse regularmente. También existen estándares de diagnóstico especiales disponibles para colorímetros de triestímulo. Un reporte del Subcomité del Consejo de Problemas de Color Inter-Sociedad, provee información completa sobre los procedimientos y material estándar requerido para asegurar la exactitud de la medición del color. También está disponible un programa de

referencia de colaboración, que permite al usuario hacer comparaciones periódicas en la ejecución de su instrumento, con otros, que son usados a través del mundo.

También debe hacerse énfasis especial en que los resultados de cualquier medición, no pueden ser mejores que la muestra que está siendo medida. La preparación apropiada de la muestra y las pruebas adecuadas para asegurarse que la muestra es representativa para el plástico que se está probando, puede hacerse con alta reproductibilidad, y es indispensable para mediciones que son de mucha importancia. Los instrumentos de medición del color modernos, son en general excelentes, la parte débil de su uso es el proveerles con las muestras apropiadas y prever que se conozca la interpretación de los resultados de las mediciones.

3.6 Igualación del color

En esta y en una siguiente sección se considera las dos mayores aplicaciones en la medición del color para la industria de plásticos, igualación y control de colores.

Igualar colores es tradicionalmente un procedimiento visual, pero el uso de instrumentos para la medición de color y computadoras pueden proveer una mayor asistencia para el que realiza esta actividad. El relativamente bajo costo y versatilidad de los instrumentos modernos, hacen que valga más la pena considerar su uso en estos tiempos, en comparación con los años anteriores.

3.6.1 Evitando metamerismo

Desde que pareciera que el cliente siempre quiere la igualación exacta, evitar el metamerismo es un objetivo principal en la mayoría de igualaciones de color. Como se

mencionó, la forma para hacer esto es asegurándose que la muestra de plástico tiene la misma curva de reflectancia que la del estándar del cliente en consideración. Ya que no podemos ver diferencias en las curvas de espectrofotometría, la mejor forma de hacerlo es por medición, pero debe usarse un espectrofotómetro; un medidor de colores triestímulo, no es de valor real como ayuda al igualar colores.

Para obtener la misma curva de espectrofotometría para la muestra y los requerimientos estándares, primero deben usarse los mismos colorantes en ambos; segundo, debe usarse el mismo sistema de resina; y tercero, que se alcance el mismo grado de dispersión. Estos requerimientos son difíciles para plásticos en muchos casos, pero será más fácil, si se comprende la importancia y las soluciones a los problemas que representan.

3.6.2 Mezcla de color en sistemas transparentes.

Cuando los tintes se mezclan en una resina transparente para darle color a los productos, solamente la absorción de la luz es importante. El proceso es llamado mezcla de sustracción (o a veces mezcla simple de sustracción) porque la absorción "sustrae" hacia fuera algo de luz. Los resultados son bastante diferentes de los de mezclas de aditivo de luces con color. La ley de sustracción de mezclas se puede apuntar como las respuestas a dos preguntas: primero, ¿cuál es la cantidad que mejor describe la absorción de luz? Se requiere que esta cantidad sea proporcionalmente exacta a la cantidad de material de absorción presente y fácilmente relacionada con algo que pueda medirse. Ya que la absorción cambia de una longitud de onda a otra, para dar efectos de color, podemos esperar que nuestra cantidad también cambie con la longitud de onda. La cantidad que llena estos requisitos es la absorbencia A , y está relacionada con las transmitancia T de la muestra, por:

$$A = \text{Log. } (1/T)$$

La transmitancia usada se debe corregir por reflexiones de la superficie, normalmente con poner un pedazo plástico incoloro en el lado de referencia del espectrofotómetro cuando la transmitancia de la pieza de color esta siendo medida.

Segundo, tenemos que preguntar cómo la absorción está relacionada con la concentración "c" del tinte o de tintes en la resina. El grosor de la muestra b también se toma en cuenta. Para un solo tinte.

$$A = abc.$$

Donde "a" es la absorción del tinte. Como un A y T cambian de una longitud de onda a otra, esta ecuación es conocida como la *ley de Beer*.

En un sistema transparente no se necesitan más de tres tintes en cualquier formulación (y ordinariamente no más de tres tintes deben usarse), para obtener el color deseado, porque sólo hay tres variables de color: matiz, luminosidad y saturación, por ejemplo, que deben ser controladas. Una amplia variedad de colores pueden hacerse con el uso de tintes de los tres colores primarios para una mezcla de sustracción: amarillo, cyan (marillo-verde), magenta (rojo-púrpura). Para tres tintes al mismo tiempo, la ley de Beer se convierte en:

$$A = a_1bc_1 + a_2bc_2 + a_3bc_3$$

3.6.3 Mezcla de color en sistema opacos y traslúcidos

Cuando ambos absorción y esparcimiento, son importantes, se presenta una situación más compleja, y a ésta de hecho, a veces se le llama mezcla de sustracción

compleja. Si la muestra es opaca, la contraparte de la ley de Beer, es una teoría confusa derivada por Kubelka y Munk. La cantidad importante es el radio de la absorción Kubelka-Munk (K), y los coeficientes de esparcimiento (S), que está simplemente relacionada con la reflectancia R de la muestra: $(K/S) = (1-R)^2 / 2R$

De nuevo la reflectancia tiene que ser corregida por reflexiones de la superficie. Las tres cantidades K, S, y R cambian con la longitud de onda.

Cuando se mezclan los pigmentos para dar plásticos pigmentados, es necesario normalmente usar cuatro pigmentos a la vez, desde la opacidad de la muestra, hasta las tres variables de color, se deben ajustar. Nuevamente, normalmente no se deben usar más de cuatro a la vez. A menudo, uno de estos es el blanco, para suministrar la opacidad; el segundo, negro; y los otros, dos pigmentos de color no demasiado lejanos en matiz. La parte de ley de mezcla de la teoría de Kubelka-Munk trata a K y a S separadamente: para cuatro pigmentos.

$$K = k_1c_1 + k_2c_2 + k_3c_3 + k_4c_4$$

$$S = s_1c_1 + s_2c_2 + s_3c_3 + s_4c_4$$

Donde las *k* y las *s* son coeficientes específicos de absorción y esparcimiento, respectivamente. Si la misma resina absorbe y esparce luz, otro término puede aumentarse para contar con él. Note sin embargo que el espesor de la muestra no es tan importante, mientras la muestra sea totalmente opaca.

3.6.4 La curva espectrofotométrica como una ayuda para la igualación de colores

Se ha señalado la importancia de la curva espectrofotométrica para la igualación de colores. La curva se puede hacer mucho más útil, por medio de formas especiales de

trazarla, tal que el trazo de la curva tenga una forma que es característica del pigmento usado, y tal que las distancias medidas en el trazo sean directamente proporcionales a su concentración. Para muestras transparentes la cantidad trazada es $\log A$, y para muestras opacas, $\log (K/S)$. Estas curvas pueden generarse directamente en algunos espectrofotómetros y por computadoras, plotters y otros. Las mejores descripciones de lo que los métodos pueden hacer, se refieren a textiles, pero se puede aplicar a sistemas de los plásticos también.

3.7 Control del color

El segundo mayor uso de la medición del color en la industria de los plásticos es para el paso de control de calidad al final del proceso de producción, en el que el color del producto es inspeccionado contra el color estándar. Aquí el metamerismo no debe existir, ya que siempre se debe tener cuidado que los mismos colorantes que sean utilizados en el estándar, sean utilizados en la producción. Si esta condición se cumple, los medidores de color triestímulo puede utilizarse satisfactoriamente para mediciones de control de color. Los datos resultantes se pueden usar en dos formas: primero, para la cálculos en la diferencias de color y segundo para establecer gráficas de tolerancia en el color.

