



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores - Cuautitlán

**“OPTIMIZACION Y CONTROL DE BAÑOS RESIDUALES EN  
LA INDUSTRIA DE TEÑIDO DE FIBRAS QUIMICAS, EN  
PROCESOS DE BAÑO CORTO, ALTA TEMPERATURA”.**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**I N G E N I E R O     Q U I M I C O**

P r e s e n t a :

**RAUL MIGUEL RODRIGUEZ BOUQUET**

Director de Tesis: I. Q. José Landeros Valdepeña

1980



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

I.Q.	JOSE CABEZA PARRADO	PRESIDENTE
I.Q.	DAVID PAREDES HOYUELA	SECRETARIO
I.Q.	JOSE LANDEROS VALDEPEÑA	VOCAL
I.Q.	GLORIA BORJON APAN	1er. SUPLENTE
I.Q.	JAIME D. MORENO JIMENEZ	2o. SUPLENTE

" I N D I C E "

INTRODUCCION .....

CAPITULO I

Historia y Estadísticas .....

CAPITULO II

Consideraciones Generales Sobre el ---  
Color .....

CAPITULO III

Medición del Color .....

CAPITULO IV

Métodos que Utilizan Instrumentos So-  
fisticados para Igualación del Color..

CAPITULO V

Programa para Igualación del Color....

CAPITULO VI

Reutilización del Agua .....

CONCLUSIONES .....

APENDICE .....

BIBLIOGRAFIA .....

## INTRODUCCION

En los años 40's aparecieron en el mercado las primeras fibras poliéster a base de tereftalato de polietilenglicol. Desde entonces ha venido aumentando, año tras año, su producción después de un desarrollo, que al principio fue muy lento. En comparación con otras fibras químicas, la fibra poliéster presenta actualmente la mayor tasa de incremento.

Actualmente la demanda de calidad en textiles y la gran variedad de fibras, así como, los diferentes tratamientos que son aplicados, hacen necesario considerar en todos los procesos anteriores a la tintura y en la tintura la preservación del ambiente.

Los acabadores y coloristas tienen un duelo con el ambiente: deben minimizar el gasto de energía y controlar sus desechos tanto en el agua como en el aire. Además deben estar completamente convencidos y seguros de que los artículos textiles estén procesados de tal manera, que los pasos involucrados en todo el proceso sean completamente eficientes.

El objetivo del presente trabajo es el de ahorrar dinero aplicando una pequeña parte de la teoría a problemas prácticos.

Podemos considerar dos aspectos de optimización en el proceso de tintura de poliéster en baño corto y alta temperatura:

- a) Utilizando la teoría del teñido para establecer un proceso de tintura, y
- b) ayudándose el colorista de las computadoras para teñir más económicamente.

La teoría del teñido del poliéster con colorantes dispersos bajo condiciones prácticas, es muy compleja, bastará con nombrar algunos aspectos de esta teoría para - tener noción: agotamiento del colorante, migración interfacial, adsorción, movilidad de los colorantes en la superficie de la fibra, difusión, etc. Debido a la complejidad de esta teoría, se hace necesario la utilización de sistemas computacionales y el estudio de las propiedades fisicoquímicas de los colorantes para obtener su óptima aplicación.

Por lo tanto, la tendencia que actualmente existe es la utilización de computadoras para el cálculo de la cantidad necesaria de colorante en el proceso de teñido. - En esta teoría no es necesario el estudio de las propiedades fisicoquímicas de los colorantes para obtener una reducción de colorantes y costo.

La optimización de colorantes en este trabajo ha sido estudiada únicamente para fibra poliéster con colorantes dispersos en procesos de altas temperaturas y baño corto. Sin embargo, este estudio puede aplicarse a todo tipo de fibras y colorantes.



## C A P I T U L O   I

## HISTORIA Y ESTADISTICAS

En 1900, la población del mundo fué de cerca de 1.5 billonés, en 1979 de aproximadamente 4 billonés y puede haber 50 millones en la India, donde el nacimiento no tiene record. Se dice que cerca de la mitad de la gente que nació entre 1900 y 1979 está viva. ¿Qué sucede con la industria textil en el mundo para vestir a toda esta gente? ¿Qué ha pasado con el consumo de fibras?

En 1900 el promedio mundial de consumo de fibras per cápita fué de 6 lb, por lo tanto se consumieron 9 billonés de libras. En 1979 el consumo aumentó alcanzando la cifra de 15.5 lb per cápita y el total de libras fué de 63 billonés.

Este promedio fué alcanzado debido a que casi una cuarta parte de los pobladores de la tierra, los Chinos, tienen un consumo de 6 metros/año, 3 1/2 a 4 lb per cápita, en comparación con Europa que consume 30 lb per cápita, en Japón 19 lb per cápita y Estados Unidos 60 lb per cápita, teniendo una población de 220 millones. Una estimación razonable indica que el incremento de consumo será de

20 lb per cápita y la población mundial de 5 billones\* para los siguientes 10 años. Por lo tanto, la industria textil producirá 100 billones\* de libras por año, 60% más en una década.\* (sistema americano)

Debido a que la industria textil en el mundo re-- presenta una importancia marcada dentro de la economía mun-- dial, esta importancia también es imperativa en el ámbito nacional, por lo que es necesario ponerla en estadísticas para un mayor conocimiento de la realidad de esta indus -- tria.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL

MEXICANA            1978

Concepto.-

# de establecimientos	2029
Capital invertido (millones de pesos)	41226

Capacidad Instalada.-

Husos (miles de unidades)	3316.5
Telares (unidades)	78727

Producción.-

Miles de toneladas	350
Millones de pesos	33542

Personal Ocupado.-

Empleados, obreros, técnicos (miles)	229
Remuneración	16697

Exportaciones Principales.-

Miles de toneladas	21.2
Millones de pesos	1376

Importaciones Principales.-

Miles de toneladas	11.6
Millones de pesos	658

CONSUMO APARENTE DE PRODUCTOS TEXTILES DE FIBRASBLANDAS DURANTE 1978

(Miles de Tons)

Producción Nacional

Algodón	145.5
Lana	4.8
Fibras celulósicas	20.0
Fibras no celulósicas	<u>179.9</u>
	350.2

Importaciones

Algodón	1.2
Lana	0.1
Fibras celulósicas	6.8
Fibras no celulósicas	1.9
Otros productos	<u>1.6</u>
	11.6

Exportaciones

Algodón	20.9
Lana	0.1
Fibras celulósicas	<u>0.9</u>
	21.9

Consumo aparente

Algodón	125.8
Lana	4.8
Fibras celulósicas	25.9
Fibras no celulósicas	181.8
Otros productos	<u>1.6</u>
	339.9

Fuente: Departamento de Estudios Económicos Canaintex 1979

CONSUMO APARENTE PER CAPITA DE PRODUCTOS TEXTILES POR  
TIPO DE FIBRAS BLANDAS 1978

(TONS)

Fibras naturales

a) Algodón	125,831
b) Lana	<u>4,764</u>
	130,595

Fibras Químicas

c) Fibras celulósicas	25,907
d) Fibras no celulósicas	<u>181,796</u>
	207,703

Otros Productos	1,577
-----------------	-------

Población (Miles de habitantes)	63,286
---------------------------------	--------

CONSUMO PER CAPITA (Kg/habitante)

Fibras naturales

Algodón	1.988
Lana	<u>0.075</u>
	2.063

Fibras Químicas

Fibras celulósicas	0.403
Fibras no celulósicas	<u>2.873</u>
	3.873
Otros	0.025

Fuente: Departamento de Estudios Económicos Canaintex 1979

DINAMICA DEL PRODUCTO INTERNO DE INDUSTRIA TEXTIL

1978

(Millones de pesos)

<u>CONCEPTO</u>	<u>VALOR</u>	<u>PARTICIPACION</u> <u>%</u>
PIB Total	436,527	100.00
PIB Manufacturas	103,447	23.7
PIB Textil	7,943	1.8

CONTRIBUCION DE LA INDUSTRIA TEXTIL AL PRODUCTO

INTERNO BRUTO EN MEXICO, 1978

(Miles de millones de pesos corrientes 1978)

Producto Interno Bruto Total	2044.7
Producto Interno Bruto Industria de la Transformación	495.2

Producto Interno Bruto  
Industria Textil

39.5

9

Relaciones % :

3/1 1.9

3/2 8.0

Fuente: Departamento de Estudios Económicos Canaintex 1979

CONSUMO DE COLORANTES EN MEXICO 1977

(Toneladas)

<u>%</u>	<u>Tipo</u>	<u>Producción</u>	<u>Importación</u>	<u>Exportación</u>	<u>Consumo Aparente</u>
10.626	Acidos	400.0	60.0	7.7	452.3
13.072	Básicos	526.4	80.0	50.0	556.4
12.235	Directos	611.4	30.0	120.6	520.8
43.134	Dispersos	1895.0	1.0	60.2	1835.8
3.078	Solventes	92.0	39.0	-	131.0
3.688	Alimenticios	203.0	-	46.0	157.0
<u>14.167</u>	Otros	<u>156.0</u>	<u>455.0</u>	<u>70.0</u>	<u>603.0</u>
100.00	Total	3883.8	665.0	354.5	4256.5

Fuente: Catálogo de la Industria Mexicana de Colorantes y Pigmentos  
ANIQ, 1979.



FABRICACIÓN DE COLORANTES EN MEXICO 1977

Valor de la producción	812.00	Millones de pesos
Volúmen	3883.9	Toneladas
Personal ocupado	12,000	
Remuneración al personal ocupado	113.00	Millones de pesos
Valor promedio de Kg. de colorante	209.07	Pesos

Esta industria abasteció al 85.8% del consumo nacional a excepción de los colorantes dispersos que son utilizados para teñir y/o estampar rayón, acetato, poliamídicas, poliéster en un 100%. La producción de poliéster mundial en 1977 fué de 4.230,000 toneladas, es decir, el 2.78% de la producción mundial corresponde a México. La fabricación de colorantes en el mundo fué de 69,700 toneladas y México participó con el 2.72%. México produce cerca de 112 colorantes dispersos que según su nivel energético funcional y tamaño molecular se dividen en tres grupos: bajo, medio y alto.

## TIPOS SEGUN

<u>SU NIVEL</u>	<u>CLASIFICACION</u>	<u>No.</u>	<u>%</u>
Bajo	A	37	33
Medio	B-C	29	26
Alto	C-D	46	41

...

La producción mundial de colorantes dispersos, -  
según tipo de color:

<u>Color</u>	<u>Producción Mundial</u>	<u>Participación</u> %
Amarillo	8,400.0	12.05
Naranja	6,300.0	9.04
Rojo	13,200.0	18.94
Violeta	1,400.0	2.01
Azul	25,800.0	37.02
Café	2,000.0	2.87
Negro	12,600.0	18.07
Total:	69,700.0 toneladas	100.00

Debemos poner atención en el porcentaje de colorantes de bajo nivel, ya que al compararlo con el resto del mundo se aprecia que México consume una cantidad bastante elevada, esta cantidad puede deberse a dos razones principales: a) la baja calidad fibrológica anterior al proceso de pintura y, b) los equipos obsoletos para teñir. Además los colorantes mencionados son requeridos debido a que poseen características adecuadas para un teñido - - aceptable como son: solidez a la luz, frote, lavado, sudor, cubrimiento de barrado.

## C A P I T U L O   I I

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL COLOR

La gente generalmente asocia el color con objetos físicos que son vistos en vivo contraste con sus alrededores, tales como una flor; los tonos vistos en las diferentes épocas del año o con el pigmento en el pincel de un pintor para crear sus impresiones; las cosas coloreadas; las impresiones visuales del cielo, sol, incendio, etc. El color en el diseño es considerado una parte integral de textura en superficies, paredes, alfombras, carros, etc. En este ramo, los pintores y diseñadores tienen una larga experiencia en el uso de colorantes o pigmentos que data desde la época de las cavernas. La gente está acostumbrada a pensar en el color desde este punto de vista, pero la habilidad de manipular el color, por el control de las características de las fuentes de luz, es relativamente reciente y es más difícil comprenderlo y apreciarlo.

El color es una materia ideal para la educación en el sentido más amplio, pero hay la necesidad de establecer un mejor grado de entendimiento, especialmente entre -

...

aquellos que se interesan en el color como actividad artística y aquellos en los que su interés es tecnológico.

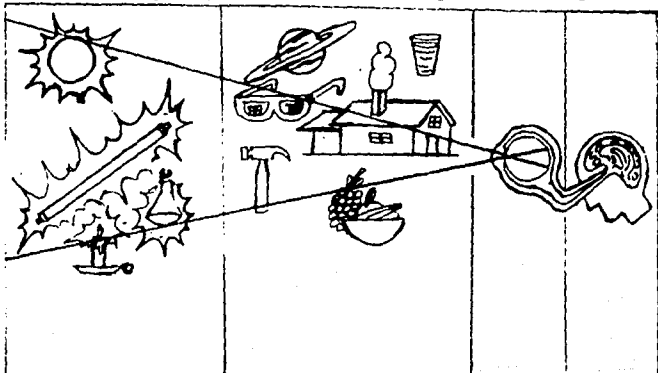
Como una explicación al color, el diccionario lo define como "la cualidad en virtud de la cuál los objetos presentan diferentes apariencias ante el ojo, con respecto a la luz reflejada de sus superficies". Es decir, esto no es una parte física de las cosas que vemos, sino simplemente el efecto de las ondas reflejadas o transmitidas por -- los objetos. Por lo tanto, tiene un origen que el cerebro interpreta por medio de impulsos eléctricos transmitidos - a lo largo de las células nerviosas del ojo.

El ojo presenta características íntimamente psicológicas, siendo éstas un factor que complica las pruebas - y por tal razón se reemplaza al ojo humano por instrumentos en la igualación del color. El color no puede existir sin luz y su transmisión, refracción o dispersión se efectúa por medios físicos o medios químicos, además el color no existiría si no hubiera un receptor (ojo-cerebro).

Como la energía no puede ser destruida sino sólo cambiada de una forma a otra y considerando la composición

...

psicológica y las funciones del ojo, podemos entender que la energía eléctrica se transforma a energía radiante electromagnética con una fuente de luz; esta energía es transformada a energía química por los receptores del ojo.

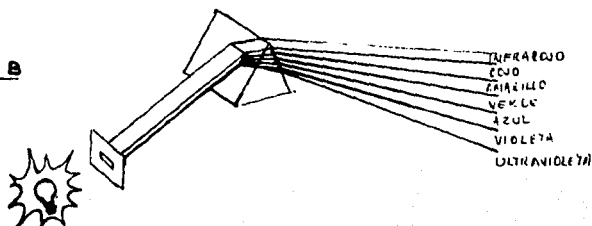


Las ondas que llamamos luz (y son las únicas que estimulan al ojo) son las comprendidas entre 380 y 760 nm, del espectro electromagnético, fuera de estos límites el ojo humano no responde y es una zona oscura.

Dentro de los límites del ojo veremos el azul cerca de 480 nm, verde entre 480 - 560 nm y el rojo 560 - 760. Una fuente de luz que emite energía radiante relativamente balanceada en todas las longitudes de onda visibles aparecerán blancas para el ojo. Sir Isaac Newton mostró hace -

tiempo (1730), usando un prisma transparente para dispersar la luz en longitudes de onda independientes, las cuales pueden ser distinguidas por el ojo, resultando el fenómeno denominado espectro de color.

FIGURA 8



El color de un objeto está dado por diversos factores:

- a) Las características de la luz bajo la cual es visto el objeto.
- b) La forma como el objeto absorbe, refleja o transmite las ondas de luz que chocan con él (a veces el efecto de los alrededores sobre la visión es un factor determinante) y
- c) Las condiciones físicas del observador son otro factor determinante.

...

Sin embargo, sólomente aquellas ondas de luz que entran al ojo son técnicamente responsables de porqué el color es visto. Los colores asociados con los objetos pueden ser cambiados en muchas formas: cambio de la fuente de luz (sustituyendo una fuente incandescentes por una fluorescente), adicionando filtros de luz, etc. Teniendo en cuenta todas las razones anteriores podemos encontrar una actividad tecnológica que utilice todas las características dadas para una operación llamada teñido. La formulación de color es probablemente la que requiere el mayor tiempo y paciencia por parte del colorista o tintorero.

En la actualidad una situación competitiva no es solo aquella donde se requiere un tono satisfactorio con respecto al estandard. Cualquier colorista sabe que hay muchas formas por las cuales podemos llegar a un tono exacto, pues para competir en el mercado, necesitan trabajar con varias formulaciones, las cuales son satisfactorias en color, solidez, etc. Es realmente sorprendente cuantas combinaciones de colorantes pueden hacer muchos tonos por el uso de sólomente diez colorantes o menos. Si consideramos que trabajaremos con combinaciones de no mas de tres colorantes, encontraremos que se pueden hacer 120 combina-

...



ciones. Sin embargo, no todas las combinaciones se pueden utilizar para cualquier tono. Por ejemplo, si el tono es azul, no podemos obtenerlo si utilizamos dos amarillos y un rojo; por lo tanto, un colorista con experiencia puede eliminar cerca de la mitad de estas combinaciones. Esto nos deja 60 combinaciones, las cuales deberán ser investigadas tanto por tono, solidez y costo. Hasta hace poco tiempo, el camino a seguir para trabajar estas fórmulas - era hacer un teñido y entonces continuar haciendo correcciones hasta que el tono fuera el adecuado. El tiempo que nos lleva hacer cada teñido está limitado a un cierto número de fórmulas de colorantes. Como una continuación lógica al avance del proceso de colorear, utilizaremos métodos que van desde los visuales hasta los instrumentales.

La práctica de estos métodos nos lleva a la optimización del tiempo y colorantes necesarios para una igualdad de tonos lo suficientemente aceptable. Si seguimos la rutina de un laboratorio textil, la fórmula usada para la tintura puede ser aproximadamente igual en producción, de esta forma el colorista variará esta formulación de acuerdo a su criterio, suponiendo que la muestra en producción es de menor intensidad a la deseada, él optará por

...

añadir cantidades de colorante, cualquier reducción en el número de correcciones de laboratorio a producción, lleva grandes ahorros en el costo de producción, particularmente cuando técnicas de alta velocidad son utilizadas.

### METODOS VISUALES PARA IGUALACION DE COLOR

La descripción y especificación de color es una parte esencial para resolver problemas hablando acerca del color. Como necesitamos hablar sobre la medición, la percepción, la descripción de color o producto en particular, existen varios lenguajes aceptados para descubrir todos los aspectos del color, los cuales se expresan a través de distancias, tiempo o en ausencia de muestras utilizaremos la idea que tenemos de la apariencia de materiales a teñir. El entendimiento de estos sistemas de color o espacios de color se dividen en dos partes:

a) Sistemas que utilizan muestras físicas.

b) Sistemas basados en principios.

Para los fines de este estudio solo nos avocare -

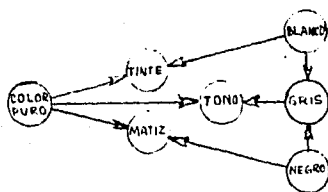
mos a los segundos:

### Sistemas basados en principios:

Triángulo de color. Aunque los colores blanco y negro no son considerados verdaderos colores, su combinación con colorantes produce tintes y tonos. La figura #1, muestra la relación triangular involucrada. La adición de negro produce un matiz, la adición de blanco produce un tinte y si mezclamos blanco y negro con el colorante se produce un tono.

FIGURA 1

#### Triángulo de Color

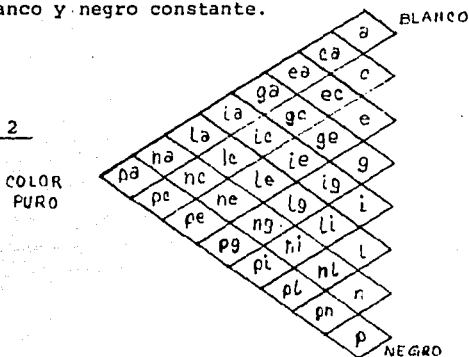


#### Sistema Oswald.-

Es un sistema de arreglo similar al triángulo de color. Por este sistema los colores son descritos por su contenido de blanco y negro. La organización de este sistema enfatiza escalas constantes de colores teniendo conte...

nido blanco y negro constante.

FIGURA 2



Este sistema fue publicado originalmente dividiendo en 24 tonos básicos el espectro de color con 28 variaciones de cada uno en intensidad de tono.

Sistema Munsell.-

Quizá el más conocido de todos los sistemas de ordenación de color (1929) basado en el principio de percepción visual de pequeñas diferencias de color. Este sistema es una colección de muestras pintadas que representan intervalos iguales de diferencias de percepción visuales entre muestras adyacentes, además es un sistema para describir todos los colores posibles.

Consiste en una forma sólida (como un globo irre-

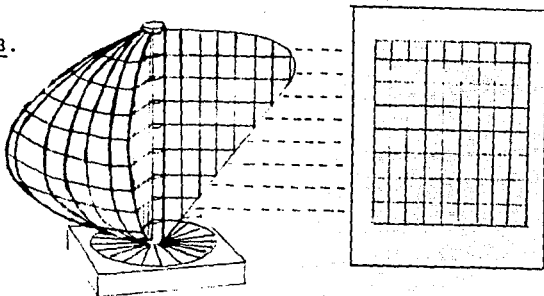
gular), donde el eje vertical está graduado en nueve tonos de gris con negro en el fondo, teniendo un valor relativo de cero y el blanco hasta arriba con un valor de diez. Los colores del espectro son divididos en veinte tonos básicos, los cuales son representados como secciones verticales del sólido. El sistema describe los colores posibles en términos de sus tres coordenadas: tono Munsell, valor Munsell y croma Munsell.

Tono: Es la cualidad del color la cual podemos -- describir en términos de rojo, amarillo, verde, azul, etc.

Valor: Indica como describir la intensidad del -- color más claro o más oscuro en un rango de 0 a 10.

Croma: Nos describe la cualidad de saturación o pureza de un color , es decir, el grado de diferencia entre un color y un gris del mismo valor.

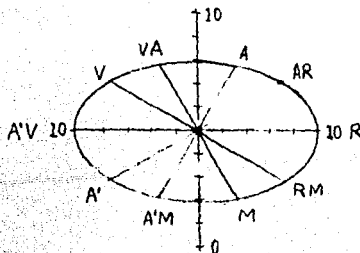
FIGURA 3.



Las muestras del libro de color de Munsell (1929) son generalmente en planas de tono constante.

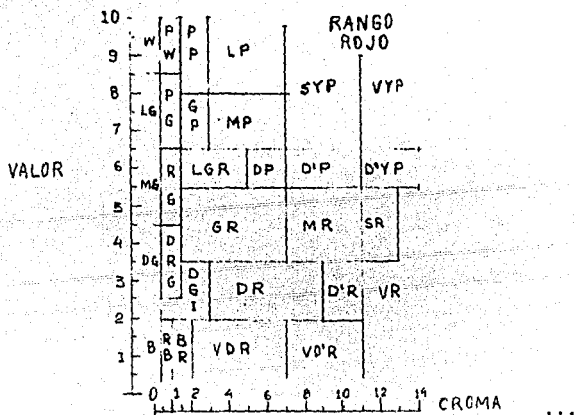
En este sistema los colores son arreglados por su tono en el círculo de tono, el valor es del fondo a la cima y el croma es la distancia en la escala de grises.

FIGURA 3 A.



Este sistema fue utilizado como base de ISCC-NBS para designar nombres de colorantes (Kelly 1958, NBS 1965).

FIGURA 4.

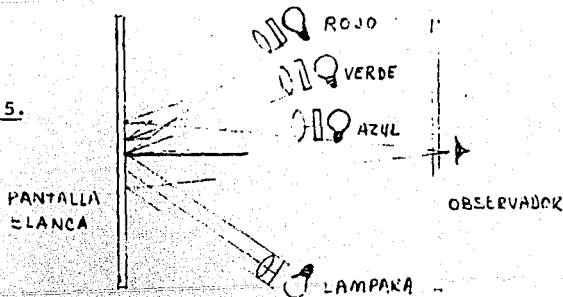


Sistema C.I.E.-

Este sistema es el más importante de todos porque utiliza en conjunto los instrumentos de medición de color. El sistema C.I.E. (Commission Internationale de L'eclairage o Comisión Internación Sobre Iluminación), se base en el concepto de la mezcla aditiva de colores, la cuál resulta de los experimentos de mezclado de luces de colores en una igualación de color.

En este experimento se necesita una pantalla que se ilumina con una o más de tres lámparas de colores para dar diferentes colores. Las lámparas utilizadas son de color rojo, verde y azul que son los colores primarios de luces.

FIGURA 5.



El fin principal de este experimento es el de combinar las luces de colores para obtener un tono, graduan

do las intensidades de las luces. Cuando tenemos un tono co-  
noceremos la cantidad de color necesaria para llegar a éste.

Ejemplo:

50 partes rojo + 10 partes amarillo +  
20 partes azul

A estas cantidades se les denomina valores tristí-  
mulus. Estos valores tienen la misma función que los valo-  
res tono, valor y croma de Munsell.

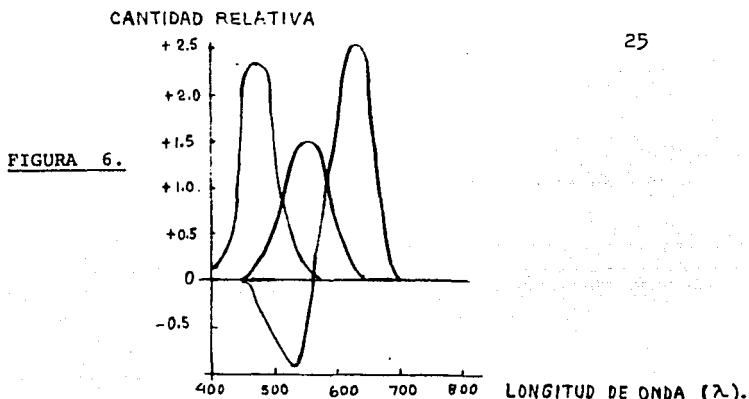
Podemos enfrentarnos a dos casos en los cuales es  
necesario recurrir a "trucos" para llegar al tono deseado.

i) No podemos obtener un amarillo de la combina-  
ción de un rojo y un verde, por lo que utilizaremos una so-  
la lámpara o de otra manera, sabiendo el concepto de la mez-  
cla aditiva de colores podemos describir el color por medio  
de una combinación de cantidades positivas y negativas de -  
los colores de las luces primarias.

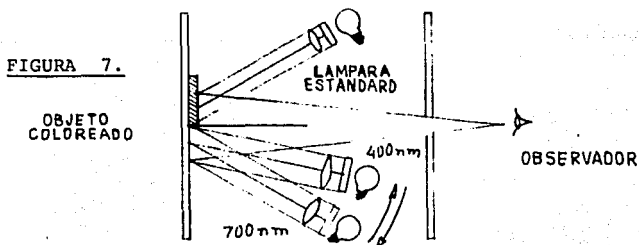
Seleccionando para estas primarias el espectro de  
color en el rojo a 700 nm, verde a 546 nm y azul a 436 nm,  
estas son las intensidades utilizadas por una persona nor-  
mal para igualar cualquier color del espectro.

