

168
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

USO DE LA ESPECTROFOTOMETRIA EN EL PROCESO
DE IGUALACION DE TONOS PARA LA RESINA
DE POLIESTIRENO.

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION
Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a
CARLOS WEIL CASTRO

TESIS CON
FALLA LE OR-GEN

México, D. F.

1 9 9 3



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	INTRODUCCION.....	4
CAPITULO I	GENERALIDADES.....	16
CAPITULO II	ESPECTOFOTOMETRIA.....	25
CAPITULO III	RESINA DEL POLIESTIRENO.....	32
CAPITULO IV	PIGMENTOS PARA POLIESTIRENO.....	64
CAPITULO V	TECNICAS ANALITICAS.....	75
	CONCLUSIONES.....	101
	BIBLIOGRAFIA.....	112

I N D I C E D E F I G U R A S

FIGURA 1	LONGITUD DE ONDA	PAG. 19
FIGURA 2	DISPOSICION DEL ESPACIO PARA EL COLOR	PAG. 23
FIGURA 3	ESPECTOFOTOMETRO FOTOELECTRICO	PAG. 29
FIGURA 4	CURVA DE DISTINCION TIPICA	PAG. 30
FIGURA 5	UNIDADES DE REPETICION DE LOS POLIMEROS	PAG. 40
FIGURA 6	POLIORTO Y POLIALFA METIL ESTIRENO	PAG. 50
FIGURA 7	SISTEMA DE COORDENADAS MODIFICADAS DE ADAMS	PAG. 78
FIGURA 8	CURVAS DE REFLECTANCIA DE ALGUNOS COLORES	PAG. 78
FIGURA 9	DIFERENCIA ENTRE DOS CURVAS DE COLOR	PAG. 79
FIGURA 10	EXPLICACION DE LOS VALORES TRISTIMULUS	PAG. 81
FIGURA 11	FUENTES A,B Y C DE ACUERDO AL SISTEMA CIE	PAG. 85
FIGURA 12	DIAGRAMA DE CROMATICIDAD DE COLORES	PAG. 85
FIGURA 13	COORDENADAS DE CROMATICIDAD CIE	PAG. 86
FIGURA 14 A-B	PRINCIPIO BASICO CIE CON UNA ESFERA INTEG.	PAG. 87
FIGURA 15	PRINCIPIO DE OPERACION DE UN ESPECTOFOTOM.	PAG. 90
FIGURA 16	FORMA DE UN MODELO DE COLOR	PAG. 97
FIGURA 17	ILUSTRACION DE COLORES DEL PATRON DE OBS.	PAG. 99

I N D I C E D E T A B L A S

TABLA 1	ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	PAG. 20
TABLA 2	LONGITUDES DE ONDA LUZ VISIBLE	PAG. 21
TABLA 3	PROPIEDADES ELECTRONICAS DE LOS POLIEST.	PAG. 52
TABLA 4	PROPIEDADES MECANICAS DE LOS POLIEST.	PAG. 53
TABLA 5	PROPIEDADES TERMICAS DE LOS POLIEST.	PAG. 54
TABLA 6	PROPIEDADES FISICAS DE LOS POLIEST.	PAG. 56
TABLA 7	RESISTENCIA QUIMICA DEL POLIEST. USO GEN.	PAG. 57
TABLA 8	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	PAG. 61
TABLA 9	PIGMENTOS INORGANICOS PARA POLIESTIRENO	PAG. 72
TABLA 10	PIGMENTOS ORGANICOS PARA POLIESTIRENO	PAG. 73

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1A PROCESOS DE POLIMERIZACION DE ESTIRENO PAG. 45

CUADRO 1B PROCESOS DE POLIMERIZACION DE ESTIRENO PAG. 46

I N T R O D U C C I O N

Dentro del programa para la defensa de la planta productiva podemos definir a la petroquímica como una de las actividades esenciales cuyo sostenimiento y desarrollo se considera prioritario.

Con respecto a la petroquímica secundaria, la industria de las resinas sintéticas ha tenido gran auge en los últimos años habiéndose alcanzado altos niveles de producción y satisfaciendo exitosamente un número creciente de nuevos mercados. Por otro lado, la demanda de los plásticos de todo tipo ha ido incrementándose en tal medida que cada vez aparecen nuevos fabricantes y procesadores.

Con el paso del tiempo, la industria del plástico ha pasado a ser una industria que produce artículos de primera necesidad ya que atiende mercados tales como el de empaque, construcción, embalaje, artículos del hogar, etc.

Una de las razones del crecimiento en la industria del plástico es la aportación de un material nuevo con mejores características que los tradicionalmente utilizados (vidrio, madera, metal, etc.) a precios más accesibles.

La presentación atractiva de los plásticos es un factor importante en el consumo de los mismos, no sólo desde el punto de vista estético, sino también funcional (por ejemplo protección a medicinas y alimentos en envases de plástico); es por esto que a los plásticos se les adiciona color mediante el uso de pigmentos.

CONSUMO APARENTE DE RESINAS PLASTICAS

(Miles de toneladas)

	1981	1983	1985	1986	1987	1992
PRODUCCION	655.2	668.0	833.3	936.0	1027.7	1598
IMPORTACION	312.2	308.1	299.1	261.7	209.6	323
EXPORTACION TOTAL	2.1	78.1	137.8	177.4	204.3	305
CONSUMO APARENTE	965.2	898.1	994.7	1020.2	1033.0	1616

Existen cerca de 20,000 máquinas inyectoras y extrusoras que pueden fácilmente cubrir la demanda interna.

La industria productora de plásticos en México ha tenido un alto índice de crecimiento en la última década, a pesar de las presiones económicas y esta tendencia se espera que continúe en el futuro. Entre 1975 y 1986 la industria creció a un ritmo de 6.7%, representando un 0.35% del producto interno bruto en 1975, comparado con un 0.45% en 1986. Las nuevas políticas de apertura del mercado adoptadas por el gobierno mexicano también beneficiará a a las compañías americanas. Por un lado las tarifas y otras barreras de intercambio han sido reducidas o eliminadas, haciendo las importaciones más fáciles y menos costosas, y por otro lado, las políticas de desarrollo a la exportación y el aumento de la competencia de un país extranjero están forzando a la industria doméstica a ser más eficiente y productiva. Esto se traducirá en aumento de las importaciones de tecnología, productos y materiales.

La mayoría de la demanda del plástico esta satisfecha a través de su producción domestica.

Se estima que México tiene 3000 compañías procesadoras de plástico distribuidas de la siguiente manera:

Cd. México	60%
Edo. México	20%
Monterrey	8%
Guadalajara	6%
Puebla	3%

Distribución de Compañías procesadoras por tipo de proceso:

Inyección	1050	35%
Extrusión	900	30%
Soplado	450	15%

Usuarios Finales:

Empaque	45%
Construcción	15%
Productos domesticos	14%
Pinturas	7%
Electronica	5%
Muebles	4%
Autos	3%
Agricultura	1%
Otros	6%

El consumo de plástico en México se ha incrementado a razón de 4.5% anual en los últimos 3 años, sobrepasando el millón de toneladas. El consumo percapita fue de 12 kgs. en 1986, y 5 kgs 10 años antes; en U.S.A. 95 kgs y en Alemania 120 Kgs. Se estima que en sólo 5 años el consumo percapita será de 17 kgs. y que el crecimiento de la población será de 2.3 % por año, si esto sucede el incremento del consumo aparente anual será de un 10%.

Las importaciones han jugado un papel muy importante en el mercado mexicano pero han sido poco a poco sustituidos por la producción domestica.

En 1980 las importaciones representaron el 38% del consumo total aparente y en 1987 su participación cae a aproximadamente 20% o 210 ton según se ve en la tabla. Para 1992 se espera que las importaciones de resina reflejen un 8% de crecimiento promedio anual.

CONSUMO APARENTE DE POLIESTIRENO A NIVEL MUNDIAL

En Europa Occidental el consumo de poliestireno ha declinado más que en otros países, esto se debe, entre otras cosas, al desplazamiento que han ejercido resinas de un menor precio como el polipropileno; asimismo, la crisis que afecta al sector de la construcción (gran consumidor de poliestireno expandible) impacta en forma negativa en el consumo de la resina; y finalmente, por la disminución de material de empaque para los sectores eléctrico, electrónico y productos ópticos.

El consumo aparente de Europa Occidental en su conjunto se incremento 29.2% durante el período de 1981 a 1987, mientras que el de Estados Unidos lo hizo en proporción de 37.4%; por su parte, Japón resultó ser el más dinámico al lograr un aumento de 51.1% durante el mismo período.

Estados Unidos y Japón, resintieron seriamente la crisis petrolera de 1979, canalizaron hacia el mercado exterior una gran parte de su producción aprovechando de esta manera la capacidad instalada. Estados Unidos es actualmente el país con mayor capacidad y producción, cuenta con 16 empresas de las cuales ocho (Hunstman, Dow, Polysar, Arco, Fina Chevron, Mobil, y Amoco), representan el 89.4% de la capacidad total de ese país (2.6 millones de toneladas).

Por su parte, Canadá y España han registrado poco incremento en su consumo e incluso una disminución que han compensado con una comercialización hacia el exterior. En Brasil se encuentran seis empresas productoras (Dow Química, EDN, Plásticos Monsanto, Proquigel, Basf, Resinor) con una capacidad total de 182,999 toneladas.

AÑO	* EUROPA OCCIDENTAL	E.U.A.	JAPON	CANADA
1981	1,464	1,570	495	153
1982	1,525	1,410	512	146
1983	1,626	1,604	535	153
1984	1,692	1,725	617	120
1985	1,691	1,830	740	127
1986	1,806	1,978	746	147
1987	1,892	2,157	748	161

* Miles de toneladas

DISTRIBUCION DEL CONSUMO

El poliestireno es empleado en una gran diversidad de industrias, como son las de empaque, eléctrica, electrónica, construcción mueblera, bienes de capital, y la de transporte.

La película de poliestireno Biaxial se emplea para dar vista a las charolas para la carne y verduras, así como de otros empaques en que es necesario exhibir los productos a la vista de los clientes.

POLIESTIRENO EN MEXICO

CAPACIDAD INSTALADA

En la actualidad existe una capacidad instalada que se eleva a 164, 020 toneladas al año, esta se ha incrementado en 194.5% a lo largo de once años; dicha capacidad se encuentra distribuída entre once empresas.

Existen proyectos por 48,500 toneladas al año, por parte de Industrias Ebro-Químex, Industrias Resistol, Nacional de Resinas y de Resinas Sintéticas Oroz.

Capacidad Instalada	164,000 (Ton.)
Producción	128,167
Importación	576
Exportación	31,560
Consumo Aparente	97,183

La mayoría de la demanda del plástico esta satisfecha a través de su producción doméstica.

PRODUCCION

En general, la producción de poliestireno ha registrado un crecimiento constante, durante el período 1976-1987 creció a una tasa promedio anual de 11.2%; sólo en el año de 1982 la producción registro un leve impacto negativo (-6.2%).

Es notable el incremento logrado en los últimos años (15.0 y 18.3%), con lo cual se ha triplicado la producción durante el período mencionado.

Las importaciones han sido relativamente pequeñas, no han llegado a significar más del 1.5% del consumo aparente.

EXPORTACION

A partir de 1983 empezaron a ser significativas las exportaciones de resinas de poliestireno, en ese año se comercializaron 5,382 toneladas, y para 1987 estas aumentaron hasta 31,560 toneladas, es decir, que en estos cinco años las exportaciones crecieron a una tasa promedio de 69.2% anual.

CONSUMO APARENTE

Durante el período de 1976 a 1981 el consumo interno aparente creció a una tasa promedio anual de 17.5%. Inmediatamente se presentó un período recesivo (1982-1984), tras el cual nuevamente empieza a repuntar aunque en forma más conservadora. El ritmo de crecimiento en los últimos tres años fue de 7.4% en promedio; la baja de la demanda interna ha obligado al sector a penetrar en forma más agresiva en los mercados internacionales.

POLIESTIRENO EN MEXICO

AÑO	CAPACIDAD		(TONELADAS)		CONSUMO		C.A.P.
	INSTALADA	PRODUCCION	VAT. %	PRODUC.	IMP.	EXP. APARENTE	
76	55,690	41,575	8.2	185	25	41,735	8.5
77	57,500	48,749	17.2	101	104	48,746	16.8
78	99,020	54,600	12.0	149	309	54,404	11.7
79	105,000	80,121	46.7	425	127	80,419	47.7
80	114,020	81,763	2.0	897	1	82,659	2.8
81	114,020	89,668	9.7	622	714	89,576	8.4
82	124,020	84,084	(6.2)	645	1	84,728	(5.4)
83	124,020	87,923	4.6	136	5,382	82,677	(2.4)
84	124,020	88,524	0.7	915	10,934	78,505	(5.0)
85	124,020	94,200	6.4	92	7,810	86,482	10.2
86	164,020	108,350	15.0	917	15,370	93,897	8.6
87	164,020	128,167	18.3	576	31,560	97,183	3.5

EMPRESAS FABRICANTES

Las empresas productoras de resinas de poliestireno en México son las siguientes:

EMPRESAS	LOCALIZACION	CAPACIDAD TON/AÑO	TIPO PS
AIS. Y ACUS. DE MONTERREY	MONTERREY, N.L.	3,000	B
INDUSTRIAL EBROQUIMEX	TIZAYUCA, HGO.	1,800	AC
INDUSTRIAS KROVLIT	TLALNEPANTLA, MEX.	2,960	B
INDUSTRIAS RESISTOL	XICOTZINGO, TLAX.	24,000	AC
ING. MARIO OROZCO OBREGON	COATZACOALCOS, VER.	41,000	AC
MONQUIMICA	LEON, GTO.	720	AC
NACIONAL DE RESINAS	MONTERREY, N.L.	540	AC
POLIESTIRENO Y DERIVADOS	MEXICO, D.F.	12,000	BC
POLIOLES	TLALNEPANTLA, MEX.	2,000	C
PRODUCTOS DE ESTIRENO	XALOSTOC, TLAX.	20,000	AC
	MONTERREY, N.L.	6,000	B
	ATIZAPAN, MEX.	19,000	CB