3.7.1 Cálculos de la diferencia del color

Las forma básica de expresar los resultados de la medición del color en números es por medio de los valores triestímulo de la CIE X, Y, Z . Sin embargo, el sistema CIE no fue diseñado para tener la propiedad de que los cambios igualados o las diferencias en valores triestímulo entre dos muestras, signifique diferencias de color iguales, entre ellas. Desde que se descubrió que este era el caso, han habido muchas propuestas de formas de calcular los nuevos números basados en X, Y y Z , que representen más cercanamente espacios de color uniforme. Estos esfuerzos, no han sido muy exitosos. Actualmente, por lo menos 20 métodos que guían hacia el cálculo de ecuaciones de

diferencias de color se han propuesto, y varios son utilizados ampliamente. La mayoría de instrumentos de medición del color modernos, calculan las diferencias de color automáticamente por medio de una o más de estas ecuaciones, después de sucesivas mediciones del estándar y de la muestra, entre los cuales se requiere la diferencia.

En 1976 la CIE hizo una recomendación para promover la uniformidad de la práctica, en un esfuerzo para eliminar la confusión de la situación que resulta del uso de muchas ecuaciones diferentes para diferencias del color. La parte más importante de la recomendación de la CIE, es el uso de lo que se conoce como ecuación de diferencia de color CIELAB. El nombre viene de ecuación de diferencia de color CIE 1976 $L^*a^*b^*$ y ésta involucra una coordenada de la luminosidad L^* , que va desde 0 para negro a 100 para blanco, una coordenada verde – rojo a^* , la cual es positiva para rojo, y negativa para verde; y una coordenada amarillo – azul, la cual es positiva para amarillo y negativa para azul (estas son similares a las coordenadas L, a, b mostrada en la figura 3.6). Las ecuaciones para éstas, en términos de X, Y y Z , y X_n, Y_n y Z_n (los valores triestímulo del blanco para el Iluminante C de la CIE y observador estándar de 1931, $X_n = 98, Y_n = 100, Z_n = 118$) son:

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \\ b^* &= 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \end{aligned}$$

Todas las cantidades $(X/X_n), (Y/Y_n),$ y (Z/Z_n) debe ser mayor de 0.01 pero las ecuaciones alternas están disponibles para usarlas cuando éstas no lo son.

Las diferencia entre dos colores puede expresarse como diferencias en estas coordenadas: $\Delta L^* = L^* (\text{muestra}) - L^* (\text{estándar})$, donde ΔL^* es positivo si la muestra es más clara que el estándar, negativa si esta es más oscura; $\Delta a^* = a^*(\text{muestra}) - a^*(\text{estándar})$, donde Δa^* es positiva si la muestra es más roja que la estándar, negativa si

esta es más verde, y $\Delta b^* = b^*(\text{muestra}) - b^*(\text{estándar})$, la cual es positiva si la muestra es más amarilla que la estándar, negativa si es más azul. Estas tres cantidades pueden ser combinadas para sacar un solo número para el total de diferencias en el color, ΔE_{ab} , pero por supuesto mucha información valiosa sobre la dirección de las diferencias del color se pierde, si se hace esto:

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

Al usar CIELAB o cualquier otra diferencia de color, varias cosas deben recordarse. Primero, esto no es posible convertir de diferencias del color calculadas por una ecuación, a aquéllas que se calcularon por otro medio de cualquier factor constante; siempre se tiene que ir a los valores originales X, Y y Z y empezar de nuevo. Esto es por lo que el uso de muchas fórmulas diferentes es muy confuso. Segundo, no existe fórmula de diferencia de color todavía inventada o anticipada en el futuro cercano(a pesar del entusiasmo de los que las crean) que sea enteramente uniforme, que una unidad de diferencia de color tenga el mismo significado en términos de una percepción visual de todos los colores y todas las posibles direcciones de diferencias del color. Tercero, tolerancias del color industriales están normalmente basadas en consideraciones de aceptabilidad, logradas con el dialogo entre el comprador y vendedor, en lugar de en perceptibilidad. Las diferencias de color CIELAB o cualquier otra diferencia de color, deben ser por lo tanto, usadas como una guía hasta que se haya obtenido suficiente experiencia, para cada color, para permitir especificaciones numéricas de un límite de tolerancia. La unidad de diferencias de color CIELAB, es aproximadamente de dos a tres veces la diferencia de color perceptible exacta.

4. EQUIPO DE DISPERSIÓN

Este capítulo se refiere al equipo empleado en la dispersión de colorantes en los plásticos. La dispersión de pigmento en las resinas se lleva a cabo en tres pasos: mojado inicial, reducción del tamaño y mojado profundo. Todos estos ocurren simultáneamente. Las partículas esenciales del pigmento existen en celdas o aglomerados, los cuales deben ser partidos y después mojados con la resina para desplazar aire de todas las superficies. Un constante abastecimiento de resina fundida tiene que estar disponible tan pronto como el tamaño de la partícula sea reducido. En la práctica, el colorista de plástico está interesado en obtener el máximo valor de color a un costo mínimo. La resina final pigmentada tiene que estar libre de manchas y pringas, y los resultados tienen que ser reproducibles. Los tintes representan un caso simple, ya que estos se disuelven y luego sólo necesitan mezclarse por completo.

4.1 Mezclado

4.1.1 Mezclado en seco

Usualmente, es necesario mezclar de varios colorantes para obtener una igualación de color exacta. Dos clases de mezcladores están disponibles. Un tipo de paleta da vueltas en su eje mientras atraviesa un círculo en un recipiente destapado. Otro mezclador el cual es cónico con un tornillo rotativo el cual eleva el contenido mientras se mueve en forma circular. Ambos mezcladores son hechos en varios tamaños y operan en ciclos de tiempo muy cortos.

Si se desea revestir los colorantes sobre la superficie de los gránulos o cubos de resina, la mezcla puede depositarse en un tambor o canasta. La rotación se hace sobre

un eje diagonal para mejorar el mezclado. La adición de una pequeña porción de cera o de algún plastificador ayuda a la adhesión de las partículas colorantes a la resina. El recipiente usualmente se llena a aproximadamente el 80% de su volumen.

Un tercer tipo de mezclado en seco es realizado por medio de un recipiente cubierto que tiene un presionador de alta velocidad. Los mezcladores de Henschel y Papenmier son algunos ejemplos, de este tipo. Las cuchillas podrían revolver hasta 3,600 rpm, y un enfriamiento externo es requerido frecuentemente. Las partículas colorantes son quebradas y mezcladas en los cubos de resina.

4.1.2 Molienda

Un paso más adelante en la incorporación de pigmento es el mezclado con resina fluida para dar una masa más o menos homogénea. Los rodillos de molienda han sido utilizados por muchos años para componer hule. Un rodillo de molienda doble tiene rodillos horizontales paralelos, los cuales giran en direcciones opuestas a velocidades diferentes. La resina y los colorantes son forzados hacia abajo entre el agarradero ajustable y los rodillos. El calor es aplicado a los rodillos internamente y también se desarrolla por la fricción de la molienda. Tan pronto como la resina se derrite, esta puede ser formada dentro de una banda en la parte frontal del rodillo, ajustando las velocidades relativas. Ya que existe poca mezcla de lado a lado, la banda debe de ser cortada de una de orilla y volteada en forma repetitiva.

