

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**CRITERIOS METODOLÓGICOS Y TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE LA  
REPRODUCCIÓN DEL COLOR EN UN PROCESO DE  
PREPrensa DIGITAL**

AUTORA

**MELVA YANETH HERNÁNDEZ ARIZA**

Ingeniera de Sistemas

DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**OSCAR GUALDRÓN GONZÁLEZ**

Ingeniero de Sistemas, MSc(Física), Ph.D.(Física)

CODIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**OSCAR ROBERTO GÓMEZ MOLINA**

Ingeniero Industrial, MSc(Administración)

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

ÁREA DE INFORMÁTICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

BUCARAMANGA, DICIEMBRE DE 2003

## RESUMEN EN ESPAÑOL

TÍTULO: Criterios Metodológicos y técnicos para el control de la reproducción del color en un sistema de pre prensa digital

AUTOR: HERNÁNDEZ, A. Melva Yaneth\*\*

PALABRAS CLAVES: sistema administrador de color, pre prensa digital, caracterización de dispositivos, perfiles de color ICM- ICC, patrones IT8.7

### DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Los avances tecnológicos mundiales, dirigidos al control del color de productos impresos, han alcanzado grandes niveles ofreciendo al usuario herramientas especializadas, como monitores sofisticados, controles de ultracalibración, densitómetros, colorímetros y espectrofotómetros; sin embargo estos instrumentos de medición y control requieren una inversión económica y un recurso humano especializado. En particular, en el manejo del color del proceso de pre prensa digital en la División de Publicaciones de la UIS, existe la necesidad de lograr la reproducción fiel de los originales y el acercamiento de pantalla a impresión deseadas por el usuario, características deseables en todo proceso de impresión. Sin embargo, en los procesos de diseño y pre prensa digital de la División de Publicaciones-UIS, se cuenta solamente con pruebas de color tradicionales, como cartas de colores, aunados a la práctica y pericia de los diseñadores, técnicos en artes gráficas y prensistas. Esta situación ha provocado no conformidades en la calidad de los trabajos editoriales y sobrecostos en materia prima, personal, tiempo y en general, en el desarrollo de la División de Publicaciones dentro del sector de la industria gráfica editorial.

A partir de esta problemática surge el presente trabajo de investigación cuyo interés se centra en el control de la reproducción del color en el sistema de pre prensa digital mediante la implementación de una herramienta de administración de color con el fin de aplicar perfiles de color en el flujo de trabajo del proceso de pre prensa y lograr la consistencia del color durante todo el flujo de trabajo.

## RESUMEN EN INGLÉS

---

\*\* Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Maestría en Informática, Director del Trabajo de Investigación:  
Dr. Oscar Gualdrón González

TITLE : Methodology and techniques to color reproduction in digital prepress system..

BY: HERNÁNDEZ, A. Melva Yaneth \*\*

KEY WORDS: color management system; digital prepress; device characterization; color profiles; ICC, ICM profiles, IT8.7 targets.

DESCRIPTION:

The technological advance about color reproduction give to users many software and hardware options, like displays, colorimeters and spectrophotometers which require inversion and expertise personal. In Publicaciones-UIS is important to get a fiel color reproduction and resolve the question "Why doesn't the color match?". In Publicaciones-UIS is necessary to acheive a fiel reproduction between original to displays. However, Publicaciones-UIS uses a traditional proof that provide variations in a color of computer monitors, scanners and output devices and provide frustration in the customers of printing industry.

For this reason, this project is a guide for users and workers of Publicaciones-UIS who want to get an optimal color reproduction using a color management system at different stages of the digital prepress. The objective of color management systems is to get accurate in the color reproduction and simplify color reproduction with color profiles to displays, scanners and printers of Publicaciones-UIS. Color management attempts to achive a consistent workflow at digital prepress system to make color adjustments easily, saving time and money.

## **AGRADECIMIENTOS**

---

\*\* Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Maestría en Informática, Director del Trabajo de Investigación:  
Dr. Oscar Gualdrón González

El trabajo descrito en este documento ha sido posible gracias a la participación, colaboración y el soporte de muchas personas a quienes quiero agradecer.

En primera instancia, agradezco enormemente al grupo de trabajo de la División Editorial y de Publicaciones de la Universidad Industrial de Santander por permitir el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación, especialmente al Ingeniero Oscar Roberto Gómez Molina, quien en la dirección de esta División, siempre demostró un especial interés y apoyo para llevar a feliz término este trabajo, permitiéndome incursionar en el maravilloso mundo del color y de las artes gráficas. Agradezco igualmente, la oportunidad brindada de enriquecerme como profesional en el sector de la industria gráfica editorial. Gracias por creer en mí.

También agradezco a mi director de investigación, profesor Oscar Gualdrón González por la orientación ofrecida y mostrarme el camino para terminar este arduo trabajo; y a mis profesores que tuvieron que ver con el desarrollo de esta investigación por las voces de aliento y motivación para “*abandonar*” esta investigación.

No quiero dejar de agradecerle a mis seres queridos, a mis padres por el apoyo que siempre me brindaron y a mi querido esposo por la paciencia que siempre tuvo y el ánimo que día a día me brindaba para que siguiera adelante.

Gracias a todos.

Bucaramanga, Diciembre de 2003

## **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día se observa un gran crecimiento en el uso de las imágenes a color en los productos gráficos debido a la necesidad de impacto, originalidad y atracción que sorprenda a los espectadores del trabajo impreso.

Sin embargo, con el incremento en el uso de las imágenes a color también han incrementado considerablemente los requerimientos de calidad de los usuarios. De acuerdo con esto, el medio editorial gráfico y publicitario se ha visto abocado a resolver el dilema acerca de la “igualación” del color en sus formas de visualización, con el fin de satisfacer cualquier tipo de requerimientos. Es por ello que la División Editorial y de Publicaciones de la Universidad Industrial de Santander, respalda un trabajo de investigación que orienta el grupo de conectividad y procesado de señal que busca el incremento de la calidad del color en su sistema de pre prensa digital.

Con la diversidad de dispositivos de entrada y salida disponibles en el sistema de pre prensa digital de la División de Publicaciones se han eliminado casi totalmente las manipulaciones tradicionales de imágenes y han permitido la realización de las mismas en un computador de escritorio pasando por un escáner, un monitor hasta terminar en un dispositivo de impresión.

Para lograr la consistencia del color de las imágenes durante el paso por todo el flujo de trabajo es necesario entender y controlar la forma como los diferentes dispositivos digitales de toda la cadena de producción tratan el color. Cada escáner, monitor e impresora utilizada despliega o reproduce el color de manera diferente.

En el capítulo 1 de este trabajo de investigación, se consideran los aspectos esenciales de la relación del color con la luz, con los objetos y la visión humana para entender las capacidades y limitaciones de la representación de las imágenes a color en los dispositivos digitales del sistema de pre prensa digital, proporcionando una introducción a los principales elementos de la colorimetría.

En el capítulo 2, se identifican las variables más relevantes que afectan la reproducción del color digital y se recomiendan los procedimientos a seguir para ajustarlas a los estándares predeterminados por los fabricantes de los dispositivos que conforman el sistema de pre prensa digital de la División Editorial y de Publicaciones de la UIS, dando cumplimiento con uno de los objetivos específicos determinados para el desarrollo de este proyecto.

En el capítulo 3, se recopila la aplicación de una herramienta software previamente evaluada y escogida para implementar un sistema de administración de color en el flujo de trabajo digital; además en el capítulo 4, se realiza una evaluación del sistema implantado, donde se presenta una metodología existente para la caracterización colorimétrica del dispositivo de salida del sistema de pre prensa digital de la División de Publicaciones y encontrar su relación del espacio de color con el espacio de color estándar definido internacionalmente para evaluar los colores que reproduce un dispositivo digital.

De esta manera se da cumplimiento a los objetivos propuestos para este trabajo de investigación, descritos de la siguiente manera:

### **OBJETIVO GENERAL**

Incrementar la calidad y productividad del sistema de pre prensa digital de la División Editorial y de Publicaciones de la UIS mediante la implantación y contrastación de un sistema de administración de color.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Evaluar las soluciones de software de administración de color presentadas por los proveedores líderes del mercado de las artes gráficas para recomendar la implantación de una de ellas en la División Editorial y de Publicaciones de la UIS.
- b) Identificar las variables más relevantes que afectan la reproducción del color digital para ajustarlas a los estándares predeterminados por los fabricantes de los dispositivos que conforman el sistema de pre prensa digital de la División Editorial y de Publicaciones de la UIS.
- c) Implantar una herramienta software de administración de color existente en el mercado, que permita generar perfiles de monitores, escáneres e impresoras, para lograr un flujo confiable y consistente del color a través de las fases del proceso productivo del sistema de pre prensa digital.
- d) Implementar una técnica para obtener la caracterización colorimétrica (perfiles de color) de una impresora utilizando un dispositivo de medición del color y contrastar este método con el utilizado por el sistema de administración de color implantado.

Finalmente, el capítulo 5 concluye los resultados de esta investigación y presenta una lista de los posibles trabajos futuros que podrían desarrollarse en esta misma temática.

## TABLA DE CONTENIDO

Lista de Figuras

Lista de Tablas

### **1 Fundamentos del Color 1**

1.1 Luz visible

1.2 El sistema visual humano

1.3 Colorimetría

1.3.1 Leyes de Grassmann

1.3.2 Espacio Triestímulo

1.3.3 Equilibrio Colorimétrico

1.3.4 Metamerismo

1.3.5 Iluminante estándares CIE

1.3.6 Observador estándar CIE

1.3.7 Espacio de color uniforme

1.3.7.1 Espacio de color CIELAB

1.3.7.2 Fórmula de diferencia del color

### **2 El Color en el Sistema de Prerensa Digital**

2.1 El sistema de prerensa digital

2.2 La reproducción del color en los dispositivos del sistema de prerensa digital

2.2.1 Sistema aditivo de colores

2.2.1.1 Reproducción de color en monitores

2.2.1.2 Reproducción de color en escáneres

2.2.2 Sistema sustractivo de colores

2.2.2.1 Reproducción de color en impresoras

2.3 Administración del color en el sistema de prerensa digital

2.3.1 Arquitectura CMS

2.3.2 Perfiles de color

2.3.3 Caracterización colorimétrica

2.3.3.1 Diseño de las referencias IT8.7

2.3.3.2 Metodología para caracterizar dispositivos

### 2.3.3.3 Mapas de Conversión (Rendering Intents)

## **3 Aplicación de un CMS en el flujo del sistema de pre prensa digital**

### 3.1 Introducción

### 3.2 Programas de generación de perfiles

#### 3.2.1 Programa de Agfa Gevaert

#### 3.2.2 Programa de Monaco System

### 3.3 Implantación de Monaco EZColor

#### 3.3.1 Creación de perfiles para monitores

#### 3.3.2 Creación de perfiles para escáneres

#### 3.3.3 Creación de perfiles para impresoras

### 3.4 Uso de los perfiles cromático generados por el software MonacoEZ Color

#### 3.4.1 Configuración de los perfiles en la plataforma de trabajo

##### 3.4.1.1 Configuración del perfil del monitor

##### 3.4.1.2 Configuración del perfil del escáner

##### 3.4.1.3 Configuración del perfil de la impresora

## **4 Caracterización colorimétrica de los dispositivos digitales**

### 4.1 Procedimiento para la caracterización colorimétrica

#### 4.1.1 Impresión del target de referencia

#### 4.1.2 Medición del target de referencia

#### 4.1.3 Comparación de los valores de referencia con los valores leídos

##### 4.1.3.1 Transformación de valores RGB a valores XYZ

##### 4.1.3.2 Transformación de valores XYZ a valores CIELAB

##### 4.1.3.3 Transformación de valores RGB a valores CIELAB

#### 4.1.4 Resultados obtenidos

##### 4.1.4.1 Relación entre el espacio CIELAB y la impresora sin perfiles

##### 4.1.4.2 Relación entre el espacio CIELAB y la impresora con perfiles

## **5 Conclusiones y Perspectivas**

### 5.1 Conclusiones

### 5.2 Perspectivas

## Bibliografía

## Anexos

## LISTA DE FIGURAS

- 1-1 El espectro visible
- 1-2 Absorción y reflexión
- 1-3 El ojo humano
- 1-4 Curvas de sensibilidad espectral de los tres tipos de cono en la retina
- 1-5 Curvas espectrales de algunos colores
- 1-6 Visión humana de un objeto
- 1-7 Espacio triestímulo RGB
- 1-8 Experimento de equilibrio cromático
- 1-9 Temperatura de la luz
- 1-10 Distribución espectral de la energía emitida por un cuerpo al ser calentado
- 1-11 Distribuciones espectrales de los iluminantes estándares A,B y C
- 1-12 Diagrama cromático x,y de la CIE 1931
- 1-13 Modelo CIELAB
- 2-1 Flujo de trabajo en el sistema de pre prensa digital
- 2-2 Colores aditivos
- 2-3 Dispositivo de colores aditivos
- 2-4 Comparación del ojo humano con el escáner
- 2-5 Generación de transferencia de datos CCD
- 2-6 Conversores A/D
- 2-7 Distribución espectral de fuentes de luz en escáneres
- 2-8 Profundidad de bits
- 2-9 Imágenes con diferentes profundidades de bits
- 2-10 Rango dinámico
- 2-11 Curvas espectrales de los pigmentos cian, magenta, amarillo y negro
- 2-12 Reflexión de superficies
- 2-13 Flujo del color digital
- 2-14 Transformación colorimétrica de dispositivo a dispositivo
- 2-15 Transformación colorimétrica de dispositivos al espacio de color estándar

- 2-16 Arquitectura CMS de windows
- 2-17 Gamut entre dispositivos
- 2-18 Flujo de trabajo con perfiles ICC
- 2-19 Estructura interna de un perfil de color
- 2-20 Gama de las referencias IT8
- 2-21 Tarjeta de referencia IT8.7 para escáneres
- 2-22 Asignación colorimétrica absoluta
- 2-23 Asignación colorimétrica relativa
- 2-24 Asignación perceptual
- 2-25 Asignación de saturación
- 3-1 Pantalla principal de Color Tune de Agfa
- 3-2 Colorímetro Optix para mediciones en pantalla
- 3-3 Gráfica del perfil cromático del monitor ViewSonic PS790
- 3-4 Target de calibración para el escáner Umax PowerLook 3000
- 3-5<sup>a</sup> Valores RGB obtenidos antes de la calibración
- 3-5<sup>b</sup> Valores RGB obtenidos después de linearizar
- 3-5<sup>c</sup> Valores RGB obtenidos después de neutralizar
- 3-6 Target IT8.7/2 de Monaco Systems
- 3-7 Perfil cromático del escáner Umax PowerLook3000
- 3-8 Comparación gráfica del perfil del escáner Umax y el perfil del monitor ViewSonic
- 3-9 Perfil cromático de la impresora Hewlett Packard inkjet cp1700
- 3-10 Comparación entre el perfil de la impresora con el perfil del escáner
- 3-11 Target de impresión de Monaco Systems
- 3-12 Pantalla de configuración del perfil del monitor
- 3-13 Configuración del perfil de entrada
- 3-14 Pantalla de configuración para los perfiles de salida
- 4-1 Target de 135 muestras de color
- 4-2 Modelo de transformación al espacio independiente del dispositivo

## LISTA DE TABLAS

- 1-14 Temperatura de color
- 2-1 Resumen de norma ISO 3664: Especificaciones de observación
- 2-2 Profundidad de bits
- 2-3 Estructura interna de un perfil
- 2-4 Caracterización del escáner
- 2-5 Caracterización de la impresora
- 2-6 Caracterización del monitor
- 3-1 Resultados que los usuarios buscan de un CMS
- 3-2 Software de Administración de Color
- 3-3 Localización de los perfiles cromáticos
- 4-1 Valores numéricos XYZ del target de referencia para caracterizar
- 4-2 Coeficientes polinomiales para la caracterización de dispositivos
- 4-3 Resultados CIELAB en impresora sin perfil
- 4-4 Resultados CIELAB en impresora con perfil
- 4-5 Valores obtenidos en la relación entre espacio CIELAB e impresora sin perfil
- 4-6 Valores obtenidos en la relación entre espacio CIELAB e impresora con perfil

# 1 FUNDAMENTOS DEL COLOR

En este capítulo se consideran los aspectos esenciales de la relación del color con la luz, con los objetos y la visión humana para entender las capacidades y limitaciones de la representación de las imágenes a color en los dispositivos digitales, presentadas más adelante.