A ALTO Y MEDIO IMPACTO

B EXPANDIBLE

C USO GENERAL

APLICACION	1981	1983 1987	TENDENCIA
MOLDEO POR INYECCION	47.4	42.8	35.4
EMPAQUE Y ENVASE (1)	12.4	12.2	10.5 NEGATIVA
JUGUETES (2)	6.6	6.4	5.6 NEGATIVA
ARTICULOS DEL HOGAR	5.5	5.0	3.6 NEGATIVA
PIEZAS PARA CASETES	2.9	3.2	3.6 POSITIVA
INDUSTRIA MUEBLERA	2.7	2.2	1.6 NEGATIVA
GABINETES (RADIO, T.V.)	2.7	2.8	2.6 ESTABLE
REFRIGERACION Y AIRE AC.	2.2	1.8	1.3 NEGATIVA
CONSTRUCCION (3)	1.9	1.4	1.2 ESTABLE
ARTICULOS VARIOS (4)	2.9	2.6	2.0 ESTABLE
OTROS	7.6	5.2	3.4 NEGATIVA
MOLDEO POR EXTRUSION	33.0	35.4	45.7
EMPAQUE Y ENVASE (5)	14.1	13.9	16.6 POSITIVA
ESPUMA (6)	11.0	11.7	16.2 POSITIVA
REFRIGERACION	1.6	1.6	1.6 ESTABLE
CONSTRUCCION	0.8	0.6	1.2 POSITIVA
JUGUETES	0.6	0.7	0.8 POSITIVA
ARTICULOS PARA EL HOGAR	0.6	0.9	1.2 POSITIVA
INDUSTRIA MUEBLERA	0.4	0.3	0.5 POSITIVA
OTROS	3.9	5.7	7.6 POSITIVA
PERLA EXPANDIBLE (7)	12.0	12.5	11.1 NEGATIVA
OTROS	7.6	9.3	7.8
T O T A L	100.0	100.0	100.0

- 1) EMPAQUE RIGIDO, RECIPIENTES, VASOS, Y PLATYOS, VAJILLAS.
 - 2) INCLUYE JUGUETES Y ARTICULOS PARA USO FOTOGRAFICO.
 - 3) SEÑALAMIENTOS, TUBERIA E INSTALACIONES SANITARIAS.
 - 4) TACONES PARA CALZADO Y ARTICULOS DE USO MEDICO.
 - 5) PELICULA ORIENTADA, LAMINADOS, ENVASES DESECHABLES, TAPADERAS, PLATOS Y RECIPIENTES.
 - 6) RECIPIENTES PARA ALIMENTOS Y HUEVO, PLATOS Y VASOS PARA SERVICIO CORTO, TABLONES.
 - 7) PRINCIPALMENTE EN CONSTRUCCION, CONTENEDORES Y EMPAQUE.
- (2,3,7,17)

CAPITULO I

GENERALIDADES

En vista de que los resultados y la parte fundamental del presente estudio gira alrededor del color. Se procederá a explicar a grandes rasgos lo que es el COLOR.

EL COLOR

El color es una sensación física producida por los rayos luminosos de una longitud de onda específica al incidir sobre la retina del ojo.

Se deduce que la sensación recibida (color) depende en primera instancia del tipo de luz que recibe el ojo, en otras palabras, se puede considerar que el color es una clase específica de energía luminosa. Por ejemplo, el color verde es un color compuesto principalmente por "luz verde" con un poco de luz azul, amarilla o roja. Un objeto azul aparece como tal debido a que refleja principalmente la luz azul, lo mismo sucede para los demás colores.

Cuando la luz choca con una superficie, parte es reflejada y parte absorbida. Estas porciones dependen de la naturaleza de la superficie u objeto y de la longitud de onda del rayo incidente y son las que determinan el color percibido por nuestros ojos.

La recepción del color por los ojos, así como su transmisión al cerebro a través del nervio óptico y su interpretación, dependen del sistema fisiológico de cada persona.

Por otro lado, la forma de ver un color se ve influida por el ambiente, el humor con que amaneci6 la persona, la idea que tenga de cual debe ser el color de las cosas, etc. Esto nos muestra que en la apreciaci6n del color influyen aspectos fisis, fisiol6gicos, por lo que puede decirse que tiene una triple naturaleza.

La luz visible al ojo humano es parte del espectro de ondas conocidas generalmente como ondas electromagn6ticas.

La energfa electromagn6tica siempre es generada por una fuente de energfa mediante la aceleraci6n de cargas el6ctricas y tiene la propiedad de viajar en el vacio a una velocidad constante de 3.0×10^8 m/seg. Abarca todo un espectro de ondas que va desde los rayos c6smicos, con longitud de onda del orden de 10^{-4} m (10^{-7} cm), hasta las ondas de radio cuyas longitudes de onda son del orden de 10^{16} m.

Es difcilit tener un concepto de la naturaleza de la energfa electromagn6tica, ya que en algunos fen6menos se comporta como una corriente de partculas y en otros aparece como una onda; sin embargo, para tener una idea completa sobre su naturaleza es necesario considerar ambos conceptos.

Por otro lado, para la medici6n del color no es necesario considerar la naturaleza corpuscular de la energfa electromagn6tica, basta considerarla como una onda que obedece la

ecuación siguiente $c = \nu \lambda$ donde c representa la velocidad a la que viaja ($3 \cdot 0 \times 10^8$ m/seg), ν la frecuencia con que el vector eléctrico o magnético llega a su máximo (ciclos/seg) y λ la longitud de onda que nos indica la distancia recorrida por el rayo en un período de tiempo, o sea la distancia entre cresta y cresta de la onda.

Para la medición del color, la radiación electromagnética se considera como constituida por ondas de energía. En cada una de estas ondas, la distancia entre dos crestas (o valles) consecutivas es la longitud de onda λ . Figura 1



Figura 1

La longitud de onda nos indica la distancia recorrida por el rayo en un período de tiempo. El producto de la longitud de onda por la frecuencia (ν), o sea, el número de ciclos por segundo, es igual a la velocidad de la luz:

$$c = \nu \lambda$$

La velocidad de la luz en el vacío siempre será constante e igual a 3×10^8 m/seg. En cualquier otro medio, la velocidad de propagación es inferior a ésta y queda dada por:

$$\eta c = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

donde " η " es el índice de refracción del medio.

Al igual que el hecho de tirar una piedra en un estanque hace que las ondas de agua se propaguen por él, las perturbaciones de los campos eléctricos y magnéticos en el espacio hacen que se produzcan ondas electromagnéticas. La dispersión de diferentes rayos electromagnéticos se conoce con el nombre de "espectro electromagnético". En la tabla 1 se muestran las regiones de dicho espectro.

λ (cm)	ν (seg ⁻¹)	Ondas
10^{-11}	3×10^{21}	rayos cósmicos
10^{-10}	3×10^{20}	rayos gama
10^{-9}	3×10^{19}	rayos x
10^{-7}	3×10^{17}	ultravioleta
10^{-6}	3×10^{16}	visible infrarrojo
10^{-3}	3×10^{13}	comunicaciones y radio
10^6	3×10^4	

Tabla 1

Como se puede observar, la radiación electromagnética abarca todo un espectro de ondas que va desde los rayos cósmicos con longitudes de onda del orden de 10^{-12} cm hasta las ondas de radio cuyas longitudes son del orden de 10^6 cm.

La luz visible ocupa una parte muy pequeña del espectro de ondas electromagnético (380 a 700 nanómetros) y dentro de esta banda se encuentran distribuidos los colores que nosotros conocemos. Aunque no puede hacerse una división exacta, pues los colores van variando poco a poco en forma continua, los seis colores principales, enunciados a continuación, están asociados generalmente con las longitudes de onda que a su lado aparecen:

<u>COLOR</u>	<u>λ (nm)</u>
VIOLETA	380 A 450
AZUL	450 A 500
VERDE	500 A 570
AMARILLO	570 A 590
NARANJA	590 A 610
ROJO	610 A 700

Tabla 2

Por otro lado, como ya se sabe, la radiación sólo se absorbe o se emite en unidades definidas llamadas fotones. La energía de los fotones es proporcional a la frecuencia de la radiación.

$$E = h\nu$$

En donde "h" es la constante de Planck y es igual a 6.63×10^{-27} erg-seg.

La intensidad de un haz de radiación está caracterizada por su poder de radiación, que es proporcional al número de fotones por segundo que se propagan en el haz.

Una haz que transporta radiación en una sola longitud de onda es monocromático; en cambio un haz policromático contiene radiaciones de diversas longitudes de onda.

REPRESENTACION GEOMETRICA DEL COLOR

Para describir claramente un color, es necesario utilizar tres parámetros. Se requieren tres parámetros, ya que el color tiene tres dimensiones físicas.

La primera de ellas es claridad-oscuridad del color que nos da una idea de la intensidad luminosa. Esta dimensión es una medida de la cantidad de luz reflejada y absorbida por la muestra, indicando el monto total de luz visible recibida por el ojo humano.

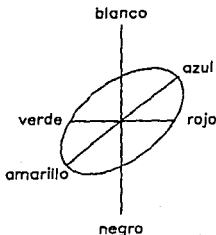
La segunda dimensión es conocida como la saturación del color y representa su pureza. Es una medida directa de las cantidades relativas de cada una de las diferentes longitudes de onda del espectro de luz visible reflejadas por la muestra. Por ejemplo, una muestra tendrá un color rojo puro si refleja una cantidad de luz roja en relación a la cantidad de luz amarilla o azul reflejada; por otro lado, una muestra tendrá un color rojo

pobre (poca pureza) si la cantidad de luz roja reflejada es ligeramente mayor a la cantidad de luz azul o amarilla. Es por esto, que una muestra gris tiene una pureza de cero, ya que refleja aproximadamente una cantidad equivalente de todos los tipos de luz.

La tercera y ultima dimension es conocida como el matiz del color. Es la dimension más usada comúnmente. Este parámetro se emplea para describir la sensación básica de color recibida por el ojo, o sea, es la que cataloga a un color como rojo, verde, azul, etc.

Cada una de estas dimensiones puede ser variada independientemente de las otras, sin embargo, las diferencias de color que se nos presentan todos los días generalmente se deben a una combinación de las tres.

En la figura 2, la rueda de colores presenta los diferentes tonos o matices, variando según el ángulo. La claridad-oscuridad está representada por la distancia sobre el plano de la base, estando el color más oscuro (negro) en la base y el color más claro (blanco) en el extremo superior. En los puntos intermedios se encuentran los diferentes grises.



Disposición del espacio
para la percepción de color.
Coordenadas cilíndricas.

Figura 2

La saturación está representada por la distancia perpendicular media desde el eje central negro-blanco, siendo más puro el color conforme se va alejando del eje central.

Colores con la misma luminosidad estarán situados en el mismo plano horizontal, mientras que si tienen el mismo tono o matiz estarán sobre un plano vertical que intersecte el eje central con uno de sus lados y si tienen la misma saturación estarán situados sobre las paredes del cilindro.

(8, 12, 20)

CAPITULO II

ESPECTROFOTOMETRIA

EQUIPO PARA LA MEDICION DEL COLOR

Como se ha visto, el color está asociado a la longitud de onda, por lo tanto, podrá medirse fácilmente mediante un espectrofotómetro que pueda obtener lecturas de reflectancia en una banda de longitudes de onda entre 400 y 700 nm .

Las mediciones de reflectancia se basan en la reflexión. La reflexión ocurre cuando un haz de luz llega al límite de separación de dos medios, la luz reflejada en la primera superficie de contacto se llama componente "especular" (brillo, resplandor). Estas incidencias de la luz se repiten muchas veces en las estructuras granulares o fibrosas cuando el haz encuentra en su trayectoria una nueva interfase en unas cuantas millonésimas de centímetro. El resultado es una difusión general, de tal manera que la superficie aparece uniformemente brillante en todas direcciones; esta luz reflejada es el componente "difuso" y es la causa del color cuando éste existe.

El instrumento fundamental para la medición del color es el espectrofotómetro debido a que la información proporcionada por él sobre la composición espectral del color es esencial para la resolución de muchos problemas. El espectrofotómetro es un equipo complicado y no todos los laboratorios cuentan con uno, por lo que se ha generalizado el uso de colorímetros de diversos tipos, más baratos y sencillos en su operación.

COLORIMETROS ADITIVOS

Son instrumentos en los cuales se iguala y se mide el color visualmente.

El campo de mediciones se divide en dos partes, una la ocupa la luz de color desconocida y la otra la ocupa una mezcla óptica de las tres luces primarias que es ajustada hasta igualar el color deseado aprovechando la propiedad aditiva de estímulos de luz. Varios fabricantes han desarrollado colorímetros de este tipo que cuentan con filtros de color para seleccionar radiaciones roja, verde y azul y que puede graduar la cantidad de luz admitida por el equipo variando el área de cada filtro.

COLORIMETROS SUSTRACTIVOS

Este tipo de colorímetros actúan basándose en el principio sustractivo, absorbiendo (o sustrayendo) la luz de un rayo inicial a la luz blanca.

Operan controlando un rayo de luz blanca, con distribución de energía uniforme en todo el espectro, mediante la aplicación de tres tipos de filtros (rojo, amarillo y azul) con capacidad para absorber diversas fracciones de cada parte del espectro de la luz incidente para igualar el color de una muestra. Hay que hacer notar que el proceso de igualación en los colorímetros sustractivos es básicamente un proceso de tres variables al igual que el proceso de los colorímetros aditivos con los que guardan un cercano paralelismo.

COLORIMETROS FOTOELÉCTRICOS

En estos colorímetros se utilizan tres fotoceldas X, Y y Z con curvas de sensibilidad similares respectivamente a las curvas de distribución uniforme de energía. La corriente luminosa tiene que ser amplificada y medida para obtener lecturas de X, Y y Z directamente relacionadas con la entrada de luz a las tres celdas. Si la luz medida tiene una distribución de energía uniforme, las lecturas de X, Y y Z también son directamente proporcionales a los valores tristímulus.

Para lograr que las curvas de sensibilidad de las fotoceldas se aproximen más a las curvas de distribución de energía, se coloca entre la fuente luminosa y la fotocelda, un filtro obteniéndose una nueva curva de sensibilidad del producto de la curva de la fotocelda y la curva de transmisión del filtro.

ESPECTROFOTOMETROS FOTOELÉCTRICOS

Existen dos clases de espectrofotómetros fotoeléctricos, los que registran las lecturas tomadas a diferentes longitudes de onda y los que sólo indican sin registrar, estas lecturas.

Para hacer la medición de reflectancias en este tipo de espectrofotómetros, la luz monocromática que pasa por la ranura de salida de un prisma de cuarzo de 30° es reflejada por un espejo "M" hacia el espécimen "S" que a su vez la refleja hacia un espejo metálico elipsoidal, que también la refleja al plato de difusión, detrás del cual la celda de medición está montada.