Los rodillos triples de molienda fueron desarrollados para la industria de pintura y de impresión de tinta, para incorporar pigmentos secos dentro de vehículos líquidos. Cada rodillo rota tres veces tan rápido como el que está atrás de él. Después de una mezcla preliminar, la mezcla se alimenta al rodillo de la parte posterior, este pasa por debajo de un agarradero y sube al segundo agarradero, y es expulsado del rodillo de frontal por medio de un cuchillo adjuntado al alimentador. Normalmente se requieren

varios pasos para completar la dispersión. En la industria de plásticos, los rodillos de molienda triples son muy usados para la dispersión de colorantes dentro de los plástificantes. El mismo propósito es logrado por un disolutor Cowles en el cual un disco dentado rota a alta velocidad en un líquido.

Un Banbury es un mezclador de lote de intensidad interna. Dos rotores intermedios espirales o helicoidales giran dentro de caparzones cilíndricos adyacentes (figura 15). El lote es sostenido en el mezclador por medio de una apisonadora activada por presión de aire. El enfriamiento puede ser aplicado a los rotores o el protector. El tiempo de mezclado es de unos pocos minutos. La descarga es en terrones, los cuales pueden ser alimentados en un molino de doble rodillo para generar láminas o para un extrusor pelletizador. Los colores pueden ser cambiados rápidamente ya que el equipo se limpia prácticamente por sí mismo. Las resinas compuestas con mas frecuencia en un Banbury son el PVC para película y láminas, poliolefinas, ABS, poliestireno, melanina, y urea.

También hay una forma continua del Banbury. Los ingredientes son previamente mezclados y alimentados en forma limitada; esto quiere decir, que el rango de alimentación es menor que la capacidad del tornillo. El rotor actúa como un tornillo transportador, empujando la carga dentro de una sección de mezclado donde se experimenta un intensivo esquilado. La salida es a través de una puerta ajustable. El rango de alimentación es variable, y la descarga podría ser, por ejemplo, directa a una línea continua de generación de láminas.

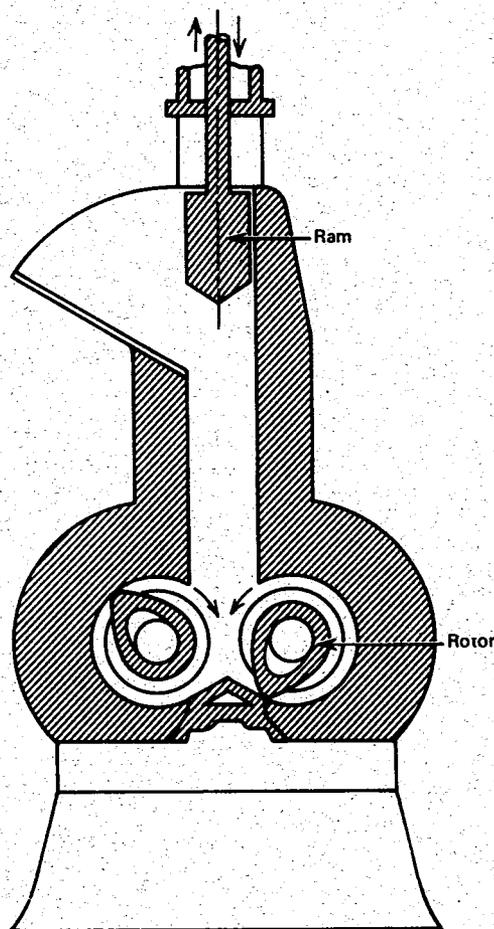


Figura 15 Esquema de un mezclador Banbury (Ref. 3)

El mezclador universal Baker Perkins es una plataforma cuadrada con fondo de doble curva teniendo dos cuchillas intermedias (figura 16). Los contenidos podrán ser calentados o enfriados por medio de un cobertor. La mayoría de los modelos son arreglados con una cubierta, la cual permite que el vacío sea aplicado en el secado. La descarga se logra inclinando el mezclador hacia adelante. Este equipo es más útil para procesamiento de materiales con viscosidad media y, plásticos de vinil. Además, es utilizado en un proceso llamado de flujo, en el cual un pigmento acuoso con consistencia de masa, es mezclado con un vehículo orgánico. El pigmento es de preferencia mojado por la fase orgánica; el agua se separa y se vierte hacia afuera. De esta manera el pigmento es dispersado en un plástificador sin siquiera ser secado. El proceso ha sido descrito en detalle y muestra ciertas ventajas en un poliéster térmico.

Las piezas del equipo anterior producen una mezcla de resina en forma de grumos grandes, los cuales no son útiles para mezclar o alimentar una máquina extrusora o de moldeado. Una opción es alimentar continuamente a un molino de rodillo para formar una lámina, y luego a un rajador el cual produce tiras, y finalmente a una cortadora para obtener cubos. Otra de las posibilidades es el mezclador de transferencia, un extrusor corto con un tornillo helicoidal rotando dentro de un estabilizador helicoidal. La descarga en la boquilla entrega unas tiras, las cuales pueden ser alimentadas a una cortadora convencional. Para alta producción, las tiras podrían ser cortadas bajo agua, por un cuchillo rotor; los cubos son desaguados y secados después.

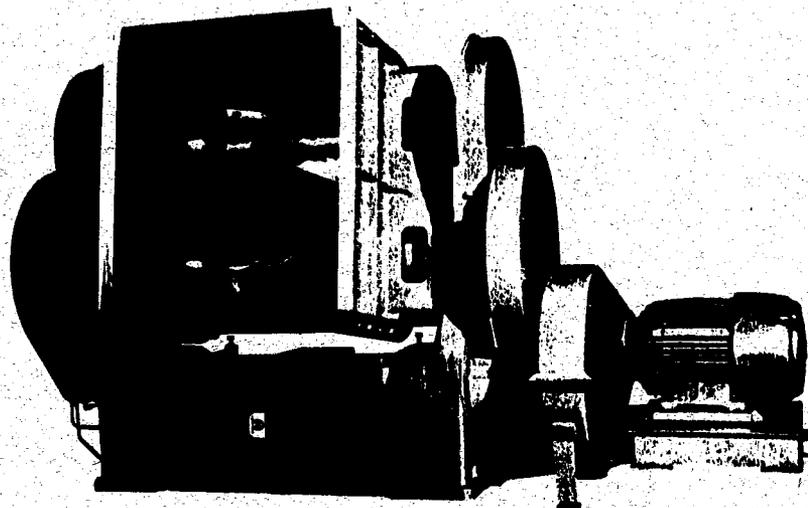


Figura 16 Mezclador universal con dos láminas intermedias de sigma (Ref. 3)

4.2 Extrusión

Casi todos los plásticos pigmentados y compuestos son extruidos para asegurar el mezclado completo y para producir cubos, películas, tubos, láminas, o rodillos. Un tornillo expulsor mucho más simplificado es mostrado en la figura 17. Los cubos de resina son alimentados por medio de una tolva hacia un tornillo rotativo en un cañón

caliente. El plástico se mueve hacia delante y se derrite por el calor aplicado al cañón y por el trabajo de ingreso del tornillo. El mezclado comienza tan pronto como el derretido se arrastra sobre la superficie del tornillo y el cañón.

Un extrusor de tornillo simple tiene tres secciones diferentes. En la sección de alimentación, los revuelos son lo suficientemente profundos para levantar los cubos de resina y moverlos dentro del cañón caliente. Mientras el derretido procede, la zona de transición o de derretido tiene revuelos de profundidad decreciente. La sección final de medición alimenta el derretido a un rango constante hacia la salida. Hay muchas variedades de diseño de tornillos. El nylon, con un punto de derretido correcto y un derretido de baja viscosidad, no tendría el mismo tornillo que un poliestireno con amplio rango de derretido y alta viscosidad. La longitud del radio del diámetro es otro factor de diseño. Algunos tornillos tienen una sección de mezclado en la cual los pines o barras meramente mezclan el derretido, dependiendo de las primeras secciones para poder empujar la resina hacia delante. El tornillo Barr tiene dos juegos de revuelo; un juego profundo, el cual contiene resina sin derretir, y un juego superficial, levanta el derretido y lo mueve a la zona de medición.