## 1.1 LUZ VISIBLE

Los experimentos realizados por *Sir Isaac Newton*<sup>1</sup> establecieron la física básica del color con el entendimiento de su visión y resolvieron el interrogante sobre cuál era la causa que ocasionaba la aparición del arco iris: el espectro de mayor tamaño y el más espectacular de todos. Fue *Newton* quien consiguiera descubrir la verdad oculta tras el espectro visible dedicándose a la investigación del fenómeno del color, lo cual condujo a la explicación de cómo se producen los colores y demostró, con ayuda de un prisma, que cuando un rayo de luz solar pasa a través del cuerpo prismático, la luz se dispersa en una serie de ondas que forman un espectro continuo de colores.

La luz que percibe el ser humano tan sólo ocupa una parte pequeña dentro del espectro de radiaciones electromagnéticas, el cual incluye las longitudes de ondas de los rayos gama, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz infrarroja, ondas de microondas, el radar y las ondas de radio y televisión. Hacia finales del siglo XIX, *James Clerk Maxwell*<sup>2</sup>, un físico escocés, las identificó todas como pertenecientes a la misma gama, el espectro electromagnético. Aunque las radiaciones electromagnéticas son tan diferentes unas de otras, todas se comportan como ondas cuyas vibraciones son perpendiculares a la dirección en que se propagan y poseen una longitud de onda definida como la distancia que la onda recorre en un ciclo de vibraciones, entre dos crestas o senos, y con una frecuencia

---

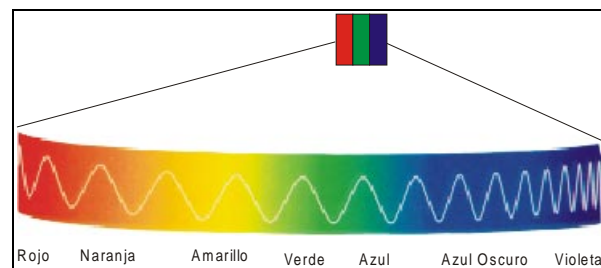
<sup>1</sup> En 1665, *Isaac Newton*, se dedica a la investigación del fenómeno del color.

<sup>2</sup> *Maxwell* amplió la investigación sobre los campos electromagnéticos demostrando las ecuaciones matemáticas generales. Entre sus obras se destaca: *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873)

determinada por el número de veces que una onda pasa por un punto específico en cada segundo.

Además, Einstein demostró que la luz está compuesta de *cuantos*<sup>3</sup>, que él denominó fotones, que cuando están en movimiento, se comportan como ondas, desplazándose por el espacio libre a diferentes frecuencias y longitudes de onda. Las diferentes longitudes de onda de la luz, con sus diferentes colores, se componen de fotones con diferentes cargas de energía de manera que los ubicados en la zona de ondas cortas del espectro tienen más energía y, los de onda larga, menos.

**Figura 1-1**  
El espectro visible



Las longitudes de onda de la luz visible representan una mezcla de varias ondas que tienen diferente frecuencia y longitud, desde la luz violeta con la longitud de onda más corta y con la frecuencia más elevada, hasta la luz roja con la longitud de onda más larga y de menor frecuencia; ubicadas en el rango comprendido aproximadamente entre los 380 a 760 nanómetros (nm), ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ) dentro del espectro electromagnético, forman la pequeña banda de radiaciones que es capaz de estimular el sistema visual humano. Esta franja de radiaciones visibles, está limitada de un lado por las radiaciones ultravioleta y de otro por las radiaciones infrarrojas, que naturalmente no son perceptibles por el ojo humano. El espectro únicamente se hace visible cuando es dirigido hacia una superficie que al ser reflejado por ésta, las longitudes de onda componentes de la luz producen en el ojo las sensaciones de los colores del espectro.

---

<sup>3</sup> El color sí depende de la luz, pero esto no se entendió hasta que se desarrolló la teoría de los cuantos, teoría que tuvo su origen en 1887, cuando el físico Philip Lenard descubrió el efecto fotoeléctrico: que determinados metales emiten electrones, y que fluye corriente eléctrica cuando la luz es absorbida.

Excepto cuando se trata de objetos emisores de luz, el ojo humano únicamente ve un objeto por la luz que refleja, de modo que las longitudes de onda que refleja determinan su color; cuando el sistema visual humano detecta una longitud de onda de 700 nm, ve el color *rojo*, cuando una longitud de onda de 450 a 500 nm, es detectada, ve el color *azul*. Cuando vemos más o menos una cantidad igual de todas las longitudes de onda, vemos la *luz blanca*. Dentro de esta gama limitada, denominada como el espectro visible, se encuentran las longitudes de onda de todos los colores conocidos: violetas, azules, verdes, amarillos, naranjas y rojos.

La mayoría de los objetos son capaces de realizar una absorción selectiva, es decir, absorben los fotones de determinadas longitudes de onda de la luz incidente y reflejan el resto. Cualquier materia absorbe y refleja algo de luz, así, los pigmentos como los llamados carotenoides, antocianinas y la hemoglobina, son los agentes más eficaces de la absorción selectiva, dando el color característico a la zanahoria, el vino tinto y la tonalidad roja a la sangre, respectivamente. Los tintes y las pinturas aprovechan de igual forma este principio y durante miles de años se han obtenido tintes y pinturas únicamente a partir de pigmentos naturales, pero los descubrimientos realizados durante los últimos años en la síntesis pigmentaria han conducido a la gama prácticamente ilimitada de colores que actualmente hay disponibles para usos comerciales.

La luz es un aspecto importante del color; pero igualmente importante es el concepto de color de los objetos. El color de un objeto depende principalmente de su reflectancia espectral, esto es la cantidad de luz que es reflejada por la superficie del objeto. Si la radiancia espectral del iluminante es representada por la función  $I(\lambda)$ , siendo  $\lambda$  la longitud de onda y la reflectancia espectral de un objeto es representada por  $r(\lambda)$ , la luz observada finalmente  $f(\lambda)$  está dada por:

$$f(\lambda) = I(\lambda) r(\lambda) \tag{1.1}$$

## 1.2 EL SISTEMA VISUAL HUMANO

El sentido de la vista cuenta con muchas más células nerviosas a su servicio que cualquier otro de nuestros sentidos, hecho que pone de relieve la extrema importancia de la visión en nuestras vidas. Gracias a esta extraordinaria facultad estamos capacitados para distinguir objetos y acontecimientos no sólo de nuestro entorno más inmediato, sino también muy lejano. Todo este sistema psicovisual complejo que aún no se entiende completamente nos permite apreciar los diferentes colores que existen en nuestro medio y aunque no todos percibimos los mismos colores, la mayoría de las personas perciben el color de forma similar.

La mayoría de la luz que llega a nuestros ojos empieza siendo luz blanca, procedente del sol o de una bombilla, y posteriormente se refleja por un objeto. Cuando la luz incide sobre un objeto, la superficie del objeto absorbe determinadas gamas de longitud de onda de luz y refleja otras partes del espectro. La luz reflejada contiene una mezcla de diferentes longitudes de onda, mezcla que proporciona el color percibido.

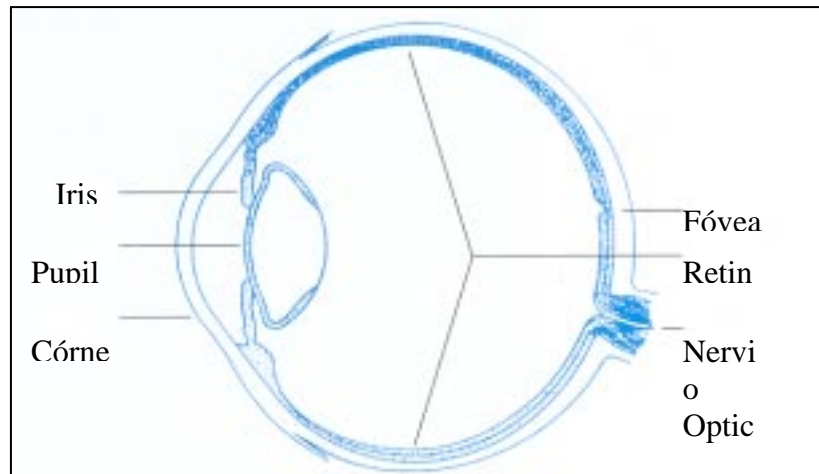
**Figura 1-2**  
Absorción y reflexión



La luz que incide sobre el ojo accede hasta la parte posterior, a través de la *pupila*, la abertura circular negra que presenta el *iris* coloreado. El tamaño de la pupila es regulado de modo automático por las fibras musculares circulares y radiales del iris, de tal forma que con la luz intensa, la pupila se contrae y reduce la cantidad de luz que entra en el ojo hasta que ésta sea óptima. La luz se proyecta en una lámina estratificadora, la *retina*, la cual es sensible a la luz y recibe la sucesión de imágenes procedentes del *crystalino*. La retina con tan sólo 0.4 milímetros de grosor contiene aproximadamente 120 millones de células *fotorreceptoras*, llamadas *conos* y *bastones*, debido a su forma característica que se observa

a través del microscopio. Tanto los conos como los bastones contienen pigmentos especiales que se descomponen en cuanto reciben el impacto de la luz y se recomponen con la ayuda de enzimas y vitaminas. La luz que se proyecta sobre los conos y bastones de la retina provoca la descarga de impulsos nerviosos mediante un proceso fotoquímico y los mensajes codificados que constituyen estos impulsos, viajan al cerebro a través del nervio óptico.

**Figura 1-3**  
El ojo humano



Los conos son los responsables de la percepción del color o *visión fotópica* generando impulsos nerviosos, a través de sus fotopigmentos que hacen que cada cono sea sensible a una gama concreta de longitudes de onda cuando reciben radiaciones luminosas. Algunos conos contienen pigmentos sensibles a la luz roja, otros los contienen sensibles a la luz verde y otros a la luz azul. La luz blanca es una mezcla de luces de todas las diferentes longitudes de onda, pero es posible reproducirla utilizando únicamente la luz roja, azul y verde, así como también lo es reproducir cualquier color del espectro combinando, en las proporciones adecuadas, estas tres longitudes de onda.

Dependiendo de la mezcla de longitudes de onda en la luz que penetra en el ojo, los conos sensibles a la luz roja, verde y azul son estimulados en diferentes proporciones y en distinto grado, y las señales codificadas que transmiten al cerebro son interpretadas en el área visual de la corteza como una sensación de color, así los conos responden a los tonos de color y a

la luminosidad y pueden registrar todos los colores que el hombre conoce. Esta imagen es una percepción personal e individual.

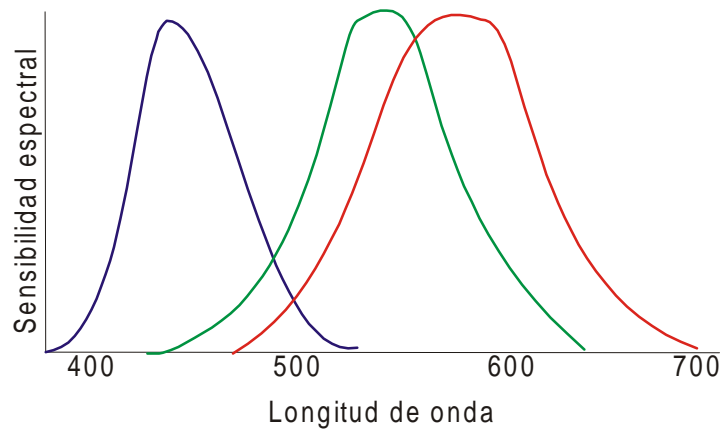
Los bastones o bastoncillos, más abundantes en los bordes de la retina, son los responsables de la visión con luz débil o *visión escotópica* y sólo son sensibles a la luminosidad. Cuando los fotones de la luz estimulan una molécula del pigmento de los bastoncillos, la *rodopsina*, este pigmento se vuelve pálido produciendo un cambio en la actividad eléctrica que es transmitida continuamente al *nervio óptico* y que terminan en el cerebro. Cada vez que cambia el nivel de iluminación, el ojo tiene que adaptarse y se requieren varios minutos para que la rodopsina descolorida se regenere totalmente. Los bastoncillos sólo se activan en condiciones de poca luz y casi no tienen influencia bajo condiciones de visión normales.

De otro modo, si la distribución espectral de la luz incidente sobre la retina está dada por  $f(\lambda)$ , donde  $\lambda$  representa la longitud de onda, las respuestas de los tres conos pueden ser modeladas matemáticamente por un vector tridimensional, así:

$$c_i = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} f(\lambda) S_i(\lambda) d\lambda \quad i = 1, 2, 3, \quad (1.2)$$

Donde  $S_i(\lambda)$  denota la sensibilidad espectral del cono  $i$  y  $\lambda_{\min}$ ,  $\lambda_{\max}$  denotan el intervalo de la longitud de onda del espectro visible.

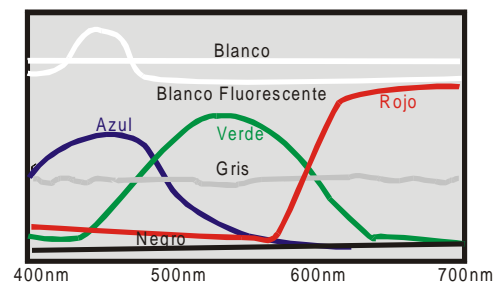
**Figura 1-4**  
Curvas de sensibilidad espectral de los tres tipos de cono en la retina



La respuesta o sensibilidad de los tres tipos de cono en la retina a las diferentes longitudes de onda, no es uniforme. Estas respuestas del ojo humano se han cuantificado a través de experimentos generando como resultados que no todas las longitudes de onda tienen la misma impresión luminosa y de este modo, se ha determinado la distribución espectral o *la curva de sensibilidad* del ojo humano mostrando mayor sensibilidad a la luz verde y menor sensibilidad a la luz azul. De este modo, el color está asociado a las ondas de la luz, específicamente a la distribución de sus longitudes de onda. Estas distribuciones son calificadas como características espectrofotométricas.