...



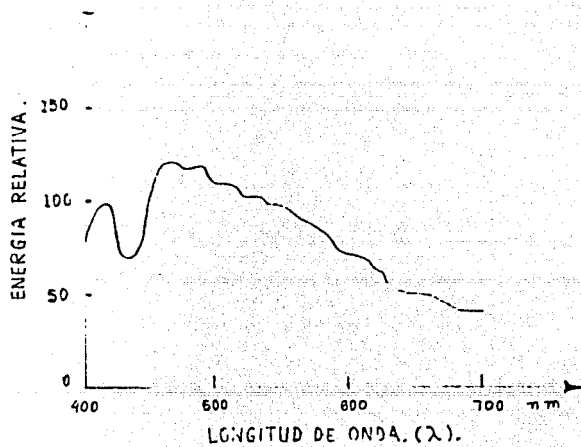


Por estar interesados en objetos en lugar de luces, podemos generar una prueba de color, por el brillo de la luz proveniente de una lámpara estandar a través de un objeto coloreado sobre un lado de la pantalla. Pondremos una serie de luces del espectro en el otro lado de la pantalla. (Ver figura 7).



La forma de luz de cualquier fuente puede ser descrita en términos de la energía relativa (o cantidad de luz) emitida a cada longitud de onda, graficando esta energía contra la longitud de onda obtenemos la distribución de energía espectral para la fuente de luz.

FIGURA 8.



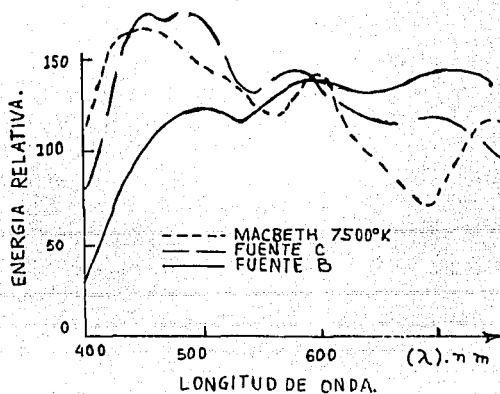
Un grupo importante de fuentes de luz es el llamado "Cuerpo Negro", debido a que se muestran negros solo cuando estan fríos, pero al calentarlos a suficiente temperatura emiten luz; este es el caso de una barra de hierro cuando la calentamos a cierta temperatura; primero una luz roja-naranja, después blanca y finalmente azul-blanco.

Este fenomeno fué estudiado por Max Planck en 1900 y es la base de su ley de la radiación de un cuerpo negro. Esta ley predice la distribución de una radiación térmica como función de la temperatura y define el limite superior de la radiación térmica. La temperatura de los cuerpos negros es llamada Temperatura del Color.

Los filamentos de tungsteno podrán considerarse como una aproximación a estos cuerpos. Esta ley puede ser usada para designar la energía relativa de cualquier objeto calentado; por ejemplo, un cuerpo es negro a la temperatura ambiente, rojo a 800°K, amarillo a 3000°K blanco a 5000°K, azul palido 8000°K y azul brillante a 60,000°K -- (lámparas de filamento de tungsteno son utilizadas para -

dar una temperatura de color de 2600°K a 3000°K). Los cuerpos negros son importantes por su simpleza, muchas fuentes de luz incluyendo el sol y varias lámparas de arco no son cuerpos negros, por no emitir luz a todas las longitudes de onda del visible, sino solamente a unas pocas longitudes de onda, por lo tanto, su distribución de energía es espectral no es continua. Como existen muchas clases de lámparas, la C.I.E. escogió un tipo de fuentes de luz para definir el color; una de estas fuentes es la C.I.E. "A", la cuál es una lámpara de tungsteno operando a 2854°K; otra fuente es la C.I.E. "B", operando a 4800°K y atravesando su luz al atardecer; y por último la fuente C.I.E. "C" -- igual que la "A", pero pasando a través de filtros para aproximarse a la luz del día.

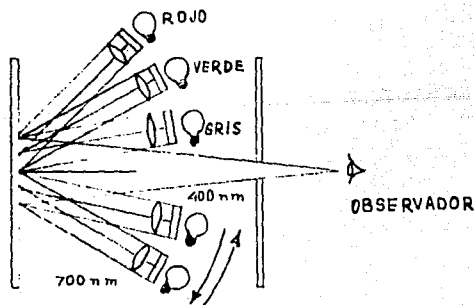
FIGURA 9.



Espaciando 10 nm cada longitud de onda en el espectro visible (400-700 nm) y teniendo la misma energía inicial ajustamos la energía de la lámpara del espectro hasta que sea igual con la lámpara estándar y el objeto a la longitud de onda de la lámpara del espectro.

Si reemplazamos la lámpara estándar y el objeto con las lámparas de colores primarios en un lado de la pantalla y del otro lado las lámparas de luces del espectro obtendremos los valores tristimulus del objeto y para la lámpara estándar.

FIGURA 10.



De los experimentos realizados por la C.I.E. se deduce que:

$$R = \sum E T \bar{r}$$

$$G = \sum E T \bar{g}$$

$$B = \sum E T \bar{b}$$

$\lambda = 400$

DONDE:

$E$  = Distribución de energía espectral de la fuente.

$T$  = Factor de transmitancia o reflectancia.

$\bar{b}, \bar{g}, \bar{r}$  = Funciones de los primarios.

$B, G, R$  = Cantidades de los primarios.

Con estas fórmulas es posible obtener concentraciones negativas y para remediarlo la C.I.E. ajustó funciones polinomiales que dependían de las funciones de los primarios. Esta alternativa hizo posible obtener todos los colores reales con cantidades de colorantes positivas. Las funciones  $\bar{b}, \bar{g}, \bar{r}$  con las modificaciones hechas corresponden a  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ ; en forma similar para las cantidades  $R, G, B$  se les asigna  $X, Y, Z$ , respectivamente. (Ver Tabla 1)

Una importante observación hecha por Grassman (1853) es la de considerar la luz reflejada o transmitida por un objeto en términos de distribución de energía,

muchas de las curvas de distribución espectral de energía pueden dar el mismo efecto visual que llamamos color, es decir, si conocemos la distribución de energía del objeto podremos describir el color y la inversa no es verdadera.

#### MODIFICACION DE LAS ONDAS DE LUZ POR LOS OBJETOS

Los objetos pueden modificar la luz debido a las diferentes interacciones materia - radiaciones que a continuación se enlistan:

- 1.- Emisión.
- 2.- Absorción.
- 3.- Re-emisión.
- 4.- Difusión.
- 5.- Dispersión.
- 6.- Transmisión.

Para la igualación de color, la absorción, transmisión y dispersión son las más importantes, pero además existe otro tipo de propiedades en los objetos que varían las características de la radiación incidente, la cuál no es absorbida o difundida:

i) Refracción

ii) Polarización

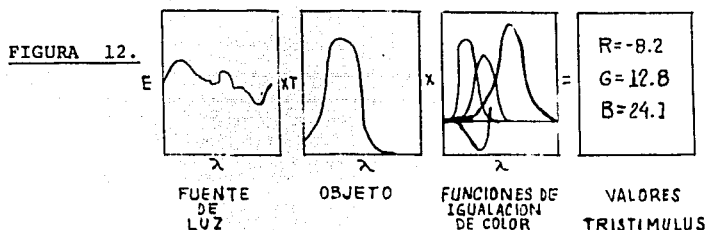
Los mecanismos de transformación de energía en los fenómenos de emisión, absorción y dispersión se interpretan a partir del conocimiento de la estructura electrónica de la materia y de como son los cambios de niveles energéticos de los electrones. (Ver figuras 11)

El último paso del proceso de visión del color es la forma en como el ojo-cerebro interpretan estas funciones, entendiendo esta función podremos substituir el ojo-cerebro por algún instrumento capaz de repetir e interpretar numéricamente el color. El uso de instrumentos que imiten el comportamiento del ojo-cerebro es indiscutible, sabiendo que existen personas con enfermedades oculares, en cambio, el instrumento estandariza el color con valores numéricos que no pueden ser cambiados si siempre utilizamos la misma fuente de luz.

Para medir el color los fotodetectores son los componentes más utilizados, debido a la proximación de su curva de respuesta espectral con la del ojo. La combinación de la curva de distribución de energía de la fuente -



de luz, el objeto con su curva de transmitancia reflectante y el detector con su curva de respuesta, nos da una señal la cual es similar a la producida por el nervio óptico en el cerebro.

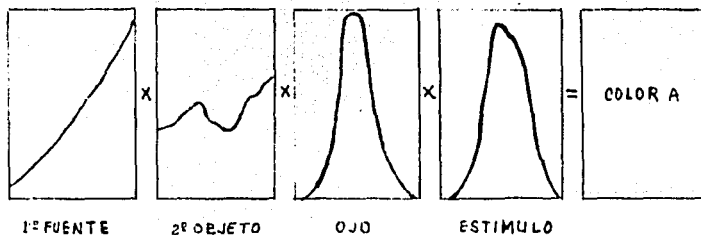
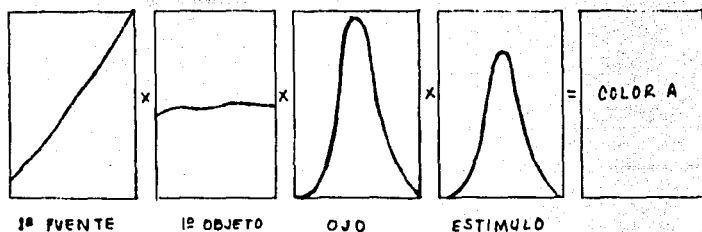


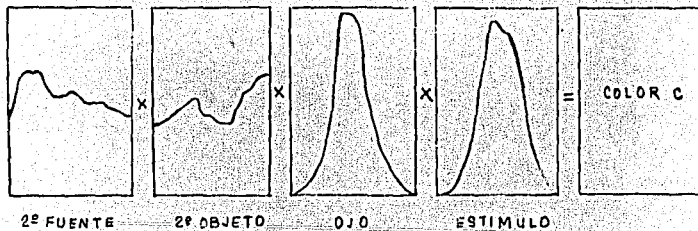
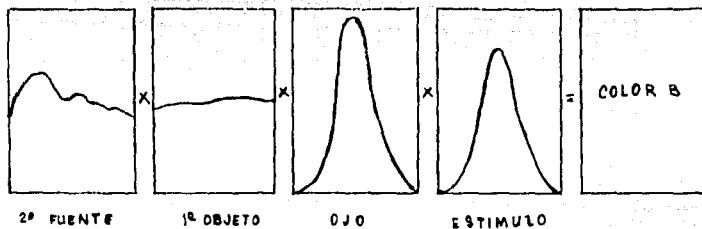
METAMERISMO.-

Metamerismo es un término usado para describir el fenómeno de dos objetos, teniendo el mismo color aparentemente bajo una misma iluminación y difieren de color cuando cambia la iluminación. En la figura 13, las curvas tienen el mismo factor de reflectancia para la primera iluminación, pero al variar la iluminación obtenemos dos tonos diferentes. La razón del metamerismo se relaciona con el proceso de tres sensores responsables de la percepción del color, los cuales son sensibles solamente al producto de la energía de distribución y el factor de reflectancia en tres áreas del espectro y no a diferencias espectrales específicas. Una diferencia positiva entre dos curvas en una --

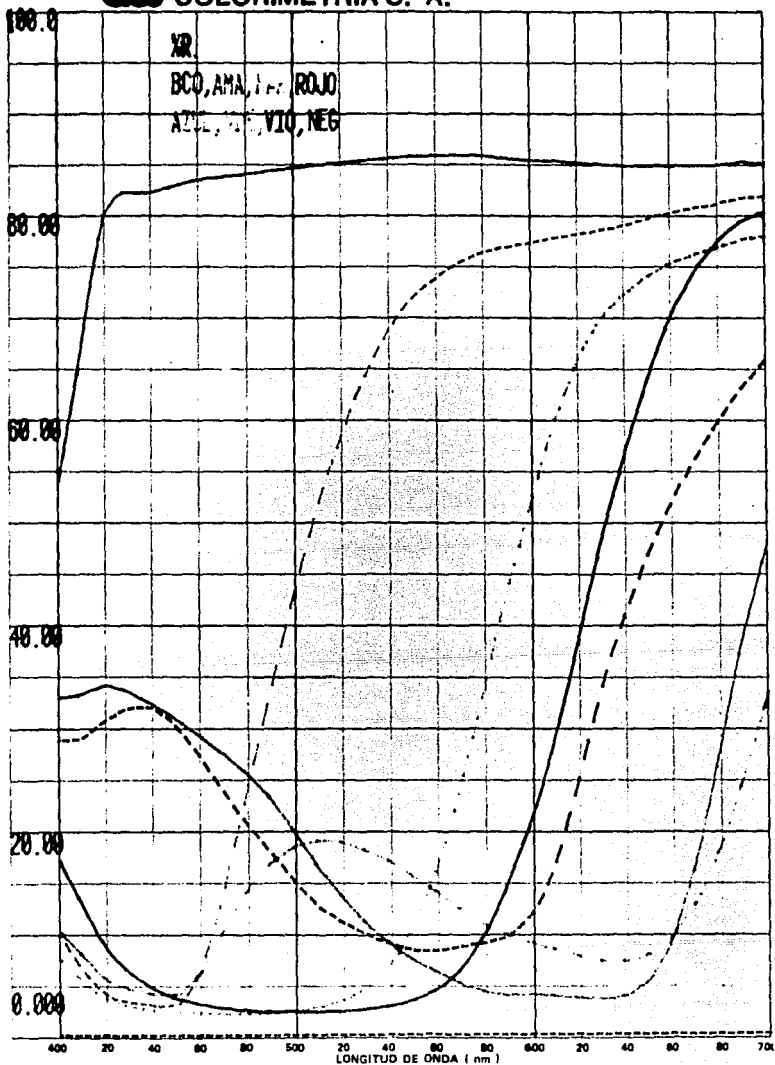
área puede ser compensada por una diferencia negativa en -  
otra área, resultando igual respuesta.

FIGURA 13.

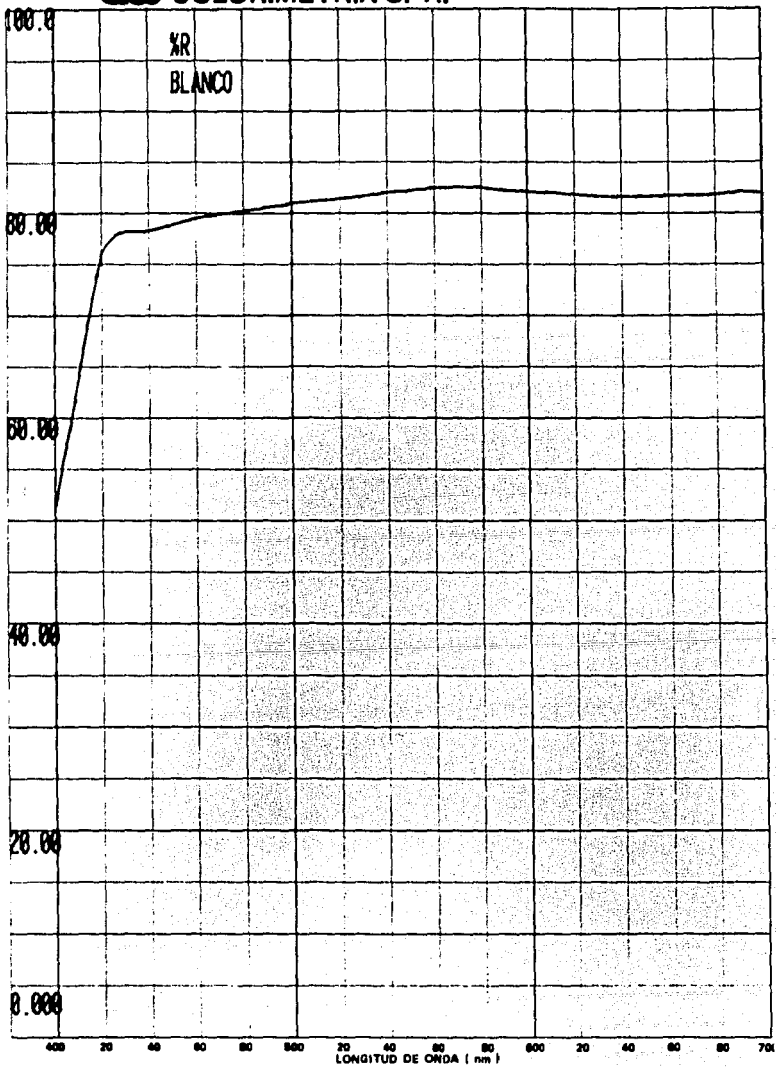




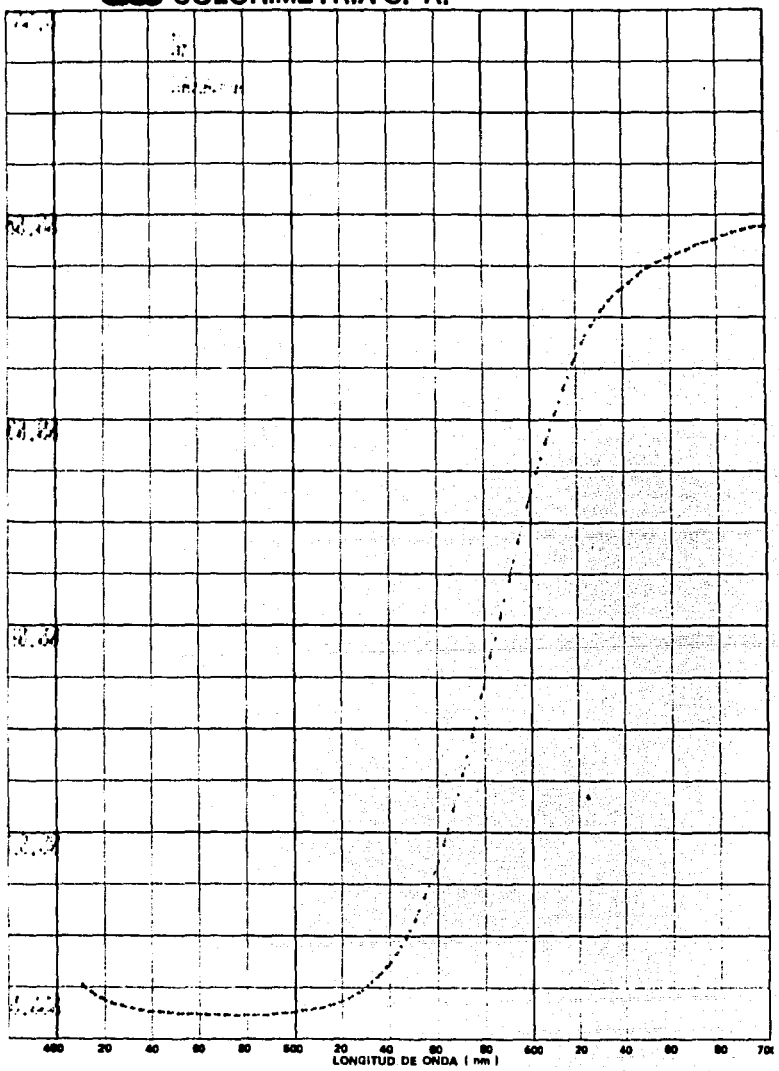
**CCS COLORIMETRIA S. A.**



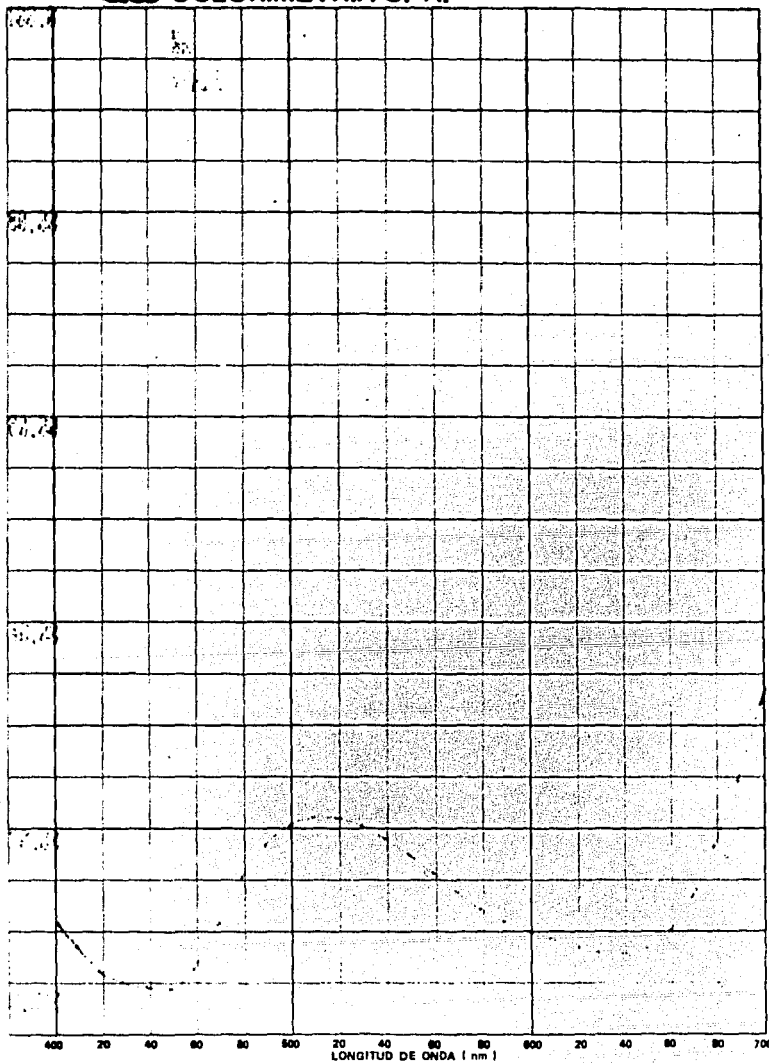
**OCS** COLORIMETRIA S. A.



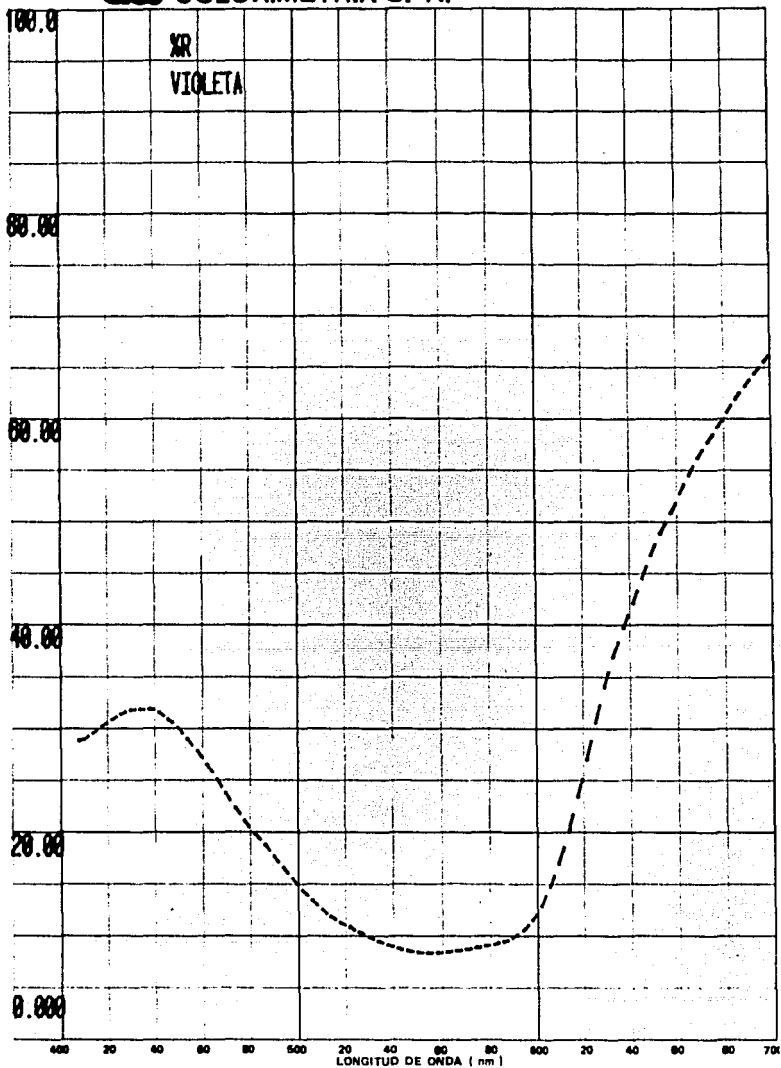
# OCS COLORIMETRIA S. A.