Si es necesario remover vapor de agua u otros volátiles del derretido, el cañón del extrusor puede ser ventilado. El derretido está normalmente bajo la presión de la rotación del tornillo. Si hay alguna sección demasiado profunda a lo largo de la zona de derretido, la presión es liberada y el vacío puede ser aplicado a una zona en el cañón del extrusor. A lo largo de la ventilación la sección de medición finaliza. Usualmente hay una pantalla o un filtro al frente de la salida, para remover el material no dispersado y el metal atrapado.

La figura 18 muestra una tolva llena de cubos de resina, la cual el tornillo levanta

tan rápido como puede. Esto es conocido como el fluido alimenticio. La alternativa es medir la resina a la tolva a un rango más lento que el tornillo pueda manejar (alimentación limitada). Los dos sistemas han sido recientemente discutidos, pero ninguno de ellos estuvo relacionado directamente con la dispersión del colorante.

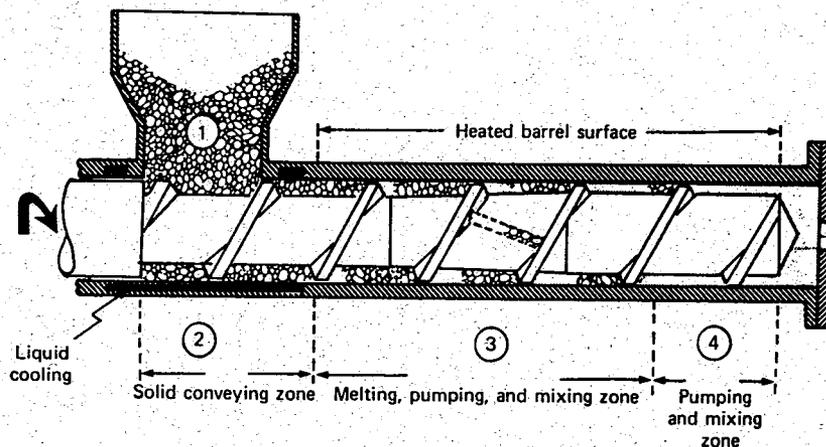


Figura 17 Esquema de un tornillo expulsor (Ref. 3)

Los tornillos de un extrusor de tornillos gemelos son de lado a lado, los revuelos de un lado engranan con las ranuras del otro lado. La figura 18 muestra la forma de los segmentos de resina resultantes. La acción es similar a la de una bomba de desplazamiento positivo, que mueve, ya sea los cubos o el derretido hacia adelante. Si los tornillos giran en direcciones opuestas, el derretido tiende a edificarse entre ellos como en el agarradero del molino de dos rodillos. La porción que pasa entre los tornillos está sometida a un esquilado demasiado fuerte. Con los tornillos coronarios el material se mueve alrededor de uno, entre el agarradero, y alrededor del otro en un

movimiento en forma de 8. El mezclado y el control de la temperatura son excelentes. La característica de limpieza automática elimina manchas y ayuda mucho en la purga. La cantidad de trabajo realizado sobre la resina y su exposición al calor son reducidos, una consideración importante en la composición del vinil rígido. Estos extrusores pueden tener secciones de mezclado, revuelos en reversa para formar presión, y revuelos profundos para los lugares de ventilación.

Los extrusores de tornillos gemelos tienen la capacidad de rápida producción de resinas compuestas. En 1970 Adams describió la configuración de un pequeño extrusor de alimentando resina y colorante dentro de la sección de derretido de una máquina grande. Los rangos de producción de 7500 libras/hora (3400 kg/hora) de los cubos y un tercera parte de los más altos rangos de la alimentación de derretido fueron logrados en ese tiempo. La producción y la economía de los pigmentos concentrados también tiene que ser discutida.

Es posible tener dos extrusores arreglados de manera que alimenten la misma salida con las mismas resinas o con diferentes. Una salida delgada para extrusión de láminas podría extruir capas superiores o inferiores de diferentes colores. Esta lámina deberá ser pasada por medio de unos rodillos pulidos de calandra para reducirla al grosor deseado.

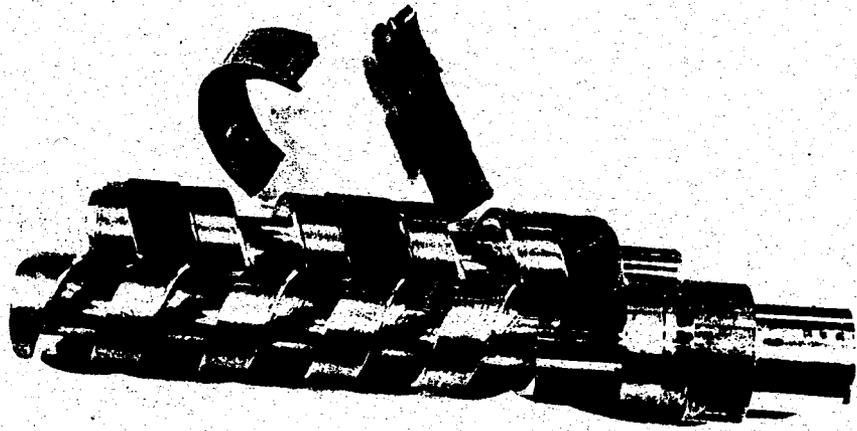


Figura 18 Segmentos de un tornillo extrusor de tornillos gemelos (Ref. 3)

5. MÉTODOS DE PIGMENTACIÓN

Es posible reducir costos, aumentar calidad e incrementar la producción si se sabe qué método de pigmentación es el más apropiado para cada caso. Básicamente, existen cuatro formas de pigmentar los termoplásticos:

5.1 Pigmentación en polvo

Este método consiste en un tambor rotatorio en donde se mezclan el pigmento y la resina. La velocidad de tamboreo o rodamiento es de 33/40 RPM. La cantidad necesaria de resina se carga en el tambor giratorio. La cantidad de resina que se usa no debe ocupar un volumen mayor del 60% del volumen del tambor y el tiempo de mezclado es de 15 a 30 minutos (la resina puede ser en polvo o granular).

5.1.1 Ventajas

- El fabricante puede trabajar varios colores, ahorrándose el tener un alto inventario de plásticos coloreados.
- No hay desperdicio de material, pues el fabricante sólo usa exactamente lo que necesita.
- Se ahorra espacio de almacén, ya que el fabricante sólo tiene los colores en las cantidades exactas para sus necesidades.
- El método también ofrece facilidades para la limpieza del molde y el rápido cambio de colores (mejor control del color).

5.1.2 Desventajas

- En ocasiones la dispersión no es muy buena.
- Hay contaminación por lo volátil del polvo.
- Requiere de mayor cuidado en la dosificación y en su almacenamiento.

Este es el método más simple y aunque no se obtiene un producto de calidad, sus características son aceptables en la mayor parte de los casos.

5.2 Pigmentación resina coloreada

Es un método de pigmentación por extrusión que nos permite obtener resinas pre-pigmentadas. Este proceso se considera como una etapa intermedia que ayuda a lograr una mejor dispersión y uniformidad del color. El pigmento se mezcla en seco, siguiendo el método descrito anteriormente. Dicha mezcla se carga el extrusor el cual logra una mejor incorporación del pigmento con la resina. El material se enfría y se peletiza.

5.2.1 Ventajas

- Mejora la dispersión en la transformación final.
- Puede usarse dosificadores automáticos.
- No hay contaminación en la transformación.
- El color final es más uniforme.