Psicológica y fisiológicamente, el color es una percepción del cerebro que resulta de las señales llevadas a éste mediante los conos receptores de los ojos. El color de cualquier material resulta del efecto que tienen los pigmentos, tintes u otros materiales absorbentes sobre el objeto percibido. Físicamente el color se puede representar mediante curvas espectrales o curvas espectrofotométricas que son gráficos que pueden describir la cantidad de luz (eficiencia luminosa relativa) en cada longitud de onda en todo el espectro visible y se pueden emplear para ayudar a identificar los tintes o pigmentos empleados para producir un color dado.

**Figura 1-5**  
Curvas espectrales de algunos colores



Como se describió anteriormente, la distribución espectral  $f(\lambda)$  de la luz incidente sobre la retina es producto de la reflectancia espectral  $r(\lambda)$  del objeto y de la radiancia espectral  $I(\lambda)$  del iluminante; de esta forma la ecuación 1.2 se puede reescribir como sigue:

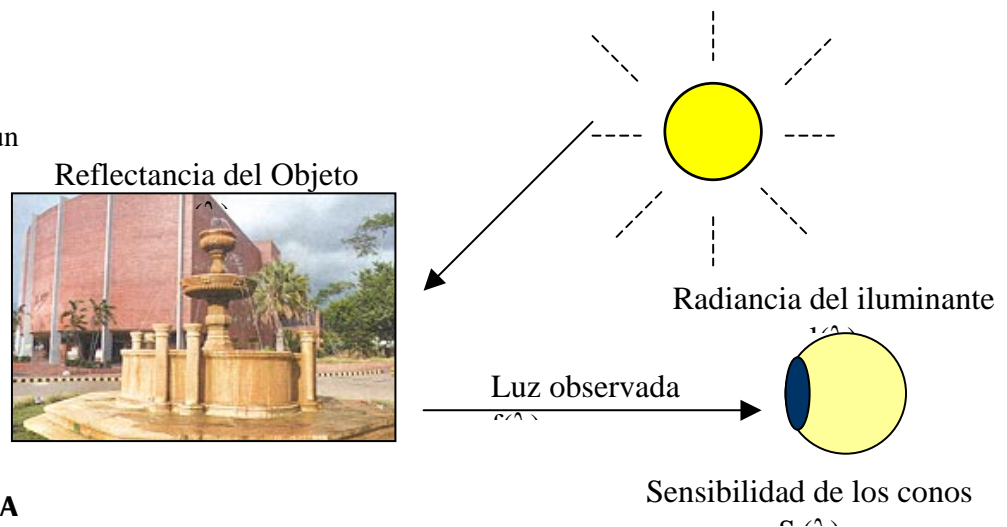
$$c_i = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} I(\lambda)r(\lambda)S_i(\lambda)d\lambda \quad i = 1,2,3, \quad (1.3)$$

Así, para que se produzca un color se requiere de:

- Una fuente de luz (natural o artificial)
- El material que recibe la luz (objeto coloreado)
- El ojo (que percibe la luz reflejada)

Es de esta forma que la sensación percibida por el cerebro humano es lo que determina el color, que no solamente depende del objeto sino del iluminante además de otros factores psicológicos y fisiológicos.

**Figura 1-6**  
Visión humana de un objeto.



### 1.3 COLORIMETRÍA

La colorimetría es la rama de la ciencia del color relacionada con la especificación cuantitativa de un estímulo visual de modo que:

- Cuando es observado por un observador con una visión normal de color, bajo las mismas condiciones de observación, el valor estímulo se muestra igual.
- El valor estímulo que aparece igual siempre tiene las mismas especificaciones, y
- La representación numérica de estas especificaciones, es una función continua de los parámetros físicos que definen la distribución de la energía espectral del estímulo.

### 1.3.1 Leyes de Grassmann

La representación del color está basada en teorías clásicas que representan la base de la colorimetría. Entre ellas se encuentra la enunciada por *Thomas Young*<sup>4</sup> (1802), quien afirmó que cualquier color puede ser reproducido por la combinación apropiada de tres colores primarios; y en 1853, *Grassmann*<sup>5</sup> estableció que el color podría ser especificado matemáticamente en términos de tres variables independientes y formuló un conjunto de leyes:

**Primera ley de Grassmann:** Tres variables independientes son necesarias y suficientes para caracterizar un color psico-físicamente.

Esta ley indica que el espacio del color es tridimensional. Cada color estímulo puede ser igualado en términos de tres valores estímulos primarios cuyos valores espectrales pueden ser ajustados por el observador. La única restricción está en que los valores estímulos primarios son colorimétricamente independientes, esto es, que ninguno de los valores primarios puede ser definidos por una mezcla de los otros dos.

Los valores estímulos primarios más comunmente utilizados son rojo, verde, azul denotados con las letras  $A, B, C$  y el factor que representa la intensidad del estímulo es representado mediante  $\alpha, \beta$ , y  $\gamma$ ; de este modo la primera ley de Grassmann es:

$$\forall X, \exists \alpha, \beta, \gamma, \text{ tal que } X \equiv \alpha A + \beta B + \gamma C \quad (1.4)$$

---

<sup>4</sup> *Newton se encontraba con la dificultad de no saber lo suficiente acerca de lo que era la luz. Pensaba que un rayo de luz era una corriente de partículas diminutas que se desplazaban en línea recta. Dos de sus contemporáneos, Robert Hooke y Christian Huygens, empezaron a sospechar la verdad: la luz se comporta como una onda. Pero no fue hasta comienzos del siglo XIX, cuando Thomas Young, demostró por primera vez lo acertado de esta idea. La prueba que aportó Young de la naturaleza ondulatoria de la luz, además, condujo al descubrimiento de que la luz tiene propiedades comunes con otras radiaciones electromagnéticas.*

<sup>5</sup> *Maxwell y Grassmann fueron los primeros en establecer que el color puede ser especificado en términos de variables independientes.*

**Segunda ley de Grassmann:** El resultado de la mezcla aditiva de una luz depende únicamente de la caracterización psico-física y no de la composición espectral de los colores.

La notación matemática de esta ley se expresa así:

$$\begin{aligned} \forall X_1 \equiv \alpha_1 A + \beta_1 B + \gamma_1 C, X_2 \equiv \alpha_2 A + \beta_2 B + \gamma_2 C \\ X_1 + X_2 \equiv (\alpha_1 + \alpha_2)A + (\beta_1 + \beta_2)B + (\gamma_1 + \gamma_2)C \end{aligned} \quad (1.5)$$

**Tercera ley de Grassmann:** Si los componentes de una mezcla de color son modificados por un factor, el color resultante es afectado proporcionalmente por el mismo factor.

Esto es, si  $k$  es una constante,

$$\forall X, k, X \equiv \alpha A + \beta B + \gamma C \Rightarrow kX \equiv k\alpha A + k\beta B + k\gamma C \quad (1.6)$$

### 1.3.2 Espacio Triestímulo

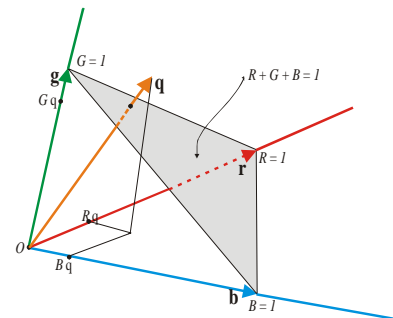
Debido a las propiedades lineales determinadas por las leyes de Grassmann, es posible y conveniente representar un color estímulo por vectores sobre un espacio tridimensional, denominado **espacio triestímulo**.

En este espacio tridimensional un color puede definirse mediante un vector  $\mathbf{q}$  cuyos componentes o valores triestímulos tienen longitudes  $R_q$ ,  $G_q$ , y  $B_q$  a lo largo de las direcciones  $\mathbf{r}$ ,  $\mathbf{g}$  y  $\mathbf{b}$  respectivamente, así:

$$\mathbf{q} \equiv R_q \mathbf{r} + G_q \mathbf{g} + B_q \mathbf{b} \quad (1.7)$$

Esta ecuación puede ser representada geoméricamente como se muestra en la siguiente figura:

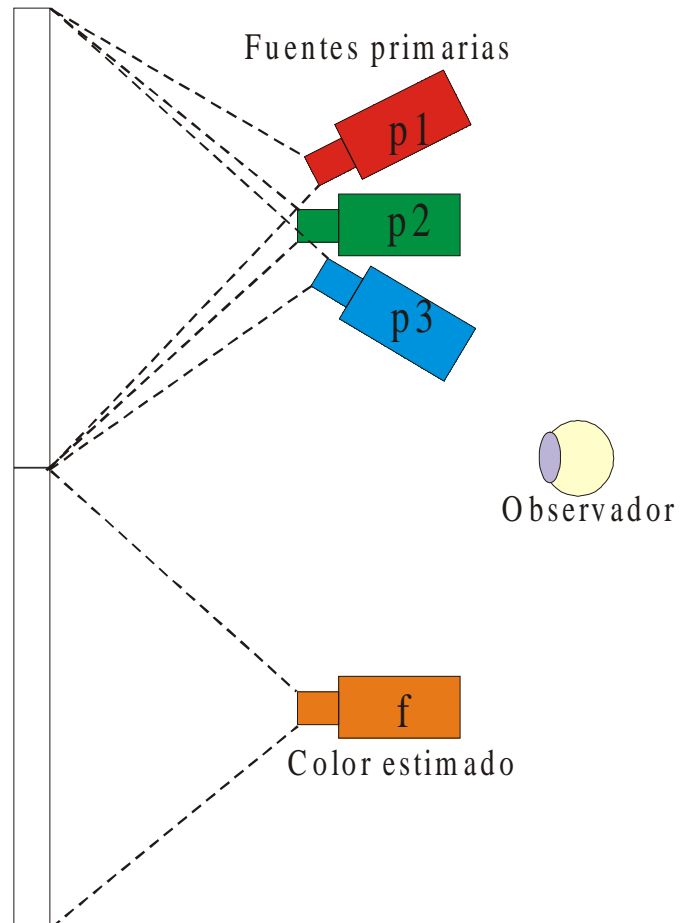
**Figura 1-7**  
Espacio triestímulo,  $R, G, B$



### 1.3.3 Equilibrio Colorimétrico

Un concepto importante en colorimetría es el **equilibrio colorimétrico**, para referirse al grado de diferencia entre dos estímulos, típicamente presentados en un campo visual dividido por la mitad como se ilustra en la siguiente figura:

**Figura 1-8**  
Experimento de equilibrio  
cromático



Dos espectros, representados por los vectores  $\mathbf{f}$  y  $\mathbf{g}$  producen la misma respuesta visual, si:

$$\mathbf{S}^t \mathbf{f} = \mathbf{S}^t \mathbf{g} \quad (1.8)$$

Entonces, se dice que estos dos colores son iguales. En el experimento ilustrado en la figura anterior, el observador es evaluado para ajustar las cantidades de las tres fuentes primarias  $\mathbf{p1}$ ,  $\mathbf{p2}$ ,  $\mathbf{p3}$  para que el color resultante sea igual al estímulo  $\mathbf{f}$ , esto es:

$$\mathbf{S}^t \mathbf{f} = \mathbf{S}^t \mathbf{P} \mathbf{a}, \quad (1.9)$$

Donde  $P = [p_1 p_2 p_3]$  denota los valores primarios y  $a = [a_1 a_2 a_3]^t$  corresponde a los pesos o valores de intensidad para cada fuente primaria. Teniendo en cuenta que los valores primarios son independientes, el vector  $a = S^t f (S^t P)^{-1}$ . Sin embargo, en la práctica la igualación de un color puede ser obtenida, restando una fuente primaria al color  $f$ ; esto es representado mediante la igualdad,  $a_1 p_1 + a_2 p_2 = (-a_3) p_3 + f$ .

Si el anterior experimento es aplicado a un conjunto de estímulos  $e_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  es posible obtener los pesos  $a_i$  para cada longitud de onda que expresado matemáticamente corresponde a:

$$S^t I = S^t P A^t$$

Donde  $I = [e_1 e_2 \dots e_N]$  es una matriz de  $(N \times N)$  y  $A = [a_1 a_2 \dots a_N]^t$  es la matriz de equilibrio cromático correspondiente a los valores primarios  $P$ .

### 1.3.4 Metamerismo

Partiendo de la ecuación  $S^t f = S^t g$ , y de que  $S$  es una matriz de  $N \times 3$ ,  $N > 3$ , es claro que varios espectros pueden aparecer del mismo color para el observador. Al conjunto de dos espectros de diferente composición espectral y que aparecen con la misma caracterización psicofísica son denominados **colores metaméricos**.

El metamerismo precisa que dos objetos del mismo color pueden cambiar su apariencia colorimétrica bajo diferentes condiciones de iluminación. Esto se convierte en un problema práctico de la industria de las artes gráficas, donde los impresos son evaluados bajo diferentes iluminantes.

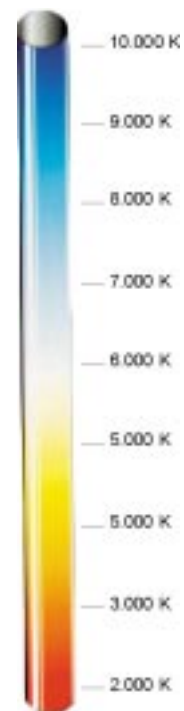
### 1.3.5 Iluminantes estándares CIE

Mientras los objetos estén iluminados por una fuente de **luz blanca** que incluye todas las longitudes de onda del espectro visible, aparecerán con su verdadero color. Pero en cuanto cambie la distribución de la longitud de onda de la luz incidente, faltándole ciertas frecuencias, aparecerán con un color completamente diferente.

Es así como la fuente de luz o iluminante afecta la percepción del color. Tanto la luz día natural como la simulada artificialmente son utilizadas normalmente para examinar visualmente las diferencias de color entre materiales. Sin embargo, la luz natural varía ampliamente en calidad espectral de acuerdo con la hora del día, las condiciones climatológicas, dirección de observación, épocas del año y ubicación geográfica. Debido a estas variaciones, la tendencia en pruebas y comparaciones industriales se dirige hacia la utilización de una fuente de luz simulada que se puede estandarizar y mantener relativamente estable con respecto de su calidad espectral.

El color de la luz es una variable importante en la observación de los objetos; si ésta tiende hacia una parte del espectro, el objeto aparecerá diferente del color original. La temperatura de la luz, medida en grados Kelvin ( $0^{\circ}\text{K}$  equivalen a  $273^{\circ}\text{C}$ ), describe si una fuente de luz es *rojiza* o *azulosa*. Las temperaturas de la luz más bajas tienden a ser amarillas y las temperaturas de la luz altas son más azules; de esta manera, el color de la luz puede ser descrito por su temperatura.