# OCS COLORIMETRIA S. A.

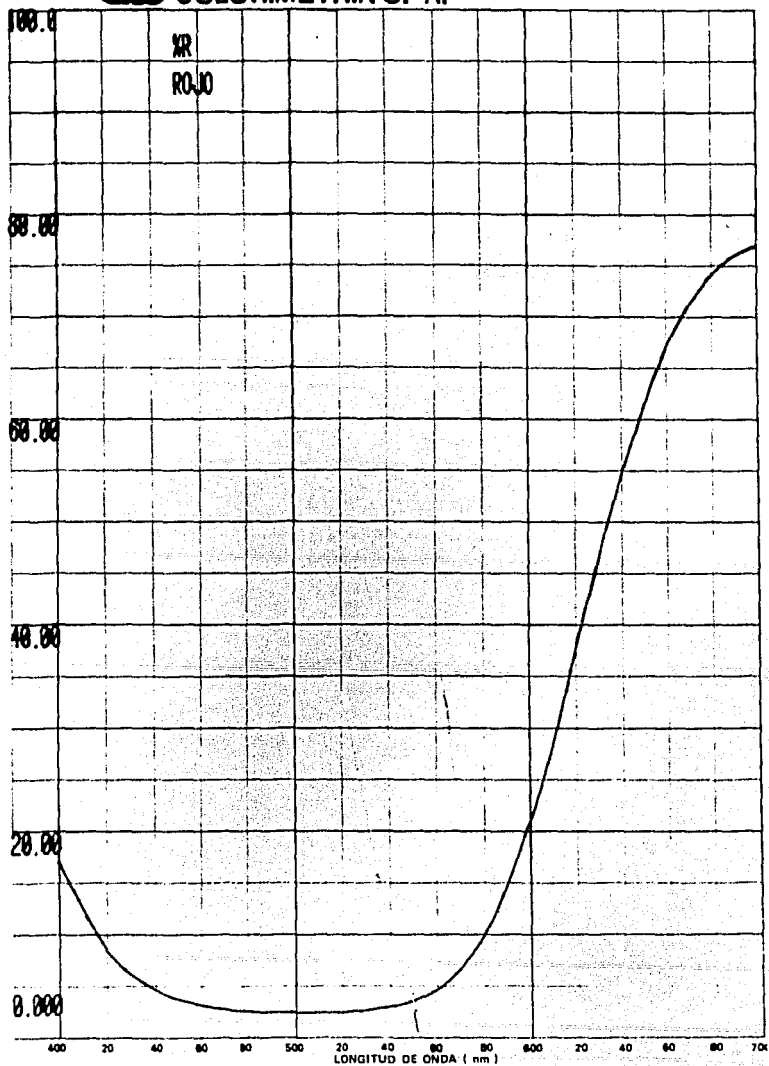


**OCS** COLORIMETRIA S. A.

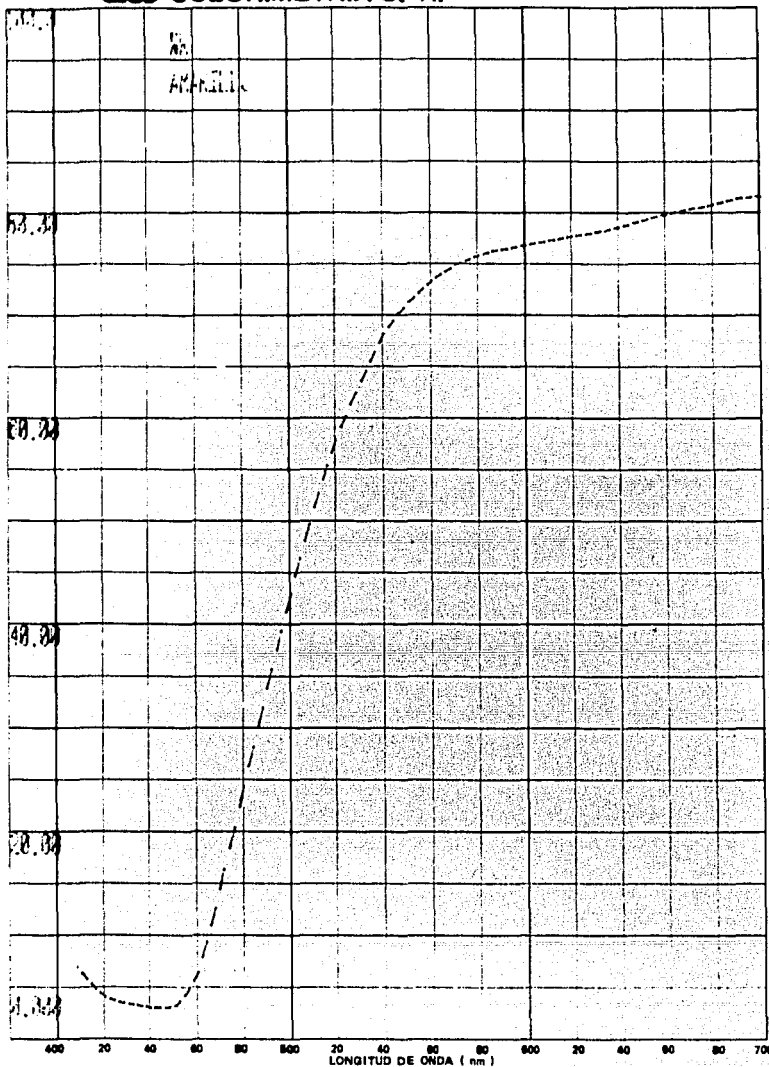


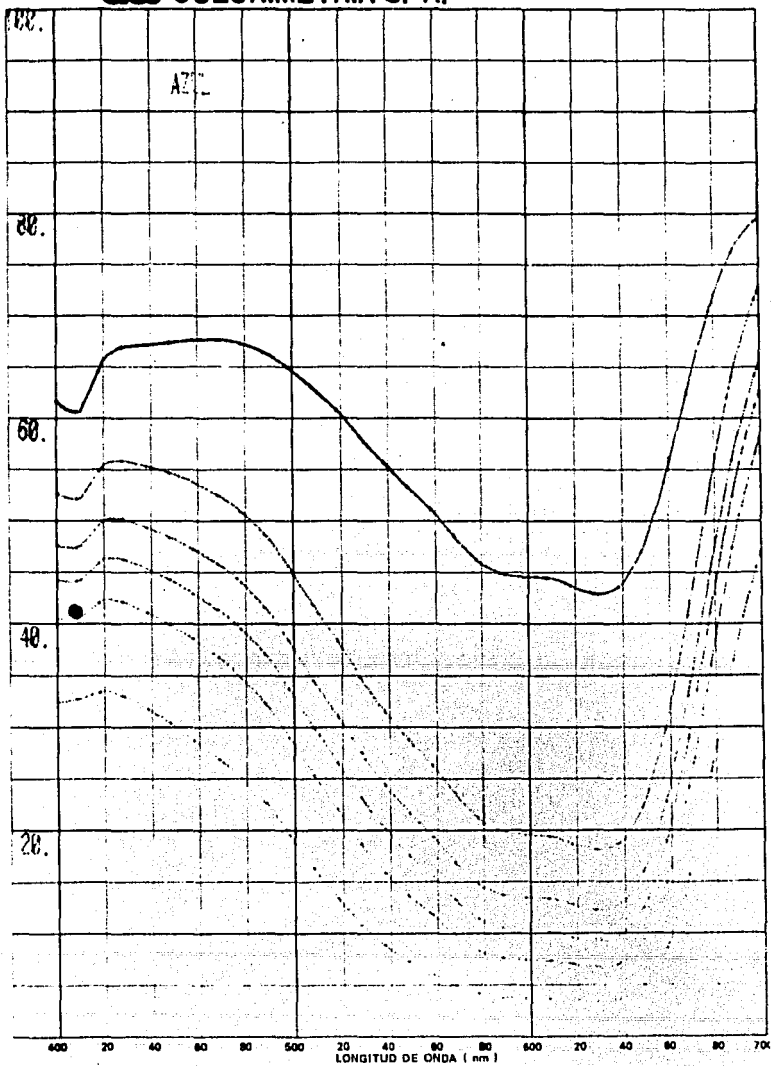


**OS** COLORIMETRIA S. A.

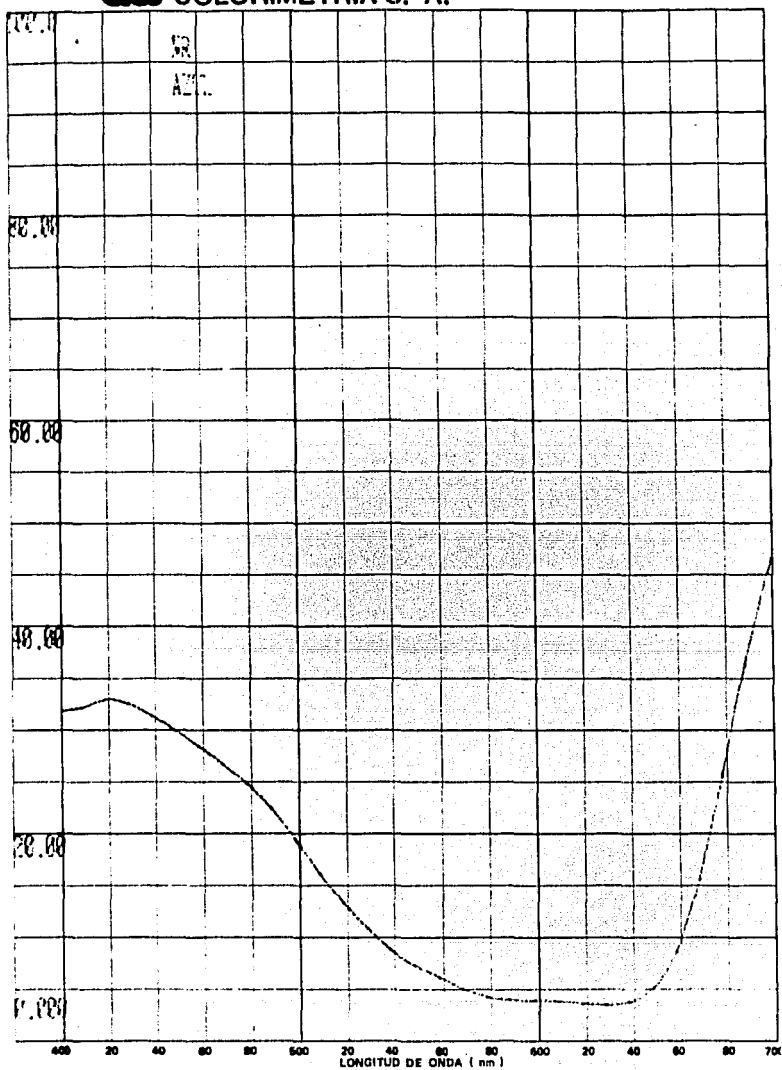


**OCS** COLORIMETRIA S. A.

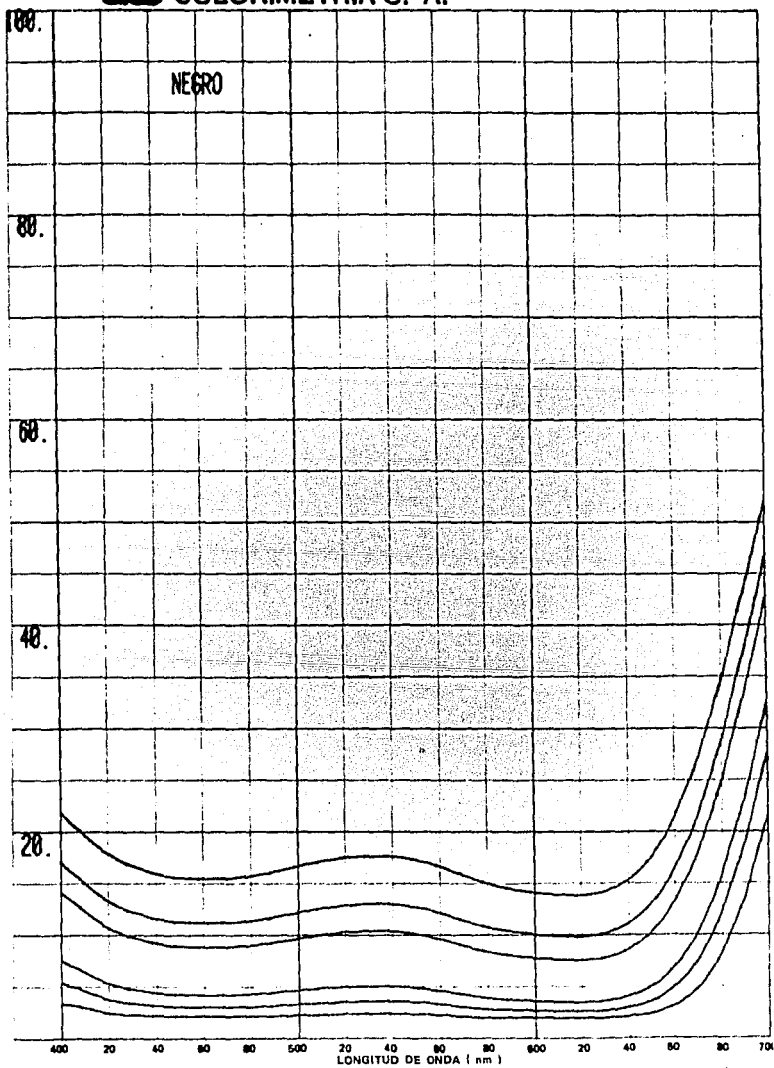


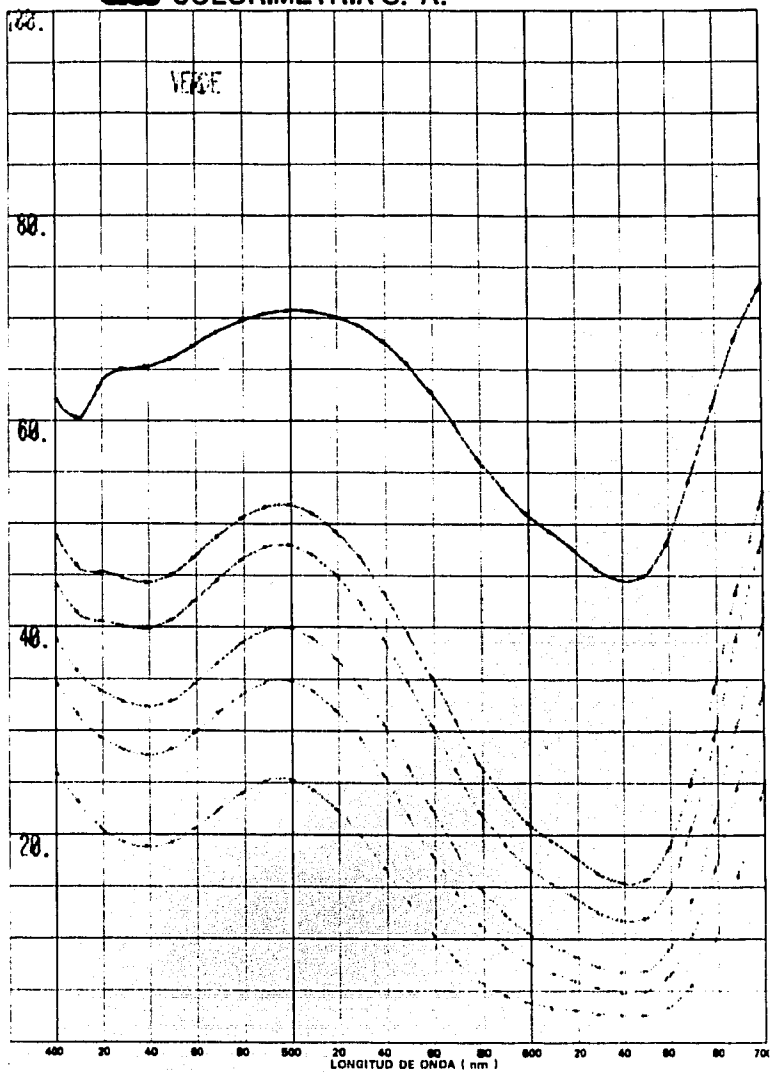


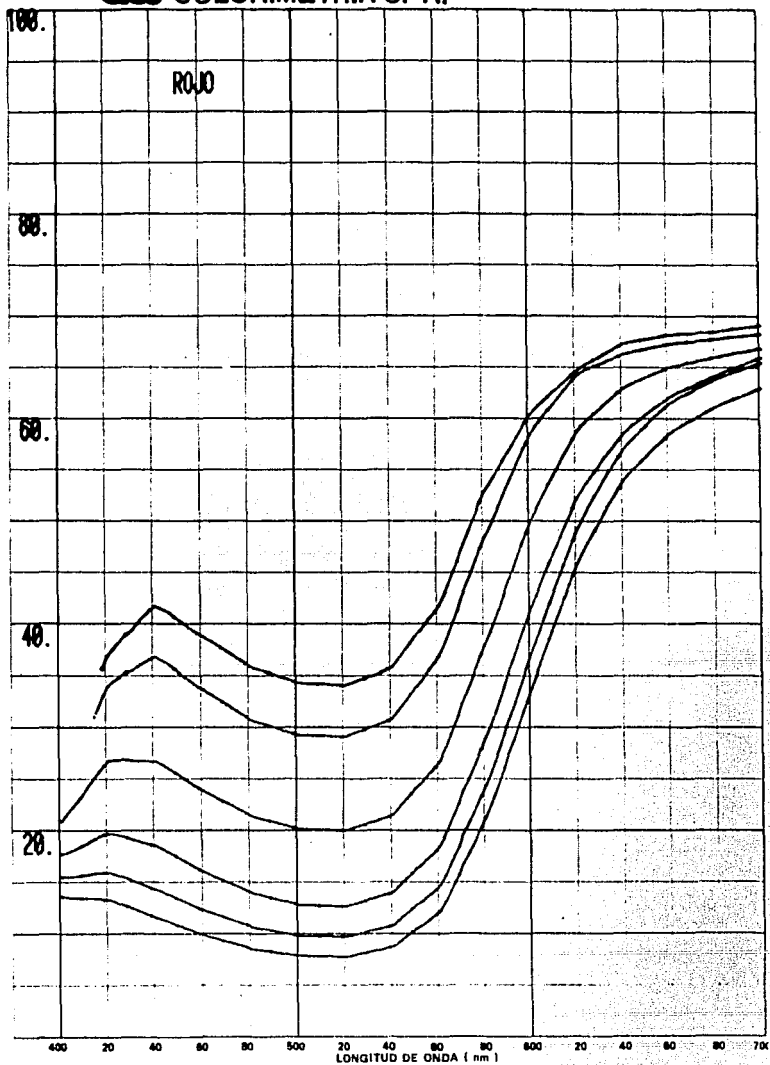
**OCS** COLORIMETRIA S. A.



**OS** COLORIMETRIA S. A.







En resumen:

Los métodos visuales para igualación de color fuerón y son de gran ayuda para el colorista textil, debido a que se ahorran pasos en el proceso de teñido. - Estos pasos no son otra cosa que el añadir cierta cantidad de colorantes al baño de teñido porque con la primera adición no llegamos al tono requerido.

El proceso de visión del color es importante puesto que si logramos entenderlo, podremos manipularlo en la forma más eficiente y óptima que requerimos. Este proceso lo podemos dividir en cuatro secciones principales: fuente de iluminación, modificación de la luz por el objeto (absorción, transmisión, etc.), captación de las ondas por el ojo, e interpretación de las señales mandadas por el ojo al cerebro.

Entonces, podemos modificar:

- a) Fuente de iluminación.- Estas fuentes pueden ser fluorescentes, fosforescentes o intercalando filtros entre la fuente de iluminación y el objeto.
- b) Objeto.- El objeto puede ser transparente, opaco o translúcido.



### C A P I T U L O   I I I

### MEDICION DEL COLOR

La clasificación de los métodos ópticos puede basarse sobre diferentes criterios:

1. Métodos por emisión, radiación, absorción o fluorescencia.

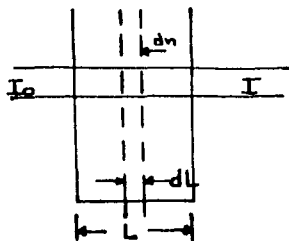
1.1 Métodos que aprovechan las propiedades moleculares y propiedades atómicas.

Los que aprovechan las propiedades moleculares.- En estos métodos las variaciones de energía corresponden a ciertas modificaciones de los orbitales moleculares, debido a que los enlaces intervienen. Estos métodos se utilizan en el estudio de procesos como la fluorometría y las diferentes espectrofotometrías por absorción, ultravioleta, visible, infrarrojo.

Se entiende que los que utilizan las propiedades atómicas se debe a la variación en los niveles energéticos por los electrones en los átomos. Estos procesos se usan únicamente cuando están libres de cualquier tipo de enlace. Ejemplo de este método: rayos X. Para nuestro interés necesitamos la espectrofotometría en el

visible, la cuál para objetos transparentes tiene su -  
máxima interpretación en la Ley de Beer - Lambert.

Esta ley considera un recipiente de longitud  
(L) con una sustancia absorbente, a través de la cuál pasa  
un haz de luz monocromática de intensidad  $I_0$ . Suponiendo --  
que las pérdidas por reflexión sobre las paredes es despre-  
ciable y la intensidad de luz que sale del recipiente es me-  
nor a la inicial, tenemos que el descenso de intensidad  $dI$ ,  
es proporcional al número de partículas absorbentes idénti-  
cas en el paso óptico de la luz de longitud  $dL$ .



$$dI = -KI dn \quad (1)$$

donde:

$dI$  = descenso de la intensidad luminosa

$K$  = constante de proporcionalidad

$I$  = intensidad incidente

$dn$  = número de partículas absorbentes.

En un volumen definido  $dv$  por la superficie del -  
haz luminoso y el paso óptico  $dL$ , la concentración se defi-

ne: 
$$c = dn/dv = dn/SdL \Rightarrow dn = cSdL$$

(3)

substituyendo 3 en 1

$$dI = -K I C S dL \quad (4)$$

integrando

$$\frac{dI}{I} = -K C S dL \quad (5)$$

de donde

$$\ln \frac{I}{I_0} = -K S C L \quad (6)$$

La ecuación 7 es la relación Beer - Lambert para objetos que absorben.

$$A = \log \frac{I_0}{I} = K' L C \quad (7)$$

donde:

A = absorbancia.

K' = coeficiente de absortividad.

C = concentración g/lit

L = longitud de paso óptico

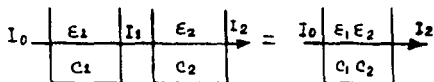
también:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-A} \quad (8)$$

Esta ley también se extiende a la ley de aditividad de las absorbancias, la cuál supone que un haz de luz

...

monocromática atraviesa sucesivamente varias soluciones -  
conteniendo substancias absorbentes.



donde podemos escribir:

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \log \frac{I_0}{I_1} + \log \frac{I_1}{I_2}$$

$$A = A_1 + A_2 \quad (9)$$

$$A = \sum \epsilon_i L C_i \quad (10)$$

Esta propiedad es muy importante y se encuentra en la base de la mayoría de las determinaciones que permite en particular la determinación de substancias absorbentes en presencia de otras que interfieren. Aunado a la ley anterior, el método C.I.E. nos permite predecir - las concentraciones de soluciones o materiales transparentes, pero en nuestra tarea diaria trabajamos con muestras que no transmiten, por lo tanto esta teoría se vuelve complicadísima.

#### PROPIEDADES OPTICAS DE MATERIALES QUE REFLEJAN

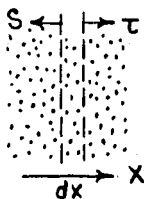
Desde el punto de vista de color, las propiedades ópticas de un material isotrópico, ópticamente homogéneo pueden ser consideradas conocidas, cuando el coeficiente de absorción y el coeficiente de Frensel de la superficie reflectora han sido determinados a cada longitud de onda a través del espectro visible. En estos ma-

teriales la radiación es redirigida en una y otra dirección, conforme vaya pasando a través del material; ejemplos de este caso son las superficies de pintura, tinta para imprenta, lacas y otros materiales de la industria del acabado; además de plásticos, papel, gomas y textiles. Todos estos materiales contienen partículas o fibras, las cuales son responsables de la difusión de la luz dentro de la substancia. Con pocas excepciones el índice de refracción de estas partículas difiere con respecto al del vehículo o fase continua; cuando esto sucede, el mecanismo de absorción que es suficiente para materiales ópticamente homogéneos e isotrópicos se convierte en un mecanismo complicadísimo por la dispersión y redispersión de la radiación infiltrada.

Las primeras teorías que tratan de explicar y predecir fenómenos ópticos de materiales que difunden, vienen desde el año 1905. La primera investigación de este tipo de problemas fue hecha por un astrónomo llamado Arthur Schuster, quién publicó su teoría describiendo el escape de radiación de la atmósfera nebulosa de una estrella, él concibe la idea de dos flujos moviéndose en direcciones opuestas a través del gas, cada una contribuyendo al flujo de dispersión opuesta. Puesto que las partícu--

las dispersadas son moléculas de gas, Schuster consideró que la mitad del flujo dispersado va hacia adelante y la otra mitad hacia atrás. Como algunas de las partículas contienen su propia luminosidad, sus ecuaciones contienen términos que representan la emisión de la luz para el gas. El término  $E$  fue usado para denotar la energía total radiada por segundo en el rango de longitud de onda ( $\lambda$  y  $\lambda + d\lambda$ ) en una superficie negra. Además consideró dos capas paralelas separadas una distancia  $dx$ , dentro de la atmósfera de la estrella, seleccionado así que las superficies límites fueran normales a la dirección en la cual el escape de la radiación es visto.

FIGURA 14



Si  $\tau$  es el flujo incidente difundido sobre la capa  $dx$  en la dirección hacia adelante y  $S$  es el flujo sobre  $dx$  en la dirección opuesta, se asume que en el paso a través de  $dx$ , el flujo difuso podría ser incrementado por la emisión de luz, decrecido por la absorción y aumentado por el flujo de dispersión opuesto al movimiento del flujo del cuerpo. Esta situación se representa por las siguientes

tes ecuaciones diferenciales simultaneas:

$$d\tau / dx = \mu E - \mu \tau - \frac{1}{2} S \tau + \frac{1}{2} S_s \quad ( 11 )$$

$$dS / dx = \mu E - \mu S - \frac{1}{2} S_s + \frac{1}{2} S \tau \quad ( 12 )$$

donde:

$S$  = coeficiente total de dispersión

$\mu$  = coeficiente total de absorción

Debemos recalcar que estas ecuaciones están basadas en la suposición de que la mitad del flujo dispersado es dirigido hacia adelante y la otra mitad en sentido opuesto. Años más tarde Lord Rayleigh, demostró que esto es cierto solamente para partículas muy pequeñas comparadas con la longitud de onda de la luz. El tamaño de la partícula en materiales que difunden es rara vez suficientemente pequeño para caer en esta categoría. También es bien conocido que los efectos ópticos máximos son encontrados cuando el diámetro efectivo de la partícula de colorante es aproximadamente igual a la mitad de la longitud de onda del espectro visible. En muchos materiales difusores, el rango de la partícula es mayor, tal es el caso de papel y textiles donde -- las partículas son muchas veces mas grandes, en este caso las ecuaciones diferenciales propuestas por Schuster



no pueden ser usadas directamente para describir un material difusor. Un material difusor puede ser turbio, con la condición que la intensidad de luz incidente sea considerablemente disminuída por el paso a través del material. Las propiedades ópticas de tales materiales han sido tratadas con teorías como las de Stkes, Channon, Renwick, -- Storr, Guveric, Kubelka y Munk ( K-M ), Judd, Amy y Smith. Las mas generales son las de Guveric y las de K-M y Judd.

Las derivaciones de las teorías de Guveric y K-M se basan en un modelo muy simple del paso de luz en el material. Dos direcciones contrarias una a la otra son consideradas. Todos los autores suponen que la simplificación supuesta es admisible en todo los casos de iluminación difusa de materiales opacos, pero no ha sido probada.

Asumiendo que los materiales turbios forman una capa plana de espesor finito y constante generalmente, -- siendo sus lados infinitamente extendidos, considerando -- tan largo y tan ancho que el efecto sobre las orillas pueda ser despreciado. El material es supuesto homogéneo en el sentido de que la inhomogeneidad óptica ( necesariamente existente cuando la luz es dispersada ) es demasiado --

...

pequeña con respecto al espesor del material y es uniformemente distribuida en el material. ( Figura 14.1)

FIGURA 14,1



Otra suposición es que el material se encuentra en el mismo medio en el cuál la luz viaja, un lado de la sustancia es iluminado, la luz reflejada o transmitida no es reflejada otra vez a la sustancia. El cambio de longitud de onda por la absorción específica o por dispersión no serán tomados en cuenta.