5.2.2 Desventajas

- Requiere un mayor espacio en almacén e inventarios altos de resina coloreada.
- Hay un proceso térmico adicional (mayor costo)
- Se usan pocos colores.

- Hay constante variación en la tonalidad y calidad de la resina de un lote a otro ocasionada por una doble transformación.

Este método es más comúnmente usado por los fabricantes de termoplásticos principalmente los productores de PS Y PVC.

5.3 Pigmentación de concentrados de color “Master Bach”

Un Master batch o concentrado de color es un producto que tiene una concentración de pigmento a resina aproximadamente 10 veces mayor de la necesaria. Es una dispersión de pigmento en un material termoplástico. Para fabricar un color concentrado o masterbach se requiere una mezcla de resina con pigmento, en una proporción mayor que en otros casos, por lo que es necesario una buena molienda en un molino de dos rodillos ó en un mezclador como el Banburi, en el que se puede mezclar un mayor volumen. Después pasa la mezcla (pigmento-resina) a un extrusor para ser extruida y posteriormente peletizada.

La concentración del master batch depende tanto del plástico como del pigmento; esto es, el % de pigmento en la resina. La incorporación final es igual que la pigmentación en polvo.

5.3.1 Ventajas

- Menor tiempo en el tamboreo.
- No hay contaminación.
- Se pueden usar dosificadores automáticos.
- Se logra una mejor dispersión si la resina que se va a pigmentar es compatible con la resina del Master batch.

5.3.2 Desventajas

- Hay un proceso térmico adicional a la pigmentación final.
- El tiempo de entrega y el volumen mínimo de venta (servicio).
- En ocasiones la dispersión no es la adecuada por haber incompatibilidad entre material termoplástico y el concentrado.
- Puede modificar las propiedades mecánicas del producto final.
- Es más difícil el control del color.
- La constante variación en la tonalidad y calidad de resinas termoplásticas ocasionan diversos cambios de color en el Master batch de lote a lote.

5.4 Pigmentación de pastas concentradas

Este método de pigmentación es empleado casi exclusivamente para colorear resinas termofijas líquidas como poliester y epoxy, usándose algunas veces para colorear compuestos de vinilo. La fabricación de estas pastas se producen en molinos de tres rodillos y ocasionalmente se usan molinos de bolas. El vehículo para hacer la pasta debe de ser del mismo tipo de la resina que se va a colorear, con el fin de que sean compatibles en el producto final. Para el PVC normalmente se usa DOP (diocilftalato) como dispersante.

5.4.1 Ventajas

- La dispersión es excelente.
- Se reduce el tiempo de mezcla.
- Excelente desarrollo del color.
- La incorporación no produce polvo.

5.4.2 Desventajas

- Se requiere equipo especial, para el desarrollo de colores, así como para su dosificación.
- La igualación de colores en las pastas es difícil.
- La viscosidad de las pastas es variable y en el almacén se presentan separaciones de los colores.
- El proceso de molienda de la pasta concentrada y las dificultades en el control ocasionan un costo más elevado.

5.5 Problemas en la pigmentación de termoplásticos

5.5.1. Dispersión. Este problema se presenta cuando se realiza una pigmentación en seco, se manifiesta por puntos de pigmento o betas de color que proporciona bajo poder tintoreo y es derivada de: tamaño de partícula y su dureza. Esta característica del pigmento es función de la familia química y en parte del proceso de obtención del pigmento.

5.5.2. Resistencia térmica. Este problema se manifiesta cuando la pieza final presenta rayas o betas de color más intenso que el que se pretende obtener. Las causas más comunes son:

- Punto de fusión (material plástico y pigmento): los materiales termoplásticos tienen cada uno un punto de fusión que es función de la temperatura del proceso, al sobrepasar el punto fusión el material puede empezar a degradarse, disminuyendo sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. De igual manera todos los pigmentos tienen una resistencia térmica (normalmente los pigmentos orgánicos son menos resistentes que los inorgánicos).
- Tiempo de exposición.

- Condiciones de exposición (temperatura).
- Tipo de pigmento y concentración.

Del punto anterior se deduce que cada material termoplástico va a requerir de un pigmento cuya resistencia térmica, sea superior a la que presenta el polímero.

5.5.3 Tamboreo. Es el caso de pigmentación del polvo, si el tamboreo es deficiente se presentan los siguientes problemas:

- Falta de dispersión.
- Imprecisión en el tono del color.
- Grumos del pigmento.
- Zona de plásticos sin pigmentar.
- Rayas ó puntos de color apreciables en el exterior ó interior de la pieza.
- Otros problemas en el proceso de tamboreo con:
- Volumen del tambor.
- Tiempo de tamboreo.
- Velocidad de pigmentación.

5.5.4 Migración. Es la difusión de una sustancia colorante dentro de una resina plástica que puede ser originada por:

- Reacción química (solubilidad entre pigmento y resina).
- Exceso de plastificantes (cuidado en la selección del pigmento).
- Uso de colorantes (estos son solubles en algunos plásticos).

5.5.5 Solidez a la luz y a la intemperie. Este problema se presenta en los siguientes casos:

- Concentración baja del pigmento (tono pastel).

- Mala estabilidad de la resina termoplástica.

5.5.6 Problemas de equipo. Con un mismo pigmento se obtiene diferencia de tono de diferentes maquinas debido a:

- Antigüedad del equipo.
Mala plastificación.
Depósitos de pigmentos en el interior de la máquina.
- Velocidad de Husillo.
Influye en la dispersión.
- Velocidad de inyección.
Temperaturas, tiempo de residencia.
- Moldes.
Número de cavidades, diseño, tipo de pieza.
Acabado final del producto.

5.5.7 Contaminación. En el pigmento ó en la resina:

- Limpieza de equipo, almacenamiento, etc.

5.6 Técnicas adecuadas de pigmentación

Una vez que se tiene un conocimiento básico de los problemas más comunes que se presentan en la pigmentación de resinas termoplásticas se presentan propuestas que permiten obtener mejores resultados:

5.6.1 Selección del pigmento para cada termoplástico. La selección de pigmento debe estar fundamentada en el producto final y se debe contemplar todas las variables del proceso logrando así una solución al problema de dispersión.

5.6.2 Temperaturas apropiadas en procesos de transformación. Este aspecto es función directa de los materiales termoplásticos en los cuales se va a utilizar el pigmento. Las temperaturas más comunes de proceso de materiales más usados son:

Polímero	Temperatura de proceso
PVC	140 - 190° C
PEBD	170 - 210° C
PEAD	180 - 240° C
PP	180 - 300° C
PS	175 - 300° C
NYLON	250 - 350° C

5.6.3 Definir el método de pigmentación. La pigmentación es uno de los aspectos más descuidados y la causa de la gran mayoría de los problemas de dispersión y constancia en los tonos de los pigmentos. Los cuatro aspectos fundamentales para la pigmentación.

- Seleccionar el equipo más idóneo para realizar la pigmentación.
- El porcentaje de resina a pigmentar o volumen.
- El tiempo de pigmentación ó premezclado.
- Velocidad de pigmentación más adecuada.

5.6.4 El problema de migración. Se soluciona con una buena selección del pigmento y un conocimiento real del uso final del producto.

Los requerimientos que deben tener los pigmentos son:

- Resistencia térmica elevada.
- Solidez a la migración en presencia de solventes y en contacto con la luz.

- Que sea compatible con la resina termoplástica.
- Evitar el uso de colorante en resinas en que son solubles.