La medición se hace balanceando la corriente luminosa en un potenciómetro. Cualquier desviación en el balance es amplificada electrónicamente e indicada por un miliamperímetro para aumentar la sensibilidad al ajustar el punto cero. En la figura 3, se muestra en forma sencilla un espectrofotómetro fotoeléctrico.

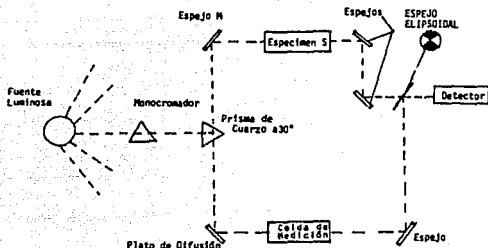


Figura 3

DIFERENCIA DE COLOR (ΔE)

Para determinar la mínima diferencia distinguible (mdd) de color, se puede efectuar el siguiente experimento: las dos mitades de un campo fotométrico son iluminadas por dos fuentes de luz de la misma longitud de onda y con la misma intensidad luminosa. Si se empieza a variar la longitud de onda de una mitad llegará el momento en el que podrá detectarse una diferencia de color entre las dos mitades. El experimento se efectúa manteniendo constante la intensidad luminosa en las dos fuentes de tal forma que la variación de color sólo se debe al cambio provocado en las longitudes de onda. Si el experimento se repite para diferentes longitudes de onda puede obtenerse una curva de discriminación de color a diferentes longitudes de onda, que nos indica la diferencia de color distinguible, dado por la variación de la longitud de onda, a diferentes longitudes de onda del espectro.

Ver figura 4

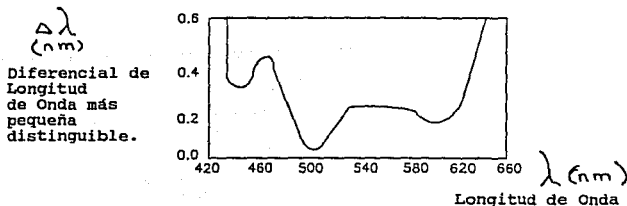


Figura 4

Curva de discriminación típica para un observador normal, usando un campo de 2°.

En esta figura se puede ver que la mínima diferencia de color que puede distinguirse en la región de luz visible del espectro es de 0.3 nm.

Un par de colores difieren normalmente en más de una dimensión de color (matiz, saturación o intensidad luminosa), sin embargo, el observador combina estas diferencias en una sola impresión que abarca la magnitud total de la diferencia observada.

Es por esto que al desarrollar las ecuaciones para cuantificar la diferencia de color se buscó combinar las diferencias existentes en las tres dimensiones para obtener la diferencia total. Esto se logra generalmente tomando al total como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferencias individuales en cada dimensión:

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

donde ΔE es la diferencia de color Δa y Δb son diferencias en cromaticidad (matiz y saturación) y ΔL es la diferencia en intensidad luminosa. (8,12,13,19,20).

CAPITULO III

RESINA DEL POLIESTIRENO

INFORMACION PRELIMINAR

Los polímeros son productos de alto peso molecular que se han desarrollado en forma natural desde los primeros días de la formación terrestre. Los materiales orgánicos más complejos y esenciales para la vida están compuestos de moléculas de alto peso molecular. Entre éstas las más conocidas son la celulosa (componente primario de las plantas) y las proteínas (esencial en todas las células vivas).

La síntesis deliberada de macromoléculas por el hombre se inició tratando de crear sustitutos de materiales naturales como la seda, el marfil y el hule.

A raíz de estas nuevas técnicas, se ha desarrollado una industria química que produce actualmente cientos de compuestos de alto peso molecular, la mayoría de los cuales no tienen contrapartidas naturales.

Todos los materiales formados por macromoléculas, como lo son las fibras, los plásticos y los elastómeros, ya sean naturales, modificados o sintéticos, deben la mayoría de sus especiales propiedades al gran tamaño de sus moléculas.

El alto peso molecular de estos productos permite que haya cierta complejidad en su estructura tanto a nivel molecular como en la disposición que guardan las moléculas entre sí.

Todas las macromoléculas están formadas por muchas unidades más sencillas, idénticas o muy semejantes químicamente unidas en forma regular. El proceso mediante el cual se forman estas grandes moléculas se conoce como polimerización. Los compuestos simples de los cuales se obtienen los polímeros se conocen como monómeros.

PRODUCCION DE MONOMEROS

Prácticamente todos los monómeros se obtienen del petróleo y del gas natural mediante un proceso que constituye parte de lo que se conoce como petroquímica básica.

Los principales compuestos que sirven como base para la fabricación de monómeros son el benceno, tolueno, xileno, butadieno, etileno, propileno, acetileno y metano.

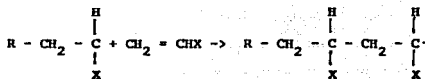
POLIMERIZACION

Los polímeros están formados por átomos capaces de formar enlaces covalentes múltiples, mediante dos tipos generales de mecanismos: Reacción de polimerización en cadena y Reacción de polimerización en etapas ("Step-Reaction").

En el caso de poliestireno la polimerización se realiza por una reacción en cadena.

POLIMERIZACION EN CADENA

Muchas moléculas orgánicas insaturadas pueden polimerizarse mediante un mecanismo consistente en la reacción de una molécula activada (radical libre, ión carbonio o carbonión) con una molécula insaturada para dar una molécula más grande que tiene la característica de seguir activa.



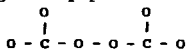
En este caso "R" significa radical libre.

Un ejemplo de este tipo de polimerización es la reacción por radicales libres con monómeros de estructura vinílica que consiste de los siguientes pasos:

INICIACION

La reacción se inicia normalmente con la descomposición térmica de una sustancia que produzca radicales libres como son los peróxidos.

El radical libre reacciona con una molécula de monómero abriendo la doble ligadura y produciendo un nuevo radical libre.



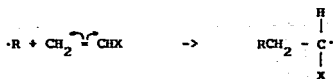
PEROXIDO DE BENZOILO

INICIADOR

O CATALIZADOR

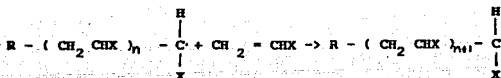


RADICAL (R)



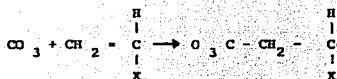
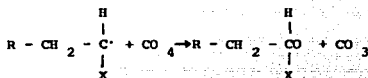
PROPAGACION

El nuevo radical libre que se forma reacciona con otra molécula insaturada, produciendo de esta manera moléculas más grandes terminadas en radicales libres que permiten continuar con el crecimiento.

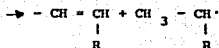
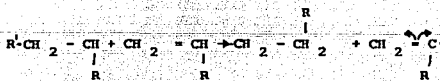
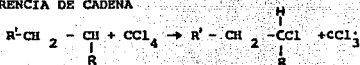


TRANSFERENCIA DE CADENA

En ocasiones en el proceso anterior, las moléculas con terminaciones en radicales libres reaccionan con moléculas con las que intercambian un átomo por el radical libre, desactivando de esta manera a la cadena y produciendo un nuevo radical libre que puede iniciar una nueva reacción en cadena.



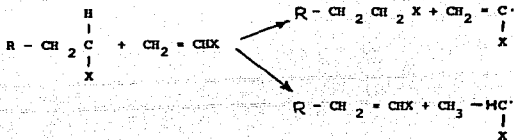
TRANSFERENCIA DE CADENA



$R \cdot + R \cdot \rightarrow R - R$ TERMINACION DE CADENA

$R \cdot + I \cdot \rightarrow RI$ INHIBIDOR

Existe la posibilidad de que este mecanismo se lleve a cabo con una molécula de monómero. En este caso se mueve un átomo de hidrógeno del monómero a la cadena, o de un carbono del monómero al otro carbono.



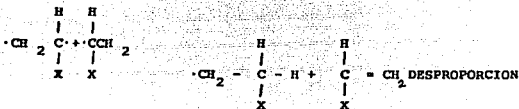
El radical libre insaturado que se forma en la primera reacción es trifuncional y explica la existencia de ramificaciones en polímeros formados por reacciones en cadena en la que los monómeros son bifuncionales.

El mecanismo de transferencia de cadena limita el crecimiento de las cadenas y genera nuevos centros activos para la iniciación de otras cadenas. Este proceso se aprovecha para controlar la distribución de peso molecular, adicionando deliberadamente compuestos que actúen como agentes de transferencia de cadena.

TERMINACION

La propagación de las cadenas continuará hasta que el monómero se agotara, si no fuera por la tendencia de los radicales libres a reaccionar entre sí para formar un enlace covalente con la pérdida de la actividad de los radicales.

El paso de terminación puede ocurrir en dos formas:



INHIBICION

Un inhibidor es una sustancia que produce radicales libres muy poco reactivos incapaces de reaccionar con el monómero pero sí con radicales libres que pueden iniciar una reacción de polimerización.

Los inhibidores se agregan a los depósitos de monómero para evitar la polimerización antes de tiempo y en los casos en que se pierde el control de la reacción.

Mediante el mecanismo de reacción en cadena o de adición se obtiene una gran cantidad de polímeros que contienen únicamente átomos de carbono en la cadena principal que difieren entre si por los grupos insertados, por ejemplo:

<u>POLIMERO</u>	<u>MONOMERO INICIAL</u>	<u>UNIDAD DE REPE-</u> <u>TICION</u>
POLIETILENO	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	$-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$
CLORURO DE POLIVINILO (PVC)	$\text{CH}_2 = \underset{\text{Cl}}{\text{CH}}$	$-\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} -$
POLIESTIRENO	$\text{CH}_2 = \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}$	$-\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} -$
POLIMETACRILATO DE METILO	$\text{CH}_2 = \underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}$	$-\text{CH}_2 - \underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}} -$
POLIACRILONITRILLO	$\text{CH}_2 = \underset{\text{CN}}{\text{CH}}$	$-\text{CH}_2 - \underset{\text{CN}}{\text{CH}} -$
POLITETRAFLUORETILENO	$\text{CF}_2 = \text{CF}_2$	$-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -$
POLIBUTADIENO	$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$	$-\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 -$

Figura 5

POLIESTIRENO

El poliestireno es un termoplástico duro, rígido y transparente que posee excelentes propiedades eléctricas y una baja absorción de humedad también uno de los polímeros disponibles más baratos que tiene muy buenas propiedades de moldeo y estabilidad

dimensional lo cual hace que sea muy solicitado.

Las más importantes desventajas del polímero son su extremado brillo comparado con su bajo punto de resblandecimiento lo cual lo hace incapaz de soportar la temperatura de ebullición del agua.

La necesidad de mejorar estas características inherentes hacen necesario modificar el polímero para mejorar su resistencia al impacto y aumentar su resistencia al calor, se puede incorporar polímero para mejorar su resistencia al calor, se puede incorporar polímero hule como aditivo mientras que el alfa metil-estireno se usa frecuentemente para aumentar su resistencia al calor, se puede incorporar polímero hule como aditivo mientras que el alfa resistencia al calor. Ya que se pueden hacer innumerables modificaciones, solo se pueden proyectar valores típicos para cada uno de los grupos, con la idea de ayudar a la persona interesada, estas han sido escogidas para cubrir un amplio rango de cifras disponibles para los materiales comerciales.

También se pueden obtener copolímeros, por ejemplo, el estireno puede ser copolimerizado con butadieno o con acrilonitrilo para formar un material comunmente conocido como SAN, e inclusive un terpolímero consistente de acrilonitrilo, butadieno y estireno conocido como ABS.

ANTECEDENTES

El monómero de estireno fue por primera vez obtenido por Newman hacia fines del siglo XVIII cuando destiló el "storax", un bálsamo obtenido del árbol Liquidambar Orientalis. En 1931, el químico francés Bonastre, tuvo éxito al separar y describir un aceite volátil el cual fue también obtenido a partir de una fuente similar.

Sin embargo, la mayoría de referencias dan crédito al alemán Simón con el descubrimiento del poliestireno. Este fue en 1939, mientras que trabajaba en algo completamente distinto a la destilación de la resina de bálsamo natural "storax" cuando recuperó un aceite volátil al cual llamó "Styrol". Se encontró que endurecía si se calentaba o se almacenaba por varios meses.

Debido a que el creyó que tratabasé de un producto oxidado el propuso el nombre de óxido de Styrol, no fue sino hasta 1845 en que la verdadera naturaleza de la reacción (Polimerización) fue reconocida por Blythe y Hoffman, al producto le llamaron metastyrol. Por la misma época (1845) Glenard y Bondault reportaron la producción de Styrol por medio de la destilación seca de una resina obtenida de la fruta de la palma de rattan Malaya.

Fue en 1856 cuando Berthelot fue el primero que reportó la primera síntesis de estireno mediante el sencillo recurso de pasar benceno y estileno a través de un tubo al rojo vivo (antes de esto, en 1851 el había publicado un papel acerca de la pirolisis de varios

hidrocarburos, el Styrol fue identificado como uno de los productos condensados mediante el paso de los hidrocarburos a través de un tubo al rojo vivo.

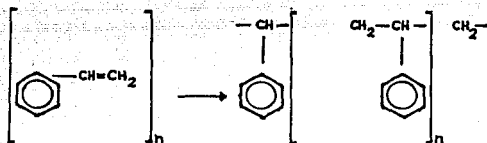
Poco interés se mostró para la utilización comercial de este material por una buena cantidad de años hasta que en 1900, Kronstein registró la primera patente perteneciente a polímeros de estireno. En los años 1930's I G Farbenindustrie (Alemania) y Dow Chemical (Estados Unidos) simultáneamente produjeron poliestireno comercialmente (el cambio de nombre del meta estireno había sido iniciado antes por Staudinger). Hoy en día el poliestireno es el plástico que tiene el tercer lugar en volumen vendido a nivel mundial.

FABRICACION

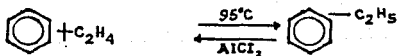
El monomero de Estireno (Vinyl-Benceno) que es la unidad básica a partir de la cual el poliestireno es hecho, es un líquido con un punto de ebullición de 145°C, y un punto de congelación de -30°C con un índice de refracción de 1.54 se prepara industrialmente por medio de la deshidrogenación del etil benceno.



El poliestireno es entonces producido por medio de la polimerización por adición de monómero de estireno:



El etil benceno usado en la preparación del monómero de estireno es preparado por medio de la reacción del benceno y etileno en presencia de un catalizador de Friedel y Crafts como el cloruro de aluminio:



A pesar de que existen muchos otros métodos disponibles para la síntesis del estireno, tal como la destilación de ácido cinámico, deshidratación del fenil etil alcohol y etil benceno y así sucesivamente, la ruta vía etil benceno ha sido tan exitosa comercialmente que existe muy poco interés industrial por otras alternativas.