Si consideramos que el camino de la radiación pasando por una capa de espesor  $dx$ , es  $dx/\cos\phi$ , donde  $\phi$  es la dirección de la luz con referencia a la superficie de material. Como la luz viaja en diferentes direcciones dentro de un medio turbio el promedio  $d\xi_i$  de la luz es:

$$d\xi_i = dx \cdot \int_0^{\pi/2} \frac{d\xi}{d\phi} \cdot \frac{d\phi}{\cos\phi} = u \cdot dx \quad (13)$$

$d\xi/d\phi$  igual a la distribución angular de la intensidad

si imaginamos un capa delgada  $dx$  iluminada solamente - por  $i$ , el decremento de intensidad alcanzada por el paso a través de la capa es:

$$(\sigma + \epsilon)_i d\xi_i = (\sigma + \epsilon) u_i dx \quad (14)$$

donde:

$$\epsilon_i d\xi_i = \epsilon u_i dx \quad (15)$$

es la parte absorbida, y

$$\sigma_i d\xi_i = \sigma u_i dx \quad (16)$$

es la parte reflejada.

$\sigma$  = coeficiente de dispersión

$\epsilon$  = coeficiente de absorción.

Si la capa fuera iluminada por  $j$  solamente, - el decremento es:

$$(\sigma + \epsilon)_j d\xi_j = (\sigma + \epsilon) v_j dx \quad (17)$$

y la parte reflejada es:

$$\sigma_j d\xi_j = \sigma v_j dx \quad (18)$$

en realidad la capa  $dx$  es iluminada simultáneamente por - ambos lados y la parte reflejada de  $i$  aumenta  $j$  y la  $j$  aumenta  $i$ .

$$-di = -(\sigma + \epsilon) u_i dx + \sigma v_j dx \quad (19)$$

$$dj = -(\sigma + \epsilon) v_j dx + \sigma u_i dx \quad (20)$$

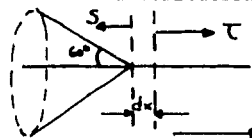
Comparando el sistema de ecuaciones diferenciales de K-M con el anterior:

$$di = -(S+K)i dx + S_j dx \quad (21)$$

$$dj = -(S+K)j dx + S_i dx \quad (22)$$

vemos que son idénticas cuando  $v = u = \text{constante}$ .

Para que puedan ser constantes estos coeficientes debe haber una iluminación difusa, una luz perfectamente difusa es caracterizada por tener la misma intensidad en todas las direcciones. Con respecto al plano esta luz tiene una distribución angular:



$$\frac{di}{d\phi} = i \sin 2\phi$$

$$\text{ó } u^* = \int_0^{\pi/2} \sin 2\phi \frac{d\phi}{\cos \phi} = 2$$

consecuentemente para ambas porciones  $u = 2$  si  $\cos \phi = 1/2$  de la normal, por lo tanto a  $60^\circ$  la luz incidente se comporta como una luz perfectamente difusa. Los coeficientes de dispersión y los coeficientes de absorción son definidos -- por el promedio del camino real, mientras que  $S$  y  $K$  por el correspondiente espesor de la capa.

$$S = u\sigma \quad K = u\epsilon \quad (23)$$

Para una luz perfectamente difusa:

$$S = u^*\sigma = 2\sigma \quad K = u^*\epsilon = 2\epsilon \quad (24)$$

En resumen:

Los métodos actuales de medición del color se basan en teorías que datan de principios de siglo, y - que han sido simplificadas o desarrolladas de una manera tal que se puedan utilizar sin mayores complicaciones en los pasos necesarios que involucra la operación. La ecuación más simplificada y que generalmente se usa fue propuesta por dos científicos alemanes (Kubelka y Munk), y cuya expresión es la siguiente:

$$\frac{k}{s} = (1-R)^2/2R$$

Estas teorías se basan en la cuantificación de la modificación que sufren las ondas de luz cuando - inciden en los objetos. La cuantificación se lleva a - cabo en instrumentos ópticos como son: colorímetro, espectrofotómetro, etc., de los cuales, el espectrofotómetro dentro del rango del visible (400-700 nm) es el más indicado para muestras textiles.

CAPITULO IV

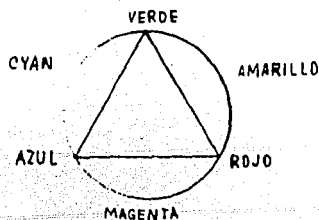
MÉTODOS QUE UTILIZAN INSTRUMENTOS SOFISTICADOS  
PARA IGUALACION DEL COLOR.

En los últimos años el interés por el uso de instrumentación para la solución de la formulación del color y problemas de control de colorantes ha tenido un incremento bastante elevado, tanto en la industria de pinturas y plásticos como en la industria textil. Los métodos que se utilizan ahora son una continuación lógica de desarrollos teóricos y aplicaciones prácticas que han sido -- probadas previamente. Siendo las razones más importantes para su crecimiento, la rápida introducción de fibras y plásticos totalmente nuevos, técnicas de producción y colorantes nuevos así como los altos costos de producción. En respuesta por las demandas del crecimiento tecnológico, ha habido un renovado interés por la efectiva utilización de métodos instrumentales que ayuden a una rápida solución de una formulación de color o problemas de producción, y este interés tan marcado ha llevado a desarrollar herramientas matemáticas para la ayuda de los químicos coloristas. Estas herramientas están ahora siendo desarrolladas en tal forma que solo la limitación práctica a su aplicación es la imaginación del colorista para utilizarlas.

...

Como se vio en el capítulo anterior existe todo un desarrollo matemático para describir los fenómenos de dispersión, absorción, etc. Los cuales se pueden aplicar con unas limitaciones a la formulación de color. Para llegar a la aplicación directa necesitamos conocer las leyes del mezclado del color, que son complejas en algunos casos. La primera de las leyes no especifica el mezclado de colorantes totalmente pero sí una mezcla de luces, a esta ley se le conoce como la ley aditiva del mezclado de colores. Con esta ley se entiende perfectamente la gran variedad de colores que podemos obtener al ser seleccionadas tres lámparas de color: roja, verde y azul, los cuales son los colores aditivos. No hay ningún truco o unicidad, excepto que son los que mejor trabajan en el experimento, mezclas de rojo y verde dan amarillo claro, mezclas de verde y azul dan las azul verdosas y mezclas de azul y rojo dan morados o magenta.

FIGURA 15

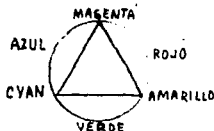


La segunda ley es la llamada sustracción de colo-

...



res por medio del mezclado. Los medios por los cuales puede ser sustraída una luz son absorción y dispersión.- El caso mas sencillo lo llamaremos sustracción simple y cuando se lleve acabo absorción y dispersión simultaneamente lo llamaremos sustracción compleja.



La predicción de colores resultante de una sustracción simple es más complicada que para la suma del mezclado por las siguientes razones:

- i ) Los colores primarios son amarillo magenta y azul-verdoso.
- ii ) Las limitaciones de existencia de colorantes en el mercado.
- iii ) Las leyes fundamentales de sustracción simple son muy complicadas para predecir colores, se tienen que hacer cálculos con la ley de Beer-Lambert a muchas longitudes de onda a través del espectro de color para ser curvas espectrofotométricas de transmitancia y entonces obtener las coordenadas C.I.E.- Los cálculos y los pasos siguientes de la sustracción simple del mezclado fueron hechos antes de la invención de las computadoras digitales y ahora --

estos cálculos forman parte de las bases de la formulación comercial de colores transparentes por técnicas computacionales.

La tercera ley es la más complicada debido a -- que los fenómenos de absorción y dispersión se llevan a cabo simultáneamente, desafortunadamente este es el caso más común y el más complejo de todos. Para propósitos prácticos se utilizan ecuaciones simplificadas las cuales son aproximaciones correctas y son comunmente utilizadas para describir el mezclado complejo.

Las ecuaciones mas utilizadas son las obtenidas por Kubelka-Munk y a continuación deducimos la forma mas simplificada de esta ecuación.

$$R_{\infty} = 1 + K/S - [(K/S)^2 + 2 K/S]^{1/2} \quad (26)$$

$$1 + K/S - R_{\infty} = [(K/S)^2 + 2 K/S]^{1/2} \quad (27)$$

ELEVANDO AL CUADRADO

$$(1 + K/S - R_{\infty})^2 = (K/S)^2 + 2 K/S \quad (28)$$

ELIMINANDO Y REARREGLANDO

$$1 - 2 R_{\infty} + R_{\infty}^2 = - 2 R_{\infty} (K/S) \quad (29)$$

$$K/S = (1 - R_{\infty})^2 / 2 R_{\infty} \quad (30)$$

### FORMULACION DE COLOR.

El interés de este trabajo es la medición del color sobre cuerpos opacos como consecuencia de que en la industria textil las fibras químicas generalmente son opacas, entonces la luz es parcialmente absorbida y dispersada. El color percibido es determinado por las cantidades relativas de luz reflejada de 400 a 700 nm. El factor de reflectancia es la razón del flujo de luz reflejado de la muestra al flujo de luz reflejado por un difusor perfectamente isotrópico, idénticamente iluminados y vistos por el instrumento a cada longitud de onda.

Aproximaciones prácticas de un difusor perfecto son capas opacas de sulfato de bario u óxido de magnesio fresco. La escala de estos difusores es tomada como 100 cuando es vista a través de cada uno de los filtros.

Los sistemas de medición que hay en el mercado nos determinan las características del material por transmisión y reflexión.

Primero debemos escoger el sistema que nos presente lo más cercanamente a la realidad, y después el que sea el más adecuado, de acuerdo a la característica del material como puede ser : turbidez, reflectancia, espesor, tamaño de la muestra, acabado de la superficie, etc.

Si medimos la dispersión, la C.I.E. adoptó la geometría  $0/45^\circ$  ó  $45/0^\circ$ ; es decir  $0^\circ$  de incidencia y recolección a  $45^\circ$  y viceversa; otra alternativa sería DIFUSO/ $0^\circ$ ; esto es iluminación difusa y recolección normal a la muestra.

ESFERA INTEGRADORA.- Se han estudiado diferentes formas de medir la reflexión por parte de los materiales ópacos llegando a la conclusión de que la esfera integradora es la más acertada para esta clase de mediciones. La esfera integradora es una esfera hueca de metal, de varias pulgadas de diámetro, pintada por dentro. La función de esta esfera es recoger toda la luz reflejada de la superficie de la muestra puesta en una compuerta opuesta a la fuente, la muestra está colocada tangencialmente a la pared de la esfera.

Las pinturas mas utilizadas para el recubrimiento de la esfera en su parte interior, son las de óxido de magnesio (  $MgO$  ) y sulfato de bario (  $BaSO_4$  ), pero se ha visto que el  $MgO$  modifica sus características reflectantes poco tiempo después de ser aplicado. Las de  $BaSO_4$  son más

estables y duran por lo menos seis meses todas sus propiedades. La Institución Inglesa de Estándares recomienda que la pintura o recubrimiento tenga un factor de reflectancia de 0.8 y 0.85 mediante el agregado de negro de humo.

Las especificaciones de un espectrofotómetro que tenga una esfera integrante son:

i) Sensor óptico.-

Fuente de Luz.- Lámpara de tungsteno filtrada para - eliminar calentamiento de la muestra por rayos infrarojos y obtención de una distribución espectral de una lámpara -- C.I.E  $D_{65}$ .

Tiempo de vida de la lámpara: 300 hrs.

ii) Geometría.-

Iluminación.- Difusa, 8 plg diámetro de la esfera

Vision.- 8° de la normal

Recubrimiento de la esfera.- "High Solid" Sulfato de Bario.

iii) Tamaño de la muestra.-

Reflectancia

Compuerta.- 1.25 plg diámetro mínimo de la muestra

Area para visión.- 1 plg cuadrada.

Un requerimiento para un sistema de control de -- color es una computadora capaz de hacer la predicción sobre las bases de medición del estandard que va a ser igualado

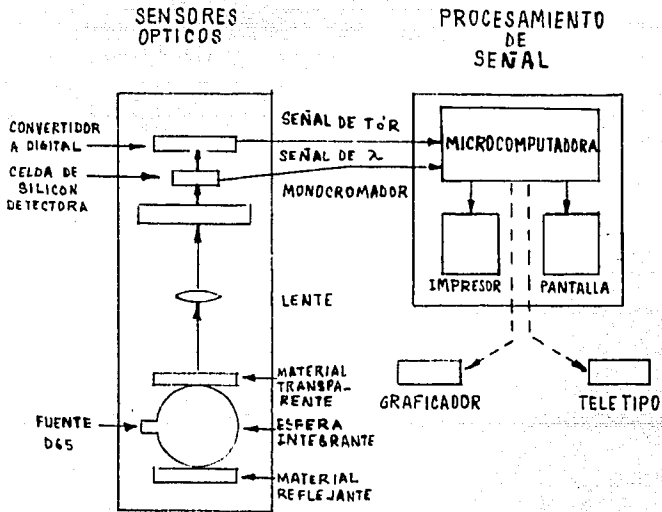


DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA ESPECTROFOTOMETRICO

y los colorantes usados.

El calcular una formulación, dada una curva espectrofotométrica o una serie de valores trístimulus, es de gran importancia económica; pero para la formulación del color a partir de estos datos se crea un problema el cuál es conocido debido a que la relación que existe entre la función  $K/S$  y la longitud de onda en el espectro visible no es lineal. Además no se ha publicado nada sobre un método digital totalmente satisfactorio. Se han propuesto sin embargo métodos iterativos para el uso en computadoras digitales sin llegar a publicarse en una forma concreta.

Park y Stearns escribieron por primera vez un tratamiento teórico adecuado a este problema, ellos presentan un desarrollo aplicable a cualquier problema de la formulación del color, suponiendo que es posible encontrar una función tal que para una mezcla de colorantes A,B,C en cantidades  $a,b,c$  sobre un sustrato dado, la reflectancia o transmitancia  $R$  de una mezcla esta dada por la siguiente ecuación:

$$F(R) = a F(R_a) + b F(R_b) + c F(R_c) + \dots \quad (31)$$

donde  $R_a, R_b,$  y  $R_c$  son las reflectancias o transmitancias de A,B,C.  $F(R)$  es la función aditiva para esta mezcla o colorante. Las funciones aditivas tienen diferentes definiciones - según el material a manejar: Para una transmisión:

$$F(R) = \log 1/R \quad (32)$$

Para mezclas de pequeñas partículas, tales como la lana, la función aditiva ha sido probada con la siguiente ecuación dando resultados satisfactorios:

$$F(R) = \frac{1 - R}{m(R - 0.001) + 0.01} \quad m \approx 0.15 \quad (33)$$

Conociendo la función aditiva, el método de predicción general, es el hacer una formulación preliminar y entonces aplicar un proceso de aproximaciones sucesivas -- hasta que llegemos al rango de tolerancia. Empíricamente se ha encontrado que una formulación preliminar puede ser hecha determinando  $a, b, c$  de las ecuaciones:

$$a \sum_x F(R_a) + b \sum_x F(R_b) + c \sum_x F(R_c) = \sum_x F(R_m) \quad (34)$$

$$a \sum_y F(R_a) + b \sum_y F(R_b) + c \sum_y F(R_c) = \sum_y F(R_m) \quad (35)$$

$$a \sum_z F(R_a) + b \sum_z F(R_b) + c \sum_z F(R_c) = \sum_z F(R_m) \quad (36)$$

donde  $\sum_x, \sum_y, \sum_z$  son sumatorias a las condiciones seleccionadas y  $R_m$  es la reflectancia de la muestra.

El siguiente paso es la entrada para alcanzar una igualdad más exacta. Para pequeños cambios  $\Delta a, \Delta b, \Delta c$  en  $a, b, c$  producimos un pequeño cambio  $\Delta R$  en  $R$  de la manera siguiente:

$$\Delta R = \frac{\partial R}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial R}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial R}{\partial c} \Delta c \quad (37)$$

tomando derivadas parciales de la ecuación (31)



$$\frac{\partial F(R)}{\partial R} \frac{\partial R}{\partial a} = F'(R_a) \quad (38)$$

$$\frac{\partial R}{\partial a} = F'(R_a) / F'(R) \quad (39)$$

similarmente:

$$\frac{\partial R}{\partial b} = F'(R_b) / F'(R) \quad \frac{\partial R}{\partial c} = F'(R_c) / F'(R)$$

Utilizando la definición de tristímulus:

$$\Delta X = \int E \bar{x} \Delta R d\lambda \quad (40)$$

Combinando

$$\Delta X = \Delta a \int E \bar{x} \frac{F'(R_a)}{F'(R)} d\lambda + \Delta b \int E \bar{x} \frac{F'(R_b)}{F'(R)} d\lambda + \dots \quad (41)$$

lo anterior es similar para  $\Delta Y$  y  $\Delta Z$ .

Entonces tomando  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  y  $\Delta Z$  como las diferencias entre los valores tristímulus del estándar y la solución preliminar, tres ecuaciones son obtenibles, las cuales definen todas las condiciones necesarias para igualar un tono con cualquier aproximación.

El objetivo de este capítulo es el presentar el método de computación que introducimos para llegar a una primera aproximación la cuál es buena para ciertos tonos; y para una solución más exacta se utiliza un método iterativo, que principia con la solución preliminar.

Para obtener una igualación tristímulus, debemos resolver tres ecuaciones simultáneas no lineales con tres

variables desconocidas, las ecuaciones pueden escribirse de la siguiente forma:

$$F_1(c_1, c_2, c_3) = X \quad (42)$$

$$F_2(c_1, c_2, c_3) = Y \quad (43)$$

$$F_3(c_1, c_2, c_3) = Z \quad (44)$$

donde  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , son los valores tristimulus de la muestra que va ser igualada bajo una fuente de luz específica.  $c_1$ ,  $c_2$  y  $c_3$ , son las concentraciones de los tres colorantes requeridos para la formulación.  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$ , representan las funciones no lineales de las concentraciones.

Empezaremos con el método de linealizar estas ecuaciones para obtener una solución aproximada. En las siguientes expresiones, el espectro visible esta representado por 16 valores de longitudes de onda igualmente espaciadas. Recordaremos que esta solución esta basada en la teoría de Park y Stearns, definiendo:

$$T_r = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (45)$$

y

$$T = \begin{bmatrix} \bar{x}_{400} & \bar{x}_{420} & \dots & \bar{x}_{700} \\ \bar{y}_{400} & \bar{y}_{420} & \dots & \bar{y}_{700} \\ \bar{z}_{400} & \bar{z}_{420} & \dots & \bar{z}_{700} \end{bmatrix} \quad (46)$$

donde  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ , son funciones de la mezcla del color para una condición específica de visión, y los subíndices se re-

fieren a la longitud de onda en nanómetros (nm). De la definición de tristímulos necesitamos la distribución de energía, la cual definiremos:

$$E = \begin{bmatrix} E_{400} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & E_{470} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & E_{700} \end{bmatrix} \quad (47)$$

además:

$$R_f = \begin{bmatrix} R_{400}(f) \\ R_{700}(f) \end{bmatrix} \dots (48); \quad R_m = \begin{bmatrix} R_{400}(m) \\ \vdots \\ R_{700}(m) \end{bmatrix} \dots (49)$$

$R_f$  = reflectancia de la fórmula

$R_m$  = reflectancia de la muestra.

Si tenemos una igualdad perfecta

$$T_r = T E R_m = T E R_f \quad (50)$$

$$T E [R_m - R_f] = 0 \quad (51)$$

La reflectancia o transmitancia de la muestra a cualquier longitud de onda no es muy diferente del valor correspondiente a la formulación, excepto en casos de extremo metamerismo, entonces podemos escribir con una certeza aproximada:

$$\begin{aligned} R_i^{(m)} - R_i^{(f)} &= \Delta R_i = [dR/df(R)] \Delta f(R_i) \\ &= [dR/df(R)]_i [f(R_i)^m - f(R_i)^f] \end{aligned}$$

donde

(52)

...

$dR/df(R)$  = es el valor númerico que representa la razón de cambio de la reflectancia con el cambio en el valor de  $K/S$  correspondiente a la reflectancia particular de la muestra.  $f(R)$  representa cualquier función de  $R$ , en nuestro caso

$$f(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (53)$$

Para un espesor  $X$  infinitamente pequeño se puede demostrar que:

$$R_{\infty} = 1 + (K/S) - [(K/S)^2 + 2(K/S)]^{1/2} \quad (54)$$

Para colorantes en textiles se supone que no contribuyen a la dispersión y sólamente a la absorpcion. La teoría es aplicada en la forma de una constante  $(K/S)$  correspondiente a la constante de absorpcion en la ley de Beer-Lambert para objetos transparentes. Para usos en computación utilizaremos las últimas formulas de la siguiente forma:

$$f^{(m)} = \begin{bmatrix} f(R)_{400}^{(m)} \\ \vdots \\ f(R)_{700}^{(m)} \end{bmatrix} \quad f^{(f)} = \begin{bmatrix} f(R)_{400}^{(f)} \\ \vdots \\ f(R)_{700}^{(f)} \end{bmatrix} \quad (55)$$

y

$$D = \begin{bmatrix} d_{400} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_{420} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & d_{700} \end{bmatrix} \quad (56)$$

donde

$$d_i = dR/df(R)$$

...

Entonces la aproximación para  $R_f$  y  $R_m$  puede ser escrita para todas las longitudes de onda como:

$$R_m - R_f = D [f^{(m)} - f^{(f)}] \quad (57)$$

sustituyendo (57) en (51)

$$TED f^{(m)} = TED f^{(f)} \quad (58)$$

si

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} \quad \dots (59)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} \phi_{100,1} & \phi_{100,2} & \phi_{100,3} \\ \phi_{120,1} & \phi_{120,2} & \phi_{120,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \phi_{300,1} & \phi_{300,2} & \phi_{300,3} \end{bmatrix} \quad (60)$$

donde  $\phi_{100,1}$  representa el valor  $f^{(f)}$  si el colorante #1 fue se usado a la concentración unitaria. Entonces,

$$f^{(f)} = f^{(s)} + \Phi C \quad \dots (61)$$

donde  $f^{(s)}$  es un vector análogo a  $f^{(f)}$ , pero referido al sustrato solo. Sustituyendo (61) en (58)

$$TED \Phi C = TED [f^{(m)} - f^{(f)}] \quad (62)$$

por lo tanto

$$C = [TED \Phi]^{-1} TED [f^{(m)} - f^{(s)}] \quad (63)$$

Hay que hacer notar que la ecuación (63) representa tres ecuaciones lineales y tres variables desconocidas (concentraciones). Las tres cantidades a la derecha del signo son obtenidas por los valores  $f(\lambda)$  de la muestra, - en lugar de los valores  $R$ , pero cada  $f(\lambda)$  debe ser multiplicada por el valor  $dR/d\lambda$  a la misma longitud de onda. Los nueve coeficientes de las concentraciones sobre la izquierda son calculados similarmente de los valores  $f(\lambda)$  de los colorantes individuales, siendo también multiplicados por  $dR/d\lambda$ . Los valores  $dR/d\lambda$  usados para la matriz de nueve coeficientes son los mismos que se utilizan para el miembro derecho de las ecuaciones simultáneas y están basados en las curvas espectrofotométricas de la muestra. Por lo tanto la matriz de nueve coeficientes, que va a ser invertida, no puede ser previamente establecida para los tres colorantes.

#### ITERACION PARA ENCONTRAR UNA IGUALACION MAS CERCANA.

Dependiendo de la técnica computacional utilizada hay varias razones posibles para usar la iteración:

- a) La no linealidad de la función aditiva.
- b) La función derivada es una aproximación  $\gamma$ ,
- c) La relación entre los valores tristímulus y la concentración del colorante no es lineal.

Habiendo obtenido la solución inicial, podemos calcular los valores tristimulus correspondientes a las concentraciones calculadas.

$$K/S_{c_L} = K/S_{\text{SUST}} + \sum_{i=1}^3 C_i \cdot \phi_i^L \quad (64)$$

entonces:

$$R_{c_L} = K/S_{c_L} + 1 - [(K/S_{c_L} + 1)^2 - 1]^{1/2} \quad (65)$$

donde:

$K/S_{c_L}$  = Función aditiva de la fórmula calculada a cada longitud de onda.

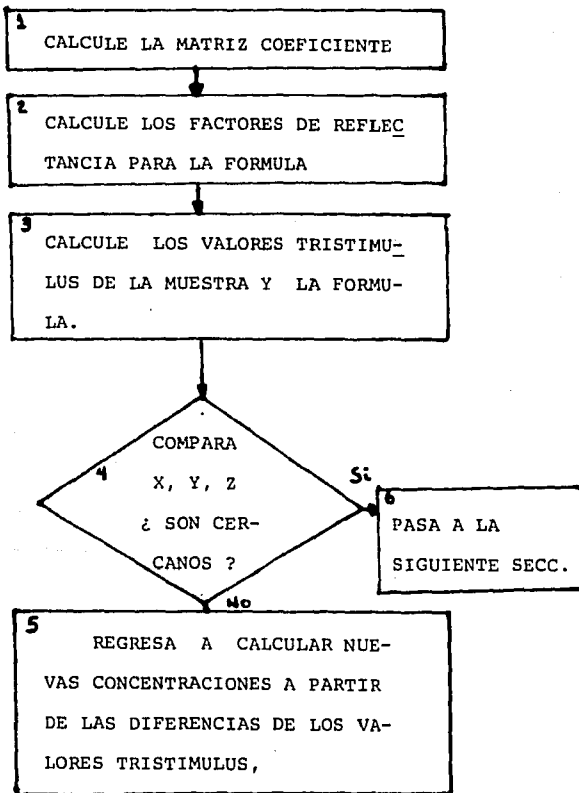
$K/S_{\text{SUST}}$  = Valor de la función de aditividad del sustrato al cual se le aplica la fórmula.

$C_i$  = concentración del colorante  $i$ .

$\phi_i^L$  = Función aditiva específica del colorante  $i$  a cada longitud de onda.

La técnica utilizada para la iteración en pasos sucesivos se encuentra ilustrada en la siguiente figura, notese que los valores que se comparan son los de tristimulus y no los de la reflectancia o funciones aditivas.

...