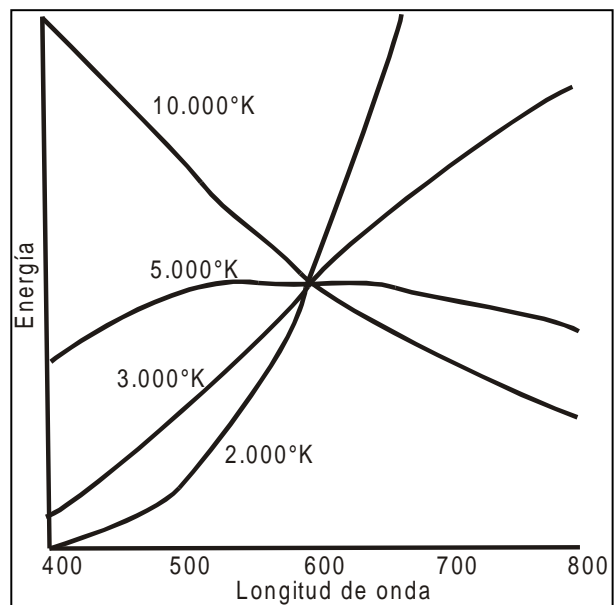
**Figura 1-9**  
Temperatura de la luz



El principio del concepto de la **temperatura del color** se basa en que cuando un cuerpo se calienta, éste emite luz. A medida que la temperatura aumenta, la actividad de los átomos y las moléculas del cuerpo incrementan enormemente. Cuando el cuerpo consigue estar caliente, comienza a encenderse desde un rojo pálido, luego rojo rojo brillante, después amarillo y continúa emitiendo luz blanca a azul, gradualmente. Pocos experimentos son suficientes para mostrar que la distribución de la energía a través del espectro es una función principalmente de la temperatura del cuerpo más que del propio material del cual está compuesto. Por ejemplo, cuando un cuerpo que absorbe completamente toda la energía, es calentado, éste puede mostrar que la energía radiada por unidad de área de su superficie tiene una magnitud y una distribución a lo largo del espectro que depende sólo de su temperatura. Esta distribución está dada por las **leyes de Planck** y las curvas de las radiaciones del cuerpo son mostradas en la siguiente figura:

**Figura 1-10**

Distribución espectral de la energía emitida por un cuerpo al ser calentado.



Un acercamiento a un cuerpo negro no es obtenido fácilmente, ya que la mayoría de las superficies reflejan algo de luz y muchas muestran una cierta cantidad de absorción selectiva, indicada por su color. Con algunos materiales, el color de la luz de un cuerpo a una determinada temperatura puede ser conseguido por el color de la luz a partir de un cuerpo negro calentado a diferente temperatura. Esta temperatura es conocida como la

Temperatura del Color y puede ser más alta o más baja que la temperatura real del material calentado.

Algunos ejemplos de temperatura de color se describen a continuación:

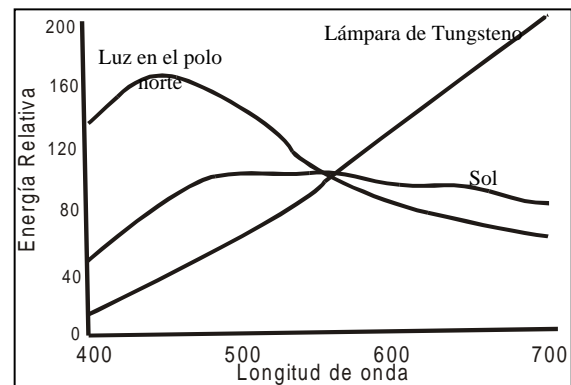
- La lámpara de tungsteno tiene una temperatura de color del orden de los 2900 °K pero varía de acuerdo con el voltaje aplicado; la luz solar tiene una temperatura aproximadamente igual a los 5000 °K pero está sujeta a variaciones debido a las absorción atmosférica y a la altitud, la luz del cielo polar es considerablemente azul con una temperatura del color del orden de los 15000°K o más alta. La fuente de iluminación de 5000°K emula la luz día y ofrece un balance entre las luces rojas, verdes y azules.
- La luz de la vela tiene una temperatura baja; la luz que emite se carga a longitudes de onda mayores, principalmente rojos y amarillos. Es difícil ver el color de los objetos azules o violetas con esta luz, por lo que se dice que la temperatura de color de una vela es aproximadamente de 1.800°K.
- La luz de una bombilla tiene temperaturas medias. La mezcla de longitudes de onda no se distribuye uniformemente a lo largo del espectro y los objetos aparecen demasiado amarillos.
- La mezcla de longitudes de onda en el espectro de un flash es casi igual. Aquí, la luz no acentúa ningún color, lo que permite una visualización más objetiva de los colores. Los sistemas de una mezcla relativamente uniforme de longitudes de onda proporcionan una luz neutra.

**Tabla 1-1**  
Temperaturas de color relacionadas con algunas fuentes de luz.

FUENTE LUMINOSA	TEMPERATUR A
Cielo azul despejado	12.000°K
Cielo nublado	7.000°K
Flash	6.000°K
Luz solar al medio día	5.000°K
Lámparas fluorescentes	4.500°K
Lámparas domésticas de tungsteno	3.000°K
Luz de vela	1.800°K

Para disponer de un método estándar que permitiera describir un color bajo condiciones de iluminación y visualización controladas, la *CIE*<sup>6</sup> (*Commission Internationale de l'Eclairage*) de Francia determinó que un paso esencial para la especificación del color era el **iluminante**; para ello, realizó un experimento, basado en la respuesta promedio de la población humana, y fue así como en 1931, recomendó el uso de tres estándares de iluminación para hacer las mediciones de la forma en que el ojo ve el color. La distribución espectral de los iluminantes estándares denotados con *A,B,C* se ilustran en la siguiente figura, donde *A* representa la distribución espectral de una lámpara de tungsteno, *B* la de la luz solar y *C* la distribución espectral de la luz en el polo norte.

**Figura 1-11**  
Distribuciones espectrales de los iluminantes estándares *A,B* y *C*.



En 1965, la CIE define como iluminante estándar a la fuente de luz con una temperatura de 5000K con distribución espectral similar a la luz natural y conocida como el iluminante  $D_{50}$ . Los iluminantes *D* normalmente se identifican mediante los dos primeros dígitos de su temperatura de color; por ejemplo  $D_{50}$  representa el promedio de la luz día con una

<sup>6</sup> Siglas de *Commission Internationale de l'Eclairage* (Comisión Internacional de Iluminación); una organización francesa técnica, científica y cultural que define como uno de sus objetivos desarrollar estándares y procedimientos de metrología en los campos de la luz e iluminación.

temperatura de color de 5.000°K. La industria de las artes gráficas especifica este iluminante D<sub>50</sub> (5.000°K) para la evaluación de impresos. Del mismo modo, se definió el iluminante D<sub>65</sub> (6.500°K) empleado en los sistemas de televisión.

Para la evaluación del color es muy importante saber bajo qué iluminante será observado el impreso y tener en cuenta que puede darse el fenómeno del **metamerismo** descrito en el numeral anterior.

### 1.3.6 Observador Estándar CIE

Uno de los trabajos de la CIE fue establecer un **observador estándar**, tomando una muestra de varios observadores humanos con visión normal del color. Esta definición se basó en el experimento de equilibrio cromático ilustrado en la *figura 1.8*, donde el observador podía ajustar las tres fuentes de luz primarias hasta obtener la luz deseada utilizando como valores de longitudes de onda  $R_o = 700$  nm,  $G_o = 546.1$  nm,  $B_o = 435.8$  nm.

La definición de un observador estándar CIE 1931 (también conocido como Observador 2° por el ángulo de visión definido) está basada en las tres longitudes de onda de luz roja, verde y azul. Estas cantidades de luces necesarias para formar un color particular se denominan **valores triestímulo** y se indican por X,Y,Z, respectivamente y son derivados a partir de los valores RGB presentados en un color, que representadas matemáticamente corresponden a:

$$X = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} f(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (1.11)$$

$$Y = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} f(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (1.12)$$

$$Z = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} f(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (1.13)$$

El conjunto de valores  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ , es una transformación lineal del conjunto de valores  $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ , definida cuidadosamente por la CIE, como se muestra a continuación:

$$\begin{bmatrix} \bar{x}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.2 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.0 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{r}(\lambda) \\ \bar{g}(\lambda) \\ \bar{b}(\lambda) \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

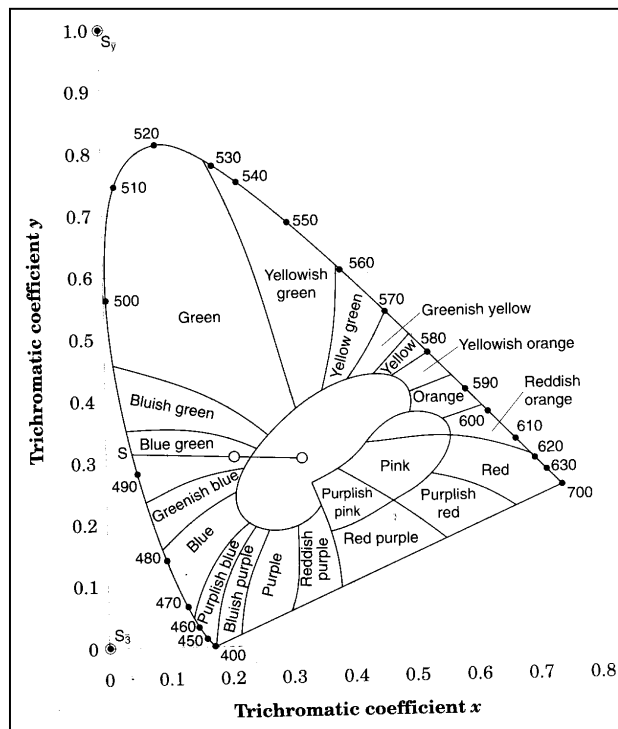
A partir de estos valores la CIE implementó el Diagrama de Cromaticidad (x,y) para representar gráficamente un color, donde los valores son normalizados y de esta forma:

$$x + y + z = 1 \quad (1.15)$$

**Figura 1-12**

Diagrama cromático (x,y) de la CIE 1931.

(Gráfico tomado del libro *Understanding Digital Color* publicado por la GATF)



En el anterior diagrama, las posiciones de los diversos colores espectrales (de los 400 nm a 700 nm, aproximadamente) están indicadas alrededor del contorno de forma de lengua y representan los colores puros que ocupan un lugar en el espectro. La línea recta une las extremidades del plano de cromaticidad y es el lugar de las mezclas aditivas de dos colores puros, especialmente de mezcla de luces rojas y azules para dar lugar a los estímulos púrpuras; además, los puntos que no están en el mismo borde del diagrama sino en su interior representan una mezcla de colores espectrales.

### 1.3.7 Espacio de Color Uniforme

Los experimentos psico-físicos han demostrado que la sensibilidad a la luz del ojo humano no es lineal. Los espacios de color RGB y XYZ definidos por la CIE son lineales a la energía de distribución espectral de la luz coloreada.

Cuando se cambian los valores triestímulos XYZ o RGB de un determinado color, el observador percibe una diferencia del color únicamente después de cierta cantidad, al presentarse una diferencia apenas perceptible debido a las observaciones subjetivas del observador. Para rectificar los espacios de color anteriormente descritos, la CIE propuso en 1976 dos espacios de color *seudouniformes*<sup>7</sup>, denotados como CIELUV y CIELAB. El espacio CIELUV es usado frecuentemente para la descripción de colores en pantallas, mientras CIELAB fue diseñado para medios reflectivos. Actualmente CIELAB es empleado como un espacio de color estándar para diversos campos, como el de las artes gráficas, multimedia e impresos.

#### 1.3.7.1 Espacio de Color CIELAB

En 1976 la CIE decidió estandarizarse en el modelo CIELAB. El sistema CIELAB es ampliamente usado principalmente para muestras de color reflectivas, incluyendo pinturas y textiles; es así como se convierte en el espacio de color actualmente recomendado en la mayoría de los métodos de medición y de especificaciones nacionales e internacionales.

CIELAB es realmente dos términos: CIE y LAB. Este espacio de color tiene una componente vertical para la luminancia  $L$ , y dos coordenadas cromáticas,  $A$  (rojo-verde) y  $B$  (azul-amarillo). Con base en los sistemas de medición de color desarrollados se pudo establecer que un color no puede ser verde y rojo al mismo tiempo, ni azul y amarillo a la vez. Cada color que un observador puede ver es representado por su localización en el espacio de color perceptual de la CIE y cuando un color se expresa usando el CIELAB o

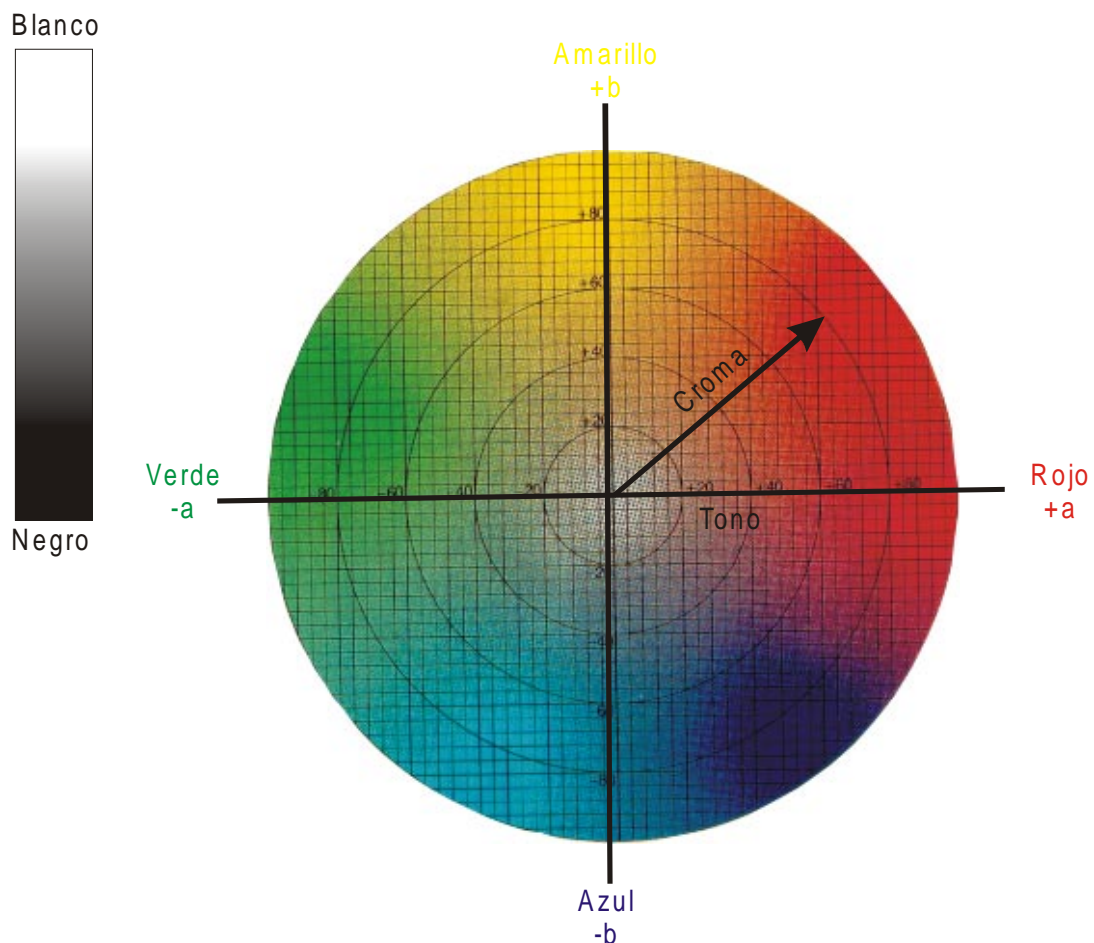
---

<sup>7</sup> Un espacio de color es denominado uniforme cuando las diferencias visualmente perceptibles son representadas gráficamente en puntos igualmente espaciados, esto es, que el umbral diferencial o diferencia apenas perceptible es constante a lo largo del espacio de color.