5.6.5 Solución al problema de solidez a la luz y a la intemperie. La solución a este problema es el empleo de pigmentos con probada resistencia a la luz y al medio ambiente (uso de fadeómetro).

- Uso de tonos de color más intensos y concentrados.
- Uso de aditivos como son: antioxidantes, estabilizadores de luz Ultravioleta (protegen al termoplástico).

5.6.6 Mantenimiento del equipo. Es imprescindible que se encuentren en condiciones optimas de trabajo con un mantenimiento periódico para obtener en las piezas acabados de calidad.

5.6.7 Limpieza adecuada para evitar contaminación. Es necesario realizar lo siguiente:

- Purgar la máquina perfectamente (limpiar tolvas, boquillas, moldes, pigmentadora, balanzas, espátulas, hasta eliminar tonos anteriores).
- También el personal encargado de pigmentar y trabajar las máquinas mantengan una higiene adecuada.

5.6.8 Presecados de material. En algunas resinas que son higroscópicas es necesario el presecar, eliminando el mayor contenido de humedad aplicando una temperatura elevada (70 – 100° C) durante un período variable, mediante un horno especial, el cual tiene circulación de aire para asegurar un resultado homogéneo.

El éxito en el desarrollo de esta actividad se basa en la disposición del personal,

del cuidado con el que se lleven a cabo las diversas partes del proceso (pesado, aplicaciones, comparación, etc.) y el equipo con el cual se cuente.

6. EL COLORTRONIC VIC-31 COMO MAQUINA AUTOMATICA DE PIGMENTACION

6.1 Definición

El Colortronic VIC-31 es un microprocesador que opera unidades de mezclas y mantiene medidas precisas, además mide mezclas de materiales en polvo con "pellets" (en flujo libre y flujo no libre). Esta unidad hace calibraciones fácilmente a través del modo de autocalibración y además provee la habilidad de calibrar manualmente. A través del switch de ajustes DIP, esta unidad puede ser usada con un mínimo de dos estaciones y un máximo de seis estaciones (los ajustes con el switch DIP están enumerados al final de este capítulo).

6.1.1 Terminología usada

Para ayudar a comprender la operación de VIC-31, es necesario familiarizarse con la terminología usada en este capítulo.

6.1.2 Receta

Esta es una lista de ingredientes usados para hacer un producto en particular. Generalmente consiste de partes como un porcentaje, una receta es lo que se necesita para empezar. Esta información debe tenerse antes de iniciar una operación de mezcla.

6.1.3 SI (incremento seleccionado)

El SI se menciona frecuentemente, el SI es el valor del peso del material (en gramos

ó en onzas dependiendo de su escala) como lo distribuye la unidad.

6.1.4 Dosis

Una dosis es una unidad escogida de material distribuido en volumen.

6.1.5 Ciclo

Un ciclo es la suma de todas las dosis distribuidas por el VIC-31 contado en forma descendente hasta cero. En este tiempo, el ciclo está completo, y puede empezar el siguiente.

6.2 Panel de control

El panel de control consiste en un teclado de 12 teclas, un interruptor eléctrico de parada/arranque, un interruptor para protección de memoria accionado con una llave y una pantalla de 80 caracteres para representación visual (ver figura 19).

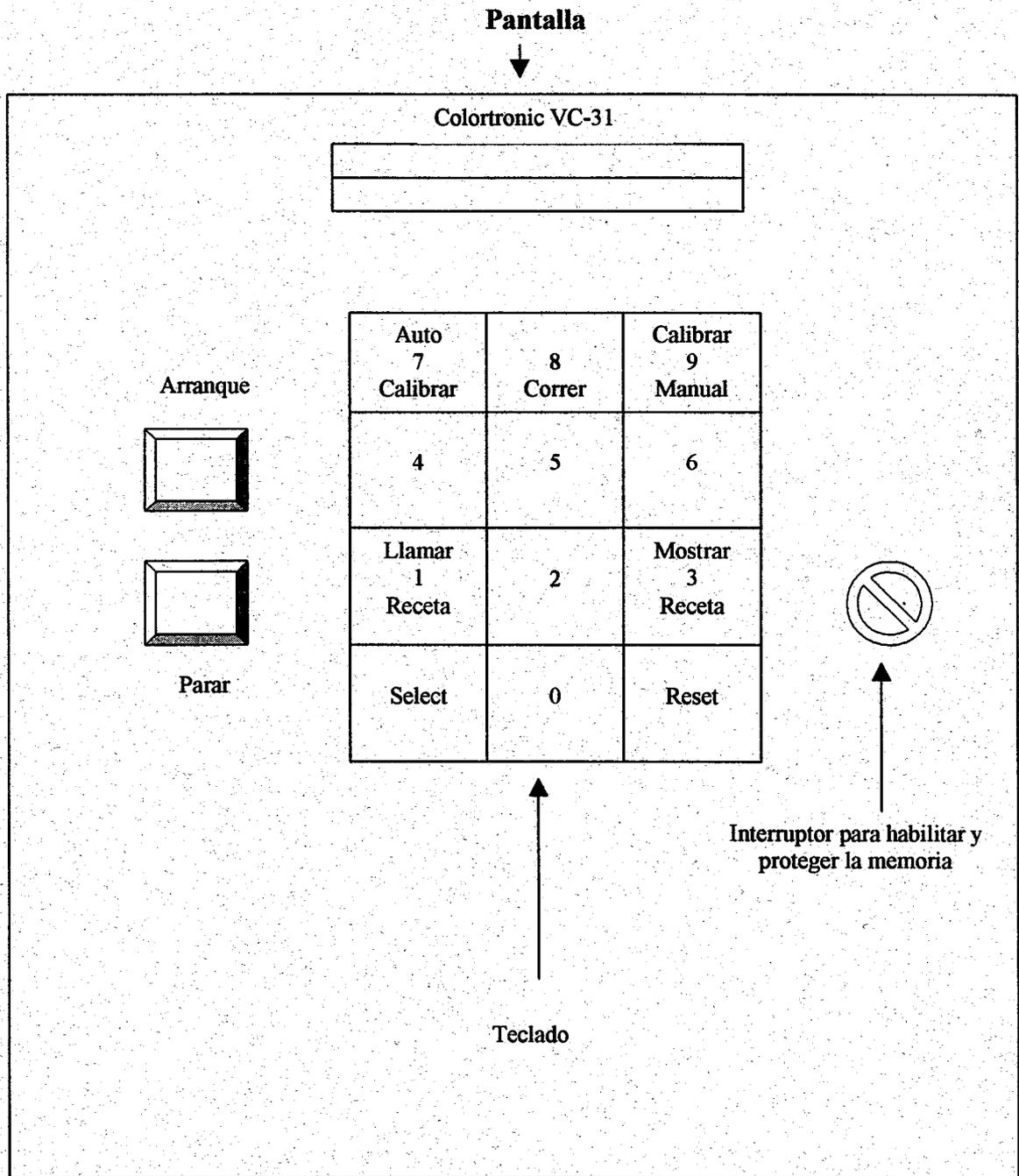


Figura 19 Panel de Control (Ref. 1)

6.3 Componentes

6.3.1 Teclado

Las teclas numeradas se usan para ingresar valores numéricos necesarios para la creación de una receta, para ingresar un número de estación o algún dato numérico necesitado. Las teclas numéricas (algunas) tienen otra etiqueta, tal como “correr” ó “mostrar receta”. Cuando estas teclas se usan combinadas con la tecla “Select”, estas teclas pueden:

- Seleccionar un modo de operación.
- Marcar el fin de una entrada.

Por ejemplo, presionando y sujetando SELECT + 7 (autocalibrar) dará lugar a que el VIC-31 ingrese al modo autocalibrar.