En el paso 5 obtendremos lo siguiente a partir de las diferencias:

$$\Delta T_v = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} . (66) \quad \Delta C = \begin{bmatrix} \Delta c_1 \\ \Delta c_2 \\ \Delta c_3 \end{bmatrix} . (67)$$



puesto que:

$$\Delta X = \left(\frac{\partial X}{\partial c_1}\right) \Delta c_1 + \left(\frac{\partial X}{\partial c_2}\right) \Delta c_2 + \left(\frac{\partial X}{\partial c_3}\right) \Delta c_3 \quad (68)$$

$$\Delta Y = \left(\frac{\partial Y}{\partial c_1}\right) \Delta c_1 + \left(\frac{\partial Y}{\partial c_2}\right) \Delta c_2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial c_3}\right) \Delta c_3$$

$$\Delta Z = \left(\frac{\partial Z}{\partial c_1}\right) \Delta c_1 + \left(\frac{\partial Z}{\partial c_2}\right) \Delta c_2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial c_3}\right) \Delta c_3$$

Podemos escribir:

$$\Delta T_v = B \Delta C \quad (69)$$

donde:

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial c_1} & \frac{\partial X}{\partial c_2} & \frac{\partial X}{\partial c_3} \\ \frac{\partial Y}{\partial c_1} & \frac{\partial Y}{\partial c_2} & \frac{\partial Y}{\partial c_3} \\ \frac{\partial Z}{\partial c_1} & \frac{\partial Z}{\partial c_2} & \frac{\partial Z}{\partial c_3} \end{bmatrix} \quad (70)$$

pero si ;

$$P = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial R_{400}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial X}{\partial R_{700}^{(m)}} \\ \frac{\partial Y}{\partial R_{400}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial Y}{\partial R_{700}^{(m)}} \\ \frac{\partial Z}{\partial R_{400}^{(m)}} & \dots & \frac{\partial Z}{\partial R_{700}^{(m)}} \end{bmatrix} \quad (71)$$

y ;

$$Q = \begin{bmatrix} \frac{\partial R_{400}^{(m)}}{\partial c_1} & \frac{\partial R_{400}^{(m)}}{\partial c_2} & \frac{\partial R_{400}^{(m)}}{\partial c_3} \\ \frac{\partial R_{420}^{(m)}}{\partial c_1} & \frac{\partial R_{420}^{(m)}}{\partial c_2} & \frac{\partial R_{420}^{(m)}}{\partial c_3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial R_{700}^{(m)}}{\partial c_1} & \frac{\partial R_{700}^{(m)}}{\partial c_2} & \frac{\partial R_{700}^{(m)}}{\partial c_3} \end{bmatrix} \quad (72)$$

...

$$B = P Q \quad (73)$$

$$X = \bar{x}_{400} E_{400} R_{400}^{(n)} + \dots + \bar{x}_{700} E_{700} R_{700}^{(m)} \quad (74)$$

$$\partial X / \partial R = \bar{x}_{400} E_{400} + \dots + \bar{x}_{700} E_{700} \quad (75)$$

$$P = \begin{bmatrix} \bar{x}_{400} E_{400} & \dots & \bar{x}_{700} E_{700} \\ \bar{y}_{400} E_{400} & \dots & \bar{y}_{700} E_{700} \\ \bar{z}_{400} E_{400} & \dots & \bar{z}_{700} E_{700} \end{bmatrix} \quad (76)$$

$$\therefore P = T E \quad (77)$$

$$\begin{aligned} \partial R_{400}^{(m)} / \partial c_1 &= [\partial R / \partial f(R)]_{400} \partial f(R)_{400}^{(m)} / \partial c_1 \\ &= d_{400} \partial f(R)_{400}^{(m)} / \partial c_1 \end{aligned} \quad (78)$$

$$f(R)_{400}^{(m)} = f(R)_{400 \text{ SUST}} + c_1 \phi_{400,1} + c_2 \phi_{400,2} + c_3 \phi_{400,3} \quad (79)$$

deducimos

$$\partial f(R)_{400}^{(m)} / \partial c_1 = \phi_{400,1} \quad (80)$$

$$\partial R_{400}^{(m)} / \partial c_1 = d_{400} \phi_{400,1} \quad (81)$$

entonces

$$Q = \begin{bmatrix} d_{400} \phi_{400,1} & d_{400} \phi_{400,2} & d_{400} \phi_{400,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{300} \phi_{300,1} & d_{300} \phi_{300,2} & d_{300} \phi_{300,3} \end{bmatrix} \quad (82)$$

si sustituimos las ecuaciones (81) y (77) en (73)

$$B = T E D \Phi \quad (83)$$

y por la ecuación (69)

$$\Delta T_r = [T E D \Phi] \Delta C \quad (84)$$

de la cuál

$$\Delta C = [T E D \Phi]^{-1} \Delta T_r \quad (85)$$

En resumen:

La unión entre el proceso de visión del color, las teorías e instrumentos para obtener parámetros de sustancias o materiales que dispersan, absorben, transmiten, etc., y las leyes de mezclado dan como resultado un sistema, que ayudado por las herramientas matemáticas y tecnológicas, concluyen en la medición y formulación del color.

Con la utilización de un programa computacional gran variedad de colorantes (dispersos, ácidos, directos, etc.) son aprovechados para llevar a cabo un proceso de tintura de bajo costo, óptima solidez y por lo tanto, la mejor calidad en cuanto a teñido.

La técnica que utilizamos por primera vez, está derivada de varios algoritmos de algunos investigadores. Estos algoritmos los tratamos de relacionar para formular un programa de computación que simule, lo más cercano posible, la realidad en formulación de color. -- Las operaciones de mayor importancia involucradas son la multiplicación, resta, suma e inversión de matrices. Por lo tanto, la simplificación es absoluta y se puede utilizar para la obtención de las concentraciones necesarias de colorante en el proceso de teñido.

## C A P I T U L O V

Teniendo las bases de la formulación del color procedimos a elaborar un programa de computación - capaz de optimizar el uso de los colorantes dispersos en los procesos de tinte rápida, alta temperatura y - baño corto. El programa está escrito en lenguaje FOR-TRAN IV, como auxiliares en los cálculos se desarrollaron subrutinas para la multiplicación, suma, resta, e inversión de matrices, interpolación de datos y la escritura de matrices.

#### DESCRIPCION DEL PROGRAMA

1) LECTURA DE DATOS.- Reflectancia del sustrato (RSI), Reflectancia de los colorantes a diferentes concentraciones (COLO), Reflectancia de la muestra a igualar (RM), Funciones de igualación del color (T), Distribución espectral de energía de la fuente de luz (E), -- Nombres de los colorantes (CNOM), Concentración de los colorantes (ACONC), Número de colorantes a utilizar (NK), Nombre de colorantes a utilizar (ACNOM).

2) Selección de una combinación de colorantes, ( tres colorantes por combinación ) con los colorantes elegidos por el colorista.

3) Conversión de los valores de reflectancia a valores de función aditiva ( k/s )

4) Calculo de la formula inicial y calculo de valores tristimulus par la formula calculad y la muestra.

5) Iteración para una formulación mas cercana.

6) SALIDA DEL PROGRAMA:

La salida del programa se puede deber a que, en la primera solución, los valores tristimulus sean -- muy cercanos entre la muestra y la formula. La iteración termina cuando llegamos a una igualación de color lo mas cercana , con todas las combinaciones posibles. Si al llegar a 15 iteraciones no son cercanos los valores tristimulus entre la muestra y la formula calculada, se selecciona la siguiente combinación de colorantes.

7) Escritura de las concentraciones de la formula.

DIMENSIONES DE LAS MATRICES UTILIZADAS.

T = Función de igualación de color 3 x 16

E = Valores de la distribución espectral de energía de la fuente de iluminación. 16 x 16

D = Función derivada de la muestra 16 x 16

FI = Función aditiva específica de los colorantes usados en la formulación. 16 x 3

RSI = Función aditiva de la sustrato 16 x 1

RMI = Función aditiva de la muestra 16 x 1

TCU = Concentración de los colorantes 3 x 1

por lo tanto:

$$TCU = T E D (FI) T E D ( RMI - RSI )$$



CCC	FEE	N	N	TTTT	RPR	DDDD	DDD	FFF	CCC	AAAA	L	CCC	U	U	L	DDDD
C	F	MN	N	T	RRR	D D D	D	D F	C	A A A	L	C	U	U	L	D D D
C	F	M N	N	T	RRR	D D D	D	D F	C	A A A	L	C	U	U	L	D D D
C	F	M N	N	T	R R	D D D	D	D F	C	A A	L	C	U	U	L	D D D
CCC	FEE	N	N	T	R P	DDDD	DDD	FFF	CCC	A A	LLLL	CCC	UUUU	LLLL	DDDD	

FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF

```
1 DGC PARTIAL TV REV 05, PAFS
```

```
1 DIMENSION CNOM(20,20),ACONC(100),ALAM(16),COLO(30,30,16),
1 INC(20),SI(4),NSI(16),OSI(16),BS(16),NS(16),TE(30),OTPSA(,OR(16),
1 SACNOM(20,20),NCONC(100),NMT(20),NUM(20),C(1,20),
1 SLTF(3),MTF(3),TFIC(3),DATOS(6),DDATOS(6),TAT(5),TEFI(3),RK(16),
1 RL(16),ICU(1),EUCAR,TRB(3),CONC(10,10),A(3)
```

DIMENSIONANDO VARIABLES

```
1 CALL FOPEN(10,"TMP")
1 CALL FOPEN(12,"SYSOINT")
1 IO=12
1 IN=10
1 NPT=08
1 NTR=16
1 NCR=15+OYS
1 READ(IN,1)
1 FORMAT(16)5)
1 DO 2 I=1,N
1 READ(IN,1)(CNOM(I,II),II=1,20),NCONC(I)
1 3 FORMAT(20A1,15)
1 READ(IN,5)(CONC(I,J),J=1,NCONC(I))
1 READ(IN,5)(CONC(I,J),J=1,NCONC(I))
1 DO 4 K=1,NCONC(I)
1 READ(IN,5)(COLN(I,J,K),K=1,16)
1 CONTINUE
1 46 CONTINUE
1 5 FORMAT(16F10,5)
1 READ(IN,5)(ALAM(I),I=1,16)
```

LECTURA DE DATOS DE TODOS LOS COLOPANTES EXISTENTES

```

1 READ(I=1) NA
2 DO 6 J=1,NA
3 READ(I=J) (ACONC(I,II),II=1,20),ACONC(I)
4 DO 7 J=1,NA
5 IFLAG=0
6 DO 8 K=1,20
7 IF(ACONC(I,K).NE.CMOM(J,K)) GO TO 11
8 GO TO 6
9 IFLAG=1
10 CONTINUE
11 IF(IFLAG.NE.0) GO TO 7
12 NC(I)=J
13 GO TO 14
14 CONTINUE
15 NN=NCOMC(J)
16 DO 9 JJ=1,NA
17 IF(ACONC(I).NE.COMC(J,JJ)) GO TO 9
18 NR(I)=JJ
19 CONTINUE
20 CONTINUE
21 N=NA

```

LECTURA DE DATOS DE LOS COLORANTES A UTILIZAR EN CADA TONO

```

1  *COMBEN=(N-1)*(N-2)/6
2  II=1
3  DO 10 I=1,N-1
4  *I=100*I
5  DO 10 J=I+1,N-1
6  N=I+J
7  DO 10 K=J+1,N
8  NUM(II)=N**K
9  II=II+1
10 GO TO 10
11 DO 30 I=1,NCOMP
12 DO 31 J=1,3
13 NUM(J)=0
14 DO 32 J=1,3
15 NEXP=3-J
16 A=NR(I)/(10**NEXP)
17 35 IF(A.GT.1M0) GO TO 33
18 NUM(J)=(NA-I)/(10**NEXP)-A
19 GO TO 34
20 43 A=A-1
21 GO TO 35
22 NR(I)=NR(I)-NUM(J)+10**NEXP
23 32 CONTINUE

```

NUMERO DE COMBINACIONES POSIBLES (3 COLORANTES POR COMBINACION)

```

APL
DO 50 I=1,3
DO 50 K=1,16
KP=KP+1
FI(KP)=CONJ(NF(HUM(I)),HFI,*)
50 CONTINUE
CALL ESCMAT(FI,16,16,3)
IC=0
DO 51 KP=1,46
51 FI(IP)=FI(KP)/100.00
DO 52 I=1,3
DO 52 IV=1,16
IC=IC+1
52 FI(IC)=FI(IC)/CONC(NC(MIN(IR),N(IR)))
53 FI(IC)=FI(IC)/CONC(NC(MIN(IR),N(IR)))
N=0
CALL ESCMAT(FI,16,16,3)
READ(IN,100)(RSI(IS),IS=1,NIS)
CALL ESCMAT(RSI,16,16,1)
READ(IN,100)(TE(IS),IS=1,NFI)
CALL ESCMAT(TE,3,3,16)
READ(IN,100)(RM(IM),IM=1,NIS)
CALL ESCMAT(RM,16,16,1)
DO 2 IR=1,NFI
4 FI(IP)=(1-FI(IR))**2/(2*FI(IR))
CALL ESCMAT(FI,16,16,3)
DO 90 ID=1,NIC
90 D(ID)=0.0
DO 91 I=1,NIS
ID=(I-1)*NIS+1
91 D(ID)=(2*RM(I)**2)/(-1*(1-RM(I))*(RM(I)+1))
CALL ESCMAT(D,16,16,16)
DO 92 IP=1,NIS
RM(IP)=(1-RM(IR))**2/(2*RM(IR))
92 RS(IP)=(1-RS(IR))**2/(2*RS(IR))
CALL ESCMAT(FI,16,16,3)
CALL MPRD(FI,C,FC,16,3,1)
CALL ESCMAT(FI,C,FC,16,1)
CALL ESCMAT(RM,16,16,1)
CALL MPRD(RS,RR,NIS)
CALL ESCMAT(RS,16,16,1)
CALL ESCMAT(RR,16,16,1)
CALL MPRD(TE,D,TD,3,16,16)
CALL ESCMAT(TE,3,3,16)
CALL ESCMAT(TED,3,3,16)
CALL MPRD(TED,RR,TRR,3,16,1)
CALL ESCMAT(TRR,3,3,1)
CALL MPRD(TED,FI,TFI,3,16,3)
CALL ESCMAT(TFI,3,3,3)
CALL MPRD(FI,C,FC,3,3,1)
CALL ESCMAT(TFI,C,FC,3,3,1)
CALL MINV(TFI,3,DET,(TFI,MTFI))
CALL ESCMAT(TFI,3,3,3)
CALL MPRD(TFI,TRR,TCU,3,3,1)
CALL ESCMAT(TCU,3,3,1)
100 FORCAT(10FR,0)

```

PROGRAMA DE LA SOLUCION APROXIMADA

```

70 DO 55 I=1,3
:
: IC=0
: KW=0.0
: LAM=1
: DIM W(4000)
: C(1)=C(NUM)
: DO 50 J=1,6
: KW=KW+1
: DDATOS(KW)=CONC(NCC,J)
50 DATOS(KW)=COLO(NCC,J,LAM)
: IC=IC+1
: CALL LAGRAM(DDATOS,DATOS,6,TCU(ID),FI(IC))
: FI(IC)=FI(IC)/100.0
: LAM=LAM+1
: IF(LAM.GT.16) GO TO 200
53 CONTINUE
: IC=0
200 DO 55 IR=1,3
: DO 55 IV=1,16
: IC=IC+1
55 FI(IC)=FI(IC)/TCU(IR)
: CALL ERCPAT(FI,16,16,3)
: IR=0
: IN=16
: IC=32
: XF=0.0
: XS=0.0
: YF=0.0
: YS=0.0
: ZF=0.0
: ZS=0.0
: DO 55 IV=1,16
: IC=IC+1
: RK(IV)=RST(IV)+TCU(1)*FI(IV)+TCU(2)*FI(IV)+TCU(3)*FI(IC)
: RL(IV)=RK(IV)+1-SQRT((RK(IV)+1)**2)-1)
: LL=1
: LN=2
: LC=3
: XF=XF+TE(LL)*RL(IV)
: YF=YF+TE(LN)*RL(IV)
: ZF=ZF+TE(LC)*RL(IV)
: XS=XS+TE(LL)*RM(IV)
: YS=YS+TE(LN)*RM(IV)
: ZS=ZS+TE(LC)*RM(IV)
: LL=LL+3
: LN=LN+3
: LC=LC+3
56 CONTINUE
: DELX=XF-YX
: DELY=YF-YS
: DELZ=ZF-ZS
: IF(DELX.GT.0.1.OR.DELY.GT.0.1.OR.DELZ.GT.0.1) GO TO 500

```

ENCONTRANDO DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES TRISTIMULOS

```

?      S20 AT(2)=DELX
?      AT(1)=DELY
?      AT(3)=DELZ
?      CALL MPRD(TED,FI,TEFI,7,16,3)
?      CALL ESCMAT(TEFI,3,3,3)
?      CALL MINV(TEFI,3,DET,LTFI,4TFI)
?      CALL ESCMAT(TEFI,3,3,3)
?      CALL MPRD(TEFI,AT,3,3,1)
?      CALL MPRD(TEFI,AT,TAT,3,3,1)
?      CALL ESCMAT(TAT,3,3,1)
?      DO 501 J=1,3
?      TCU(I)=TCU(I)+TAT(I)
?      CALL ESCMAT(TCU,3,3,1)
?      GO TO 70
?      STOP
?      END
?      ENIL

```

ITERACION PARA UNA SOLUCION MAS EXACTA

7 DGC FORTY-IV REV 05,2065

```

SUBROUTINE MINV(A,N,D,L,M)
C SUBROUTINE MINV
DIMENSION A(I),L(I),M(I)
D=1.0
NK=N
DO 20 K=1,N
NK=N+K
L(K)=K
M(K)=K
K=K+K
RTGA=A(KK)
DO 20 J=K,N
IP=N+(-1)
DO 20 JK=N
IJ=I+J
IF(ABS(RTGA)-ABS(A(IJ)))15,20,20
15 RTGA=A(IJ)
L(I)=I
M(I)=I
20 CONTINUE
L(N)=N
IF(J-K)35,38,25
25 K=K-N
DO 30 I=1,N
KI=KI+N
HOLD=A(KI)
J=KI-K+J
A(KI)=A(JI)
30 A(JI)=HOLD
35 J=K
IF(I-K)45,45,38
38 JP=N+(-1)
DO 40 J=1,N
JK=N+J
J=J+J
HOLD=A(JK)
A(JK)=A(JI)
40 A(JI)=HOLD
45 IF(RTGA)48,46,48
46 D=0.0
RETURN
48 DO 55 I=1,N
IF(I-K)50,55,50
50 IK=N+I
A(IK)=A(IK)/(-RTGA)
55 CONTINUE
DO 60 I=1,N
IK=N+I
HOLD=A(IK)
I=I+N
DO 65 J=1,N
IJ=I+J
IF(I-K)60,65,60
60 IF(J-K)62,65,62
62 KJ=J-I+K
A(IJ)=HOLD+A(KJ)+A(IJ)
65 CONTINUE
KJ=K-N
DO 75 J=1,N
KJ=KJ+N
IF(J-K)70,75,70
70 A(KJ)=A(KJ)/RTGA
75 CONTINUE
D=D*RTGA

```



```

1 A(KK)=1.0/BTGA
2 GO CONTINUE
3 *
4 100 K=(K-1)
5 IF (K)150,150,105
6 105 I=(K)
7 IF (I-K)120,120,108
8 108 JR=N+(K-1)
9 JR=N+(I-1)
10 DO 110 J=1,N
11 JK=JR+J
12 HOLD=A(JK)
13 JI=JR+J
14 A(JK)=A(JI)
15 110 A(JI)=HOLD
16 120 J=(K)
17 IF (J-K)100,100,125
18 125 KI=N-K
19 DO 130 I=1,N
20 KI=KI+I
21 HOLD=A(KI)
22 JI=KI-K+J
23 A(KI)=A(JI)
24 130 A(JI)=HOLD
25 GO TO 100
26 150 RETURN
27 END

```

PROGRAM IS RELOCATABLE

\_\_\_\_\_ .TITL \_\_\_\_\_ MINV \_\_\_\_\_

SUBROUTINA PARA INVERSION DE MATRICES

```

; DEC FOOTPRINT REV 05.2065
;
; SUBROUTINE LAGRAN(X,Y,N,XD,YD)
; DIMENSIO(1) X(1),Y(1)
;
; IO=12
; EPROR=1.E-06
; YD=0.0
; DO 20 J=1,N
;
;   XN=1.0
;   XD=1.0
;   DO 10 I=1,N
;     IF (.EQ. J) GO TO 10
;     XN=(XO-X(I))*XN
;     XD=(X(J)-X(I))*XD
;   10 CONTINUE
;     IF (ABS(XN).LT.ERROR.OR.ABS(XD).LT.ERROR) GO TO 30
;     YD=YD+Y(J)*XN/XD
;   20 CONTINUE
;   RETURN
; 30 DO 40 I=1,N
;     XN=X(I)-XO
;     IF (ABS(XN).LT.ERROR) GO TO 50
;   40 CONTINUE
;   WRITE (10,45)
;   45 FORMAT(22H ERROR EN LOS CALCULOS)
;   RETURN
; 50 YD=Y(I)
;   RETURN
; END

```

```

PROGRAM IS RELOCATABLE .TTL LAGRAN

```

SUBROUTINA PARA ITERACION DE DATOS POR EL METODO DE LAGRANGE

```

* DGC FORTRAN IV REV 05.2065
*
* SUBROUTINE MPLUS(A,P,R,N)
* DIMENSION A(I),R(I),R(I)
* DO 110 I=1,N
* 110 R(I)=A(I)+B(I)
* RETURN
* END
PROGRAM IS RELOCATABLE .TITL MPLUS
* FORTRAN/LS 55/B

```

SUBROUTINA PARA ADICION DE MATRICES

```

* DGC FORTRAN IV REV 05.2065
*
* SUBROUTINE MSUB(A,P,R,N)
* DIMENSION A(I),R(I),R(I)
* DO 110 I=1,N
* 110 R(I)=A(I)-B(I)
* RETURN
* END
PROGRAM IS RELOCATABLE .TITL MSUB
* FORTRAN/LS 53/A

```

SUBROUTINA PARA LA SUSTRACCION DE MATRICES

```

; DGC FORTMAN IV REV 05.20ES

```

```

; SUBROUTINE ESCMAT(A,II,N,M)
; C II ES EL NUMERO PRIMERO DE LA DIMENSION DOBLE
; DIMENSION A(1)
; IO=12
; KK=0
; DO 10 KI=1,M,10
; JK=149
; IF (J.GT.4) J=M
; WRITE(10,20)(IK,IK=KI,J)
; DO 15 I=1,N
; JK=JK+1
; IJ=(J-1)*I+I
; WRITE(10,30)I,(A(K),K=JK,IJ,II)
; 15 CONTINUE
; KK=1
; 10 CONTINUE
; WRITE(12,50)
; RETURN
; 20 FORMAT(//,13X,10I12)
; 30 FORMAT( 6X,12,10F12.4)
; 50 FORMAT(//)
; END

```

```

PROGRAM IS RELOCATABLE .TITL ESCMAT
; FORT/B/L S4/R

```

### SUBROUTINA PARA ESCRITURA DE MATRICES

```

; DGC FORTMAN IV REV 05.20ES

```

```

; SUBROUTINE MPRD(A,R,R,N,M,L)
; R1=PRISION A(1),M(1),R(1)
; IR=1
; DO 90 K=1,L
; DO 90 J=1,M
; R(IR)=0.0
; DO 80 I=1,N
; IA=N*(I-1)+J
; IR=N*(K-1)+I
; R(IR)=R(IR)+A(IA)*R(IR)
; 80 CONTINUE
; 90 IR=IR+1
; RETURN
; END

```

```

PROGRAM IS RELOCATABLE .TITL MPRD
; FORT/B/L S2/R

```

### SUBROUTINA PARA PRODUCTO DE MATRICES

"REFLECTANCIAS DE TONOS A IGUALAR"

TABLA A

nm	cereza	beige	azul	rojo	amarillo	verde	lila
400	10.10	14.50	20.80	2.42	2.45	4.83	16.20
420	14.20	15.10	19.60	2.50	2.55	5.01	17.40
440	11.80	15.70	19.20	2.80	3.26	6.07	17.70
460	7.90	16.20	21.50	2.86	5.93	9.77	16.40
480	4.99	17.30	24.00	2.68	10.60	19.00	13.70
500	3.87	23.00	20.10	2.32	16.30	25.60	11.80
520	3.37	23.30	19.11	2.22	20.32	25.61	10.70
540	3.51	25.10	14.09	2.33	22.22	23.71	10.60
560	4.12	25.80	9.65	2.79	24.82	18.01	12.00
580	7.99	28.90	6.13	6.44	29.92	12.10	14.10
600	24.70	30.30	4.48	22.14	35.43	7.54	15.61
620	53.90	32.50	3.58	49.56	39.40	4.98	15.90
640	73.51	32.80	3.20	63.70	39.90	4.02	17.30
660	81.50	37.20	3.96	67.70	42.40	3.95	26.60
680	84.00	53.60	6.98	70.30	51.10	5.06	43.40
700	87.20	66.90	11.40	74.50	60.90	22.90	60.00

## "RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PROGRAMA ACS Y EL PROGRAMA COLOR"

TABLE B

TONO: lila

COLOFANTE	ACS	COLOR	DIFERENCIA %
ROJO TERASIL 3BLA	0.1617	0.1882	-16.37
AZUL PAMACRON BCP	0.0652	0.0624	04.29
NEGRO PAMACRON GTMR	0.2277	0.2055	-09.75
ROJO TERASIL 3BLA	0.1609	0.1872	-16.35
AZUL LATYL CBM	0.0489	0.0428	-12.57
NEGRO PAMACRON GTMR	0.2287	0.2082	-08.97
NARANJA RESOLIN F3R	0.0000	0.0026	-26.00
ROJO SAMARON HGL	0.2181	0.1812	-16.93
AZUL LATYL RS	0.2186	0.2036	-06.85
ROJO SAMARON HGL	0.2178	0.1811	-16.85
ROJO TERASIL 3BLA	0.0002	0.0000	02.00
AZUL LATYL RS	0.2186	0.2035	-06.90
ROJO SAMARON HGL	0.2179	0.1814	-06.73
RUBI LATYL 4B	0.0000	0.0000	00.00
AZUL LATYL RS	0.2188	0.2037	-06.89

## "RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PROGRAMA ACS Y EL PROGRAMA COLOR"

TABLA C

TONO: cereza

COLORANTE	ACS	COLOR	DIFERENCIA %
ROJO SAMARON HGL	0.0000	0.0000	00.00
RUBI LATYL 4B	0.0000	0.0000	00.00
ROJO TERASIL 3BLA	1.1624	1.1417	01.78
ROJO SAMARON HGL	0.0000	0.0000	00.00
ROJO TERASIL 3BLA	1.1669	1.1384	02.44
NEGRO PAMACRON GTMR	0.0000	0.0000	00.00
NARANJA RESOLIN F3R	0.0097	0.0082	15.46
CEREZA LATYL N	0.3832	0.3564	07.00
RUBI LATYL 4B	0.0870	0.0773	10.07

TONO: beige

AMARILLO LATYL 3G	0.0127	0.0122	03.60
NARANJA RESOLIN F3R	0.1148	0.1031	10.17
AZUL LATYL RS	0.1148	0.1074	06.45
AMARILLO LATYL 3G	0.0716	0.0697	02.70
ROJO SAMARON HGL	0.0783	0.0636	18.75
AZUL LATYL RS	0.0538	0.0497	07.60
AMARILLO LATYL 3G	0.0741	0.0721	02.70
CEREZA LATYL N	0.0412	0.0379	07.93
AZUL LATYL RS	0.0537	0.0494	08.00

## "RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PROGRAMA ACS Y EL PROGRAMA COLOR"

TABLA D

TONO: azul

COLORANTE	ACS	COLOR	DIFERENCIA %
AMARILLO LATYL 3G	0.0000	0.0000	00.00
AZUL PAMACRON BCP	0.1833	0.1643	10.37
VERDE DISPERSOL C6B	0.6910	0.6437	06.84
RUBI LATYL 4B	0.0000	0.0000	00.00
AZUL LATYL RS	0.0970	0.0943	02.78
VERDE DISPERSOL C6B	0.7856	0.7344	06.51
AZUL PAMACRON BCP	0.0306	0.0273	10.78
AZUL LATYL CBM	0.0711	0.0632	11.11
VERDE DISPERSOL C6B	0.8286	0.7936	04.22

TONO: rojo

AMARILLO LATYL 3G	0.8187	0.7736	05.50
CEREZA LATYL N	4.6102	3.9200	15.02
RUBI LATYL 4B	0.1687	0.1415	16.12
AMARILLO LATYL 3G	0.0000	0.0000	00.00
RUBI LATYL 4B	0.0048	0.0043	10.41
ROJO LATYL BM	1.2649	1.1736	07.21



"RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PROGRAMA ACS Y EL PROGRAMA COLOR"

TABLA E

TONO: amarillo

COLORANTE	ACS	COLOR	DIFERENCIA %
AMARILLO LATYL 3G	1.4683	1.3163	10.35
NARANJA RESOLIN F3R	0.0000	-0.0120	01.20
AZUL LATYL RS	0.0481	0.0455	05.40
AMARILLO LATYL 3G	1.3830	1.3146	04.94
RUBI LATYL 4B	0.0000	0.0000	00.00
NEGRO PAMACRON GTMR	0.0773	0.0713	07.76
AMARILLO LATYL 3G	1.3932	1.3035	06.43
ROJO TEPASIL 3BLA	0.0000	0.0000	00.00
NEGRO PAMACRON GTMR	0.0741	0.0693	06.47

TONO: verde

AMARILLO LATYL 3G	0.2397	0.1837	23.36
RUBI LATYL 4B	0.0000	0.0000	00.00
VERDE DISPERSOL C6B	0.7072	0.6744	04.63

En resumen:

El programa lleva a cabo las matemáticas del control e igualación del color. Los valores numéricos de k/s para la utilización de cada uno de los colorantes son ajustados. Generalmente se utilizan las siguientes concentraciones de colorantes para su almacenamiento.