Ver cuadros 1A y 1B.

RESINA DE POLIESTIRENO

PROCESOS DE POLIMERIZACION PARA PRODUCIR POLIESTIRENO

M E T O D O :	SISTEMA DE POLIMERIZACION	V E N T A J A S :	DESVENTAJAS	F A C T O R E S DE COSTO
POLIMERIZACION EN MASA.	MONOMERO DE ESTIRENO PURO.	SIMPLICIDAD, ALTA CLARIDAD, PROPIEDADES ELECTRICAS EXCELENTES.	MAL CONTROL TERMICO. SE OBTIENE UNA DISTRIBUCION DE PESOS AMPLIA.	EQUIPO DE MANEJO Y MOLIENDA.
POLIMERIZACION EN SOLUCION.	ESTIRENO DILUIDO CON SOLVENTE.	MUCHO MEJOR CONTROL DE LA TEMPERATURA	EL SOLVENTE REDUCE EL PESO MOLECULAR Y LA VELOCIDAD.	SECADO DEL POLIMERO, RECUPERACION DEL SOLVENTE.
POLIMERIZACION EN SUSPENSION.	SE USA AGUA COMO VEHICULO Y AGENTES ESTABILIZANTES, PARA MANTENER EL MATERIAL EN SUSPENSION Y UNO O MAS CATALIZADORES, PARA ACELERAR LA REACCION.	NO HAY DIFICULTAD CON EL CALOR DE POLIMERIZACION. SE USA EQUIPO SENCILLO. LOS MATERIALES VOLATILES PUEDEN REDUCIRSE A UN NIVEL BAJO, CON EL CATALIZADOR Y LA TEMPERATURA ADECUADA.	POSIBLE CONTAMINACION CON AGUA Y EL AGENTE ESTABILIZANTE. OPERACION BATCH (EN LOTES).	CATALIZADORES, ESTABILIZADORES, LAVADO Y SECADO DEL POLIMERO.

CUADRO 1A

RESINA DE POLIESTIRENO

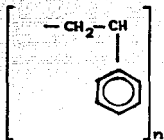
PROCESOS DE POLIMERIZACION PARA PRODUCIR POLIESTIRENO

M E T O D O :	SISTEMA DE POLIMERIZACION	V E N T A J A S :	DESVENTAJAS	FACTORES DE COSTO
POLIMERIZACION EN EMULSION.	SE USA AGUA COMO VEHICULO CON UN AGENTE EMULSIFICANTE, CON LO CUAL SE PRODUCEN PARTICULAS EXTREMADAMENTE PEQUENAS.	REACCION RAPIDA. NO SE PRESENTA DIFICULTAD CON EL CALOR DE POLIMERIZACION. MUCHAS COPOLIMERIZACIONES QUE NO ES POSIBLE EFECTUAR POR OTROS METODOS SE LLEVAN A CABO EN EMULSION. ESTE PROCESO ES ADAPTABLE PARA LA POLIMERIZACION CONTINUA. UTILIDAD DE LOS LATEX. EL EQUIPO ES SIMPLE.	CONTAMINACION DEL POLIMERO CON AGUA Y AGENTES EMULSIFICANTES. SE OBTIENE UN PRODUCTO DE CARACTERISTICAS DE COLOR Y CLARIDAD DEFICIENTES.	CATALIZADORES, EMULSIFICANTES Y ESTABILIZADORES. COAGULANTES, LAVADO Y SECADO DEL POLIMERO SECO.

CUADRO 1B

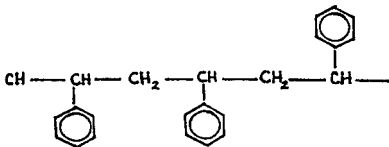
ESTRUCTURA

El poliestireno tiene una estructura sencilla que se repite:



El polímero comercial contiene hasta 2000 unidades en la cadena. La naturaleza voluminosa de los anillos aromáticos impiden un gran acercamiento de las cadenas de polímero, debido a esto, ocurre un arreglo espacial arbitrario de las cadenas de benceno lo cual significa que es de naturaleza amorfa, siendo incapaz de cristalizar por los métodos de fabricación usados comercialmente.

La presencia de los anillos de benceno da rigidez a la cadena del polímero provocando altas fuerzas intermoleculares.



RELACION ENTRE LA ESTRUCTURA Y PROPIEDADES

La presencia del anillo de Benceno provoca en el poliestireno una mayor actividad en comparación con las poliolefinas, tal y como se esperaría en base a los principios básicos de la Orgánica.

Las reacciones típicas del grupo fenil tales como la cloración, nitración y sulfonación pueden ser logrados con poliestireno. El grado de reactividad está gobernado por su concentración, temperatura y tiempo; se puede ocasionar decoloración y - rompimiento de la cadena como un efecto adicional.

Ya que el poliestireno puede ser considerado como una poliolefina aromática sustituida, es de gran interés comparar brevemente su reactividad con el ácido sulfúrico.

Empleando una solución de ácido sulfúrico ligeramente fuerte, el poliestireno puede reaccionar rápidamente y la decoloración aparecerá en la superficie.

A pesar de que las superficies de tanto el polietileno como el polipropileno son convertidas de zonas hidrofóbicas, la decoloración no se lleva a cabo.

Por otra parte, si el odeum es utilizado a altas temperaturas entonces el poliestireno es atacado y el resultado es un oscuro descolorido y muy brillante material.

Las excelentes propiedades eléctricas del poliestireno se deben a la naturaleza de los hidrocarburos puros combinados con su baja absorción de agua que es una característica normal de los hidrocarburos en general.

Los poliestirenos sustituidos pueden mostrar efectos en sus propiedades. Los sustituyentes nucleares influirán estas propiedades de acuerdo con la naturaleza, medida y forma de sustituyentes, el número de sustituyentes y su posición de entrada dentro del anillo aromático. Los metil-estirenos, por ejemplo, son de interés para la producción de polímeros resistentes al calor.

Si la ortho sustitución se llevará a cabo, el polímero reblandecerá a cerca de 20°C sobre el punto de reblandecimiento.

La sustitución en el átomo de carbono alpha aumenta el punto de reblandecimiento del polialfa metil estireno a aproximadamente 90°C mayor que el poliestireno por si mismo.

La razón de esto se debe probablemente a que el grupo metilo en las posiciones ortho y alpha hacen a la cadena más rígida y de aquí que ellas serán relativamente mayores que un átomo de hidrógeno. Esto provocará una mayor dificultad de los segmentos de la cadena para rotar.

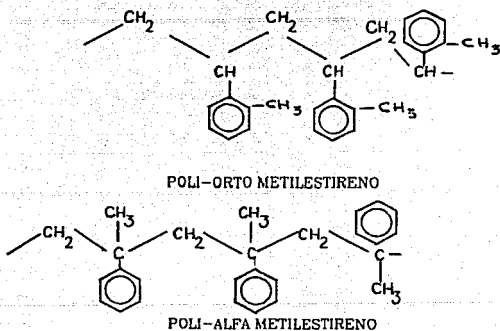


Figura 6

El peso molecular del polímero influirá en las propiedades. A mayores pesos moleculares se tendrán mayores puntos de reblandecimiento, una pequeña mejoría en las propiedades eléctricas y casi ninguna en la resistencia al impacto.

Las propiedades mecánicas en general dependen del peso molecular del polímero. Este método se utiliza cuando se quiere mejorar la resistencia al impacto sin importar la pérdida de brillo del material.

PROPIEDADES ELECTRICAS

El poliestireno ha sobrepasado las propiedades dieléctricas que antes sólo eran alcanzadas por las poliolefinas, algunos fluoroplásticos y algún silicón.

La resistividad volumétrica y superficial son muy altas mientras que el factor de potencia es excepcionalmente bajo. Estas propiedades muestran muy poco cambio bajo condiciones de humedad ó con cambios de temperatura.

La frecuencia tiene un efecto despreciable en la constante dieléctrica y el factor de potencia entre 60Hz y 1Hz, a pesar de que este último aumenta ligeramente cuando la frecuencia es de alrededor de 10 MHz.

Es un material ideal para aplicaciones de alta frecuencia.

PROPIEDADES ELECTRONICAS TIPICAS DE LOS POLIESTIRENOS

PROPIEDADES	USO GENERAL	RESISTENCIA AL CALOR	RESISTENCIA SAN AL IMPACTO	METODO DE PRUEBA ASTM	
Constante Dielectrica.					
60 Hz	24-265	24-265	24-47	25-35	D150
1 kHz	24-265	24-265	24-45	25-30	
1 MHz	24-265	24-265	24-38	26-31	
Factor de Disipación					D150
60 Hz	0.0001-0.0003	0.0001-0.0003	0.0004-0.0002	0.0004-0.01	
1 kHz	0.0001-0.0003	0.0001-0.0003	0.0004-0.002	0.006-0.01	
1 MHz	0.0001-0.0003	0.0001-0.0004	0.0004-0.002	0.007-0.01	
Resistencia Dielectrica Volt/mil	500-700	500-700	300-600	400-500	D149
Resistencia Dielectrica Volt/mil.	400-600	300-500	300-600	300-600	D149
Resistividad Volumetrica Ohm-cm.	10^7-10^9	10^7	10^{10}	10^{10}	D257
Resistividad Superficial Ohms/sq.	10^8	10^8	10^8		
Resistencia al arco SEG..	60-80	60-135	20-100	100-150	D495

Tabla 3

MECANICAS

Las propiedades mecánicas del poliestireno varían considerablemente con su constitución, método de fabricación, orientación, peso molecular y otras. Son altamente influenciadas por la temperatura. Sin embargo, un factor importante es el hecho de que es uno de los plásticos donde la resistencia al impacto no se afecta cuando se disminuye la temperatura.

PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS DE LOS POLIESTIRENOS

PROPIEDAD	USO GENERAL	RESISTENTE AL CALOR	RESISTENTE AL IMPACTO	SAN	METODO DE PRUEBA ASTM
Resistencia a la tensión lb/pulg ²	4,300- 8,500	5,000- 8,000	2,500- 5,000	6,000 11,000	D638
Resistencia a la compresión lb/pulg ²	11,000- 16,000	11,000- 16,000	4,000- 9,000	14,000 17,000	D695
Resistencia a la flexión lb/pulg ²	8,000- 17,000	8,700- 14,000	5,000- 11,000	14,000- 19,000	D790
Resistencia al impacto P.e. lb/pulg	Q2-06	Q3-06	10-80	Q3-08	D256
Modulo de tensión lb/pulg ²	300,000- 550,000	400,000- 600,000	200,000- 450,000	400,000 560,000	D638
Elongación %	Q8-20	10-25	12-45	15-35	D638
Dureza (Rockwell)	M65-80	M65-80	M25-60	M80-90	D785

Tabla 4

TERMICAS

La principal desventaja del polímero de uso general es su relativa baja temperatura de deformación, pero gracias a esto, podría ser clasificado como un dieléctico ideal. Consecuentemente no puede ser considerado para una buena cantidad de aplicaciones donde se requieren características térmicas razonables. Aún dentro de los grados resistentes al calor del poliestireno, el punto de deformación en calor es bajo, lo que es más, estas propiedades son sólo logradas con el sacrificio de otras.

El calor específico del poliestireno se encuentra dentro de los más bajos que se tienen para materiales poliméricos. El coeficiente de expansión térmica se aumenta con la adición de plastificantes y disminuye con la adición de cargas.

PROPIEDADES TERMICAS TIPICAS DE LOS POLIESTIRENOS

PROPIEDAD	USO GENERAL	RESISTENTE AL CALOR	RESISTENTE AL IMPACTO	SAN	METODO DE PRUEBA ASTM
Calor Específico $\frac{\text{Cal}}{\text{cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}}$	0.32	0.32-0.35	0.32-0.37	0.32-0.34	
Expansión Térmica $10^{-5}/^\circ\text{C}$	6-3	6-8	3.4-7.0	3.6-8.0	D696
Conductividad Térmica $10^{-4} \frac{\text{Cal}}{\text{cm} \text{ } ^\circ\text{C}}$	2.4-3.3	1.9-3.0	1.0-3.0	2.9	C177
Resistencia al calor $^\circ\text{C}$	66-77	77-93	60-80	60-96	
Temperatura de Deformación al calor $^\circ\text{C}$, $24 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	70-80	93-102	78-88	88-102	D648
Punto de Reblandecimiento $^\circ\text{C}$	80-95	100-103	73-89	100	*
Flamabilidad	Lento	Lento	Lento	Lento	D635

Pulg/min

Tabla 5

FISICAS

El poliestireno tiene excelentes propiedades ópticas, posee un alto índice de refracción y una transparencia de 88% a 92% que lo pone ligeramente por debajo del polimetil metacrilato y el 4 metil penteno. Gracias a que el poliestireno tiene un mayor índice de refracción comparado con otros polimeros, puede ser utilizado con un menor radio de curvatura lo que le otorga una mayor versatilidad de diseño cuando es usado para reflectores.

Las características ópticas del poliestireno pueden ser afectadas por nebulosidad y amarillamiento. Esto se cree que se debe a variaciones en el índice de refracción causadas por una orientación molecular localizada, provocada por un envejecimiento originado por una reacción de oxidación. Agentes Modificadores reducen los efectos de la transmisión de luz.

La absorción de humedad es muy baja y la estabilidad dimensional es excelente.

PROPIEDADES FISICAS DE LOS POLIESTIRENOS

PROPIEDAD	USO GENERAL	RESISTENCIA AL CALOR	RESISTENCIA AL IMPACTO	SAN	METODO DE PRUEBA ASTM
Peso Específico	1.04-1.09	1.04	0.98-1.10	1.07-1.10	D792
Absorción de agua %	0.02-0.01	0.05	0.05-0.6	0.2-0.3	D570
Índice de Refracción	1.595	1.57		1.56-1.57	D542
Transmisión de luz %	88-92	88-90		80-88	

Tabla 6

RESISTENCIA QUIMICA

La resistencia química de poliestireno depende de muchos factores como el grado del polímero, la temperatura y la concentración de solvente usado y el tiempo de exposición. Cualquier esfuerzo interno que estuviera presente afectará también su resistencia química.

Generalmente el polímero es resistente a ácidos y bases fuertes no oxidantes pero es atacado por ácidos oxidantes como el HNO₃ es insoluble en hidrocarburos alifáticos y alcoholes sencillos pero soluble en hidrocarburos clorados y alcoholes complejos. Con los solventes que se presentan a continuación, por ejemplo con los hidrocarburos aromáticos, los cambios en la superficie del polímero son aparentes. Sin embargo, algunas sustancias químicas a pesar de que no producen ningún defecto superficial si debilitan el material (la acetona y el heptano están en este grupo).