CIE  $L^*a^*b^*$ , la coordenada  $L$  puede ir desde un blanco o reflexión total ( $+L$ ) a un negro en la parte inferior ( $-L$ ), el centro de la coordenada es gris.

La coordenada  $a^*$  indica que va de un color rojo ( $+a^*$ ) a un color verde ( $-a^*$ ). En el eje  $b^*$ , un cambio  $-b^*$ , representa un cambio hacia el azul, un cambio  $+b^*$  representa un cambio hacia el amarillo.

**Figura 1-13**  
Modelo  
CIELAB



La mayor ventaja de este espacio de color uniforme está en la evaluación de diferencias de color cuando los colores son muy semejantes. Las expresiones matemáticas correspondientes a este modelo cromático están expresadas en:

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (1.16)$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad (1.17)$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad (1.18)$$

donde:

$X, Y, Z$  son los valores triestímulos de la respuesta del rojo, verde y azul, respectivamente

$X_n, Y_n, Z_n$  son los valores triestímulos del blanco de referencia.

### 1.3.7.2 Fórmula de Diferencia del Color

Para la comparación de dos colores, especificados por  $[L_1^*, a_1^*, b_1^*]$  y  $[L_2^*, a_2^*, b_2^*]$ , CIELAB determinó calcular la diferencia colorimétrica mediante la fórmula de la distancia Euclidiana:

$$\bullet E^*_{ab} = \bullet \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (1.19)$$

$$\bullet E^*_{ab} = (\bullet L^2 + \bullet a^2 + \bullet b^2)^{1/2}$$

Sin embargo, desde que se definió que el espacio CIELAB no es completamente uniforme, la fórmula de  $\bullet E^*_{ab}$  presenta inconvenientes. Varios intentos ha realizado la CIE para mejorar el cálculo de la diferencia de color. En 1994, la CIE definió un modelo matemático de diferencia de color, denotado como  $\bullet E^*_{94}$ , donde esta diferencia es calculada mediante:

$$\Delta E^*_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H}\right)^2} \quad (1.20)$$

$$\text{Donde } C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad ; \quad \Delta H = ((\Delta E)^2 - (\Delta L)^2 - (\Delta C)^2)^{1/2} \quad (1.21)$$

Donde las funciones de ponderación  $S_L, S_C$  y  $S_H$  están dadas por:

$$(1.22)$$

$$S_L = 1, S_C = 1 + 0.045C^*, S_H = 1 + 0.015C^*$$

Las variables  $k_L$ ,  $k_C$  y  $k_H$  son denominados factores paramétricos y son empleados para permitir ajustes independientes en cada diferencia de color.

Esta nueva fórmula de la diferencia de color es ahora, ampliamente utilizada en la literatura y en la industria, reemplazando a la expresión  $\bullet E^*_{ab}$ .

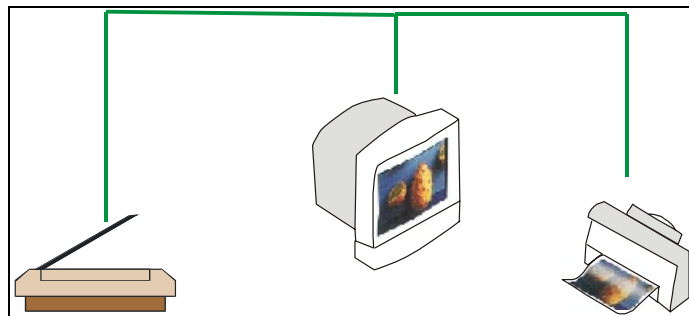
## 2 EL COLOR EN EL SISTEMA DE PREPrensa DIGITAL

### 2.1 EL SISTEMA DE PREPrensa DIGITAL

La industria de las artes gráficas ha sido testigo fundamental de los cambios en la forma como el color es reproducido. Hoy en día para la reproducción del color, sobre materiales impresos, se cuenta con los avances de la ciencia, especialmente en los campos de la electrónica, informática, química, óptica y mecánica. Se han desarrollado nuevas tintas, papeles, equipos y otros elementos de la ciencia moderna y de la investigación aplicados a la impresión, la cuál está modificándose gradualmente de un arte a una ciencia.

El proceso previo a la impresión final de un producto gráfico se conoce con el nombre de preprensa o preimpresión que, con la introducción de dispositivos electrónicos y programas de computador, adquiere el nombre de **preprensa digital** en donde la reproducción de color juega un papel muy importante. Dentro de la preprensa digital, el uso del computador, de escáneres e impresoras como herramientas de edición y diseño han extendido la necesidad de mejorar la especificación y comunicación del color a nivel de todo el flujo de trabajo.

**Figura 2-1**  
Flujo de trabajo en  
el Sistema de  
Preprensa Digital.



El tema principal a tratar en este capítulo es acerca de la consistencia del color en todo el flujo de trabajo de un sistema de pre prensa digital. Para lograr esto, es necesario entender y controlar la forma en que, los diferentes dispositivos involucrados en toda la cadena, tratan el color.

## **2.2 LA REPRODUCCIÓN DEL COLOR EN LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE PREPrensa DIGITAL**

Cada dispositivo utilizado en el proceso de pre prensa digital posee su propio espacio cromático o gama cromática y a medida que una imagen pasa de la digitalización a la visualización y de ésta a la impresión, se introducen cambios en el color que se acentúan cuando se combinan dispositivos de diferentes fabricantes y de diversas marcas.

Así mismo, cada equipo interpreta los datos de las imágenes, tomando como base el espacio cromático del aparato correspondiente. Como consecuencia, cada equipo reproduce las mismas imágenes con resultados distintos. Con la transferencia de un aparato a otro aparecen las derivaciones cromáticas que pueden ocasionar diferencias a medida que avanza por el flujo de trabajo.

A través de la historia, los intentos por reproducir los colores que vemos en la naturaleza han tomado diferentes formas. El medio y los métodos utilizados para reproducir el color incluyen entre otros las pinturas, las prensas de impresión, la película a color, monitores e impresoras a color. Sin embargo existen dos métodos principales para la creación de una gama cromática. Uno está basado en la luz y el otro en pigmentos o tintes.

### **2.2.1 Sistema Aditivo de Colores**

Este método es el empleado en las pantallas de televisión, monitores de computador y en una amplia categoría de cámaras de vídeo y escáneres de color. Por ejemplo, los monitores funcionan activando tres tipos de fósforos para que emitan luz roja, verde o azul que en distintas proporciones e intensidades pueden conseguir todos los demás colores. Cuando se emite luz roja, verde y azul a la vez con igual intensidad, el resultado visible es luz blanca.

Este **método aditivo** se basa en la adición de las tres longitudes de onda de luz primarias R G B (R, *red*; G, *green*; B, *blue*). Un extenso porcentaje del espectro visible se puede representar combinando luz roja, luz verde y luz azul en proporciones e intensidades diferentes. Las longitudes de onda roja, verde y azul se denominan **colores primarios aditivos** y forman los puntos angulares del espacio cromático RGB. Mezclando cantidades iguales de colores aditivos primarios se originan los colores complementarios o colores no espectrales ya que no se les puede atribuir una longitud de onda característica puesto que no son una radiación particular sino una mezcla de radiaciones. De esta manera:

- Adicionando y combinando los componentes de luz azul y roja, crea la sensación de color denominada **magenta**. La luz verde no se utiliza para crear el magenta; por lo tanto el magenta y el verde se definen como complementarios.
- Similarmente, la combinación de las longitudes de onda del azul y el verde, crea la sensación denominada **cian**; esta mezcla no utiliza la luz roja definiéndose como complementaria del cian.
- La adición de la luz roja y verde produce la sensación visual de **amarillo** siendo el azul el complementario.

La luz **blanca** aparece donde la luz azul, verde y roja se superponen usando la misma proporción en cada una. Al mezclar estos colores, se está adicionando luz que permite producir otros colores denominados colores secundarios.

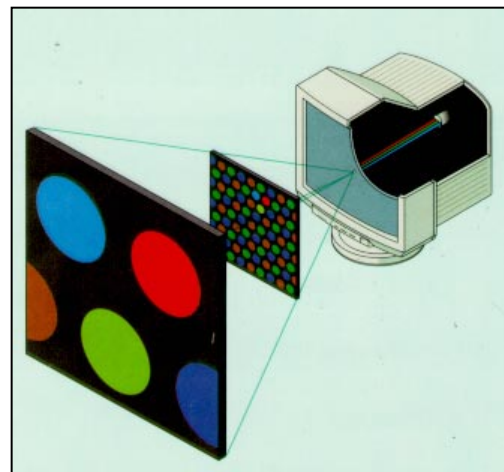
**Figura 2-2**  
Colores aditivos



### 2.2.1.1 Reproducción de color en monitores

Los monitores de tubos de rayos catódicos producen color activando los fósforos rojo, verde y azul con un haz regular de barrido de electrones generado a partir del tubo de rayos catódicos situado detrás de la superficie de cristal. Esta superficie, la pantalla del monitor, es negra inicialmente. Los electrones que llegan a los fósforos generan luz roja, verde y azul y combinaciones de las mismas. Cuando todos los fósforos rojos, verdes y azules se iluminan a la vez, la pantalla se vuelve blanca.

**Figura 2-3**  
Dispositivo de  
Colores Aditivos



Puede resultar difícil conseguir una reproducción cromática precisa en un monitor debido a que la luz de transmisión se utiliza para simular las propiedades cromáticas de una superficie opaca. Es casi imposible mostrar en un monitor los colores exactos de una imagen en papel y esto se debe a que los colores en el monitor y en el papel se generan mediante un fenómeno físico totalmente diferente.

Dentro de los factores que intervienen en la representación limitada de colores en los monitores se encuentran:

- a. **Los fósforos:** Se refieren a los elementos de la pantalla de un monitor que desprende luz cuando incide sobre él, un electrón procedente del tubo de rayos catódicos. De este modo, los monitores producen los colores mediante la excitación de los fósforos rojo, verde y azul con un haz de electrones. El espesor del revestimiento de estos fósforos

depende de cada fabricante y la representación de los colores cambia con el uso del monitor, debido a que los revestimientos pierden espesor con el paso de tiempo.

- b. El brillo y contraste:** El Brillo indica lo claro u oscuro que es un color , cuanto se aproxima al blanco o al negro; el contraste indica la relación entre las zonas más claras y más oscuras de una imagen. Estos controles, que se ajustan manualmente en el monitor, cambian los voltajes analógicos que envía la tarjeta de video a los tubos de rayos catódicos. Esto puede alterar en gran medida la intensidad de los colores, así como su brillo en la pantalla; por esto es importante ajustarlos a niveles que correspondan con el entorno de trabajo cotidiano.
  
- c. El punto blanco:** Es la medida del color blanco de un monitor, que se genera cuando los fósforos rojos, verdes y azules alcanzan la máxima intensidad. Esta medida se da en grados Kelvin<sup>8</sup> (°K) y a medida en que aumente esta temperatura, la imagen aparecerá más azul.
  
- d. Gama:** Son los valores tonales reproducidos por el monitor. El monitor sólo puede mostrar los colores incluidos en su gama.
  
- e. La tarjeta de video:** La función principal de la tarjeta de video es procesar la información sobre el color. Los monitores son dispositivos analógicos por lo que hay que convertir los datos binarios de una imagen digitalizada para que se generen los niveles de voltaje eléctrico necesarios para conseguir los colores en el monitor. Los computadores utilizan la tarjeta de video para realizar esta conversión. La tarjeta de video utiliza tablas de consulta de color y un convertidor digital a analógico para coordinar la información sobre el color. El tipo de tarjeta de video utilizada y la precisión de las tablas de consulta de color, determinarán la calidad del proceso de conversión.

---

<sup>8</sup> Escala de temperatura que recibe su nombre de Lord Kelvin, su inventor, y que se utiliza para describir la mezcla de diferentes longitudes de onda de la luz.

**f. Las fuentes de luz externa:** Estas fuentes también desempeñan su papel, ya que se mezclan con el color emitido por el monitor cuando inciden en la superficie de la pantalla. Para la observación de imágenes en el monitor se recomienda que se siga la norma **ISO 3664** sobre estándares de observación. Esta norma contiene especificaciones para la visualización de imágenes en monitores e incluye las siguientes recomendaciones:

*Tabla 2-1 Resumen de la norma ISO 3664: Especificaciones de observación*

<b>Iluminante de Referencia (Punto Blanco °K)</b>	<b>Luminancia</b>	<b>Niveles de iluminación exterior</b>
D <sub>65</sub> ≡ 6500 °K	>75 cd/m <sup>2</sup> (Recomendación de >100 cd/m <sup>2</sup> )	≤ 64 lx Neutral: Gris oscuro o negro. (Recomendación de ≤ 32 lx)

Es importante tener en cuenta la ubicación física del monitor en un área donde no se reflejen luces de ventanas o de lámparas y preferiblemente las paredes, pisos y muebles del mismo espacio del monitor deben ser de color gris y libres de pósteres, afiches o cualquier otro objeto que afecte la visión del observador.

Así mismo, se recomienda adecuar la iluminación ambiente a una temperatura de color menor o igual a la temperatura de color establecida para el punto blanco del monitor.

### **2.2.1.2 Reproducción de color en escáneres**

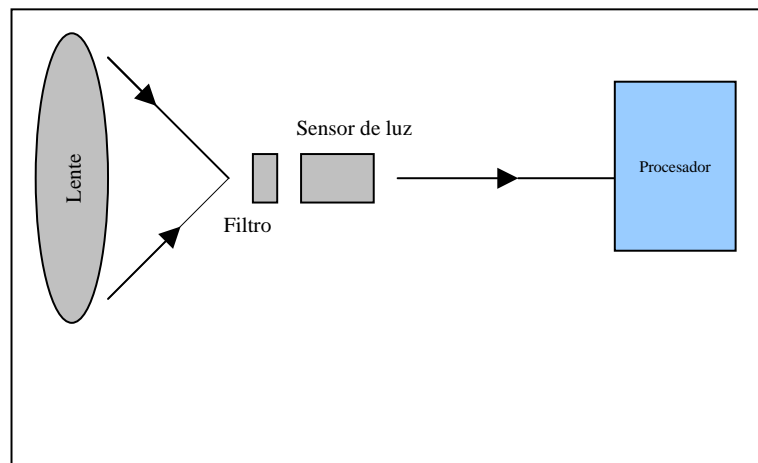
En el comienzo del proceso de reproducción del color se encuentra el escáner. Este dispositivo de entrada es ampliamente utilizado para la digitalización de las imágenes como las fotografías o diapositivas.

Estos equipos convierten información analógica (luz) en información digital (bits), e independientemente de sus configuraciones, todos comparten el mismo principio fundamental: exponen el original con luz y miden la cantidad de luz roja, verde y azul reflejada o transmitida por el objeto (fotografía o diapositiva respectivamente), de forma

que la luz resultante incide sobre una serie de detectores microelectrónicos<sup>9</sup> o fotoceldas dispuestos en una matriz o a lo largo de un vector donde cada uno de ellos atrapa la información para un único pixel. La incidencia de la luz e intensidad en cada elemento CCD crea una carga eléctrica proporcional en el elemento. Esta medida o carga analógica se convierte en datos digitales a través de un dispositivo denominado conversor análogo-digital realizando un muestreo de la señal análoga y representando en forma de bits el color.