Colorantes directos	0.25 a 0.5 %
Colorantes Basicos	0.25 a 0.5 %
Colorantes Acidos	0.25 a 0.5 %
Colorantes Dispersos	0.25 a 5.0 %

Los valores k/s los obtenemos de las mediciones de la reflectancia de la muestra. Debido a la capacidad de manejo de la computadora podemos trabajar con 16 valores de k/s, los cuales son calculados con intervalos de 20nm en todo el espectro visible (400 a 700 nm). El operador selecciona los colorantes que desee utilizar y despues calcula por medio del programa la solución aproximada a la muestra, si no esta en el rango de tolerancia se continua a la solución mas exacta.

La primera formulación de color por supuesto no será perfecta, siendo los principales factores de la

diferencia:

- a) El grado de control del proceso
- b) Que el archivo de colorantes repita en pro  
ducción.
- c) La certeza con la cual las ecuaciones repre  
sentan el proceso de igualación de color.

CAPITULO VI

### REUTILIZACION DEL AGUA

En los capítulos anteriores tratamos de controlar el uso de colorantes optimizándolos en un proceso de tintura rápida, de alta temperatura y baño corto, creando un programa de igualación de color. El método utilizado es capaz de manejar diferentes formulaciones con distintos colorantes, dando la oportunidad de suplir en cierto momento un colorante o la formulación completa por no haber en el mercado o las solídecas no son del todo buenas.

Anteriormente mencionamos una clasificación de colorantes según su valor energético (a, b, c, d) y dependiendo del valor energético utilizaremos mayor o menor energía para obtener las cualidades esenciales del colorante; al teñir en máquinas de tintura rápida pudimos mezclar colorantes de diferente valor energético, teniendo tinturas con buena igualación, buena solidez y reducción de costos. Debido a problemas del hilo antes del proceso de tintura no todos los artículos presentaban las características suficientes para un buen teñido (rayado de tejido, barre, etc.), entonces en una máquina con ciclo de tintura rápida es po -

sible en muchos casos tener mejores uniformidades con colorantes de diferente valor energético. Al decir uniformidades no sólo lo debemos enfocar a proceso en teñido sino también a las descargas generales de estas máquinas y para comprobar lo anterior se hicieron experimentos que se detallarán más adelante.

Conociendo una industria textil (Procesos Húmedos), nos daremos cuenta de la cantidad de agua que se utiliza en los procesos anteriores a la tintura y en la misma. Este líquido tan vital para la subsistencia de este ramo textil debemos racionalizarlo de una manera tal que se contamine lo menos posible y/o reutilizarlo para cualquier otro proceso.

La reutilización del agua en procesos de tintura debe estar dentro de ciertos límites que nos den confiabilidad de obtener un buen teñido. Los parámetros seleccionados y cuantificados fueron:

- i) Aspecto físico
- ii) PH
- iii) Temperatura
- iv) % sólidos
- v) Cloruros, fosfatos, sulfitos.

Los criterios de esta selección son:

i) Aspecto físico. Con una buena observación - podremos saber si el agua puede ser reutilizada en un tono claro, medio u oscuro.

ii) PH. 5.0 a 5.5 es el exigido por el proceso de tintura.

iii) Temperatura. Este parámetro es importante, porque tendremos un ahorro de energía.

iv) Porcentaje (%) de sólidos. La utilización de productos auxiliares (colorantes, detergentes, etc.) - ayuda al incremento de sólidos que pueden ser perjudiciales para el teñido.

v) Cloruros, fosfatos y sulfitos. Una cuantificación certera es recomendable y un exceso de agentes - electrolíticos o reductores son nocivos para el colorante.

### DESARROLLO DE LA PRUEBA PARA REUTILIZAR EL AGUA

La base de este experimento consiste en cuantificar los contaminantes del agua y si están entre ciertos límites se podrá usar el agua sin ningún tratamiento. El desviarnos de dar tratamiento al agua residual obedece a que cada agua residual de la industria es específico de ella y no podemos generalizar, entonces si únicamente racionalizamos el consumo de agua en los procesos húmedos estaremos ayudando a la subsistencia de la Industria en zonas donde la escasez va en aumento; además otro factor importante fué el no poder cuantificar el BOD (demanda bioquímica de oxígeno) por falta de instrumentación adecuada, y finalmente creemos que la construcción de una planta de tratamiento secundario de aguas residuales, después de la reutilización del agua, es un costo a veces muy alto que únicamente perjudica al consumidor.

Un tratamiento de agua residual consiste en remover o reducir los diferentes contaminantes presentes, puesto que éstos tienden al decremento de la calidad del agua, siendo contaminantes comunes sólidos en suspensión, color y materia orgánica oxidable. Los métodos consisten

...



en disminuir la materia oxidable presente.

Existen tres categorías de tratamiento: primario, secundario y terciario. El tratamiento primario consiste en remover partículas por filtración o sedimentación más una forma de estabilizar los sólidos depositados. El tratamiento secundario consiste en un tratamiento adicional de una porción de agua residual para remover sólidos suspendidos y disueltos (es casi obligatorio el usar un tratamiento secundario para alcanzar una satisfactoria reducción en el BOD). Tratamientos terciarios no son utilizados para aguas residuales de la industria textil.

El tratamiento de aguas residuales no se excluye completamente del presente trabajo, pero los límites sobre los cuales trabajamos nos dieron una seguridad de obtener buenos teñidos, sin necesidad del tratamiento de aguas.

El desarrollo consistió en recolectar aguas residuales de máquinas de tintura rápida y máquinas con ciclo de tintura lenta. La recolección se hizo en 10 días y comenzó en el mes de enero de 1979 para máquinas con ciclo de tintura lenta y en el mes de julio del mismo año para máquinas con ciclo de tintura rápida. En cada día se recolectaron 4 muestras. Los pasos a seguir fueron los si-

guientes:

I.- Ciclo de tintura lenta

- i) Cuantificación de parámetros.
- ii) Teñir muestras en laboratorio (café, azul cielo).
- iii) Lectura de reflectancia y formulación por minicomputadora ACS

II.- Ciclo de tintura rápida

- i) Cuantificación de parámetros.
- ii) Teñir muestras en laboratorio (azul cielo)
- iii) Lectura de reflectancia y formulación por minicomputadora PDP-11 con programa ACS.

Se trató de crear una representatividad de todas las descargas que se hacen en la empresa, tomando en cuenta los valores máximos obtenidos.

	<u>Agua residual</u>	<u>Agua cruda</u>
Color	TURBIA CAFE	INCOLORA
PH	4.0	7.4
Sólidos ppm	1275.0	300.0

Dureza p.p.m. (CaCO <sub>3</sub> )	346.0	128.0
Cloruros p.p.m. (Cl)	250.0	14.5
Alcalinidad OH <sup>-</sup>	0.0	220.0

Las diferencias obtenidas demostrarón que las aguas residuales, que proceden de las descargas , tienen un limitado uso textil en la fase de los procesos húmedos, si se pretende utilizar directamente, sin ningún tratamiento previo. Probablemente se podrán destinar a enjuagues, lavados de tonos medios y oscuros, aguas de enfriamiento, pero para la --tintura de poliéster en baño corto, existen bastantes limitaciones técnicas importantes.

De los valores obtenidos del análisis, se realizó una nueva determinación de sulfitos, sílice y fosfatos. Obteniendose:

	<u>Agua residual</u>	<u>Cruda</u>
Sulfitos	1.0	32.0
Sílice	42.5	50.0
Fosfatos	10.0	0.0

...

La tintura en el laboratorio se realizó bajo las siguientes condiciones:

Peso del material	5 gr.
Composición	100 % poliéster
pH	4.5
X %	colorantes dispersos
Igualador o dispersante	1.3 g/lit
Temperatura	130°C
Tiempo	60 minutos
Lavar y Enjuagar	

Las concentraciones de colorante en cada tono:

I	Testigo sin colorante, sólo productos auxiliares
II	0.002% amarillo disperso 54
	0.003% naranja disperso 25 ( hueso )
	0.001% azul disperso 56
III	0.025% azul disperso 87
	0.030% azul disperso 56 ( cielo )
IV	0.600% amarillo disperso 54
	1.490% naranja disperso 25
	0.220% rojo disperso 60 ( café )
	1.034% azul disperso 35

Como aclaración debemos hacer notar que la re-

lación de baño para el proceso de tintura es:

- 1:40 en equipo de tintura convencional
- 1:9 en equipo de tintura rápida
- 1:40 en el equipo utilizado en laboratorio

Teniendo las 160 muestras se procedió a la curva de reflectancia y formulación de color de cada una de las muestras, por medio de la minicomputadora PDP-11, con programa de igualación de color de ACS, con un espectrofotómetro con esfera integradora adaptado a la minicomputadora (Ver gráficas). (Testigo, Hueso, Cielo y Café)

El procedimiento seguido se basó en las características de la planta, sus desechos, etc. Este mismo procedimiento posiblemente no pueda ser empleado por otra empresa. Se efectuó la optimización del uso de colorantes y reutilización para un teñido de mayor o menor intensidad, de menor brillantez (tonos sucios), según sea el resultado del análisis del agua residual y se utilizó el agua sin tratamiento anterior a la tintura, cuidando los parámetros que seleccionamos.

Todos los puntos anteriores los podemos interpretar de las Gráficas  $R$  vs  $\lambda$  de la siguiente manera:

i) Si llegamos a un proceso ideal, las curvas de reflectancia se transpondrán haciendo una sola curva, pero no existe una reacción ideal entre el colorante y la fibra debido a las condiciones de la tintura.

ii) La primera serie de curvas (testigo), son tinturas únicamente de los baños residuales, los cuales trataremos de reutilizar en algún tono.

Las concentraciones obtenidas para estas curvas son:

Gráfica Testigo 1:

de 0.0536% de colorante total hasta 0.0026%

Gráfica Testigo 2:

de 0.0873% de colorante total hasta 0.0034%

Gráfica Testigo 3:

de 0.0855% de colorante total hasta 0.00345%

Gráfica Testigo 4:

de 1.0895% de colorante total hasta 0.0043%

Gráfica Testigo 5:

de 0.0156% de colorante total hasta 0.0031%

Las gráficas hueso, cielo y café, nos muestran - que existen cierto tipo de aguas, en las cuales podemos - teñir un tono hueso, en otras un tono cielo y si están - - más coloreadas utilizarlas en un tono medio u oscuro.

Entre los baños residuales obtuvimos algunos - que contenían demasiado color y no pudimos reutilizarlos - para el tono café. Esto quiere decir que la optimización del color era un factor indispensable para el reciclaje -- del agua. En la segunda parte del experimento utilizamos la minicomputadora PDP-11, el programa de igualación de -- color y máquinas con ciclo de tintura rápida, asimismo re--colectamos durante 8 días muestras de baño residual y vol--vimos a teñir en laboratorio un tono cielo.

Los resultados obtenidos se muestran en las gráficas cielo OPT. Estos resultados indican que la optimiza--ción del color no es total, pero poco falta para llegar a un proceso real, que tiene un balance de materia lo más -- cercano a la idealidad, además de que con estos baños resi--duales es posible teñir tonos claros y ligeramente medios.

...

Las concentraciones de colorante cuantificadas  
con estos baños fueron:

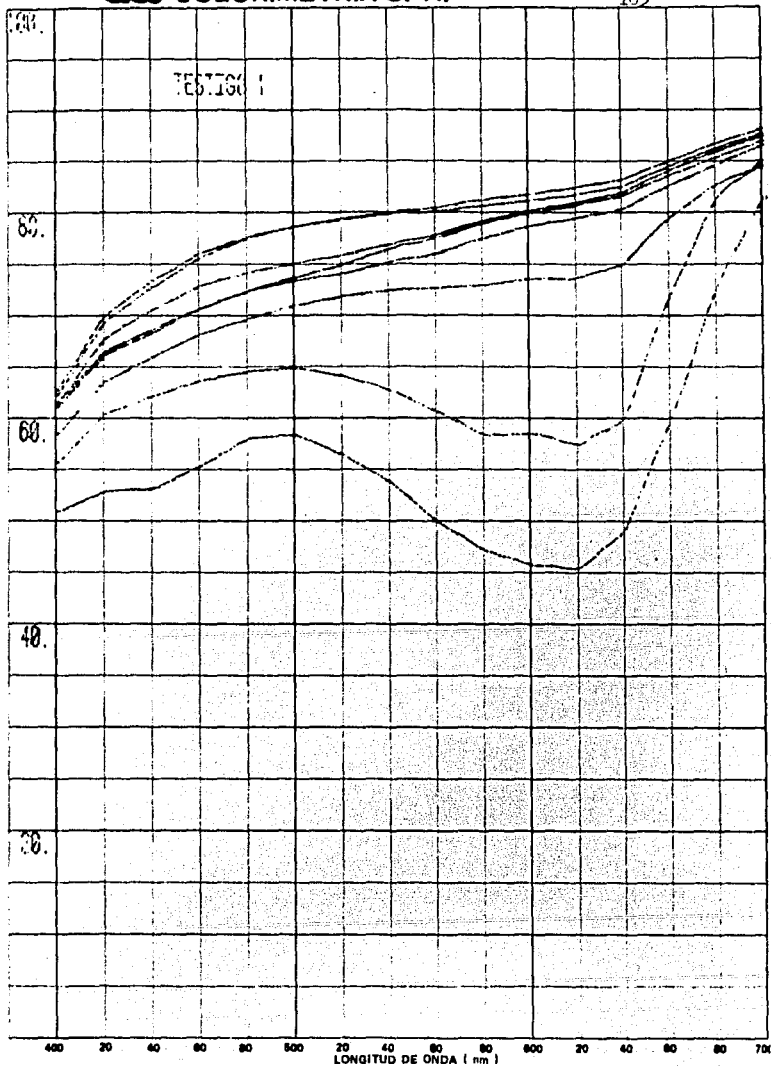
0.0661 a 0.0861 %

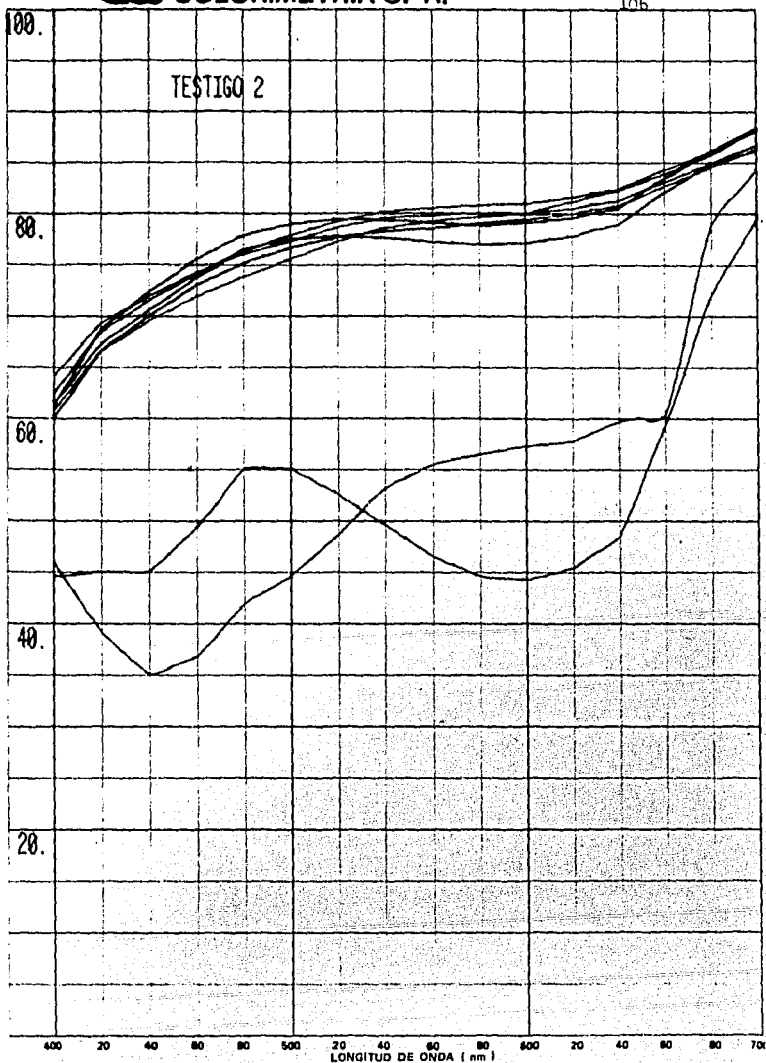
y para el estandard:

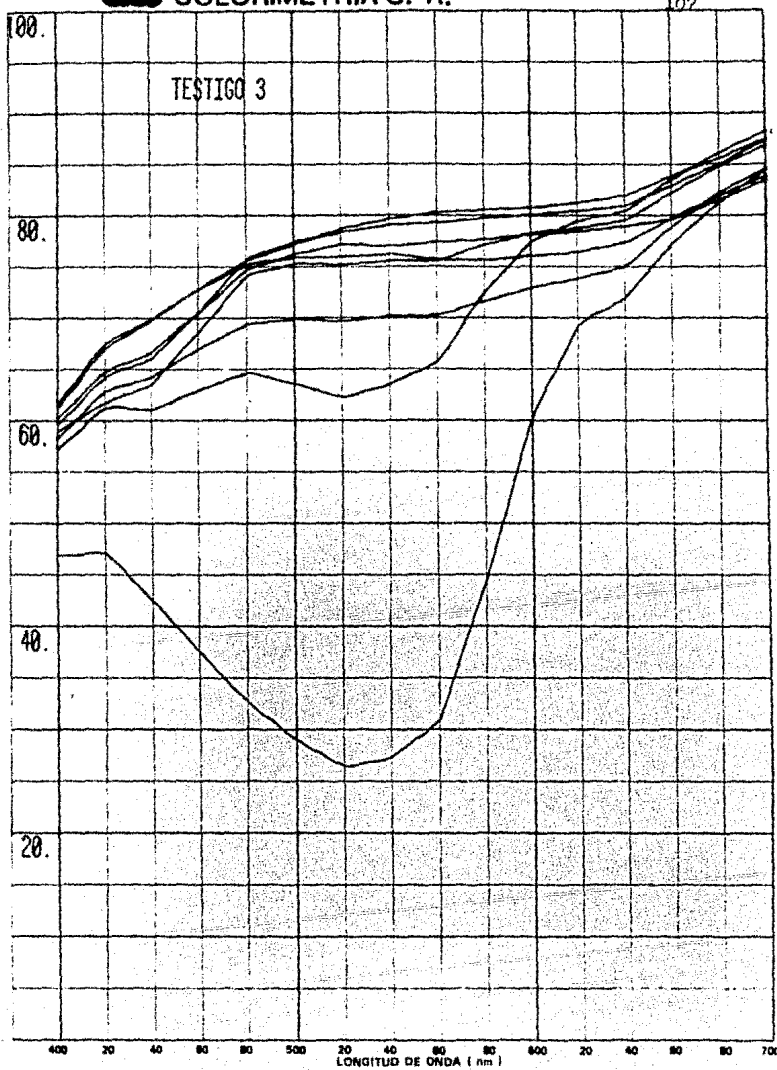
0.0827 %

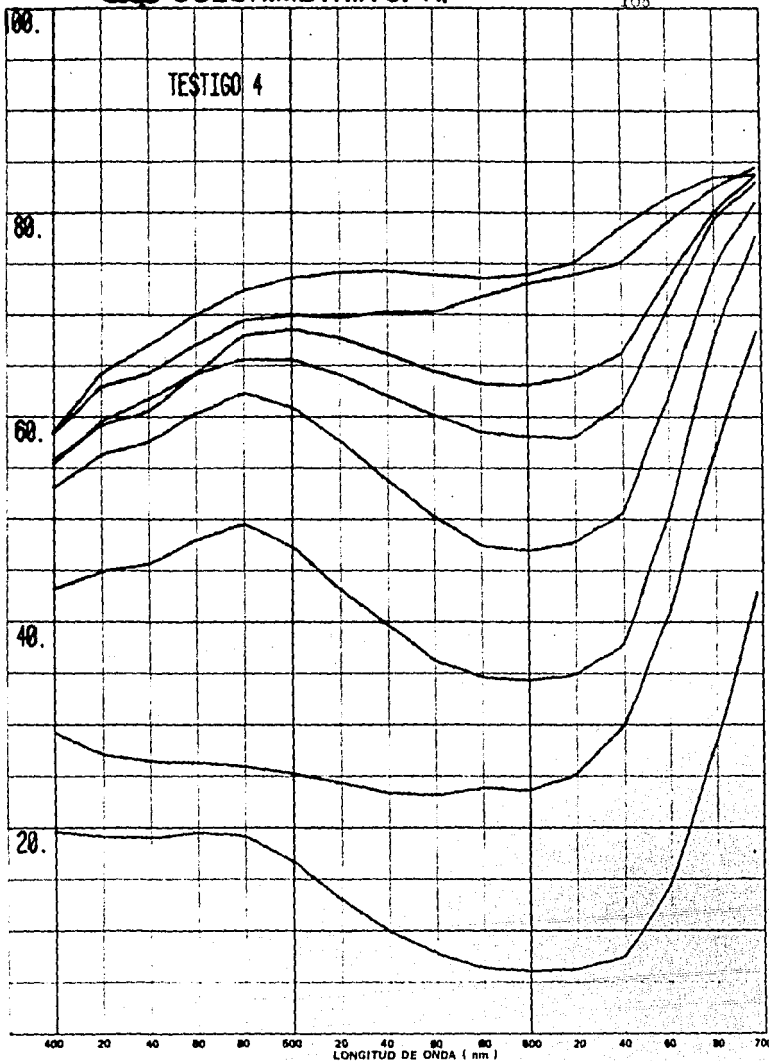
teniendo una diferencia del 25 %.