RESISTENCIA QUIMICA DEL POLIESTIRENO DE USO GENERAL *

<u>Solución</u>	<u>Comportamiento</u>
- Acidos Inorgánicos	
Acido Clorhidrico conc.	Satisfactorio
Acido Flouridrico dil.	No Satisfactorio
Acido Nítrico, 15%	No Satisfactorio
Acido Sulfúrico conc.	Satisfactorio
- Acidos Orgánicos	
Acido Acético, 15%	Satisfactorio
Acido Acético, Glacial	No Satisfactorio
Acido Fórmico, 90%	Satisfactorio
- Bases	
Hidróxido de Sodio	Satisfactorio
Hidróxido de Amonio	Satisfactorio
- Solventes Orgánicos	
Acentona	Satisfactorio
Benceno	Soluble
Tetracloruro de Carbono	Soluble
Cloroformo	Soluble
Tricloroetileno	Soluble
Formaldehído	No Satisfactorio

Tabla 7

* 20°C

POLIESTIRENO MODIFICADO

Poliestireno Impacto

La resistencia al impacto del poliestireno puede ser mejorada por la incorporación de aditivo de hule al polímero. El hule está compuesto de estireno y butadieno ($\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$), la cantidad de poliestireno presente es de 25% a 30%.

Una cantidad que varía de 5 a 20% (dependiendo de las propiedades requeridas) del mismo es dispersada en forma de segunda fase, constituida por partículas con un diámetro menor de 5 micrones.

Diferente a los copolímeros de estireno y butadieno el cual muestra una temperatura de transición sencilla, los sistemas de dos fases se cree que tienen, una temperatura de transición vítrea característica de ambos componentes, aunque puede ser ligeramente inferior a la del poliestireno.

El aumento en la resistencia al impacto es probable que se deba a que las partículas de hule absorben la energía y permiten a las cadenas de poliestireno experimentar algún movimiento relativo entre unas y otras.

Una mayor resistencia al impacto puede ser obtenida usando las técnicas de polimerización de grafteo las cuales son las más ampliamente usadas por el momento. El uso del polibutadieno estereoregular ha mostrado que puede producir materiales aún más resistentes que los ya mencionados.

Además de mejorar las propiedades de impacto, la elongación y la flexibilidad se ven también mejoradas. Las propiedades que se ven disminuidas son las resistencia a la tensión, el punto de reblandecimiento y la dureza. Es obvio que la claridad se ve afectada.

POLIESTIRENO RESISTENTE AL CALOR

Como ya se ha mencionado, ciertos poliestirenos sustituidos, por ejemplo, los metil-estirenos han sido usados como materiales resistentes al calor.

Los copolímeros de estireno y los alfa-metil-estireno han mostrado tener un buen desempeño al respecto.

COPOLIMEROS DE ESTIRENO

Estireno-Acrilonitrilo (SAN)

La presencia de acrilonitrilo (20% al 30%) ayuda a tener una mayor resistencia a agentes químicos al material. Normalmente son preparados por las técnicas de polimerización en emulsión y en suspensión. Además de mejorar la resistencia química también se mejora la dureza y la resistencia superficial.

La naturaleza polar de la molécula de acrilonitrilo proporciona al polímero una mejor resistencia a los hidrocarburos. La resistencia al impacto es mejor, la absorción de agua es mayor, una mayor resistencia a la

tensión y una mayor transparencia son las propiedades obtenidas de esta copolimerización.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Ya que se tienen una buena cantidad de polímeros disponibles con un amplio rango de propiedades, se debe tener gran cuidado en la selección de un material para una determinada aplicación.

El diseño propio de la parte para ser hecha de un material seleccionado debe estar basado en un adecuado conocimiento de las características de ese material.

Los diferentes productos hechos de poliestireno pueden ser fabricados por muchos procesos comunes a la mayoría de los termoplásticos como son moldes por inyección extrusión y moldeo por compresión, este último por sí mismo para ser usado en partes grandes con secciones pesadas.

El acabado superficial de un proceso de moldeo por inyección es excelente mientras que el de extrusión no es tan bueno aunque de todas maneras se obtiene un buen brillo.

Las tolerancias en las partes de poliestireno no deberán de ser menores a ± 0.001 in/in en cualquier dimensión.

El acabado del poliestireno no presenta problemas ya que puede ser trabajado con la mayoría de las herramientas usadas para metal o madera.

PROPIEDAD	USO GENERAL	RESISTENTE AL CALOR	RESISTENTE AL IMPACTO	SAN
Calidad de Moldeo	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno
Encogimiento el molde	0.001-0.006	0.001-0.003	0.002-0.006	0.002-0.007
Calidad de Maquinado	Escasamente Bueno	Escasamente Bueno	Bueno	Bueno

Tabla 8

El acabado del poliestireno no presenta problemas ya que puede ser trabajado con la mayoría de las herramientas usadas para metal.

USO Y APLICACIONES

El poliestireno se usa de acuerdo a su importancia, en industrias como:

- Empaque
- Eléctrica y electrónica
- Construcción
- Muebles
- Maquinaria

La película de poliestireno biaxial se forma para obtener charolas para carne y verduras. La placa de espuma de poliestireno extruida se emplea para empaacar huevos, carnes y otros alimentos. La mayoría de los grados de poliestireno cumplen con las normas establecidas por el gobierno de Estados Unidos para alimentos:

FDA 177.1640.

Las placas de poliestireno sólido se transforman en tazas, contenedores y recipientes.

Los materiales inyectados se utilizan ampliamente en la manufactura de contenedores de equipos fotográficos, joyas, cajas de rollos fotográficos, artículos de uso personal, cosméticos, etc.

Debido a sus excepcionales propiedades eléctricas, el material metalizado ha mostrado ser el más adecuado para aplicaciones electrónicas donde no es necesario un bajo punto de reblandecimiento. De aquí que se ha visto favorecida su utilización en la producción de capacitores (metalizado al vacío) en donde alta confiabilidad, alta estabilidad, bajo factor de potencia y un coeficiente de temperatura negativo son necesarios. Las aplicaciones incluyen circuitos de tiempo de precisión y filtros de precisión. El material electrometalizado ha sido utilizado también en la fabricación de guías de onda dieléctrica.

En el área eléctrica-electrónica se fabrican gabinetes (muebles) de T.V. de poliestireno impacto con retardante a la flama moldeado.

También se usa en los cuerpos de radios, juegos, detectores de humo e incendios, cuerpos de computadoras, etc.

En la construcción, los paneles de este material se emplean en plafones y paredes como aislantes.

La características atractiva del poliestireno es su precio, lo cual es una consideración importante en el mundo comercial. Siempre que se de un adecuado pretratamiento al poliestireno, bien podría tomar una gran cantidad del mercado que actualmente posee al ABS. Esto se refiere por supuesto a los estirenos impactos donde las propiedades mecánicas para tales materiales satisfacen un buen número de aplicaciones.(2,5,15,16)

CAPITULO IV

PIGMENTOS DEL POLIESTIRENO

El amplio y creciente mercado de los materiales plásticos está estrechamente ligado a la adecuada selección de un color atractivo y placentero que le dé vida a dichos materiales.

El intervalo de productos plásticos coloreados es extenso e incluye los más variados artículos como: empaques, partes para automóviles, plumas, juguetes, artículos para el hogar, etc.

La selección del color adecuado para la pigmentación presenta sus dificultades. Al productor de plásticos pigmentados le gustaría enfocar su producción a un solo color para poder simplificarla, mientras que el vendedor de dichos plásticos preferiría tener un amplio espectro de colores para poder satisfacer a cualquier cliente. Un distribuidor desearía tener un inventario ilimitado de colores que le asegure que sus ventas estén garantizadas.

Para determinar la selección final de un pigmento para un plástico, se deben de tener en cuenta varias consideraciones, las más importantes son:

- 1) El tipo de plástico que se quiere pigmentar.
- 2) Las condiciones de proceso que se van a emplear para pigmentar el plástico, o sea, el método de pigmentación adecuado.
- 3) El uso final que se le va a dar al plástico pigmentado.

Si la selección se basa únicamente en el pigmento por sí solo, se deben de tomar en cuenta los siguientes factores:

- a) El color característico del pigmento (si es rojo, azul, verde, etc.).
- b) La brillantez u oscurecimiento que un pigmento pueda tener.
- c) La transparencia del pigmento.
- d) Costo del pigmento.

Además de las consideraciones anteriores, otro punto de suma importancia para seleccionar un pigmento son las propiedades de resistencia que estos deben tener.

Las propiedades de resistencia son las siguientes:

- 1) Propiedades de dispersión y poder tintóreo.
- 2) Resistencia a la luz y resistencia al intemperismo.
- 3) Resistencia al calor.
- 4) Resistencia a la migración o sangrado.
- 5) Resistencia al ataque químico
- 6) Resistencia a sangrar en presencia de solventes.

En la actualidad el uso de los plásticos se ha generalizado de tal manera que ha presentado elevadas tasas de consumo.

Este incremento ha involucrado retos para el desarrollo de nuevas aplicaciones y la búsqueda de colores adecuados para el uso final que se le vaya a dar al plástico.

Para colorear los plásticos, se les debe adicionar color mediante el uso de sustancias que lo imparten, a estas sustancias se les llama colorantes.

El colorante es una sustancia capaz de impartir color a una gran cantidad de materiales, tales como papel, piel, plástico, textil, etc. Los colorantes se dividen en dos grandes grupos: los tintes y los pigmentos.

Los tintes llamados comúnmente colorantes, son perfectamente solubles en la resina en el cual son utilizados. Además, solamente absorben la luz.

Los pigmentos son sustancias insolubles en el medio en el cual son aplicados. No presentan afinidad con la resina en la cual han sido utilizados. Además, pueden absorber y/o dispersar la luz.

A continuación se definen algunos conceptos importantes:

Transparente. Es aquel objeto que al recibir un haz de radiación no lo dispersa. Entre los plásticos podemos citar el poliestireno, acrílico, policarbonato (cuando no están pigmentados).

Translúcido. Son objetos en los que ocurre cierta dispersión, esto es, cierta cantidad de luz incidente es reflejada apreciablemente y cierta cantidad es transmitida.

Opaco. Son objetos que presentan una gran dispersión, y la luz, al incidir en ellos, no se transmite. Generalmente, se requiere una gran carga de pigmento para obtener un objeto opaco.

Mezclado. Es un proceso cuya finalidad es lograr distribución homogénea de los componentes de un sistema. En el caso de la pigmentación de plásticos, el soluto es el pigmento y el solvente o sistema es la resina.

Dispersión. Es el contacto íntimo entre todas las partículas de un sistema resina-pigmento que se obtiene mediante el rompimiento de las uniones entre las partículas tendientes a formar grumos o aglomerados.

Poder Tintóreo. Es el grado de color que un pigmento imparte a un color blanco estándar; corresponde al rendimiento de color de un pigmento.

Poder Cubriente. Es el grado de opacidad que un pigmento imparte.

Saturación.

Es el grado máximo de color que puede impartir un pigmento, de tal forma que el color se mantiene estacionario por más que se aumente la cantidad de pigmento.

Los pigmentos se clasifican en dos grandes grupos, pigmentos inorgánicos y pigmentos orgánicos. Estos pigmentos se dividen a su vez en naturales y sintéticos.

Los pigmentos generalmente se dividen en familias o grupos, lo cual es más conveniente que clasificarlos por colores ya que diversas familias con propiedades físicas y químicas diferentes tienen un mismo color.

Los pigmentos inorgánicos generalmente tienen poco poder tintóreo, gran tamaño de partícula, buena resistencia al calor, bajo precio, baja absorción de aceite, y poca tendencia a migrar.

Los pigmentos orgánicos generalmente tienen un brillo y poder tintóreo, superior al de los pigmentos inorgánicos, tienen pequeño tamaño de partícula y poca resistencia a la luz y al calor, tienen alto precio, poco poder cubriente, alta absorción de aceite, bajo peso específico y gran tendencia a migrar en presencia de solventes.

Una clasificación universalmente aceptada es el "Colour Index" para la identificación de los pigmentos.

Esta clasificación consta de un nombre y un número adicional de cinco dígitos. Un ejemplo de lo anterior es el siguiente: "Pigmento Blanco 6 (77891)".

El nombre se originó en los tintes textiles e indica únicamente el color del pigmento; el número de cinco dígitos indica la clase de pigmento y también la estructura química de éste cuando ha sido descubierta.

Como ejemplo de lo anterior, se tiene a los pigmentos de la clase antraquinona, estos pigmentos tienen un número de Colour Index comprendido entre 58000 y 72999, así como las ftalocianinas que están comprendidas entre los números 74000 y 74999.

PIGMENTOS PARA POLIESTIRENO

Una propiedad sobresaliente del poliestireno es la fácil incorporación de colorantes y refuerzos. Cargas de hasta el 50% no causan mayores efectos en las propiedades de trabajo. Los concentrados de color pueden ser mezclados en sistemas de dos rodillos o en mezcladores Banbury, en donde ambos procesos requerirán un proceso posterior para reducir los materiales en forma de pellet. Otros portadores de concentrados que pueden ser usados en pequeñas cantidades son el polietileno y su copolímero con vinil acetato. Ceras y resinas de bajo peso molecular pueden ser mezcladas en mezcladores Baker Perkins con grandes cuchillas sigma. La concentración de tintas y negro de humo usualmente no excede de 33%. Existen algunas tintas líquidas.

Los pigmentos que se utilizan para pigmentar poliestireno deben de tener muy buena resistencia a la temperatura, deben ser estables a 200°C, además deben de tener las características importantes de un pigmento, tales como resistencia al intemperismo, fácil dispersión y buena resistencia a la migración.

Existen varios pigmentos inorgánicos que poseen las propiedades antes mencionadas, entre los más utilizados encontramos el bióxido de titanio, el negro de humo, los óxidos de fierro, el azul ultramarino, los cadmios y una gran variedad de pigmentos. En la tabla 9 se enlistan los pigmentos inorgánicos que más se utilizan.

En poliestireno uso general, se pueden realizar efectos metálicos con la incorporación de pigmentos de aluminio o bronce metálico. También se pueden obtener una gran variedad de pigmentos aperlados combinando el poliestireno con alguna resina incompatible, como por ejemplo, el acrílico.