Es importante tener en cuenta que los escáneres responden de forma diferente a la información de color, del mismo modo que nosotros, como individuos con sistemas sensoriales visuales, percibimos los colores de forma diferente. Tanto el ojo humano como el escáner responden a la luz de diferentes longitudes de onda proveniente de una señal externa; ambos utilizan filtros para analizar los componentes rojos, verdes y azules de la imagen, comportamientos que describen una analogía entre estos dos sistemas. La diferencia más importante entre el sistema visual humano y el escáner es la forma compleja como el ojo humano procesa la respuesta visual.

Comparación del ojo  
Humano con el escáner



La captura del color de las imágenes depende de un número de factores. Una vez la imagen ha sido seleccionada, es necesario poseer el equipo con las características adecuadas para que la imagen sea captada apropiadamente. Si la imagen a escanear es un *original de*

---

<sup>9</sup> Dispositivos de carga acoplada CCD (Charged-coupled device), elementos fotosensores que pueden captar individualmente un punto de la imagen y en conjunto, una línea de su contenido transversal. El desplazamiento de ese conjunto longitudinal sobre la superficie plana permite captar toda la imagen del original.

*línea*<sup>10</sup> no se requieren mayores especificaciones técnicas del equipo; caso contrario ocurre con los *originales de tono continuo*<sup>11</sup> que poseen más detalles para capturar y en donde se requiere un escáner de mayor capacidad. De esta forma se describen las características más relevantes para evaluar las capacidades de un escáner y que afectan la reproducción del color en esta etapa del flujo de trabajo y así la calidad de las imágenes digitalizadas.

**a. Elementos CCD:** El principio del escáner plano es distinto del escáner de tambor. En lugar de existir un solo punto de captación, en realidad existe una línea de captación que cubre toda la anchura del original a escanear. Esto es posible al desarrollarse los conjuntos de dispositivos de carga acoplada, CCD que son unos elementos fotosensores de características especiales compuestos por un electrodo metálico y un cristal de silicio.

La luz reflejada en el original es nuevamente reflejada por un espejo que pasando la imagen a través de un filtro y de una lente, la proyecta en el conjunto longitudinal de elementos CCD. Los elementos CCD van combinados en toda una serie paralela en la que se van superponiendo los electrodos metálicos y los electrodos de cristal de silicio. Al incidir la luz, sus fotones chocan contra el electrodo y se establecen electrones paralelos en el silicio creando así un espacio en la estructura cristalina de las moléculas de silicio. Los electrones son transportados a lo largo de los canales con zonas intercambiables de alta y baja potencia. Una vez los electrones alcanzan el registro de salida, son movidos en paquetes (un paquete por pixel) perpendicularmente a la dirección original de transporte. La medida final es un índice de la intensidad de la luz en cada pixel.

Al variar los niveles de electrones en un electrodo, se genera el mismo cambio de electrones en el otro y se detecta con ello un cambio que constituye una señal eléctrica. Este efecto de cargas enfrentadas en los elementos CCD se llama acoplamiento de carga y

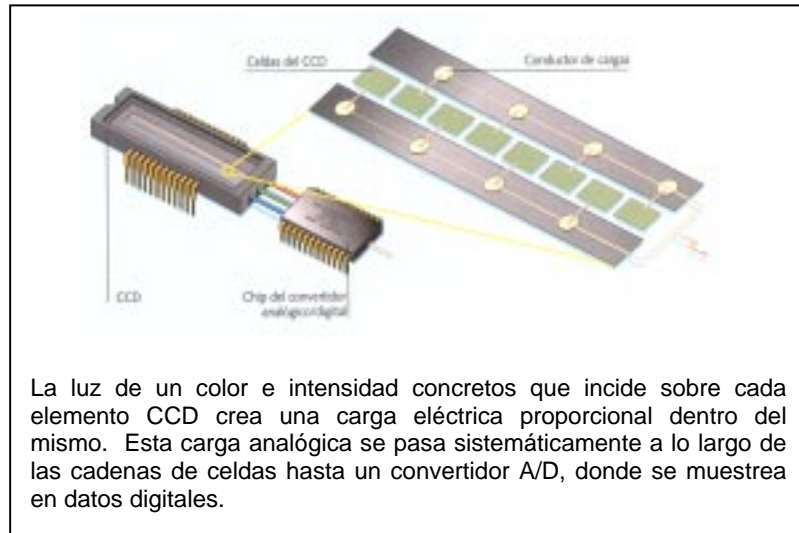
---

<sup>10</sup> Tipo de imagen que se configura con una densidad constante, no presenta tonos intermedios, preferiblemente son colores negros y blancos.

<sup>11</sup> Denominadas también imágenes de medio tono; representan una variada gama de tonos intermedios. En las imágenes en blanco y negro ofrecen múltiples tonalidades de grises y en imágenes a color se presentan con una variada gama de matices, como en las fotografías.

de aquí su nombre. Estos dispositivos de carga acoplada constan de miles de diminutos receptores sensibles (elementos).

Generación de transferencia de datos CCD.



Dentro de los problemas que se presentan con relación a los elementos CCD, están:

- **Exceso de exposición:**

Un exceso de exposición en los CCD puede hacer que la carga pase a los elementos adyacentes. Esta fuga o filtración de cargas eléctricas puede dar lugar a una pérdida de contenido cromático denominada **Mancha por Reflexión** cuando se digitalizan colores adyacentes muy contrastados. También puede producir halos alrededor de las altas luces en una imagen, efecto que se conoce como **fluorescencia**.

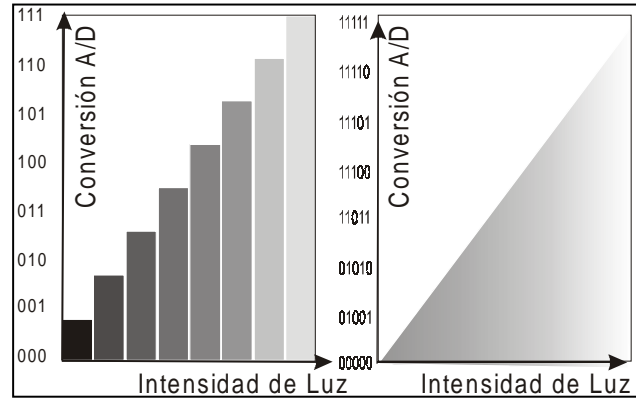
- **Falta de exposición:**

Cuando un elemento no ha sido expuesto lo suficiente se acumula una pequeña carga de fondo denominada **Carga Oscura**. Estas cargas se acumulan progresivamente en los elementos CCD no expuestos a la luz. Si el nivel de carga inducida por luz no es mucho mayor que la corriente oscura, la calidad de la imagen se hace inaceptable debido a la formación de ruido o coloraciones incorrectas de pixeles en la imagen.

**b. Conversor Análogo Digital:** La exposición de un elemento del CCD a la luz produce un incremento correspondiente a la carga eléctrica dentro del elemento. El número de niveles generados por el conversor análogo-digital (A/D) depende de su diseño. Para crear la imagen digital, la carga analógica generada por los elementos CCD se cuantifica en una

serie finita de pasos mediante el convertidor A/D. A cada paso se le asigna un número binario único que representa un tono o nivel de gris concreto. Un conversor de 3 bits limita la gama tonal completa a 8 niveles de gris, como se ilustra en la siguiente figura:

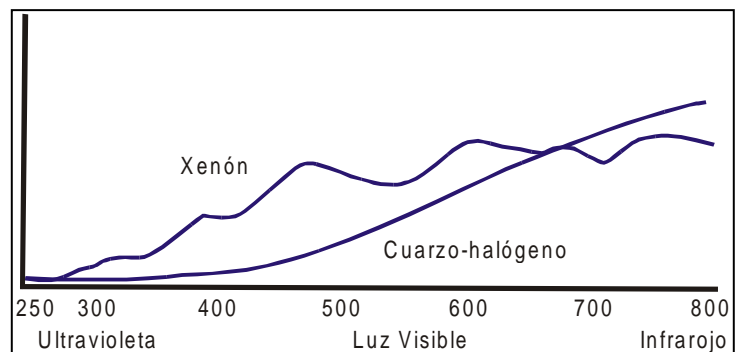
**Figura 2-6**  
Conversores A/D  
(Imagen tomada del libro *Los Secretos de la gestión de Color* de Agfa-Gevaert)



Cuando se convierten voltajes analógicos a valores digitales, los niveles de grises que varían continuamente en una imagen, se dividen en una serie de pasos finitos. En este proceso, denominado **cuantificación**, el conversor A/D le asigna a cada paso un número binario que representa un tono o nivel de gris específico. Si esta serie de pasos es insuficiente, el ojo humano percibirá las uniones entre los tonos lo que dará lugar a un fenómeno de bandas o **posterización**.

**c. Fuente luminosa:** Las fuentes de luz de alta intensidad de cuarzo-halógeno o de xenón son empleadas en los escáneres de color para iluminar las transparencias o la superficie del original de reflexión. La distribución espectral de estas fuentes difieren.

**Figura 2-7**  
Distribución espectral  
de fuentes de luz en escáneres.



El xenón presenta una distribución de energía espectral que tiene mayor intensidad en la gama que va del azul al rojo y menor fuerza en la zona del violeta y ultravioleta. En cambio, la fuente de luz de cuarzo-halógena tiene una distribución de energía que se concentra mucho más en la zona del rojo y cercana al infrarrojo, siendo mucho más baja que en el caso del xenón para las radiaciones violetas, azul y verde.

La precisión cromática de un escáner puede deteriorarse aún más debido al hecho que las luces halógenas o fluorescentes pueden cambiar con el tiempo.

**d. Profundidad de bits:** La digitalización de las imágenes se describe pixel por pixel utilizando uno o más bits para la información del color. El número de bits utilizado para registrar esta información se denomina profundidad de bits y cuanto mayor sea el número de bits utilizado mayor será el número de colores que el escáner pueda captar.

Un bit de información sólo puede describir uno de dos valores, cero (0) para desactivado y uno (1) para activado. De esta forma, en una imagen en la que la profundidad de bits es un (1) bit, cada pixel está activado o desactivado, sin niveles intermedios. Si esa imagen de 1 bit estuviera controlando el canal verde de una pantalla de computador, cada pixel de la imagen sería negro desactivado o completamente verde activado. Al incrementar el número de bits, se duplica el número de valores posibles para cada pixel, de forma que resulta en una delineación más precisa.

*Tabla 2-2 Profundidad de bits*

<b>Bits por pixel</b>	<b>Tipo de Imagen</b>	<b>Número de Colores</b>
1	Blanco y Negro	$(2^1)$ 2 Colores
8	Escala de grises	$(2^8)$ 256 Colores
24	Color	$(2^{24})$ 16 millones de colores
32	Color	$(2^{32})$ Billones de colores

La mayoría de los escáneres de autoedición en color utilizan una profundidad de bits de 24 bits, es decir, 8 bits para cada uno de los tres colores R,G,B. De esta forma, el color de cada fósforo puede ser cualquiera de las 256 ( $2^8$ ) sombras, lo que proporciona un espacio de color RGB que contiene más de 16,7 millones de colores. Cuanto mayor sea la

profundidad de bits, más realista es la imagen. A 24 bits por pixel, los archivos digitales pueden representar imágenes de realismo fotográfico. Algunos escáneres y programas de procesamiento de imágenes han empezado a admitir color de 48 e incluso 64 bits. La digitalización a profundidades de bits tan altas permite una destacada fidelidad del color, pero también crea archivos sumamente grandes.

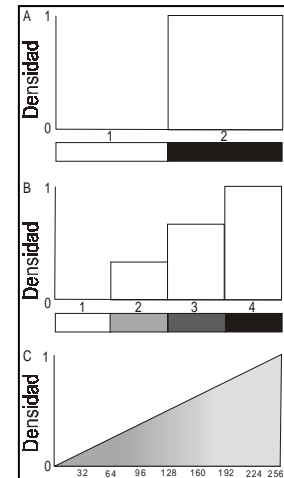
**Figura 2-8**

Profundidad de bits

(A) Una imagen en escala de grises tiene sólo dos valores posibles, negro o blanco, y solamente 1 bit de profundidad es necesario ( $2=2^1$ )

(B) Una imagen de 4 niveles de grises, requiere 2 bits de profundidad ( $4=2^2$ )

(C) Una imagen de 256 niveles de grises, requiere 8 bits de profundidad ( $256=2^8$ )



Una imagen a color está típicamente representada por una profundidad de bits entre 8 y 24 o superior a ésta. En una imagen de 24 bits, los bits por lo general están divididos en tres grupos: 8 para el rojo, 8 para el verde, y 8 para el azul. Para representar otros colores se utilizan combinaciones de esos bits. Una imagen de 24 bits ofrece 16,7 millones ( $2^{24}$ ) de valores de color. Cada vez más, los escáneres están capturando 10 bits o más por canal de color y por lo general imprimen a 8 bits para compensar el "ruido" del escáner y para presentar una imagen que se acerque en el mayor grado posible a la percepción humana.

**Figura 2-9**

Imagen de arriba con profundidad de 16 bits, Imágenes de abajo, a la izquierda, imagen de 1 bit; a la derecha, en escala de grises de 8 bits de profundidad.



**e. Rango Dinámico:** Es el rango de diferencia tonal entre la parte más clara y la más oscura de una imagen. Cuanto más alto sea el rango dinámico, se pueden potencialmente representar más matices, a pesar de que el rango dinámico no se correlaciona en forma automática con la cantidad de tonos reproducidos.

Esta habilidad del escáner de capturar rangos tonales varía en una escala de cero (0) a cuatro(4), siendo cero (0) el valor más bajo denominado Rango Dinámico Mínimo, o *Dmin*. El *Dmin* es la medida del valor más claro (altas luces) que el escáner puede reconocer. El número “D” más alto es conocido como Rango Dinámico Máximo o *Dmax*. El *Dmax* es la medida del valor más oscuro (sombras) que el escáner puede detectar. Únicamente los escáneres con altas capacidades técnicas, es decir, con un rango dinámico mayor que 3.0, pueden distinguir mayores detalles en las sombras; un ejemplo de esta diferencia puede ser apreciado en la siguiente figura.

**Figura 2-10**  
Rango Dinámico.  
Imagen de la izquierda digitalizada con escáner de densidad menor que 3. Imagen de la derecha digitalizada con el escáner *Umax Power Look3000* de densidad 3.4



En general, los escáneres dan los resultados más fiables y constantes si además se tienen en cuenta una serie de factores cuando se adapta el lugar donde el escáner habrá de ser ubicado:

- Evitar que existan vibraciones procedentes de máquinas con movimiento mecánico en las cercanías.

- Disponer del aire suficiente alrededor del equipo para que se pueda establecer fácilmente un equilibrio en la temperatura.
- El polvo y los humos pueden afectar, tanto a los circuitos del escáner como a los espejos internos por lo que puede disminuir en la capacidad reflectora.
- En cuanto a la iluminación conviene evitar la incidencia de luz directa. Es preferible proteger el entorno del escáner de la luz procedente de ventanas y se ha de disponer una iluminación que resulte cómoda para la observación de la pantalla y que no produzca reflejos.
- Conviene revisar la superficie del original a digitalizar para detectar cualquier mota, señal digital, raya o imperfección que sea solucionable.