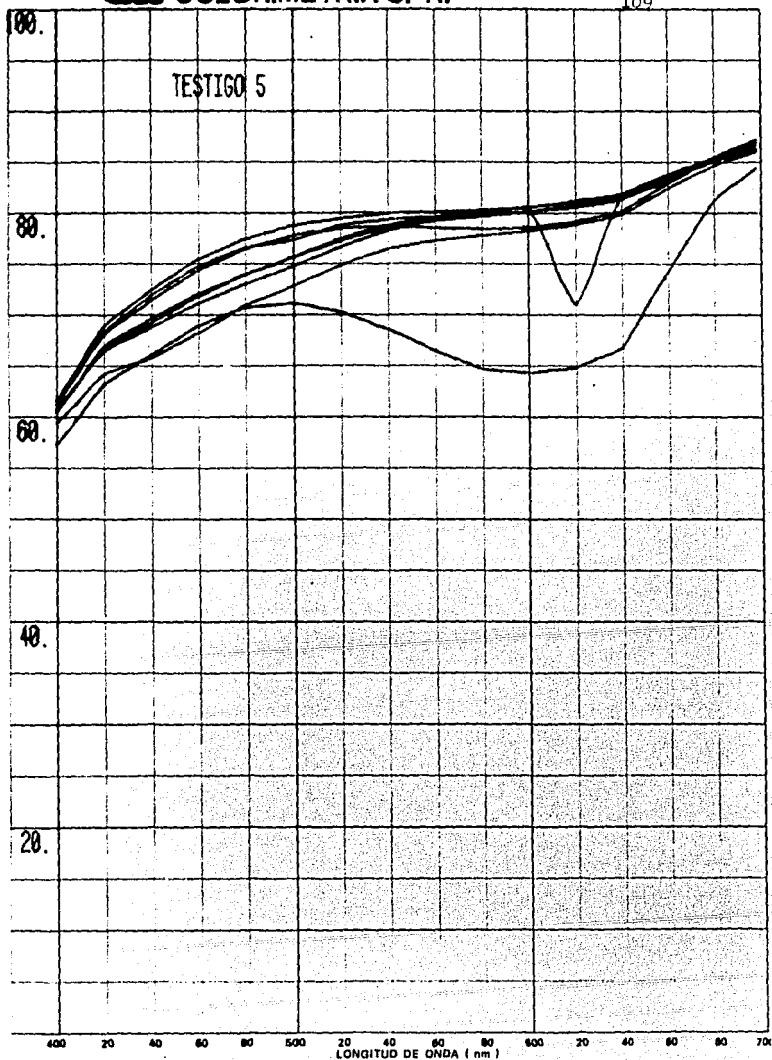




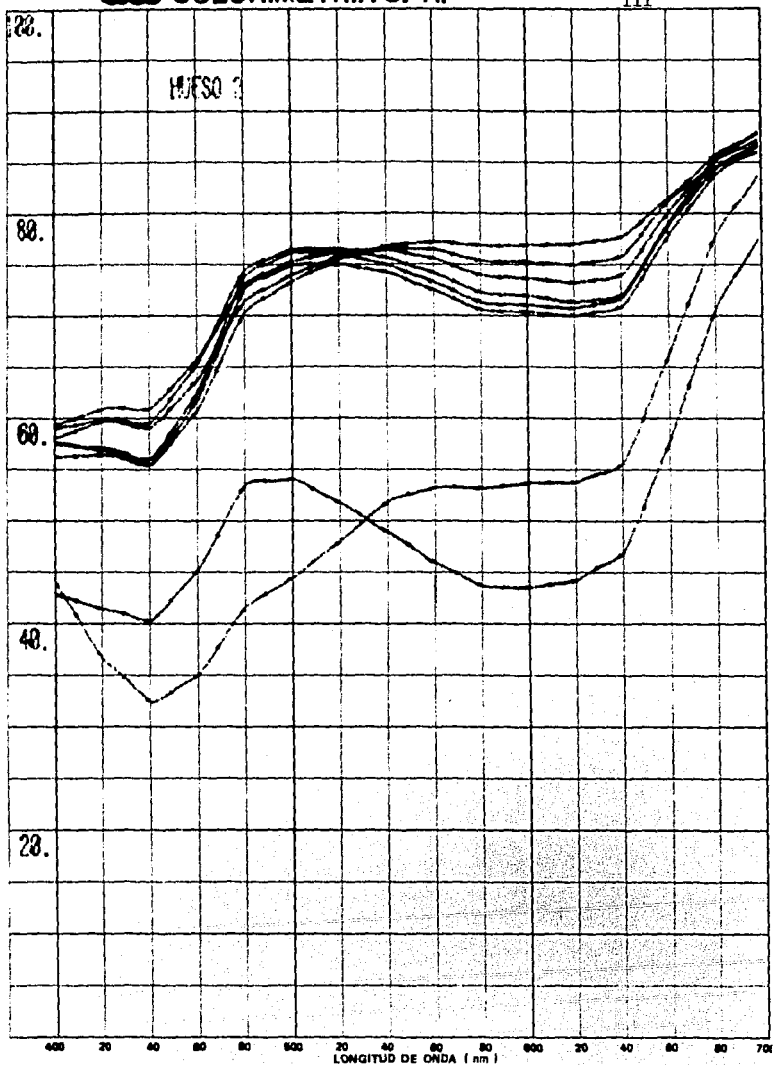


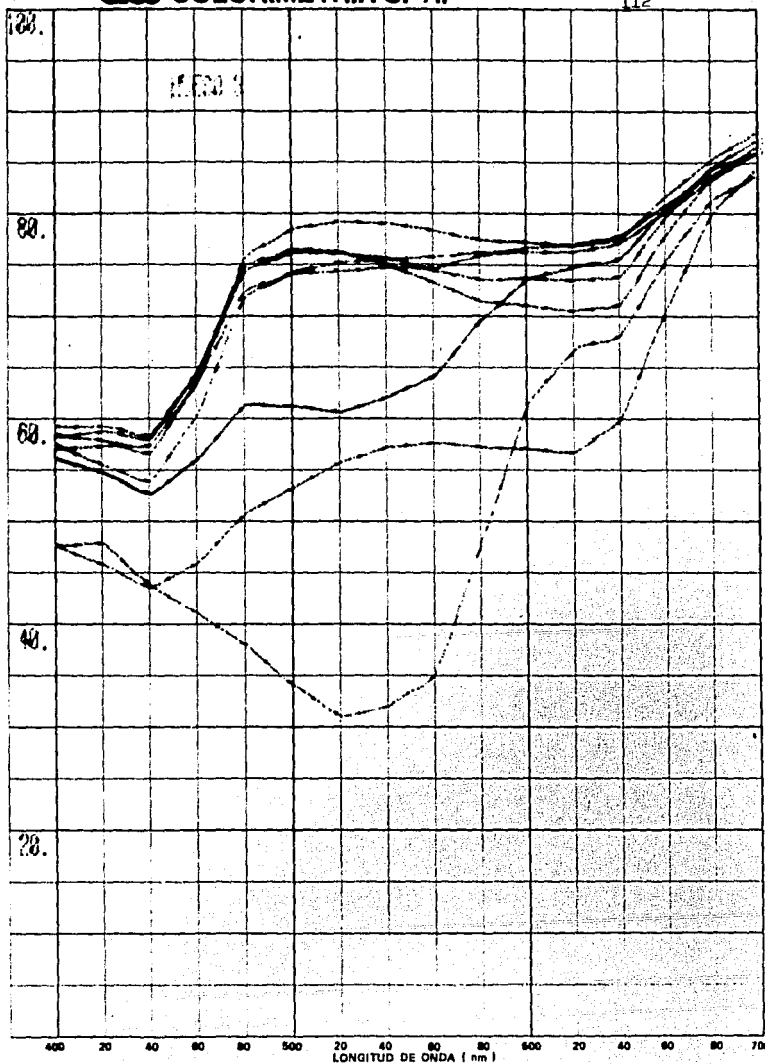






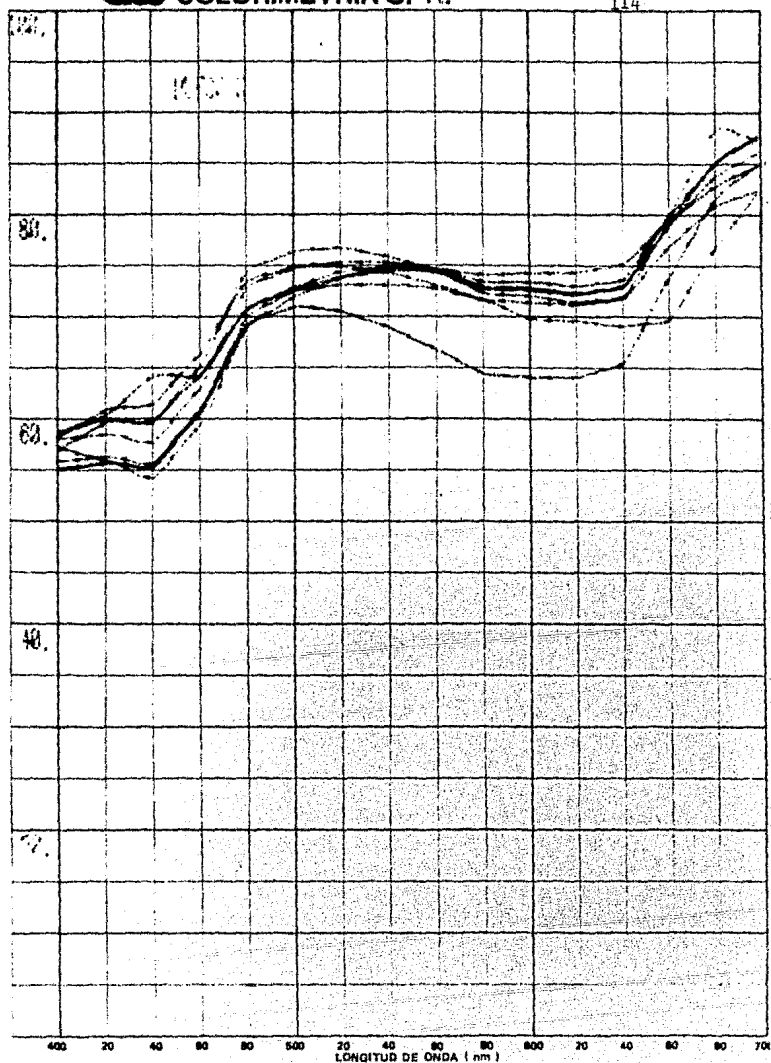




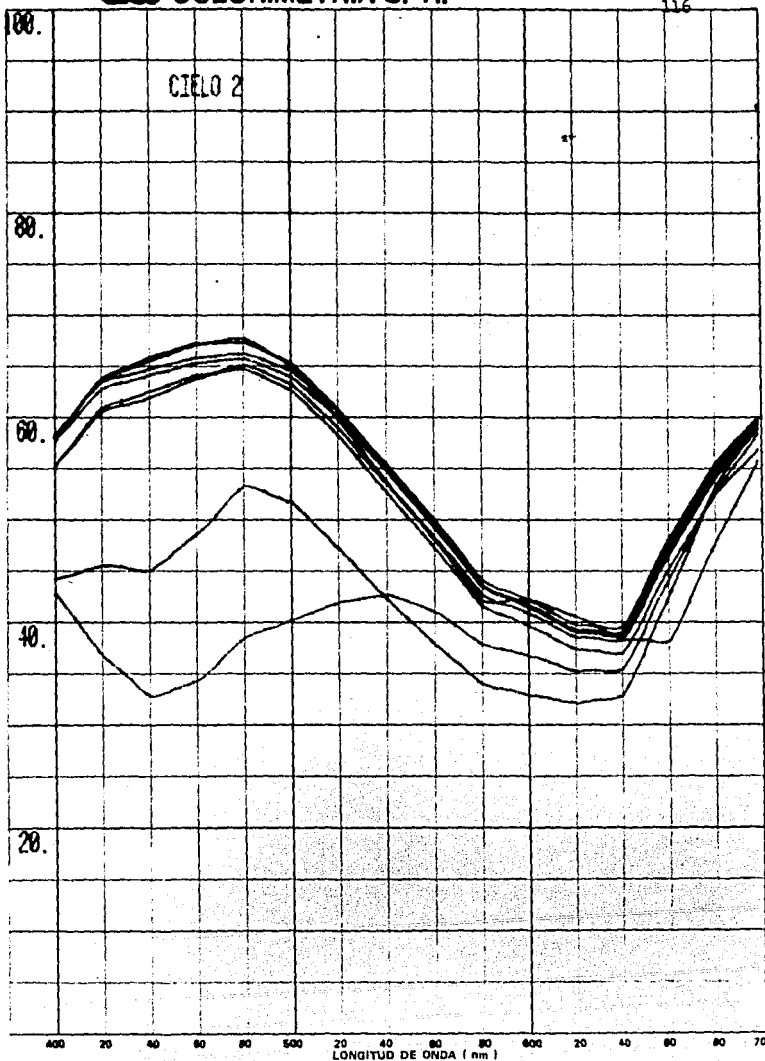


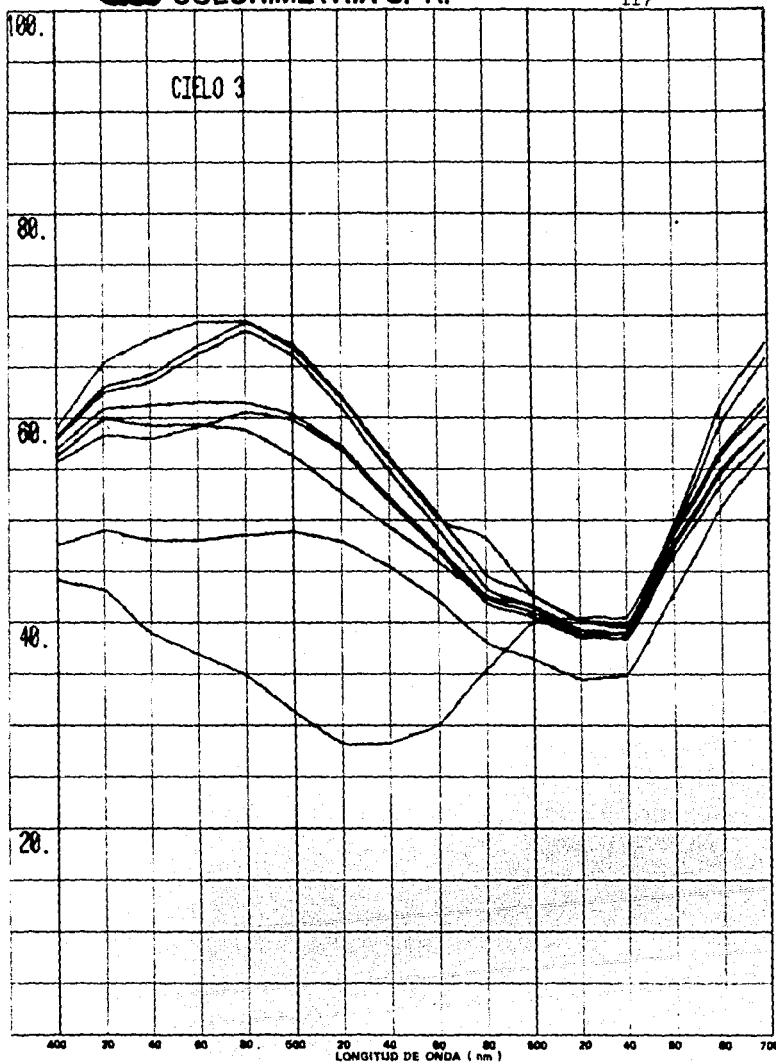


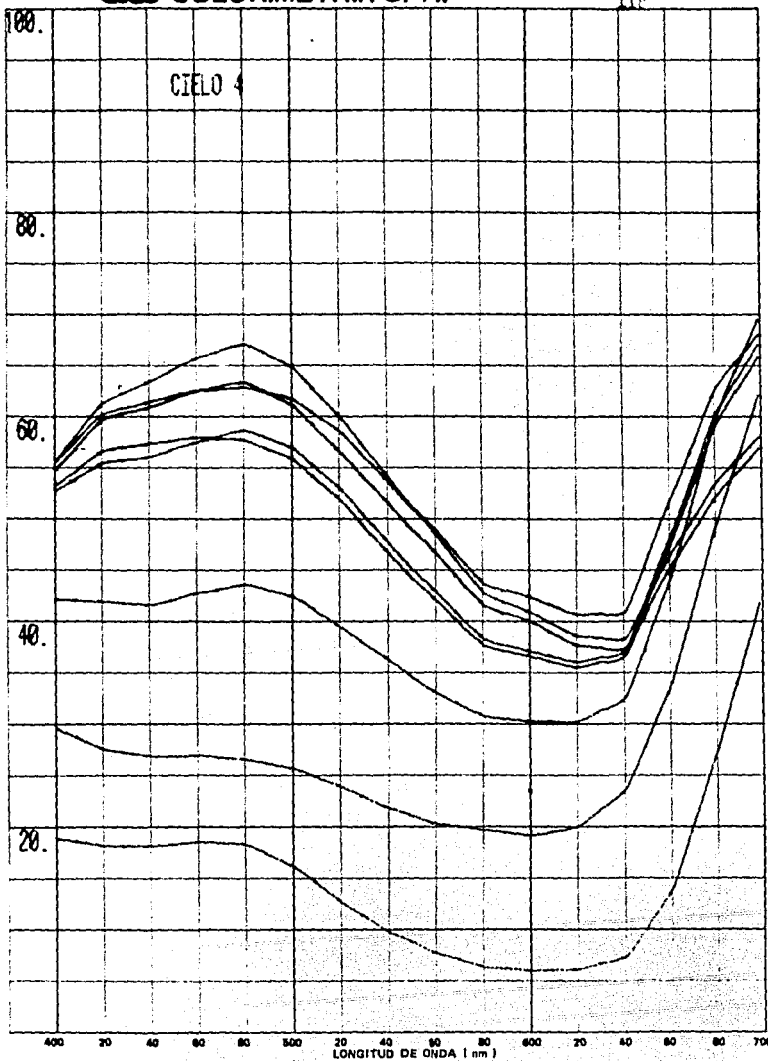


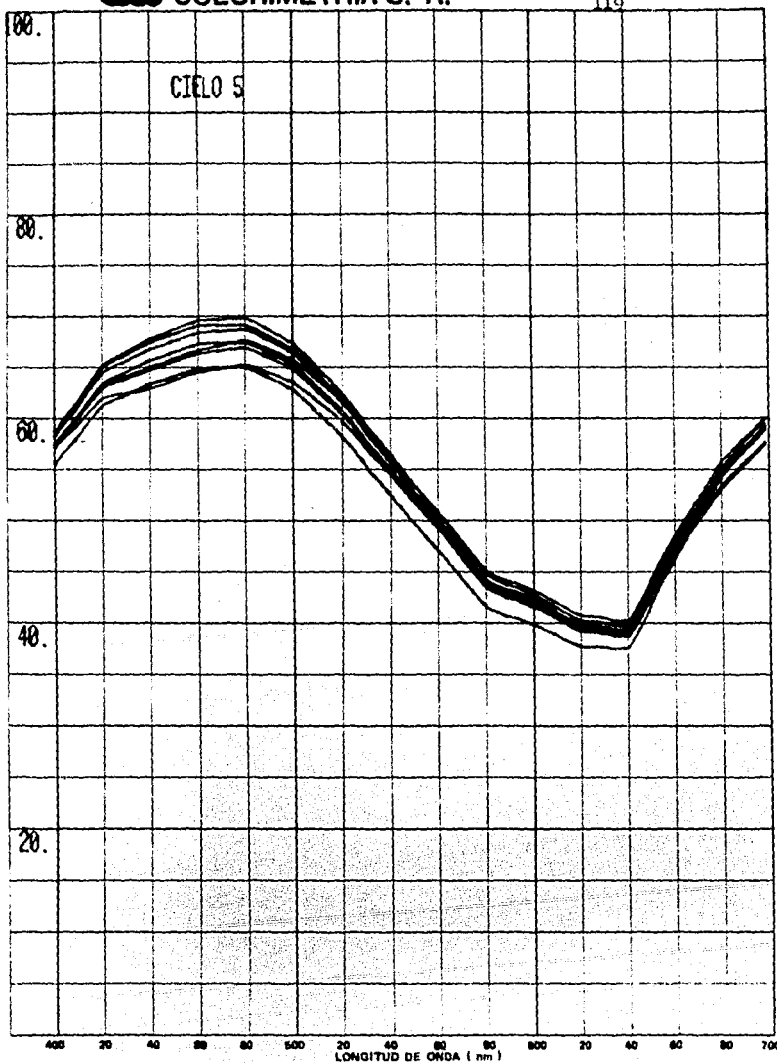


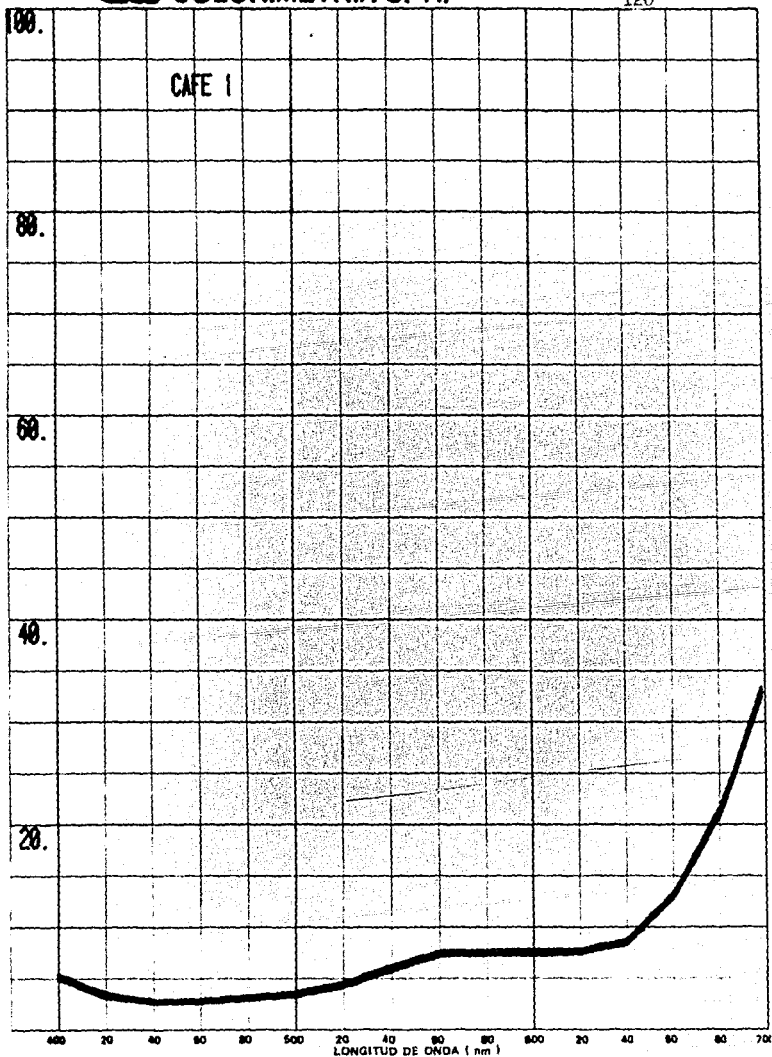




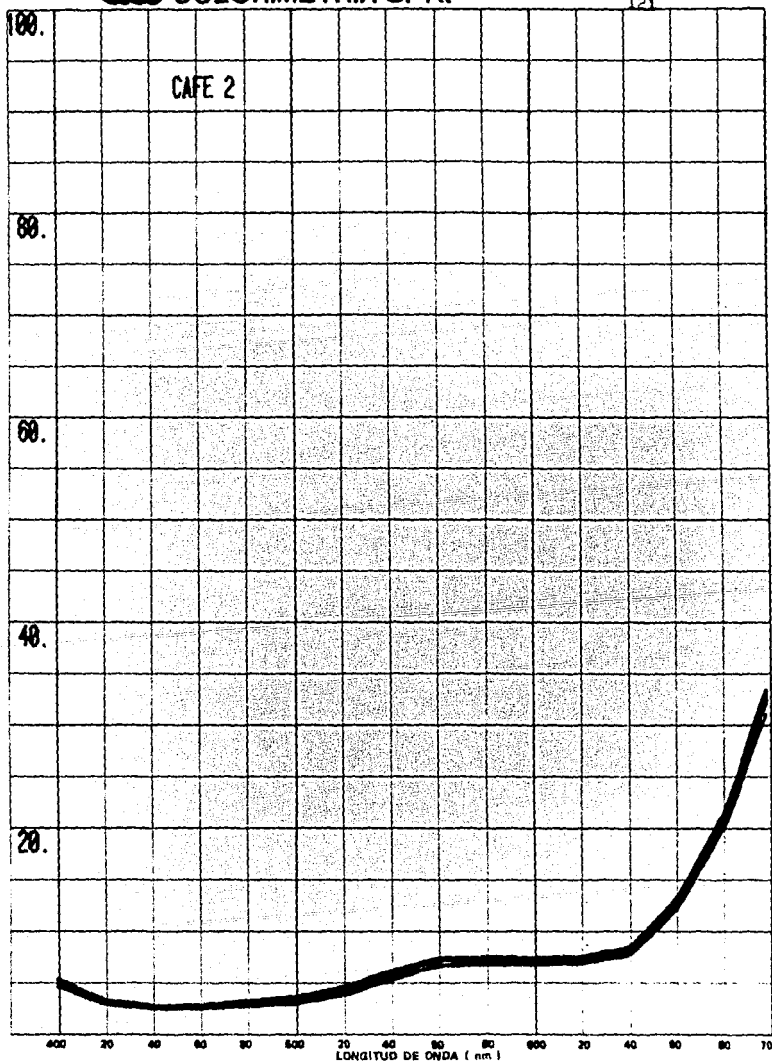


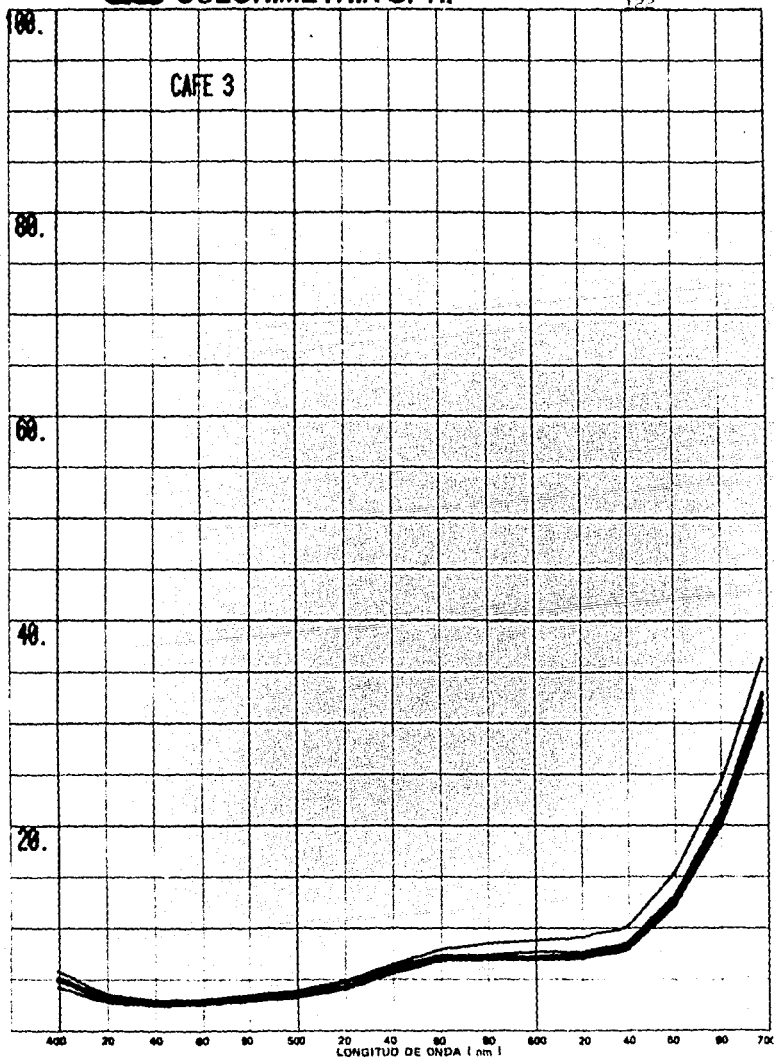


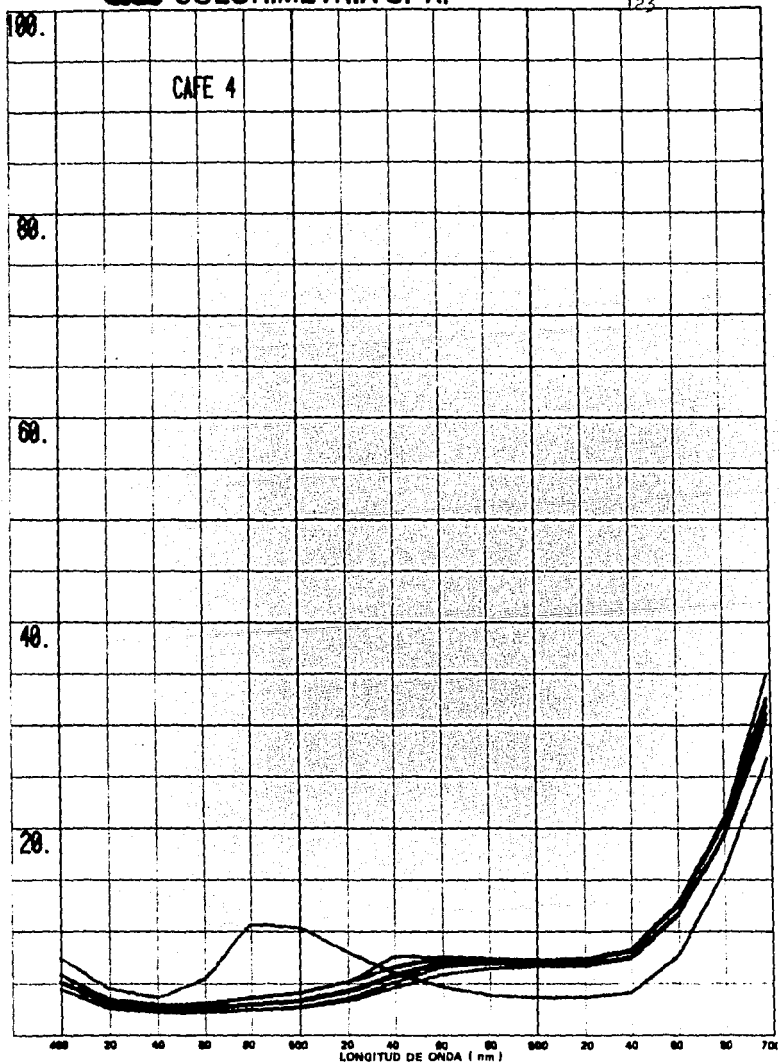


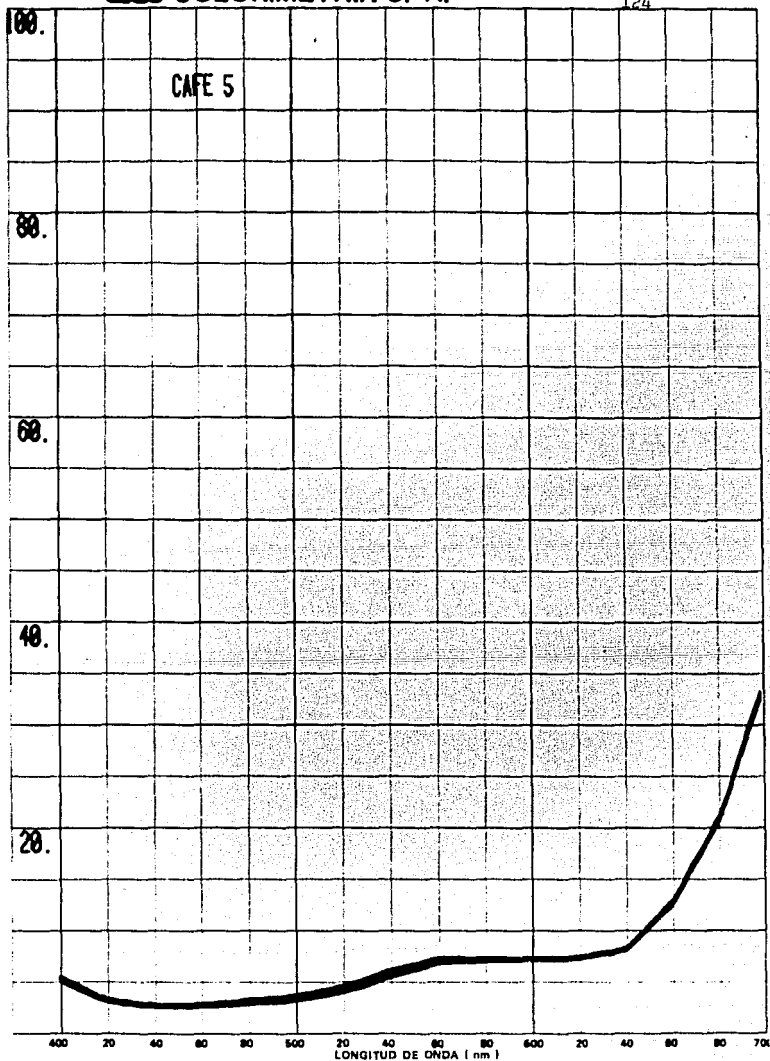


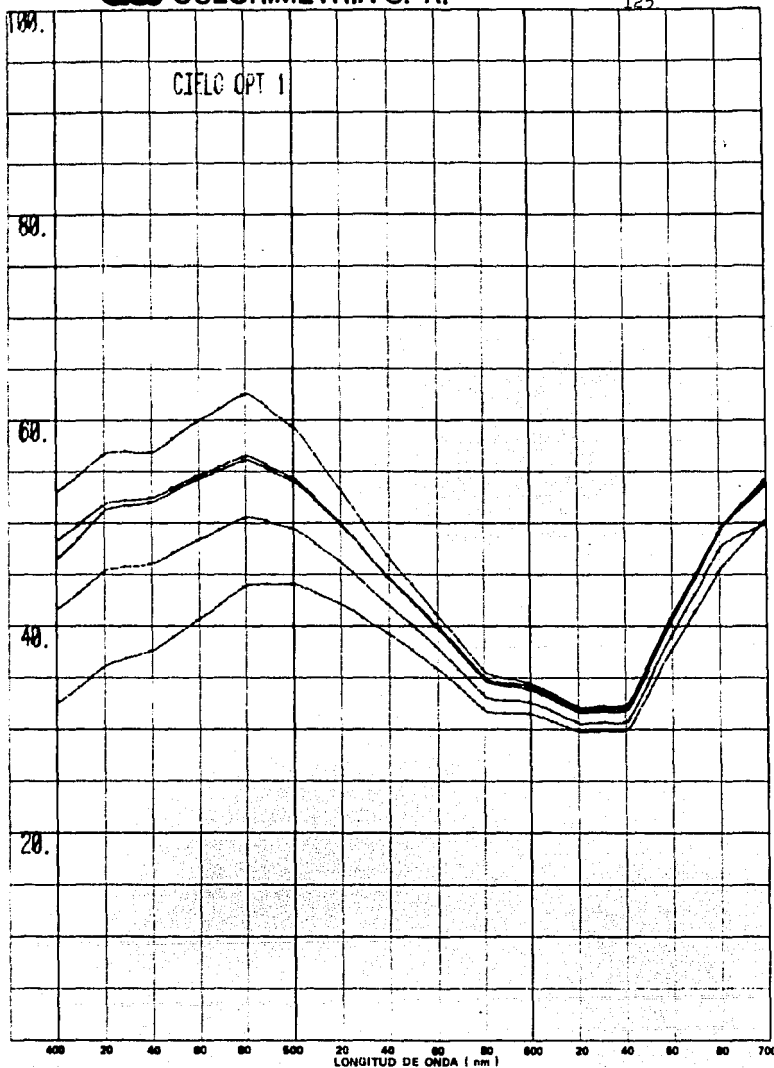


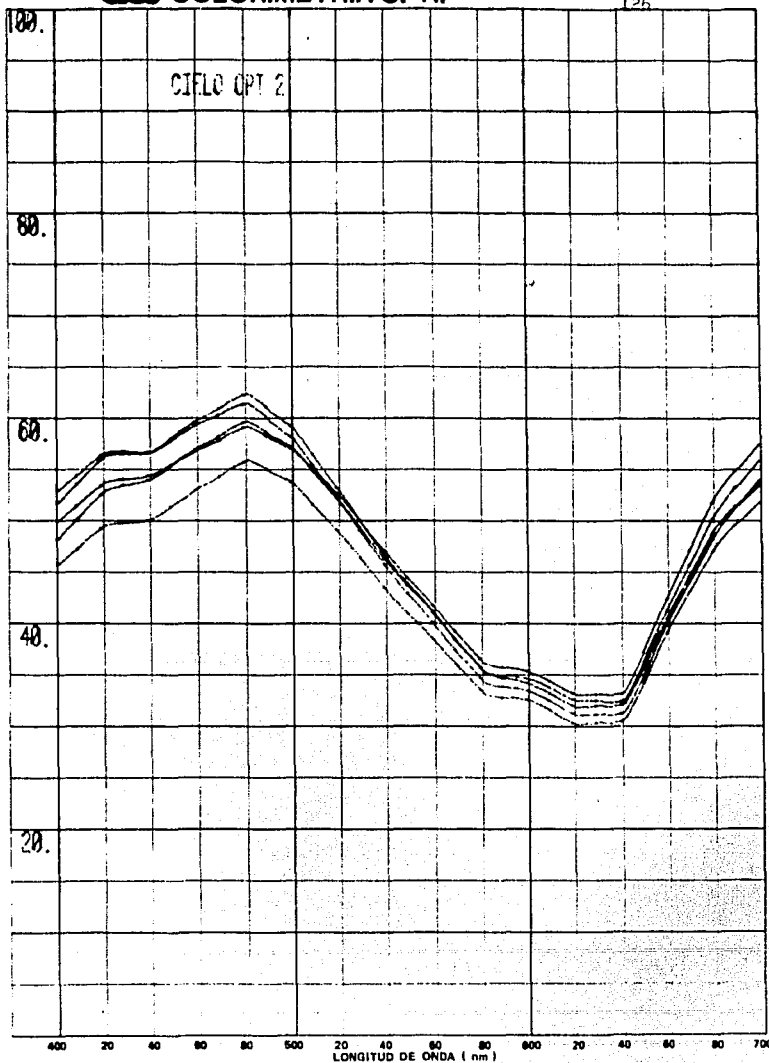












### CONCLUSIONES .

El presente trabajo es el principio para -- disminuir la contaminación producida por la industria -- textil ( procesos húmedos). Este trabajo pensamos será de utilidad para el técnico textil que en su diaria labor se esfuerza por obtener artículos textiles de mayor clicidad y menor costo. Sin embargo en ningún momento pensamos que esta es la única solución al problema del agua residual en la industria textil, pero si es una solución probada, en la cual los sistemas tecnologicos mas avanzados y actualizados se conjugan para un fin común en - beneficio de la sociedad.

El presente trabajo puede continuarse tomando en cuenta varias direcciones:

- a) El estudio o creación de maquinas de tintura rapida capaces de realizar un buen teñido, utilizando relaciones de baño cortas y ciclos de tintura rapida.
- b) La elaboración de programas de computación mas exactos para la igualación del color y especificación cretera de los colorantes.
- c) Metodos matemáticos que representen con mayor detalle el aspecto ffsico de la iguala-

ción del color.

- d) Reciclaje del agua, en procesos de tintura convencional y rápida con tratamiento de agua.

Las conclusiones a las cuales llegamos y deseamos externar son:

- i) La teoría de Kubelka y Munk predice satisfactoriamente las propiedades ópticas de los materiales que transmiten y reflejan para su uso en igualación de color.
- ii) Nuestro programa de computación tiene diferencias con respecto al elaborado por ACS ya que las concentraciones de los colorantes estan ajustadas por un factor de proceso el cual desconocemos. Pero debido a que existen diferencias mínimas en algunos tonos damos por demostrado que el programa es utilizable para la formulación de color.
- iii) El programa de igualación de color da mayores oportunidades de utilizar colorantes de diferente valor y nivel energético



cos en procesos de teñido de poliéster por alta temperatura.

- iv) La optimización de colorantes dispersos y el empleo racional de productos auxiliares en el proceso de tintura, genera baños residuales con un nivel de contaminación menor.
- v) La selección y cuantificación de los parámetros para el análisis del agua, son de gran importancia para poder reciclar el agua.
- vi) Las características de las máquinas de tintura rápida permiten utilizar colorantes de todos los grupos de nivel energético. El aumento en el número de contactos relativos prevee un mayor rendimiento del colorante.
- vii) Las relaciones de baño (1:7-9) y el aumento en contactos relativos en el proceso de tintura, nos proporciona:
  - a) Incremento en la circulación del baño de tintura.
  - b) Alta velocidad del artículo en el proceso.

- c) Tinturas mas uniformes
- d) Menor contaminación por aguas residuales.
- e) Mayor producción.

A P E N D I C E

TABLA 1  
FUNCIONES C.I.E. PARA IGUALACION DEL COLOR.

Longitud de onda nm.	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{z}$
380	0.0014	0.0000	0.0065
400	0.0143	0.0004	0.0679
420	0.1344	0.0040	0.6456
440	0.3483	0.0230	1.7471
460	0.2908	0.0600	1.6692
480	0.0956	0.1390	0.8130
500	0.0049	0.3230	0.2720
520	0.0633	0.7100	0.0782
540	0.2904	0.9540	0.0134
560	0.5945	0.9950	0.0039
580	0.9163	0.8700	0.0017
600	1.0622	0.6310	0.0008
620	0.8544	0.3810	0.0002
640	0.4479	0.1750	0.0000
660	0.1649	0.0610	0.0000
680	0.0468	0.0170	0.0000
700	0.0114	0.0041	0.0000

TABLA 2DISTRIBUCION DE ENERGIA PARA FUENTES ESTANDARD C.I.E.

Longitud de onda nm.	$E_A$	$E_B$	$E_C$
380	9.79	22.40	33.00
400	14.71	41.30	63.30
420	21.00	63.20	98.10
440	28.70	80.80	121.50
460	37.82	88.30	123.10
480	48.25	95.20	123.90
500	59.86	94.20	112.10
520	72.50	89.50	96.90
540	85.95	96.90	102.10
560	100.00	102.80	105.30
580	114.44	101.00	97.80
600	129.04	98.00	89.70
620	143.62	99.70	88.10
640	157.98	102.20	87.80
660	171.96	105.00	87.90
680	185.43	103.90	84.00
700	198.26	99.10	76.30

TABLA 3

REFLECTANCIA A DIFERENTES CONCENTRACIONESColorante: RUBI LATYL 4B

NM	0.050	0.300	0.500	0.700	1.000	2.000
400	60.54	42.81	36.81	31.56	26.16	17.21
420	63.15	41.03	35.13	28.94	23.49	14.77
440	59.12	34.09	28.19	22.20	17.27	9.81
460	52.70	26.07	20.55	15.23	11.21	5.73
480	45.68	19.16	14.34	10.00	7.01	3.48
500	39.45	14.06	10.07	6.72	4.65	2.52
520	34.17	10.40	7.21	4.74	3.37	2.11
540	31.89	9.01	6.18	4.09	2.98	2.01
560	32.32	9.33	6.44	4.27	3.09	2.04
580	40.72	15.20	11.17	7.62	5.35	2.88
600	55.61	29.22	23.79	18.14	13.89	7.67
620	70.67	49.62	44.03	37.43	31.79	21.82
640	80.06	68.51	64.42	58.77	53.59	43.21
660	84.13	79.91	77.64	73.98	70.70	62.85
680	85.58	84.71	83.49	81.47	80.11	75.20
700	86.19	86.46	85.56	84.38	83.91	80.61

TABLA 4

REFLECTANCIA A DIFERENTES CONCENTRACIONESColorante: ROJO SAMARON HGL

<u>NM</u>	<u>0.050</u>	<u>0.300</u>	<u>0.500</u>	<u>0.700</u>	<u>1.000</u>	<u>2.000</u>
400	61.90	44.39	37.38	33.20	28.13	18.76
420	57.92	34.27	26.37	22.08	17.06	9.42
440	51.39	25.88	18.44	14.61	10.46	5.11
460	46.38	20.49	13.69	10.42	7.10	3.40
480	43.06	17.37	11.15	8.27	5.51	2.71
500	42.02	16.44	10.39	7.65	5.07	2.55
520	42.92	17.04	10.84	8.00	5.31	2.64
540	46.15	19.72	12.96	9.76	6.55	3.13
560	52.62	25.91	18.23	14.33	10.11	4.88
580	63.08	37.87	29.26	24.65	19.03	10.64
600	73.35	52.92	44.26	39.73	33.39	22.48
620	80.89	68.86	60.44	57.34	51.49	40.38
640	84.68	78.89	73.15	72.21	68.82	59.25
660	86.41	84.45	80.81	81.24	78.96	73.60
680	87.01	86.61	84.58	85.31	84.55	81.93
700	87.44	87.54	86.21	86.87	86.84	85.59

TABLA 5REFLECTANCIA A DIFERENTES CONCENTRACIONESColorante: AZUL MARINO LATYL RS

<u>NM</u>	<u>0.500</u>	<u>0.750</u>	<u>1.000</u>	<u>2.000</u>	<u>3.000</u>	<u>5.000</u>
400	42.15	36.54	31.40.	22.55	17.97	12.28
420	41.28	35.20	30.25	20.95	16.44	10.85
440	40.07	33.72	28.92	19.44	15.05	9.69
460	39.38	32.85	28.08	18.53	14.20	9.01
480	37.93	31.27	26.55	17.10	12.91	8.04