En cuanto a los pigmentos orgánicos se refiere, la mayoría de ellos carece de la estabilidad térmica que se requiere para pigmentar este tipo de resinas; la ftalocianina verde es una de las pocas excepciones a este respecto. En la tabla 10, se enlistan los pigmentos orgánicos que pueden usarse en poliestireno. Como ya se dijo, la mayoría de estos pigmentos no pueden usarse a temperaturas muy altas.

(6, 11, 13, 14, 18)

PIGMENTOS INORGANICOS PARA POLIESTIRENO

NOMBRE COMUN	NOMBRE	NUMERO	ESTABILIDAD AL CALOR
Titanium dioxide	Pigment White 6	77891	Excelente
Zinc oxide	Pigment White 4	77947	Excelente
Zinc sulfide	Pigment White 7	77975	Excelente
Carbon black	Pigment Black 7	77266	Excelente
Black iron oxide	Pigment Black 11	77499	Buena
CrCoFe Zn black			Buena
Ultramarine blue	Pigmente Blue 29	77007	Excelente
Cobalt blue	Pigment Blue 28	77346	Buena
Manganese blue	Pigment Blue 33		Excelente
Chromium oxide	Pigment Green 17	77288	Excelente
Hydrated chromium oxide	Pigment Green 18	77289	Buena
Cadmium yellow	Pigment Yellow 37	77199	Excelente
Nickel titanate	Pigment Yellow 53	77788	Excelente
Chrome yellow	Pigment Yellow 34	77603	Favorable
Molybdate orange	Pigment Red 104	77605	Favorable
Cadmium orange	Pigment Orange 20	77106	Excelente
Mercury-cadmium orange			
Sienna, ochre	Pigment Orange 23	77201	Excelente
Umber	Pigment Yellow 43		Favorable
NisbCrti brown	Pigment Brown 43		Buena
Cadmium red			
Mercury-cadmium red	Pigment Red 108	77202	Excelente
Red iron oxide	Pigment Red 113	77491	Excelente
Aluminium flake	Pigment Brown 11	77495	Favorable
Bronze flake	Pigment Metal 1	77000	Excelente
Coated mica flake	Pigment Metal 2	77400	Excelente

Tabla 9

PIGMENTOS ORGANICOS PARA POLIESTIRENO

NOMBRE COMUN	NOMBRE	NUMERO	ESTABILIDAD AL CALOR
Phthalocyanine blue, red shade	Pigment Blue 15	76160	Favorable
Phthalocyanine blue, green shade	Pigment Blue 15	76160	Buena
Indanthrone blue	Pigment Blue 22	69825	Favorable
Phthalocyanine green	Pigment Green 7	74260	Excelente
Phthalocyanine green brominated	Pigment Green 36	74265	Excelente
Hansa yellow	Pigment Yellow 1	11860	Buena
Diarylide yellow	Pigment Yellow 12	21090	Favorable
Nickel azo yellow	Pigment Green 10	12775	Favorable
Diarylide orange	Pigment Orange 13	21110	Favorable
Lithol red	Pigment Red 49	15630	Favorable
Red lake C	Pigment Red 53	15585	Buena
Permanent red 2B	Pigment Red 48	15865	Favorable
Pigment scarlet	Pigment Red 60	16105	Buena
Nepthol red	Pigment Red 17	12390	Favorable
Quinacridone red	Pigment Violet 19	46500	Favorable
Perylene red	Pigment Red 123	71145	Favorable
Thioindigoid	Pigment Red 131	73360	Buena

Tabla 10

TINTAS PARA POLIESTIRENO

NOMBRE COMUN	NOMBRE	NUMERO	ESTABILIDAD AL CALOR
Anthraquinone	Solvent Violet 13	60721	Excelente
Anthraquinone	Solvent Blue 59		Excelente
Alizarine	Solvent Green 3	61565	Excelente
Anthraquinone	Solvent Green 28		Excelente
Azo	Solvent Yellow 16	12700	Buena
Quinoline	Solvent Yellow 33	47000	Excelente
Disazo	Solvent Yellow 30	21240	Buena
Monomethine	Solvent Yellow 93		Excelente
Azo	Solvent Yellow 14	12055	Buena
Perinone	Solvent Orange 60		Excelente
Anthraquinone	Solvent Red III	60505	Excelente
Disazo	Solvent Red I	12150	Favorable
Perinone	Solvent Red 135		Buena
Nigrosine	Solvent Black 5	50415	Buena

Tabla 11

CAPITULO V

TECNICAS ANALITICAS

Básicamente, existen dos tipos diferentes de instrumentos que miden el color, el colorímetro y el espectrofotómetro. Un espectrofotómetro separa la luz reflejada de una muestra de color en un espectro, utilizando prismas, filtros u otras mallas de difracción.

A continuación se dará una breve explicación de los tres sistemas colorimétricos más ampliamente utilizados como son: Sistema Colorimétrico Munsell, Sistema de Coordenadas Modificadas de Adams y el Sistema CIE.

SISTEMA COLORIMETRICO DE MUNSELL

Este sistema es el más primitivo y está basado en la representación del espacio del color en coordenadas cilíndricas. Una representación del sistema de Munsell consta de aproximadamente 1500 fichas de diferentes colores que nos muestran en forma sistemática el espacio de colores de Munsell. Estas fichas están agrupadas en el libro "Munsell Book of Color" y en el "Color Tree" y cada una de ellas tiene asignado un número según su intensidad luminosa (claridad-oscuridad), matiz y saturación (estos números forman principalmente un código de color). Desafortunadamente los cambios de color entre ficha y ficha no son continuos, sino que presentan brinco, por lo que no es posible un tratamiento matemático del color con este sistema y por lo tanto, tampoco es posible hacer comparaciones y mediciones instrumentales de color.

SISTEMA DE COORDENADAS MODIFICADAS DE ADAMS

Este sistema se muestra en la figura 7 aquí se representan tres dimensiones L-L, a-a, b-b. El eje L-L está dividido en 100 unidades NBS o Judd.

Una unidad NBS (National Bureau of Standard) significa que una unidad de diferencia de color en cualquier sitio del espacio de color es idéntica para el ojo humano promedio a una unidad de cualquier otro sitio del espacio de color sin importar si es a lo largo del eje L-L, a-a ó b-b. La mínima diferencia que el ojo humano puede distinguir sin ayuda de equipo especial es de 0.3 unidades NBS.

Como se observa en la figura 7, el término "L" mide la blancura y los términos "a" y "b" son las coordenadas de cromacidad. Una muestra es negra si se tiene valores de cero para "a" y "b". Un valor positivo para "a" indica rojo; un valor negativo corresponde a verde. Un valor positivo de "b" corresponde al color azul y negativo al amarillo.

Con este sistema también podemos medir diferencias de color entre una muestra y un estándar; esto se verá posteriormente con mayor detalle.

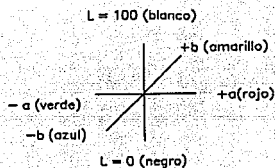


Figura 7

Por otro lado, las curvas de reflectancia de algunos colores se muestran en la figura 8. Las características medidas se expresan en porcentajes y son relativas a la reflectancia de un estándar como el óxido de magnesio o el sulfato de bario. Una muestra perfectamente blanca refleja la luz y su curva sería una línea horizontal a 100%. Una muestra con un negro perfecto absorbe toda la luz y su curva corresponde a una línea horizontal a 0%. Mientras más brillante sea un color, más vertical será su banda de reflexión, mientras que los tonos apagados producirán curvas más planas.

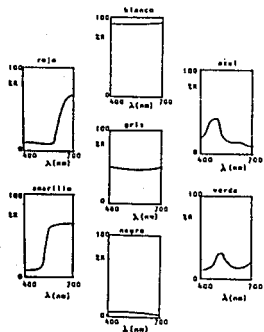


Figura 8

La forma como se realiza es midiendo el espectro y comparándola con un mosaico de referencia blanco dando una longitud de onda referida a otra longitud de onda base, lo que nos dará como resultado una curva. Esta curva es como la huella digital del color. Dos diferentes colores no pueden tener la misma curva. Si los colores representados en la Figura 9 fueran colores idénticos, la línea punteada hubiera estado sobre la línea continua exactamente.

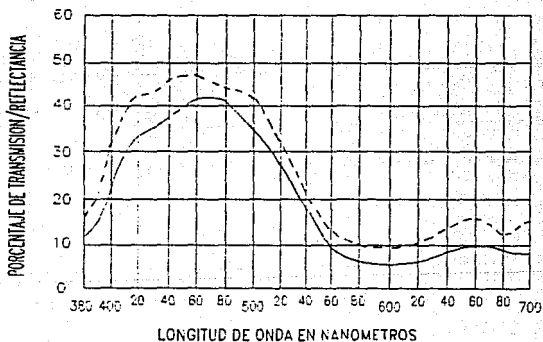


Figura 9

Muchos espectrofotómetros están manejados por una computadora.

Puede generar la información sobre la diferencia de color entre las muestras en cuestión de segundos.

Esta información indica la diferencia entre el patrón y la prueba (el color que es evaluado).

Esta diferencia se calcula primero en términos de cambio de color según los valores de tres estímulos X, Y y Z y después se establecen términos de un modelo matemático.

SISTEMA CIE

El sistema CIE trabaja precisamente por un color descrito por estos 3 números, llamados valores tristímulus. Si 2 colores tienen los mismos valores tristímulus entonces son iguales.

En los que se refiere a la importancia de la muestra en un sistema CIE, la más útil información es la tabla de valores que representa la curva espectral de reflectancia. Todos los instrumentos de medición modernos están contruidos con computadoras que combinan todos estos valores de tal manera que den los valores tristímulus.

La explicación de los valores tristímulus de que estamos hablando es más sencilla al observar las curvas que se muestran en la figura 10 de la siguiente hoja.

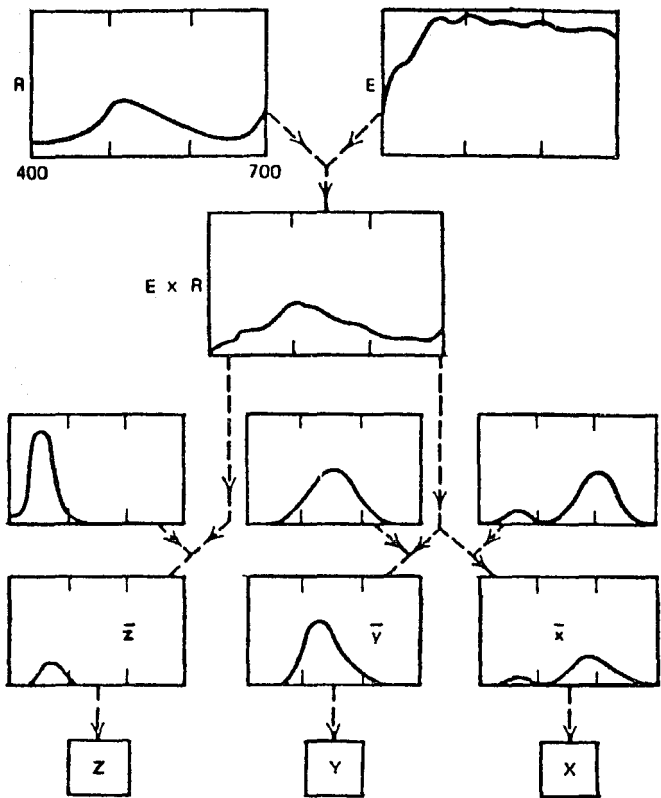


Figura 10

La curva de reflectancia espectral esta mostrada en la parte superior izquierda y la curva de distribución espectro potencial de la fuente luminosa estándar arriba a la derecha. A cada longitud de onda, los valores leídos en estas curvas son multiplicados juntos y al graficar tendremos la curva de E X R inmediatamente después. Las siguientes 3 curvas X, Y y Z representan el observador estándar. La curva E X R es multiplicada con cada una de las 3 curvas X Y y Z para dar las últimas curvas en la gráfica de hasta abajo.

Las áreas bajo las curvas se calculan para dar los valores tristímulus X, Y Z que posteriormente son ajustados a alguna escala estándar.

Esto se hace siempre dando el valor tristímulus de Y igual a 100 para tener un blanco perfecto, donde la reflectancia es de 100% en todas las longitudes de onda.

El valor tristímulus Y es elegido debido a que las especificaciones del observador estándar fueron escogidas de tal manera que Y se correlacione con la brillantez de la muestra, Y es en ocasiones llamado reflectancia o transmitancia luminosa.

En 1931 la CIE (International Commission on Illumination) recomendó el uso de estándares establecidos para A, B y C.

La fuente A es una lámpara incandescente operada bajo condiciones estándar; para obtener B y C, filtros azulados que fueron colocados enfrente de A para obtener la luz de día del amanecer y la luz de día de horizonte respectivamente.

Son buenos recursos B y C pero en realidad nunca se usan. Hoy en día los 3 son usados a través de su distribución espectropotencial como fuentes de luz estándar.

En 1964 la CIE recomendó el uso de la luz de día para sus cálculos, la más común D65. La CIE ha establecido que en el futuro las fuentes de la luz A y D65 serán las únicas utilizadas.

También en 1931, la CIE recomendó los datos para X Y y Z que representaban las propiedades de igualación de color para la población promedio de observadores normales.

DIAGRAMA DE CROMATICIDAD CIE

Ahora que ya tenemos los valores tristímulus estos pueden ser utilizados directamente para ver si dos colores son iguales, probar un color contra una especificación ó para tener información posterior como diferencias de color; pero lo más frecuente es usarlos como "mapas" de espacios de color llamados diagramas de cromaticidad. La idea es separar la información del matiz y la saturación de las muestras,

llamase su cromaticidad, hacer una gráfica mostrando sus cualidades. Esto se hace calculando las coordenadas de cromaticidad:

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

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

Una tercera coordenada de cromaticidad puede ser obtenida a partir de $z = 1 - x - y$

El diagrama de cromaticidad tiene la propiedad de que los colores verdaderos dentro de la línea en forma de herradura caen en el espectro de color. El final de esta línea es llamada la base del espectro, los puntos están unidos por una línea dónde se encuentran los colores purpura. La línea curva que corre hacia arriba dentro del centro del diagrama es la ubicación de un cuerpo negro en donde cae la cromaticidad de los cuerpos negros.

Las fuentes A, B y C se muestran y D65 está localizada exactamente encima del círculo marcado con 6500.

Ver figura 11.

El propósito básico del diagrama de cromaticidad es una vez más, ubicar en donde los colores se igualan.

El sistema CIE no dice nada acerca de como se ven los colores, sin embargo, aquellos colores que son iluminados por una fuente luminosa estándar y son vistos por un observador estándar, tienen cromaticidad que corresponden a sus apariencias de color y mucha gente usa el diagrama de cromaticidad para mostrar en donde caen los diferentes colores.