Otra tecla importante es “RESET” la tecla RESET es usada para:

- Limpiar la pantalla si un valor incorrecto es ingresado en la memoria.
- Reajustar un ciclo si estuvo dentro por más de 10 segundos.
- Reajustar un error debido a una alarma.

6.3.2 Interruptor arranque/parar

Es usado para controlar todas las operaciones de la mezcladora. Cuando sea colocado en la posición STOP el ciclo se detiene. Cuando el interruptor es regresado a la posición RUN el VIC-31 le recuerda cuántas dosis del ciclo actual fueron distribuidas,

y distribuye las dosis restantes al completar el ciclo. Se puede además usar el interruptor al empezar a controlar el ciclo.

6.3.3 Interruptor para habilitar/proteger memoria

Es accionado por medio de una llave y proteger la memoria de una modificación inintencional.

El interruptor debe estar en la posición ENABLE para ejecutar lo siguiente:

- Calibrar dosificaciones en conjunto.
- Modificar parámetros en memoria.
- Llamar recetas.
- Ejecutar alguna otra función del modo "RUN".

6.3.4 Representación visual

Tiene una pantalla de 80 caracteres para la representación visual, dividida en 2 líneas de 40 caracteres cada una. La pantalla guía a través de los modos de "Autocalibrar" y "calibrar manual" en el ingreso de datos, además muestra:

- Recetas en memoria.
- Revisa operaciones de mezclas.
- Posición de la operación suministrada.
- Condiciones de error y señales de alarma.

Presionar RESET para calibrar, la unidad ahora está lista para calibrar el valor SI.

6.4.1.2 Pesando materiales

En el próximo procedimiento, se determinarán dos tipos de dosis. Dosis limpias. El número recomendado de dosis limpias requeridas para estabilizar el sistema es 30. Pesando dosis (para conseguir el valor SI). El número mínimo recomendado de dosis a ser pesadas es 100.

6.4.1.2.1 Procedimientos

Después de haber completado el paso 7 descrito arriba, en la pantalla leerá: NUMBER OF DOSES (numero de dosis). El rango del número de dosis debe oscilar entre 5-100. El número mínimo de dosis recomendada para pesar es 100.

NOTA: se usará 50 como un ejemplo, un número pequeño de dosis requiere más muestras para ser tomadas y pesadas mientras que un número grande de dosis requiere menos. El número de muestras de dosis depende del volumen en peso del material, del contenedor y la capacidad de la balanza.

Ingresar 50 (ejemplo solamente) y presionar la tecla SELECT. En la pantalla se leerá RUN/STOP SWITHC MUST BE IN RUN POSITION (el switch arranque/parada debe estar en posición arranque.)

Girar el switch de arranque/parar a la posición RUN en la pantalla leerá PRESS WHEN READY TO DISPENSE 30 CLEARING DOSE. (presionar cuando se esté listo para preparar las 30 dosis de limpieza).

6.4.1.1 Empezando a autocalibrar

Si se comete un error siempre puede limpiar su última entrada presionando la tecla **RESET**.

Si la caja de calibración opcional no está instalada, girar cada unidad de dosificación 180 grados, hasta que el material quede distribuido fuera del recipiente de la mezcla.

Llenar cada tolva de la unidad de dosificación con el material apropiado a ser usado.

Nota: asegurarse que el material apropiado está en la unidad de dosificación correcta.

Girar la llave del switch de protección de memoria a la posición **ENABLE**. Presionar las teclas **SELECT** y **7** simultáneamente. Lo colocará en el modo autocalibrar y rápidamente ingresará al número de estación (unidad de dosificación). En la pantalla se leerá: **RESET TO CLEAR CURRENT RECIPE SELECT TO CONTINUE** (reajuste para limpiar receta presionar **SELECT** para continuar).

Presionar **SELECT** para continuar. En la pantalla leerá: **AUTO CALIBRATE – STATION NUMBER** (número de estación a autocalibrar).

Ingresar el número de estación y presione **SELECT** en la pantalla leerá: **PERCENT FOR STA** (porcentaje para estación).

Ingresar el porcentaje y presionar **SELECT** para continuar, en la pantalla se leerá: **PRESS SELECT TO ENTER SI VALUE** (presionar select para ingresar SI)

PRESS RESET TO CALIBRATE STATION(presionar reset para calibrar estación)

6.3.5 Interruptor general (power switch)

Este interruptor está localizado en la parte trasera del VIC-31, en el lado derecho de la cara frontal de la unidad.

6.4 Modo de autocalibración

La autocalibración calcula el número adecuado de dosis para mezclas extremadamente precisas. Para empezar los porcentajes de materiales usados en su receta.

La autocalibración comienza con estas suposiciones:

- El SI es un valor desconocido.
- El SI es un valor conocido, pero el número de dosis no lo es.
- La próxima sección asume que el valor SI es desconocido.

6.4.1 Si el valor SI es desconocido

El valor SI es necesario para el VIC-31 para calcular el número de dosis en su receta. Cuando se realice este procedimiento, si se comete un error, siempre se puede limpiar la última entrada presionando la tecla RET. Desde que se necesite pesar todos los materiales hasta conseguir el valor SI, el siguiente equipo debe ser suministrado:

- Balanza con una precisión ≤ 0.1 gramo (ó su valor equivalente en onzas.)
- Un contenedor para coleccionar las muestras pesadas.

Nota: el tamaño del contenedor que se use dependerá de la capacidad máxima de la balanza y de la densidad del material que está pesando.

NOTA: Se requiere 30 dosis para estabilizar el sistema. Si se ingresa más de 30 en el paso 3 (como se hace en el ejemplo), el número de dosis de limpieza por omisión será 30. Si se ingresa menos de 30 en el paso 3, este número aparecerá como el número de dosis de limpieza. Se debe entonces ejecutar múltiplos del número que se ingresó hasta alcanzar las 30 dosis requeridas. Por ejemplo, si se ingresa 10 en el paso 3, deberá repetirse el ciclo 3 veces.

Colocar el contenedor bajo la unidad de dosificación que se está empezando a calibrar y presionar la tecla \emptyset para ejecutar las dosis de limpieza.

Regresar el material al interior de la tolva cuando los ciclos estén completados. En la pantalla se leerá>

CLEARING DOSES COMPLETE (las dosis de limpieza están completadas)

PRESS 7 TO CONTINUE (presione 7 para continuar).

Presionar la tecla 7 y aparecerá este mensaje:

PRESS SEL FOR 50 DOSES, 2 CYCLES TO GO (presionar SELECT para 50 dosis, se harán 2 ciclos).

50 dosis es nuestro ejemplo. Para alcanzar el número de dosis recomendado para pesar (100), se realizarán dos ciclos. El número de ciclos necesitado es computado automáticamente por él dentro de 100, el VIC-31 redondeará el número de ciclos al número entero más grande y más próximo.

Ejemplo: Si se ingresó 30, el VIC-31 redondeará a 4 ciclos, ya que 3 ciclos producirían 90 dosis.

Presionar SELECT y la primera dosis estará preparada. Colectar esta muestra y cuidadosamente pesarla. En la pantalla leerá>

WEIGHT OF THIS CYCLES (peso de este ciclo).

Ingresar el peso usando las teclas numéricas, luego presione SELECT. En la pantalla leerá: PRESS SEL FOR 50 DOSES, 1 CYCLE TO GO.

Si más ciclos son necesitados (uno más para este ejemplo) repiter los ciclos dosificando y pesando hasta que el número de ciclos requeridos haya sido completado. Después que se hayan completado todos los ciclos, en la pantalla se leerá:

PERCENT FOR STA (porcentaje para estación).

Usar las teclas numéricas para ingresar el porcentaje de cada material en su receta. Presionar SELECT.