### 2.2.2 Sistema Sustractivo de Colores

A diferencia de la mezcla de colores aditivos, la mezcla sustractiva se basa en la filtración de las ondas luminosas para la absorción total o parcial de las radiaciones de luz que recibe un objeto, reflejando ninguna o sólo parte de ellas. Las sustancias colorantes químicas o naturales como los tintes y pigmentos, poseen este poder selectivo de las radiaciones ópticas que las alcanzan. Esta selección, que permite ver al ojo humano sólo la porción de luz no absorbida, se explica como sustracción de radiaciones luminosas, proceso conocido como **mezcla de color sustractiva**.

El proceso de color sustractivo es el que permite apreciar los colores de los objetos de nuestro alrededor. Por ejemplo, una manzana roja se aprecia roja bajo una fuente de luz **blanca**, debido a que los pigmentos de la manzana absorben las longitudes de onda del azul y el verde y reflejan las longitudes de onda ubicados en los 700 nanómetros.

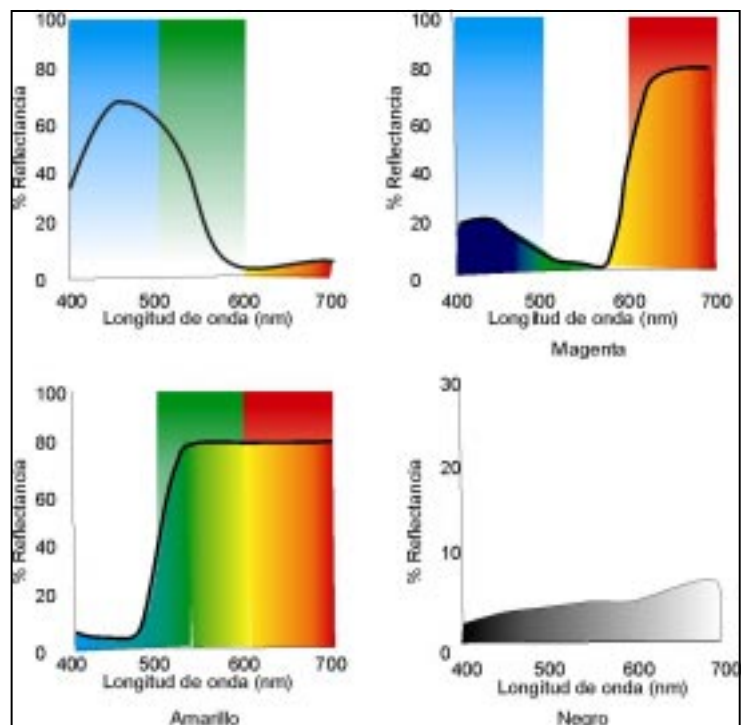
Para la reproducción del color a través del método de impresión empleado en el sector de las artes gráficas, se crea la necesidad de trasladar los colores al papel y utilizar la mezcla sustractiva de colores, donde los tres **colores primarios sustractivos** son el cian, magenta y amarillo. Los sistemas sustractivos emplean pigmentos y tintes de color que filtran la luz. De esta manera, el ojo humano percibe estos colores mediante la combinación de dos longitudes de onda de luz y la sustracción de una tercera. Por ejemplo, nosotros

percibimos el color **cian** porque este pigmento refleja las longitudes de onda del azul y el verde y absorbe el rojo. El **magenta** es percibido porque refleja las longitudes de onda del azul y del rojo absorbiendo la luz verde. El **amarillo** es percibido por la reflexión de la luz roja y la luz verde absorbiendo las longitudes de onda del azul.

### 2.2.2.1 Reproducción de color en impresoras

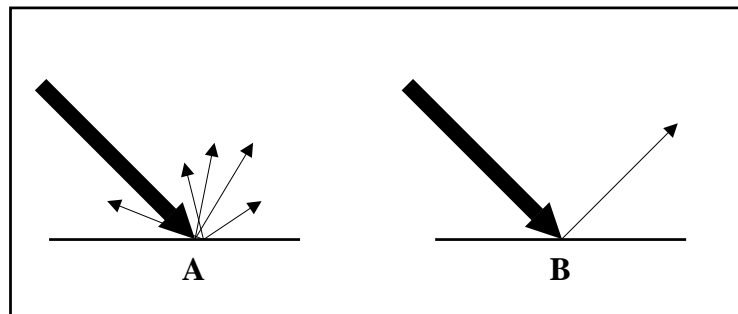
El principio de la mezcla sustractiva es utilizada en las impresoras a color, donde la hoja blanca es cubierta de capas de tintas amarilla, magenta y cian. Los pigmentos de las tintas absorben ciertas longitudes de onda de la luz incidente. En teoría, la mezcla de los tres colores primarios sustractivos en cantidades iguales crearía el color negro, pero debido a que cada pigmento no absorbe la luz uniformemente, la combinación de las tres tintas tampoco es uniforme, por esto, para estabilizar y compensar el proceso de impresión se necesita usar la tinta negra como cuarto color. Entre otras razones, la tinta negra también se emplea como cuarto color de impresión ya que se incluye la garantía de obtener un color negro más auténtico y menos borroso que el negro creado con tres colores.

**Figura 2-11**  
Curvas espectrales de los pigmentos cian, magenta, amarillo y negro.



De igual forma que los pigmentos, los sustratos tienen otras propiedades que afectan la apariencia del color. La forma en la cual una superficie refleja la luz que incide en ella es importante para determinar la apariencia del color; propiedades tales como la textura, opacidad o transparencia del papel deben ser consideradas cuando se escogen o comparan los colores. En una superficie mate u opaca, la luz es reflejada aleatoriamente en varias direcciones, reflexión conocida como **reflexión difusa** caracterizada por redirigir la luz en

**Figura 2-12**  
Reflexión de una superficie opaca (A) y de una superficie brillante (B).



un rango de ángulos desde una superficie sobre la cual la luz incidió. En una superficie brillante, el ángulo de reflexión es el mismo que el ángulo de la luz que está incidiendo sobre el objeto. Este tipo de reflexión se conoce como **reflexión especular** y es la que le da a los objetos la apariencia brillante.

### 2.3 ADMINISTRACIÓN DEL COLOR EN EL SISTEMA DE PREPrensa DIGITAL

Al igual que la percepción del color varía de un individuo a otro, cada dispositivo del flujo de trabajo de preprensa digital, utiliza un método diferente para procesar los colores. La tecnología empleada por cada equipo limita la gama cromática que el equipo puede digitalizar o mostrar. De este modo, habrá determinados colores que quedan fuera de su espacio cromático y que, por lo tanto, no pueden procesarse en el dispositivo.

En un escenario ideal, se tendría una consistencia del color perfecta. Se digitalizaría una foto (a través del escáner), se visualizaría en un monitor y no habría diferencia de color entre el original y la imagen en pantalla. Así mismo, si se imprimiera la imagen, tampoco habría diferencias entre el resultado impreso y la imagen del monitor. Lamentablemente, este tipo de consistencia y previsión del color no se produce naturalmente, hay que trabajar para conseguirla.

Frente a la problemática diaria de las inconsistencias en la forma en la cual el color es percibido y reproducido por los diferentes equipos en diferentes estadios de la producción, se desarrolló el concepto de la **administración del color** con el fin de conseguir la estandarización colorimétrica de manera electrónica.

### 2.3.1 Arquitectura CMS<sup>12</sup>

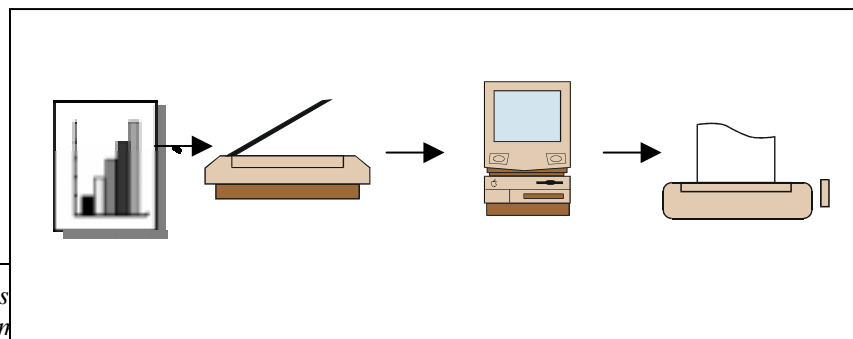
En 1993 se constituye un grupo interdisciplinario de ocho compañías con el fin de crear, promocionar y fomentar la estandarización y el desarrollo de una arquitectura abierta y los componentes de un sistema de administración de color sobre cualquier plataforma, Windows, Macintosh o Unix. Este grupo se denomina hoy como el Consorcio Internacional del color, ICC<sup>13</sup> conformado inicialmente por las compañías Adobe Systems Incorporated, Agfa-Gevaert, Apple Computer Inc., Eastman Kodak Company, FOGRA-Institute, Microsoft Corporation, Silicon Graphics Inc., Sun Microsystems Inc. y Taligent Inc.; hoy existen alrededor de 70 compañías de las áreas de computación y de la industria gráfica que son miembros de este consorcio. Esta iniciativa apela a la implementación de estándares de la gestión del color en los sistemas operativos de las estaciones de trabajo gráficas.

La problemática que se presenta en el flujo de color ( ver figura 2-13) se aprecia cuando:

- Se imprime una imagen en diferentes impresoras.
- Se visualiza una imagen en diferentes monitores.
- Se compara lo que se imprime en una impresora con lo que se visualiza en un monitor.
- Se visualiza bajo un iluminante estándar y bajo un iluminante corriente de oficina.

**Figura 2-13**

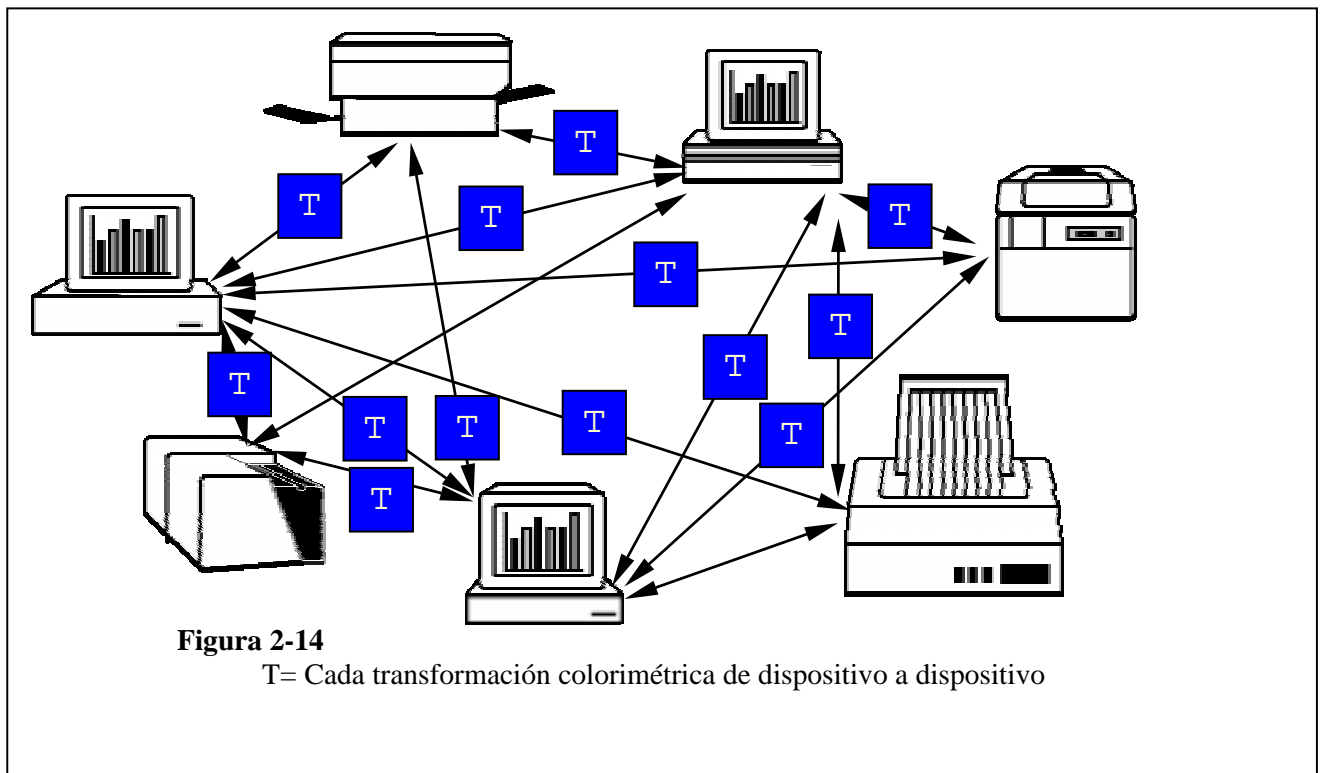
Flujo del color digital



<sup>12</sup> Color Management System; Sistema

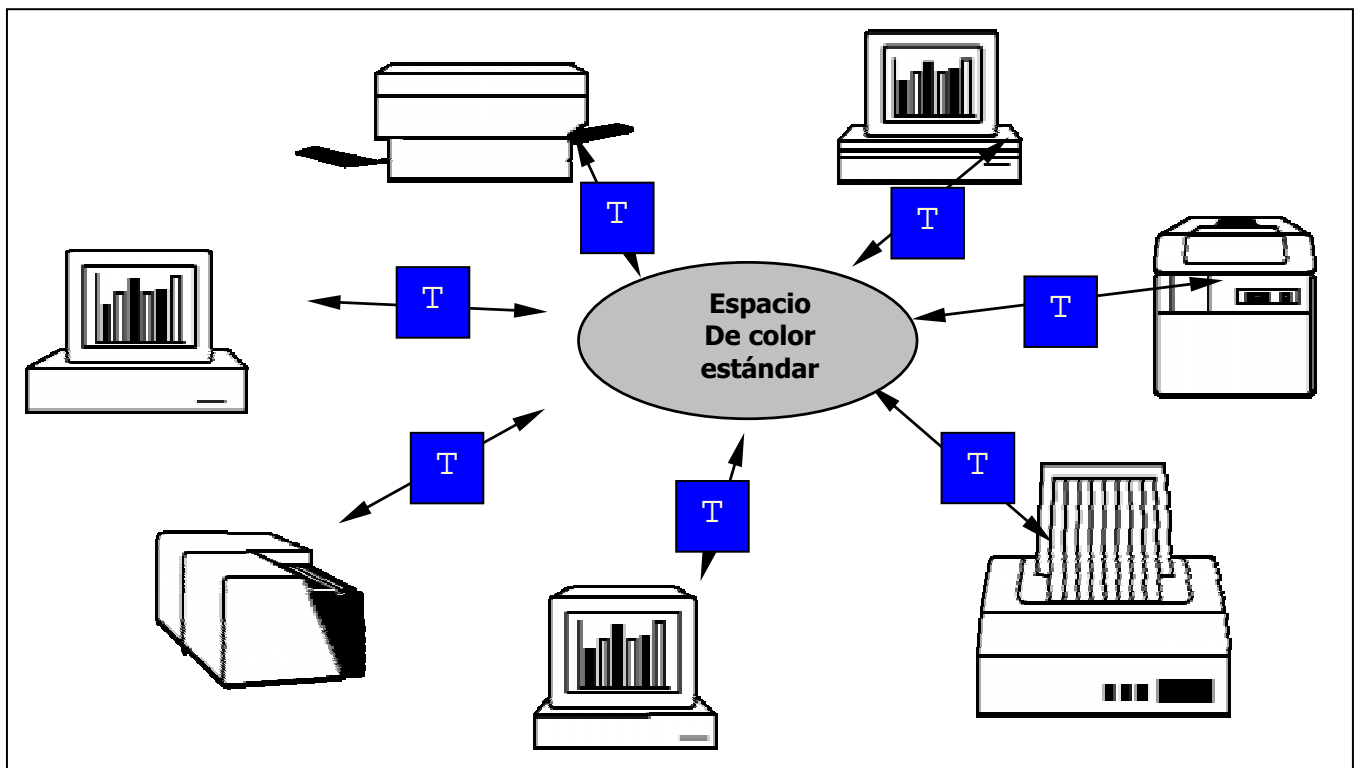
<sup>13</sup> International Color Consortium; creación de los perfiles de color.