La figura 12 muestra en donde caen los colores comunes cuando la fuente luminosa es C sin embargo es importante tomar en cuenta que el uso del diagrama es limitado.

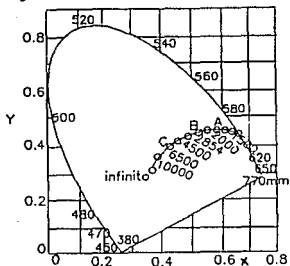


Figura 11

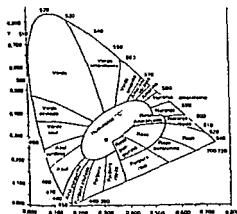


Figura 12

Un ejemplo específico del uso de las coordenadas de cromaticidad CIE y un diagrama de particular interés para la industria de los plásticos, está ilustrado en la figura 13.

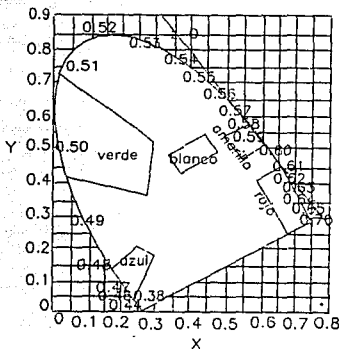


Figura 13

Este diagrama muestra las fronteras dentro de las cuales deben de caer la mayoría de las luces de señalamiento para uso automotriz.

Por ejemplo, el color emitido por una luz roja de un auto debe tener una cromaticidad dentro del área roja, la cual tiene sus límites en $Y = 0.33$ (arriba límite amarillo) y $Y = 0.98 - X$ ó su equivalente = 0.02 (a la izquierda límite azul).

El área marcada con blanco en la figura muestra claramente el peligro que involucra el uso descuidado del diagrama de cromaticidad.

INSTRUMENTOS PARA MEDICION DE COLOR

Las razones de usar instrumentos para medición de color son muy claras ya que nos dan información real acerca de un color en terminos de curva de reflectancia espectral y obtener valores estándar trístimulus y coordenadas de cromaticidad para alcanzar los juicios superficiales subjetivos y visuales de un observador.

No es ninguna sorpresa el ver que la industria de los plásticos al igual que muchas otras se están acercando cada vez más hacia la medición instrumental del color.

Los instrumentos tienen una desventaja pues miden las muestras con una geometría sencilla y fija de iluminación, y punto de vista, mientras que el observador humano normalmente compara su muestra y su estándar en una amplia variedad de formas antes de decir si son iguales. Casi todos los instrumentos usan una u otra de las geometrías estándar CIE, el principio básico se observa en la figura 12A que muestra el uso de una esfera integrada pintada de blanco por dentro, para recoger toda la luz reflejada por la muestra. La reflexión del espejo puede estar incluida o excluida mediante el uso de una superficie blanca o negra respectivamente en la ventanilla o trampa de vidrio cónica. Ver figura 14a y 14b.

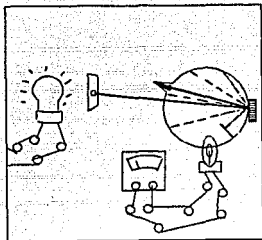


Figura 14 (a)

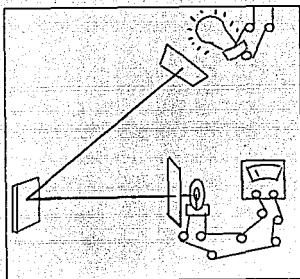


Figura 14 (b)

La regla para decidir cual usar es: si se quiere que los resultados describan al color de una muestra de alto brillo que es como usualmente se vería, evitando la reflexión del brillo se mide con el lente excluido (ventanilla negra).

Si los resultados son para ser usados en igualación de color por computadora, toda la luz es necesaria. de aquí que haya que medir con un lente incluido (ventanilla blanca).

El programa de la computadora corrige para el brillo necesario. Para muestras de un brillo intermedio, los mejores resultados serán obtenidos al usar la ventanilla blanca pero está difícil asegurar que los resultados se correlacionen bien con lo que se ve.

La otra geometría para medir el color, mostrada en la figura 12b, es llamada (como se muestra aquí) geometría $0^{\circ}/45^{\circ}$, frecuentemente la fuente y el detector son intercambiados y entonces se vuelve geometría $45^{\circ}/0^{\circ}$ el primer número es el ángulo entre el rayo de luz que ilumina y la perpendicular de la muestra; el segundo es entre la perpendicular y el rayo de observación. El arreglo $45/0$ permite que el brillo reflejado sea atrapado fácilmente a 45 en el lado opuesto del rayo que ilumina.

ESPECTROFOTOMETROS

Debido a que la información básica necesaria para obtener los valores tristimulus de una muestra es la curva espectral de transmitancia, el instrumento básico de medición de color es el espectrofotómetro. La forma como opera es como se muestra en la figura 15.

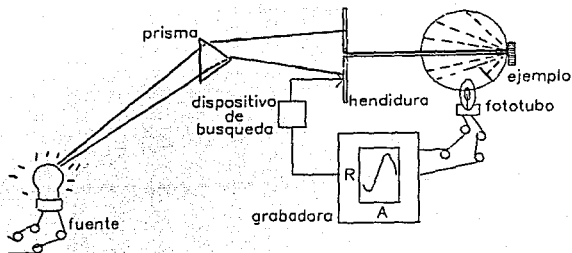


Figura 15.

La fuente de luz es separada en un espectro por medio de un prisma que es conocido como monocromador. Una banda estrecha de longitudes de onda es elegida por una hendidura y cae sobre la muestra. Mientras se eligen diferentes longitudes de onda se van obteniendo las curvas espectrales de reflectancia.

Tanto en la figura 12 como en la 13 las posiciones de la fuente de luz y el detector pueden ser intercambiadas, no existe ninguna diferencia y sólo para muestras fluorescentes es necesario que la muestra sea iluminada directamente por la fuente de luz.

Dentro de los espectrofotómetros diseñados para la medición de color tenemos:

1. Espectrofotómetro Diano-Hardy basado en el diseño de A. C. Hardy de 1930, que ha sido el instrumento que más se ha usado para la medición de color.
2. Diano Match Scan un poco más económico.
3. Hunter D-54 instrumento poco caro y sencillo que usa un prisma circular en lugar del monocromador convencional.
4. Kollmorgen MS-2000 con la geometría de la esfera integrada.
5. Zeiss DMC26, un instrumento versátil de investigación.

COLORIMETROS TRISTIMULUS

Son instrumentos que usan una técnica óptica análoga que tiene filtros de banda ancha en lugar de un monocromador y que dan lecturas directas de los valores tristímulus CIE - aproximados, coordenadas de cromaticidad y coordenadas de L, a, b pero sí dan diferencias de valores tristímulus entre pares de muestras por lo que pueden ser usados como medidores de diferencias de color.

Dentro de los colorímetros tristímulus más conocidos en el mercado están todos aquellos vendidos por Hunter y Gardner Laboratories o el Kollmorgen MC1010.

MEZCLA DE COLOR EN SISTEMAS TRANSPARENTES

Cuando las tintas son mezcladas en una resina transparente para dar productos coloreados sólo la absorción de luz es importante. El proceso es llamado mezcla reductiva porque la absorción sustrae o reduce algo de la luz. Los resultados son muy diferentes a aquellos para la mezcla aditiva para luces coloreadas. Las leyes de las mezclas reductivas pueden ser escritas como las respuestas a 2 preguntas:

Primera ¿Cuál es la cantidad que describe mejor la absorción de luz?. Necesitamos que esta cantidad sea exactamente proporcional a la cantidad de material absorbente presente y fácilmente relacionado a algo que puede ser medido.

Ya que la absorción cambia de una longitud de onda a otra para dar los efectos de color, se puede esperar que nuestra cantidad también cambiará con la longitud de onda.

La cantidad que cubre estos requerimientos es la absorbancia A, y se relaciona con la transmitancia de la muestra por:

$$A = \log. \frac{1}{T}$$

La transmitancia usada debe ser corregida por reflejos superficiales, normalmente con poner una pieza de plástico no coloreado en el lugar de referencia del espectrofotómetro cuando la transmitancia de la pieza coloreada es medida.

Segunda. ¿Cómo se relaciona la absorbancia con la concentración (c) de la tinta o tintas de la resina? El espesor (b) de la muestra también interviene.

Para una tinta sencilla:

$$A = a b c$$

donde a es la absorptividad de la tinta.

Al igual que A y T, también cambia este valor de una longitud de onda a otra. Esta ecuación es conocida como la Ley de Beer.

En sistemas transparentes no son necesarias más de 3 tintas para cualquier formulación (y ordinariamente no más de 3 deberían de usarse) para obtener el color deseado, debido a que sólo hay tres variables de color, matiz, brillantez y saturación, eso debe ser controlado. Una amplia variedad de colores pueden ser hechos usando tintas de los 3 colores primarios para la mezcla reductiva: amarillo, azul verdoso, magenta (rojo-purpura). Para las 3 tintas en un momento dado, la Ley de Beer queda:

$$A = a_1 b c_1 + a_2 b c_2 + a_3 b c_3$$

MEZCLA DE COLOR PARA SISTEMAS TRASLUCIDOS Y OPACOS

Cuando la absorción y la dispersión son importantes una situación mas difícil se presenta y es por este hecho algunas veces llamada Mezcla Reductiva Compleja.

Si la muestra es opaca, la contraparte de la Ley de Beer es la teoría de un medio turbio derivado por Kubelka y Munk. La cantidad importante es la relación de la absorción de Kubelka-Munk (k) y los coeficientes de dispersión (S) que fácilmente se relacionan con la reflectancia de la muestra por:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)}{2R}$$

Una vez más, la reflectancia debe ser corregida por los reflejos superficiales. Las 3 cantidades K, R y S cambian con la longitud de onda.

Cuando los pigmentos son mezclados para dar plásticos coloreados, es comúnmente necesario usar 4 pigmentos al mismo tiempo ya que la opacidad de la muestra así como éstas tres variables de color deben de ser ajustadas.

Frecuentemente, una de ellas es el blanco para dar la opacidad, un segundo el negro y los otros dos pigmentos no muy lejos del matiz. La ley de mezclado de la teoría de Kubelka-Munk trata a K y S separadamente para 4 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_i y S_i son absorciones específicas y coeficientes de dispersión respectivamente. Si la resina por sí misma, absorbe y dispersa luz, otro término debe ser agregado para considerar esta variable. Sin embargo, nótese que el espesor de la muestra no es tan importante partiendo de la base de que la muestra es completamente opaca.

Para plásticos traslúcidos la situación es mucho más complicada y la transmitancia y la reflectancia tienen que ser medidas y por lo tanto las ecuaciones relacionadas con K y S son mucho más complejas que la que acabamos de escribir, aunque las leyes de mezclados se mantienen iguales.

Hemos mencionado la importancia de las curvas espectrofotométricas para la igualación de color. La curva puede ser útil de diferentes maneras pues la curva gráfícada tiene una forma que es característica del pigmento ó la tinta usada, o bien que las distancias medidas en la gráfica son directamente proporcionales a su concentración. Para muestras transparentes la cantidad que se gráfíca es $\text{Log } A$ y para muestras opacas $\text{log } (K/S)$. Estas muestras pueden ser generadas directamente en algunos espectrofótometros y por computadoras y gráfícadorees en otros.

Las leyes de Beer y Kubelka-Munk dan los mecanismos para calcular las concentraciones de tintas ó pigmentos requeridos para hacer una igualación de color y en consecuencia retira el proceso de las manos del igualador visual de color excepto para la inspección final.

Los cálculos son suficientemente largos y complejos para ser hechos en computadoras y por ello el proceso es llamado igualación de color por computadora.

Este proceso es adecuado para aquellas empresas en donde el éxito depende de un completo control, de una gran cantidad de muestras de calibración, preparadas y medidas exactamente y que tienen una base continua de igualación de muchos colores.

Los instrumentos que generan tolerancias numéricas de color, como por ejemplo los espectrofotómetros y los colorímetros, por sí mismos, son altamente sofisticados y exactos. La percepción humana esta programada para distinguir las diferencias de color que pudieran haber aun cuando los aparatos reporten iguales valores numéricos de color.

Los programas de tolerancias numéricas están basados en modelos matemáticos que se han creado para explicar como están relacionados unos colores con otros. A esta relación se le llama espacio del color.

El espacio del color no es lineal. No puede representarse por ninguna gráfica o figura de forma regular. La forma de un modelo de color es similar a una pelota de futbol americano dentada o torcida. Como se muestra a continuación en la figura 16 .

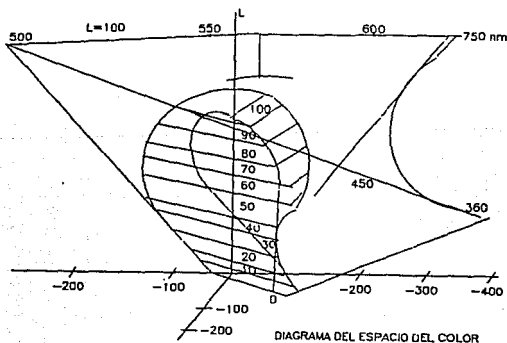


Figura 16

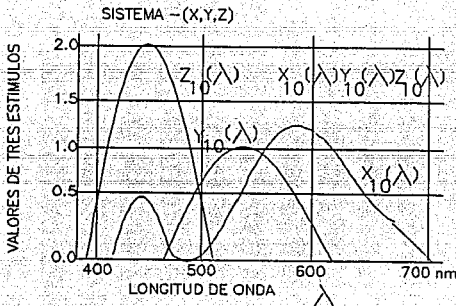
El color blanco está en un extremo de la pelota y el negro en el otro extremo. Los colores claros se encuentran en la parte superior y conforme van bajando hacia el fondo, los colores van oscureciendo. Las unidades no son lineales debido a el rango irregular de las sombras dentro de cada color.

La distancia entre un rojo claro y un oscuro puede ser grande debido al número de variaciones existentes dentro del color rojo. La distancia en variación entre los amarillos es menor debido a que no existen los amarillos oscuros.

Existen varios modelos matemáticos para explicar y estandarizar estas diferencias dentro del espacio del color. Los utilizados más frecuentemente son CIE *A B*, CIW XYZ y el Hunter Lab. Estos sistemas y la mayoría de los otros sistemas de color están basados en lo que es considerado como el "Patrón de Observación", fundamentado en tres colores teóricos que se derivan de la forma en que las personas ven realmente los colores. Los tres colores son azul, magenta y verde. Estos colores corresponden a los filtros que se utilizan en los colorímetros.