NOTA: Si se usa material virgen en un 100% el VIC aceptará esto desde que se trate en porcentaje de partes para propósitos matemáticos.

Repetir esta operación para cada estación hasta que estén calibradas apropiadamente.

NOTA: Para guardar su receta, ir a la sección titulada "Recetas".

6.4.2 Si el valor SI es conocido

NOTA: Si se comete un error, se podrá siempre limpiar la última entrada presionando la tecla RESET.

1. Presionar SELECT y 7 Simultáneamente.

Este set controla el modo AUTOCALIBRAR y preguntará el número de estación (unidad de dosificación). En la pantalla se leerá:

AUTO CALIBRATE STATION NUMBER

2. Ingresar el número de estación y presionar SELECT. En la pantalla se leerá:

RESET TO CLEAR CURRENT RECIPE, SELECT TO CONTINUE

3. Presionar RESET (o SELECT si se desea mantener el valor SI actual). En la pantalla se leerá:

ARE YOU SURE? (¿Esta seguro?)

Ø = CLEAR, OTHER KEY = ABORT (Ø= limpiar, otra tecla = abortar)

4. Presionar Ø. Presionando Ø no borra los valores de la receta almacenada, pero más bien coloca todo el juego de parámetros en cero. Este le permite ingresar nuevos valores para su receta sin que tenga que recalibrar la unidad. En la pantalla leerá:

AUTO CALIBRATE – STATION NUMBER

5. Ingresar el número de estación y presionar SELECT. En la pantalla leerá:

PERCENT FOR STA

6. Ingresar el porcentaje y presionar SELECT. En la pantalla se leerá:

PRESS SELECT TO ENTER SI VALUE OR, PRESS RESET TO CALIBRATE STATION

(presionar SELECT para ingresar el valor SI o presionar RESET para calibrar la estación)

Donde xxx.xx es el último valor ingresado. Ingresar el valor SI conocido (ó presionar SELECT para mantener el valor SI actual). Cuando el valor SI correcto esté en la pantalla, presionar SELECT para almacenar dentro de la memoria. En la segunda línea de la pantalla se leerá:

PERCENT FOR STA

7. Ingrese el porcentaje correcto usando las teclas numéricas y presione SELECT.

6.5 Recetas

Una vez que se tengan calibradas todas las unidades de dosificación, se puede correr cada trabajo ingresando en el modo RUN (un trabajo a la vez), se puede almacenar la receta para usos futuros, ó llamar la receta que está ya almacenada.

6.5.1 Almacenando la receta.

Colocar en el interruptor la llave en la posición MEMORY ENABLE. Presionar SELECT y 3 simultáneamente. En la pantalla se leerá:

STORE RECIPE ID NUMBER

Ingresar el número ID de la receta. El número ID puede tener un máximo de 8 dígitos. Este puede ser número de trabajo, se debe usar un número ó algún otro sistema de identificación que pueda ser usado por un solo usuario. (si se comete un error, presionar RESET e intentar otra vez). Cuando se haya ingresado el número correcto ID, presionar SELECT. Bajo este código almacenar la receta en la memoria, en la pantalla se leerá: RECIPE XXXXXXXX STORED, PROTECT MEMORY (donde:xxxxxxx es el número ID que fué asignado).

NOTA: si se comete el error de ingresar un número ID duplicado en la pantalla se leerá:

RECIPE EXISIS, RESET = CLEAR, SEL = ABORT

(receta ya existe, presionar RESET para limpiar ó SELECT para abortar).

Presionar RESET limpia la receta. Presionar RESET sólo si se necesita ingresar una nueva receta, de lo contrario presionar SELECT. Con esto se deja la receta en memoria y regresará a la pantalla a:

STORE RECIPE ID NUMBER

Repetir el paso 2 descrito anteriormente y colocar el interruptor de llave en la posición MEMORY PROTECT una vez que tenga ingresado correctamente el número ID de la receta. Esto limpia el último mensaje y protege la receta de alguna modificación intencional.

Si se requiere correr la receta esta vez, girar el interruptor RUN/STOP a la posición RUN.

6.5.2 Llamando una receta. Para llamar una receta previamente almacenada, seguir los siguientes pasos:

Girar el interruptor de llave a la posición MEMORY ENABLE presionar SELECT y 1 simultáneamente. En la pantalla leerá. RECALL RECIPE ID NUMBER.

Ingresar el número ID al que se desea llamar y presionar SELECT, una vez que se seleccione la receta, la dosis de cada estación serán desplegadas en la segunda línea de la pantalla.

NOTA: si esta no es la receta que se quiere, presionar RESET para limpiar el número ID de la receta actual y reingresar el otro número de la receta. Presionar SELECT.

Una vez que se tenga el número ID de la receta correcta, puede pasar al modo RUN. (ver la selección modo RUN).

6.5.3 Borrando una receta permanentemente.

Para borrar una receta de la memoria, seguir los siguientes pasos:

Llamar la receta (ver la selección "llamando una receta")

Reingresar el número ID, usando los mismos pasos como si se estuviera almacenando una receta. En la pantalla leerá. RECIPES EXIST, RESET=CLR, SEL=ABORT

Presionar RESET para borrar la receta de la memoria. En la pantalla se leerá. ARE YOU SURE? Ø=CLR, OTHER KEY=ABORT

Presionar Ø y borrará la receta de la memoria.

CONCLUSIONES

1. El uso de determinado tipo de color. Aumentará ó disminuirá los costos originados por concepto de reproceso y desperdicio.
2. Si se quiere mantener una misma calidad de color en las piezas terminadas, también es necesario contar con el método de pigmentación adecuado.
3. La utilización adecuada de los métodos de pigmentación contribuye a reducción de pérdidas económicas dentro de las plantas procesadoras de plástico.
4. La implantación de procedimientos adecuados, en las plantas de producción de plásticos, será un factor determinante para ofrecer productos competitivos de alta calidad.

RECOMENDACIONES

1. La industria del plástico debe implementar estudios de los métodos más adecuados a sus procesos, descritos anteriormente, para así, poder brindar a los clientes productos de colores uniformes estandarizados de alta calidad.
2. La incorporación de estos conceptos y métodos en un curso (procesos químicos e industriales) para que los estudiantes puedan tener un panorama real de lo que significa la pigmentación de termoplásticos.
3. Las industrias involucradas en procesos de pigmentación de termoplásticos deben contar en su laboratorio con aparatos adecuados para la determinación del color buscado, y de esta forma evitar muchas veces el uso de cantidades mayores de colorantes en las formulaciones, lo que implica mayor costo de producción.
4. Tomar en cuenta los conceptos y aplicar estos métodos de pigmentación de termoplásticos para otros termoplásticos que no se describieron, tales como PVC, PET, etc.

BIBLIOGRAFIA

1. GUTIÉRREZ, Fernando. **Pigmentación de termoplásticos**. México: Editorial Arcocolores Industriales y Químicos S.A., 1993. 8-22 pp.
2. MINK, Walter. **Inyección de plásticos**. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili S.A., 1971. 29-66 pp.
3. WEBBER, Thomas. **Coloración de plásticos**. USA: Editorial John Wiley & Sons, 1976. 1-32, 38-56, 69-79 pp.
4. ULRICH, Sharer. **Ingeniería de manufactura**. México: Editorial Continental, 1984. 589-700 pp.
5. s.i.m. **Nociones fundamentales del plástico**. USA: Editorial Marvina, 1975. 20-63 pp.
6. KIRK, Raymond. **Enciclopedia de tecnología química**. México: Editorial Hispanoamericana, 1962. Tomo 12. 229-261, 582-589 pp.