500	34.55	27.85	23.27	14.23	10.46	6.30
520	29.06	22.51	18.29	10.26	7.25	4.26
540	23.61	17.46	13.73	7.06	4.91	2.99
560	18.87	13.31	10.17	4.92	3.51	2.37
580	15.40	10.45	7.82	3.75	2.83	2.14
600	13.95	9.32	6.92	3.37	2.63	2.09
620	13.64	9.10	6.76	3.33	2.63	2.13
640	15.35	10.48	7.87	3.83	2.91	2.21
660	22.38	16.43	12.97	6.71	4.78	3.03
680	36.89	28.99	25.51	16.01	12.10	7.60
700	55.90	49.39	44.67	33.70	20.36	20.83



TABLA 6REFLECTANCIA A DIFERENTES CONCENTRACIONESColorante: AMARILLO DISPERSO 23

<u>NM</u>	<u>0.050</u>	<u>0.100</u>	<u>0.300</u>	<u>0.700</u>	<u>1.000</u>	<u>1.500</u>
400	38.39	29.92	15.38	8.50	6.68	4.93
420	41.59	32.54	16.40	9.68	7.54	5.31
440	47.90	38.71	23.03	13.88	11.03	7.83
460	54.78	45.98	29.59	19.03	15.54	11.36
480	60.93	52.99	35.79	24.07	20.15	15.18
500	66.51	59.63	43.00	30.66	26.46	20.79
520	72.48	67.18	52.46	40.20	35.81	29.72
540	77.49	73.95	62.30	51.17	46.89	40.99
560	80.86	78.85	70.73	61.72	57.91	53.05
580	83.30	82.35	77.20	70.63	67.57	64.32
600	84.50	84.05	80.66	75.83	73.46	71.58
620	85.25	85.07	82.62	78.94	77.08	76.11
640	85.71	85.71	83.83	80.86	79.31	78.83
660	83.53	86.70	85.36	82.63	81.26	81.09
680	87.08	87.36	86.55	83.97	82.78	82.84
700	87.65	87.93	87.43	85.22	84.14	84.38

TABLA 7REFLECTANCIA A DIFERENTES CONCENTRACIONESColorante: CEREZA LATYL N

NM	0.050	0.300	0.500	0.700	1.000	2.000
400	65.80	56.99	51.50	48.21	43.37	34.29
420	67.56	56.55	50.47	46.57	41.31	31.73
440	64.06	48.04	40.75	36.58	30.94	21.62
460	59.22	39.04	31.16	27.12	21.66	13.47
480	53.55	31.08	23.30	19.64	14.76	8.24
500	49.56	26.31	18.80	15.46	11.15	5.84
520	46.55	22.90	15.73	12.70	8.87	4.54
540	48.60	24.58	17.16	13.99	9.90	5.08
560	51.10	26.67	18.99	15.98	11.30	5.95
580	67.46	46.56	38.14	34.10	28.23	18.96
600	84.98	77.15	71.24	67.71	62.37	51.26
620	91.67	94.09	92.22	90.62	87.87	79.87
640	90.67	94.10	93.52	92.97	91.61	86.42
660	90.12	92.93	92.27	92.03	90.88	86.25
680	89.79	92.22	91.46	91.40	90.33	85.83
700	89.14	90.78	89.17	89.79	88.76	84.33

TABLA 8REFLECTANCIA A DIFERENTES CONCENTRACIONESColorante: NEGRO PAMACRON GTMR

<u>NM</u>	<u>0.500</u>	<u>0.750</u>	<u>1.000</u>	<u>2.000</u>	<u>3.000</u>	<u>5.000</u>
400	25.06	19.54	16.40	9.35	6.49	3.98
420	20.78	15.40	12.62	6.62	4.51	2.92
440	18.51	13.37	10.83	5.50	3.76	2.56
460	17.90	12.87	10.39	5.25	3.60	2.50
480	18.12	13.10	10.59	5.36	3.66	2.51
500	19.02	13.90	11.28	5.76	3.92	2.64
520	19.80	14.60	11.88	6.08	4.11	2.71
540	19.84	14.61	11.86	6.02	4.06	2.68
560	18.74	13.61	10.96	5.45	3.68	2.50
580	17.02	12.09	9.63	4.68	3.20	2.27
600	16.05	11.26	8.92	4.33	2.97	2.21
620	15.86	11.04	8.76	4.24	2.97	2.21
640	17.42	12.33	9.89	4.88	3.35	2.35
660	23.89	18.06	15.00	8.16	5.60	3.54
680	37.59	31.24	27.36	17.91	13.48	8.95
700	55.78	50.02	46.02	35.54	29.85	22.83

TABLA 9

REFLECTANCIA A DIFERENTES CONCENTRACIONESColorante: ANARANJADO RESOLIN F3R

<u>NM</u>	<u>0.050</u>	<u>0.100</u>	<u>0.300</u>	<u>0.700</u>	<u>1.000</u>	<u>1.500</u>
400	53.60	42.34	26.94	16.23	11.83	8.81
420	48.89	33.67	18.09	8.99	6.07	4.31
440	44.38	28.42	13.70	6.18	4.14	3.07
460	42.28	26.12	11.95	5.21	3.55	2.77
480	42.12	25.92	11.77	5.09	3.46	2.69
500	44.61	28.43	13.56	5.99	4.02	3.00
520	50.31	34.55	18.39	8.88	5.98	4.17
540	59.36	45.10	27.96	16.02	11.57	8.19
560	69.80	59.21	42.99	29.82	23.96	18.80
580	78.71	73.45	61.22	49.75	43.79	37.90
600	83.11	81.83	74.55	67.10	62.66	57.53
620	84.96	85.73	81.83	78.50	76.02	72.26
640	85.64	87.21	84.87	83.74	82.54	79.82
660	86.24	88.18	86.64	86.10	85.51	83.30
680	86.46	88.58	87.60	87.16	87.03	84.97
700	86.84	89.06	88.27	87.92	87.99	86.02

TABLA 10REFLECTANCIA A DIFERENTES CONCENTRACIONESColorante: AMARILLO LATYL 3G

<u>NM</u>	<u>0.050</u>	<u>0.100</u>	<u>0.300</u>	<u>0.700</u>	<u>1.000</u>	<u>1.500</u>
400	46.70	35.30	23.98	14.40	11.05	8.00
420	34.60	23.85	12.83	6.16	4.45	3.22
440	30.40	20.20	9.88	4.46	3.28	2.53
460	39.19	28.58	16.81	9.07	6.77	4.91
480	64.28	55.09	43.00	31.04	25.98	20.88
500	75.40	70.33	61.55	50.85	43.43	39.93
520	80.07	78.26	73.14	65.52	60.82	56.41
540	82.18	82.07	79.72	75.25	71.52	68.93
560	82.99	83.61	82.62	80.11	77.03	75.95
580	83.83	84.85	84.32	82.74	79.99	79.79
600	84.27	85.50	85.08	83.82	81.19	81.32
620	84.71	86.04	85.63	84.53	82.03	82.30
640	84.93	86.37	85.96	85.01	82.63	82.99
660	85.56	87.13	86.78	86.05	83.65	84.16
680	85.95	87.64	87.41	86.97	84.44	85.20
700	86.52	88.14	88.00	87.70	85.26	86.13

---

" BIBLIOGRAFIA "

- BILLMEYER, F.W. y SALTZMAN, M. (II): Principles of color technology; Wiley, Nueva York, 1966.
- JUDD, D.B. y WYSZECKI, G. (XIX): Color in business, science and industry; Wiley, Nueva York; 1963.
- WYSZECKI, G. y STILES, W.S. (XLIV): Color science; Wiley, Nueva York; 1967.
- ALDERSON, J.V.; ATHERTON, E. y DERBYSHIRE, A.N.(1961): Modern physical techniques in colour formulation; J.Soc. Dyers Col. 77 (12) 657-669.
- ALLEN, E. (1966)a: Basic equations used in computer color matching; J. Opt. Soc. Am. 56 (9) - 1256-1259.
- ALLEN, E. (1966)b: Matrix algebra for colorimetrists; Color Eng. 4 (4) 24 - 30.
- ALLEN, E. (1967): Analytical color matching; J. Paint Tech. 39 (509) 368 -376.
- DAVIDSON, H.R. (1952): Prediction of the color of dye mixtures on textiles; J. Opt. Soc. Am. 42 (5) 331-332
- DAVIDSON, H.R. HEMMENDINGER, H y LANDRY Jr., J.L.R.(1963): A system of instrumental colour control for the textile industry; J. Soc. Dyers Col. 79 (12) 577-589.
- DAVIDSON, H.R. y TAYLOR, M.(1965): Prediction of the color of fiber blends; J. Opt. Soc. Am. 55 (1) 96-100.

- DUNTLEY, S.Q. (1942): The optical properties of diffusing materials; J. Opt. Soc. Am. 32 (2) 61-70.
- KUBELKA, P. (1948): New contributions to the optics of intensely light scattering materials: Part. I, homogeneous layers; J. Opt. Soc. Am. 38 (5) 448-457 .
- KUBELKA, P. (1954): New contributions to the optics of intensely light scattering materials: Part. II, nonhomogeneous layers; J. Opt. Soc. Am. 44 (4) 330-335.
- KUEHNI, R. (1975): Computer colorant formulation; Heath & Co., Lexington, Mass, EE.UU.
- STROCKA, D. (1971): Color difference formulas and visual acceptability; App. Opt. 10, (6) 1308-1313.
- STEARNS, E.I. (1944): Spectrophotometry and the colorist; Am. Dyestuff Rpter. 33 (1) 1-20.
- STEELE, F.A. (1935): The optical characteristics of paper. I-Mathematical relationships between basis weight, reflectance, contrast ratio and other optical properties; Paper Trade J. 100 (12) 37-42.
- VELA TREVIÑO, A. (1979): Optimización de agua y colorantes dispersos en sistemas de tintura rápida para poliéster texturizado.