En la descripción del color, los tres colores patrones de observación están graficados en tres curvas separadas en la misma gráfica. la forma de referirnos a estos colores es como \bar{X} , \bar{Y} , y \bar{Z} . Ver la figura 17 de la siguiente página.

Estas curvas representan la energía espectral de los colores de tres estímulos. El color que una persona ve cuando mira la muestra que se va a analizar es el producto del Patrón de Observación, la fuente luminosa y la reflectancia de la muestra.



ILUSTRACION DE COLORES DEL PATRON DE OBSERVACION

Figura 17

Otros modelos de color también están basados en el sistema del Patrón de Observación. Las matemáticas de cada sistema son ligeramente distintas. Es importante sólo utilizar la información generada bajo el mismo sistema cuando se comparan colores.

Se pueden ajustar varios colorímetros manejados por computadora para operar bajo cualquiera de los sistemas de color conocidos. Los modelos matemáticos y los programas resultantes no pueden aproximarse a la percepción del color que realiza el ojo humano.

Los modelos son muy similares y trabajan muy bien en algunas áreas del espacio del color, pero existen aún algunas áreas donde estos modelos no se comportan adecuadamente a la realidad de percepción de color. En consecuencia, los espectrofotómetros y los colorímetros no pueden evaluar el color tan preciso como el ojo humano. Es por esto que la revisión visual de las diferencias de color es muy crítica.

(4,9,18,19)

CONCLUSIONES

A través de los años se han creado instrumentos tales como el espectrofómetro y el colorímetro para medir y diferenciar los colores. Se han desarrollado varias teorías acerca del espacio del color, para explicar la interrelación de los colores y ayudar a definir las diferencias entre estos. Las computadoras con los modelos matemáticos aceleran la resolución de cálculos complejos y han resultado de gran ayuda para la ciencia del color.

Todos los avances han mejorado la habilidad del hombre para definir las diferencias entre los colores y estandarizarlos, pero a pesar de todos estos adelantos, el mejor juez del color es aún el experto ojo humano.

El ojo humano es un mecanismo maravilloso que esta perfectamente bien capacitado para la tarea de percibir el color.

Un ojo humano entrenado puede diferenciar entre más de 10 millones de variaciones del color. Para que una persona pueda ver el color son necesarias tres cosas:

1. Un objeto que sea capaz de reflejar en forma selectiva la luz, o de transmitir la luz en el caso de colores transparentes.
2. Una fuente de iluminación (luz).

3. Un receptor, como el ojo cuyos impulsos son registrados por el cerebro gracias a la experiencia del individuo.

El objetivo que se va a ver debe reflejar la luz, debido a que el color que percibe el ojo realmente es la luz reflejada en éste, si el objeto parece ser de color rojo, es que el objeto absorbe todas las demás longitudes de ondas visibles de la luz y refleja sólo el rojo. El ojo humano puede percibir la luz o la energía radiante desde longitudes de onda de aproximadamente 400 a 700 nanómetros (nm). Un nanómetro es equivalente a 10^{-9} metros, algunas criaturas, tales como los insectos tienen diferentes rangos de visibilidad y pueden ver bien a diferentes frecuencias infrarrojas.

Para percibir el color es necesaria la luz, si la luz no se refleja, todos los objetos serían incoloros una mezcla confusa de negro y gris como lo que vemos en la noche.

Es necesario el ojo o cualquier otro fotoreceptor para transmitir la información al cerebro y éste la interprete, en el cerebro es donde se le da un valor al color. El gusto, la aversión, la herencia y la experiencia tienen una relación con la percepción del color.

Existen otros factores que pueden afectar la percepción de color, tres de estos factores son el brillo, la textura y la elección de la fuente luminosa. La cantidad de brillo en una muestra puede tener un efecto dramático en la percepción del color. Muestras del mismo color pero con diferente nivel de brillo pueden parecer muy diferentes, este efecto es extremadamente importante debido a que el brillo es muy susceptible a variar según las condiciones de moldeo. El brillo puede variar de un extrusor a otro, aún bajo las mismas condiciones de procesamiento, cuando se comparan muestras es importante evaluar el nivel de brillo de cada una.

Las condiciones de moldeo y el tiempo a elevadas temperaturas (historia del calor) pueden afectar también el color, por lo que es extremadamente importante que estos factores sean minuciosamente vigilados.

La textura de una muestra también afecta la percepción del color. Entre más lisa sea la textura de una muestra, más clara se verá. Para evaluar muestras, éstas deben ser de textura y brillo similares.

Las fuentes de iluminación utilizadas cuando se evalúa el color son muy importantes ya que algunos colores que parecen ser iguales bajo una fuente luminosa o un tipo de luz no lo son bajo otro tipo. A este efecto se le llama metamerismo.

Generalmente se utilizan tres tipos de fuentes luminosas que son la luz de día natural o artificial, la luz fluorescente y la luz incandescente. Existen varios tipos de luz fluorescente que se utilizan en la actualidad, una de las utilizadas más comunmente es la luz blanca fría (CWF).

Las muestras que son iguales bajo la luz fluorescente pueden no serlo bajo la luz natural o incandescente. Este efecto puede relacionarse con una experiencia de la vida diaria cuando ha comprado ropa que parece del mismo color en la tienda y no lo es cuando usted llega a casa o la ve bajo la luz natural. Para evitar las desigualdades metaméricas, se deben evaluar las muestras bajo varias fuentes de luz estándar.

El metamerismo geométrico es otro tipo de metamerismo, también llamado efecto de posición. Este efecto de posición es el cambio de color de una muestra debido al ángulo de visión. Este efecto es particularmente molesto en sistemas de color metálico. Aquí la variación de la carga de los elementos metálicos y el tamaño de las partículas causan las diferencias. Este efecto es similar a las variaciones de color que usted puede observar en una alfombra donde las fibras de una sección están inclinadas hacia distinta parte que las de una sección adyacente.

COMO IGUALAR LOS COLORES EN PLASTICOS

Una vez que se escoge el color de un producto, un espectrofotómetro lo analiza y la información entra a la computadora. La computadora seleccionada un número de fórmulas que se puedan utilizar para producir un color que sea lo más parecido a la muestra.

Para eliminar la posibilidad de que ocurra metamerismo, es recomendable utilizar una fórmula que contenga los mismos colorantes que se utilizaron en la muestra de color. Sin embargo, en ocasiones esto es imposible pues los colorantes no son compatibles con el sustrato plástico o no están disponibles. Esto ocurre frecuentemente cuando el patrón de color es de material no plástico, como en el caso de pinturas o tintas. Cuando existe esta incompatibilidad, se seleccionan otros colorantes similares. Existen miles de colorantes disponibles para utilizarlos con plásticos, de estos, tal vez 100 son adecuados para utilizarlos con un sustrato plástico específico. De esta selección, una computadora escoge cuatro o cinco colorantes. El blanco y el negro por lo general, son los dos primeros. Estos se utilizan para ajustar más exactamente la claridad u oscuridad del color. Los colorantes faltantes se eligen y balancean con los dos primeros para llegar a la igualación más cercana. Aún los colores blancos son igualados siguiendo este proceso.

Estos, frecuentemente contienen un colorante azul o amarillo para que la igualación sea lo más precisa posible.

La computadora realiza la parte que consume mayor tiempo en una igualación del color y produce varias fórmulas posibles. El técnico del color evalúa las fórmulas y afina los tonos para llegar al color más exacto. El resultado es el producto de la información de la computadora y las habilidades del igualador de color.

Se producen muestras a prueba y se revisa la igualación con los instrumentos para asegurarse de que sea igual al patrón de color. Los técnicos expertos en color deben checar la igualación para determinar si ésta es aceptable para el ojo. Estas revisiones visuales se realizan con luz de día, luz incandescente, luz blanca fluorescente (luz fría) y bajo cualquier condición de luz especial que el consumidor pida. Estas revisiones regulan la posibilidad de objeciones a diferentes niveles de metamerismo y ayudan a determinar si el color es aceptable bajo condiciones de iluminación especiales.

Después de haber concluido la igualación del color con ayuda de los técnicos, se moldean pequeñas placas de color y se envían al consumidor para que las apruebe.

COMO CONSERVAR LOS PATRONES DE COLOR

Los patrones de color deben tratarse cuidadosamente para preservar su color y prolongar su utilidad. Para esto, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Guarde los patrones de color en una funda de polietileno.
Mantenga la funda en un sobre de papel negro.
2. Guarde los patrones protegidos en un lugar oscuro y fresco.
3. Guarde los patrones de color inmediatamente después de utilizarlos. Maneje los patrones de color cuidadosamente siempre. No toque, raye, ensucie o dañe la superficie de exposición. Maneje el patrón de color por las orillas únicamente, como si se tratase de una fotografía valiosa.

No coloque el patrón sobre una mesa o cualquier otra superficie que pueda rayarlo, colóquelo sobre fieltro, velour, terciopelo o cualquier otro material suave. Si se guarda y se maneja adecuadamente un patrón, podrá utilizarse por 3 o 5 años.

La comparación de colores debe realizarse únicamente un observador de color experto. Es muy importante que la persona que decide sobre los colores tenga una percepción normal de éstos. El cinco por ciento de la población tiene un pequeño defecto de visión que hace que se alteren bastante los colores. Mucha de esta gente ignora tener una defectuosa percepción del color. Para evitar los problemas que causa este defecto, la persona responsable de realizar las evaluaciones de color en su fábrica debe hacer pasar por pruebas de percepción de color con un médico o una persona especializada.

Si el observador tiene gripe, está tenso, deprimido desvelado, la visión del color se afectará en forma notable. La actitud mental tiene un efecto dramático sobre los errores que comete el observador en la igualación de colores.

Las comparaciones de color deben realizarse bajo una fuente luminosa que sea lo más parecido posible a aquella bajo la cual se encontrará el producto terminado ya en uso.

También es muy importante tener cuidado, ya que muchos productos se venden bajo condiciones de luz diferentes a aquellas bajo las cuales comúnmente estará expuesto el producto. Tomando esto en cuenta, se deben escoger fuentes de luz que reproduzcan mejor las condiciones de uso.

Es extremadamente importante la selección de estas fuentes de luz tanto para las evaluaciones visuales como para realizarlas con instrumentos.

Las muestras que se comparen deben tener el mismo nivel de brillo y la misma textura. Este es un punto crítico debido a que muestras de color idéntico pero con diferente nivel de brillo o diferente textura pueden parecer como de diferente color. Este efecto es muy importante con colores oscuros o altamente cromáticos (intensos), sólo se pueden realizar comparaciones efectivas entre muestras afines.

Una muestra más brillante se percibirá como si tuviera un color más intenso que una muestra mate o texturizada.

Este factor es importante tanto para las comparaciones visuales como para las realizadas con instrumentos. Pero, por lo general, tiene un mayor impacto en las comparaciones no visuales. El mejor tipo de muestra para comparaciones tanto visuales como con equipo es una superficie pulida a espejo con mucho brillo. A este se le llama SPE SPI-1.

Las muestras que se van a comparar deben tener la misma historia de color. Las diferencias durante el proceso pueden alterar el color. Este factor es de vital importancia cuando se determina la cantidad de remolido utilizado en el proceso. Las diferencias en el color deben definirse al proveedor de material en los siguientes términos:

1. Claridad y Oscuridad
2. Colores Opuestos

CONCLUSION FINAL

La experiencia, el conocimiento y la cooperación son las claves para elegir una especificación de color adecuada. El conjuntar la ciencia del color y el ojo humano ha hecho que la igualación del color sea más precisa. Pero con todo el desarrollo tecnológico: las computadoras, los colorímetros, los espectrofotómetros y los modelos de color mejorados, el ojo humano aún debe de ser el juez final. Son personas las que compran los productos y es su percepción del color la última palabra de que tan bien le queda el color a un producto.

BIBLIOGRAFIA

1. ANIPAC. Directorio Nacional de la Industria de los plásticos y sus proveedores 1990.
Editorial Publi-Noticias S.A. México 1991.
2. ANIQ. Anuario de la Asociación Nacional de la Industria Química 1989. Ing. Jorge Hoth Pego Talleres de Arte y Litografía del ANIQ 1990.
3. BILL MEYER F.W. Jr. Textbook of Polymer Science 2ed. Ed Wiley. New York 1971.
4. BILL MEYER and SALTZMAN principles of color technology. Interscience New York 1966.
5. BOUNDY R. H. and BOYER R.F. "Styrene" Reinhold New, York 1952.
6. GIRAL B. JOSE GONZALEZ P. SERGIO MONTAÑO A. EDUARDO. La industria Química en México.- Editorial Redacta. México 1978.
7. INSTITUTO MEXICANO DEL PLASTICO INDUSTRIAL. Anuario IMPI 1990. Talleres de Arte y Litografía del IMPI. México 1990.

8. JUDD B. DEANS "Color in Business Science and Industry" John Wiley & Sons 2a. Edición U.S.A. 1959.
9. JUDD B. DEANS and WYSZECKI Color in Business, Science and Industry, 3a. ed. Wiley, New York 1975.
10. KUEHNI R.E. Color: Escense and Logic, Van Nostrand Reinhold. Co. New York 1983
11. MARK HERMAN F. and GAY LORD NORMAN G. Encyclopedia of Polymer Science and Technology Vol. 3-10 Ed. Board U.S.A. 1968.
12. MARSHALL M. Color Technology Chemical Engineer. 1968.
13. PATTON TEMPLE C., Pigment Handbook Volumenenes, I, II, III John Wiley & Jons USA 1973.
14. PINSKY J. Pearlescent and Interference Pigments, SPE ANTEC preprint 1933
15. SCHILDKNECHT C.E. Vinyl and Related Plymers. Wiley New York 1952
16. TEACH W.C. and KIESSLING G.C. "Polystyrene" Reinhold, New York 1952

17. VERUT CAROLINE Market Research Summary 1989: The Mexican Market for Plastics Production, Machinery, Equipment and Resins. U.S. Department of Commerce. México 1990.
18. WEBBER G. THOMAS. Colouring of Plastics ED. John Wiley & Sons. USA. 1979.
19. WILLARD HOBART, LYNNE MERRIT JOHN DEAN. Metodos Instrumentales de Análisis. CECSA. México 1980.
20. WRIGHT W.D. The measurements of Colour. 4a. Edición Adam Hilger LTD London England 1969.
21. WYSZECKI G and STILES W.S. Color Science Concepts and Methods. Quantitative Data and Formula 2a. Edición Wiley New York 1982.