En el proceso de pre prensa digital, la transferencia de color se manifiesta entre la imagen digitalizada por el escáner, la visualización en el monitor y su impresión, donde diferentes valores colorimétricos son enviados a diferentes dispositivos, realizándose una transformación de color de dispositivo a dispositivo, es decir, entre espacios de color dependientes del dispositivo.



En la actualidad, los usuarios buscan la consistencia del color en la transferencia de estos datos de un equipo a otro. Una forma, determinada por el ICC, para resolver esta situación fue introducir un espacio de color estándar para la transferencia de color entre dispositivos. El uso de este estándar es el principio de los **Sistemas de Administración del Color o CMS**, en donde:

- El espacio estándar es denominado espacio de color independiente del dispositivo o *PCS*, *Profile Connection Space* y está basado en el espacio de color CIELAB.
- Para cada dispositivo, hay una transformación desde el espacio de color del dispositivo al espacio de color estándar.
- Las transformaciones colorimétricas se realizan desde un espacio de color estándar fuente a un espacio de color estándar destino.



**Figura 2-15**

T= Cada transformación colorimétrica de dispositivo al espacio de color estándar

El enfoque del ICC estableció la responsabilidad del sistema operativo, cualquiera que éste sea, de realizar las transformaciones de color, ya que sin un sistema de administrador de color en el sistema operativo difícilmente se lograría una reproducción consistente a través del escáner, del monitor y de la impresora.

Un sistema de administración de color está compuesto por los siguientes elementos básicos:

- **El espacio de color de referencia o PCS;** es el espacio de color independiente del dispositivo basado en el modelo CIE.
- **Módulo de conversión de color** o CMM por sus siglas en inglés de *Color Management Module*; que se refiere al motor o conjunto de programas que realizan las transformaciones colorimétricas entre los diferentes espacios de color.
- **Los perfiles de color** o caracterización colorimétrica de cada dispositivo; que se refiere a un archivo digital el cual representa el color del escáner, del monitor e impresora en el espacio de color estándar. A este proceso se le conoce con el nombre de caracterización de dispositivos.

La tarea principal del CMS es que cualquier aplicación gráfica invoque al sistema operativo cuando realice una transformación cromática; a su vez, el sistema operativo invoca al módulo de correspondencia de color elegido, CMM, para que ejecute el proceso. Si no se ha seleccionado ningún CMM, el sistema operativo utiliza un CMM predeterminado.

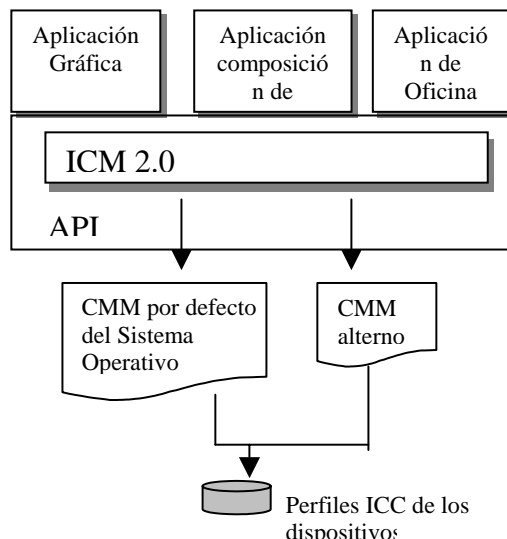
El sistema de administración del color se asemeja al trabajo de un traductor de idiomas, en donde un perfil de color representa un diccionario y el CMM representa el traductor. Así como el traductor traslada el texto de un lenguaje a otro, se hace necesario el uso de un diccionario para asegurar que el correcto significado de las palabras es transmitido. Si el diccionario no contiene las definiciones apropiadas, el mensaje será confuso en la traducción. Adicionalmente, diferentes traductores proporcionan diferentes interpretaciones para un mismo texto. De esta misma manera, funciona un CMS. Los perfiles de los dispositivos contienen el lenguaje o características del color para cada dispositivo. Si no se disponen de perfiles adecuados, el traductor o CMM, no puede entregar el mensaje, o en este caso, el color, como debe ser reproducido. También, es importante anotar que diferentes CMMs, pueden proporcionar diferentes resultados aún así se empleen los mismos perfiles. Aunque muchas aplicaciones de software incluyen perfiles (archivos digitales), estos perfiles son genéricos y representan al dispositivo en su estado de fabricación. Sin embargo, los dispositivos varían su desempeño con el paso del tiempo y de acuerdo con las condiciones físicas del ambiente de trabajo. Dos monitores de la misma clase y fecha de fabricación pueden ser utilizados en condiciones ambientales

completamente diferentes. Así que las condiciones ambientales también afectan la reproducción del color de un dispositivo. Por lo tanto, para lograr un alto grado en la calidad del color, es importante crear perfiles para los dispositivos empleados específicamente en cada ambiente de trabajo, donde se incluyen factores como clase de papel, formas de almacenamiento, condiciones de iluminación, entre otros.

Dentro de las soluciones, relacionadas con la administración del color, incorporadas en los sistemas operativos se encuentran:

- **ColorSynn:** Fue el primer sistema operativo disponible en los computadores de escritorio. El objetivo de *Apple* fue el de abordar las necesidades de los clientes quienes estaban frustrados con el inconveniente de la fidelidad del color a través del flujo de trabajo del color digital. La primera versión del ColorSync se lanzó en el año de 1992, ColorSync 1.0; sin embargo esta versión presentaba varios problemas los cuales fueron mejorados en ColorSync 2.0, versión lanzada en 1995. ColorSynn 2.0 fue la primera herramienta de administración del color en utilizar perfiles ICC. Actualmente está en el mercado la versión 2.5.
- **Unix y Windows:** Una vez *Apple* trabajó sobre una solución para la administración del color con ColorSync 1.0, otros desarrolladores empezaron a introducir soluciones en sus sistemas operativos, dentro de los que se encontraban Sun, Silicon Graphics y Microsoft los cuales incorporaron el motor de transferencia, CMM de la compañía Kodak. Sin embargo, tan solo un pequeño porcentaje de los usuarios del color digital usaban estas plataformas pues se inclinaron más hacia el uso de la plataforma Machintosh. Aunque UNIX no ha abordado en gran medida el problema del color, Microsoft incorporó, por primera vez el concepto de administración del color, en la versión de Windows 95 con el nombre de ICM (*Image Color Management*) 1.0, el cual soportaba perfiles de color de acuerdo con las especificaciones dadas por el ICC. Después de esta versión, Microsoft continua trabajando en las soluciones de color, paralelo a las nuevas versiones de Windows y se incorpora ICM 2.0 en la versión de Windows 98, presentando la siguiente arquitectura:

**Figura 2-16**  
Arquitectura CMS de Windows

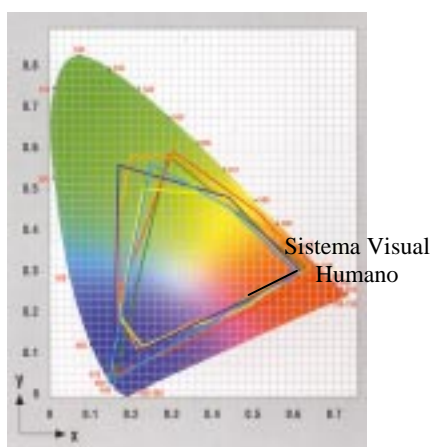


### 2.3.2 Perfiles de color

Para obtener una reproducción del color constante durante el flujo de trabajo, es necesario poseer un sistema de administración del color que haga uso de perfiles para cada dispositivo del proceso, los cuales permiten que las transferencias colorimétricas se realicen en un mismo espacio de color independiente del dispositivo.

La definición de cada perfil de color consiste en evaluar el comportamiento cromático de un dispositivo de entrada o salida del color en donde se define el *gamut*<sup>14</sup> de los dispositivos del flujo de trabajo en términos del espacio de color estándar basado en el espacio definido por la CIE. Cada dispositivo posee su propio gamut que se superponen y solapan en el diagrama CIE. Esto quiere decir, que existirán colores que se podrán ver en un monitor que no podrán imprimirse y que habrá otros que se podrán imprimir pero que el monitor no podrá visualizar.

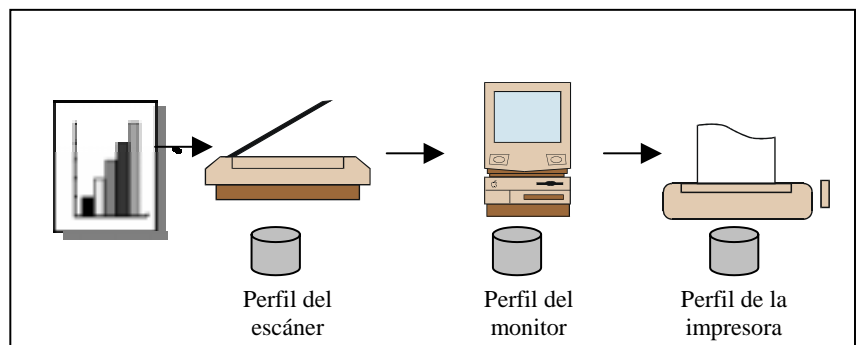
**Figura 2-17**  
Gamut entre dispositivos



<sup>14</sup> Cada dispositivo es sólo capaz de reproducir tan sólo una parte de la gama de colores que el ojo humano es capaz de ver. Este es el denominado gamut cromático del dispositivo.

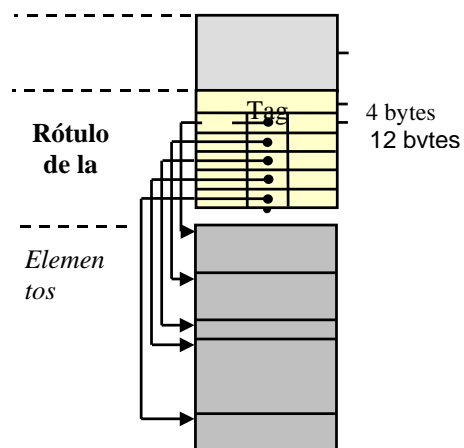
La evaluación del campo cromático o descripción del gamut es un proceso que se conoce con el nombre de **caracterización del dispositivo**. Durante la caracterización se establece una relación entre los colores que reproduce el dispositivo y el espacio estándar de referencia, que tiene como resultado la creación de un archivo digital denominado perfil cromático. De esta forma, un perfil cromático describe el espacio cromático de un dispositivo con respecto al espacio cromático CIE. Estos perfiles, en formato universal, pueden ser integrados a la información de color de una imagen, permitiendo su reproducción en diferentes medios (un monitor, una impresora, un escáner), de forma que conserve su aspecto.

**Figura 2-18**  
Flujo de Trabajo con perfiles ICC



Anteriormente los fabricantes de los sistemas de administración de color utilizaban su propio formato para describir el comportamiento cromático de los dispositivos. Dentro de los objetivos del ICC se encontraba establecer la estructura interna del formato digital para los perfiles de color de tal forma que pudieran trabajar en todas las plataformas, Windows, Machintosh o Unix.

**Figura 2-19**  
Estructura interna de un perfil de color



La estructura interna del perfil está definida por un encabezado de 128 bytes, el cual contiene la siguiente información:

*Tabla 2-3 Estructura interna de un perfil*

<b>BYTES</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>DEFINICIÓN DEL CONTENIDO</b>
0..3	Tamaño del perfil	Es el tamaño total del perfil en bytes.
4..7	Módulo de administración de color – <b>CMM, Color Management Modules</b>	Se refiere al tipo de módulo que transformará la información del color entre los diferentes dispositivos.
8..11	Versión del perfil	Se refiere a la versión de la estructura de perfiles definida por el ICC.
12..15	Clase de perfil/dispositivo	Existe un perfil para cada dispositivo del flujo de trabajo. Ejm.: Perfil del dispositivo de entrada, scnr; perfil del monitor, mntr; perfil de dispositivo de salida, prtr.
16..19	Espacio de color del dispositivo	Ejm: LAB, RGB, CMY,CMYK.
20..23	Espacio de conexión del perfil, PCS	Ejm: LAB
24..35	La fecha y hora de creación del perfil	
36..39	Marcación interna del perfil	
40..43	Plataforma	Indica el sistema operativo para el cual el perfil fue creado. Ejm.: Apple Computer Inc.; Microsoft Corporation; Silicon Graphics Inc.; Sun Microsystems; Taligent.
44..47	Bandera para indicar al CMM si el perfil es independiente o fijado.	Valor de 1 ó 0.
48..51	El fabricante del dispositivo para el cual se crea el perfil.	Los fabricantes deben registrar los dispositivos ante el ICC.
52..55	El modelo del dispositivo para el cual es creado el perfil.	Los fabricantes deben registrar los modelos de dispositivos ante el ICC
56..63	Clase de material para el cual se crea el perfil.	Ejm.: opaco o transparencia; brillante o mate; positivo o negativo.
64..67	Método de asignación de color – <b>Rendering Intent</b>	Se refiere al método que emplea el sistema administrador de color para asignar nuevos valores de color. Ejm.: Asignación perceptiva; Asignación colorimétrica absoluta; Asignación colorimétrica relativa; Asignación de saturación.
68..79	Iluminante D <sub>50</sub>	
80..83	El creador del perfil	
84..99	Número ID para el perfil	
100..127	28 bytes reservados para expansiones futuras. Deben ser configurados con ceros.	

### 2.3.3 Caracterización Colorimétrica

Un sistema de administración de color necesita un método para conocer las características colorimétricas o el gamut de los dispositivos con respecto al espacio cromático CIE. Este trabajo fue abordado por un grupo industrial internacional conformado por los representantes de los fabricantes de los sistemas de preprensa digital, películas y los usuarios de estos sistemas. Este grupo, inicialmente identificado como el Comité DDES (*Digital Data Exchange Standards*) más tarde conformó el comité IT8<sup>15</sup>, el cual es el responsable de los estándares para el intercambio de datos electrónicos en el sistema de preprensa digital de las artes gráficas.

Estos estándares fueron definidos debido a que los dispositivos no analizan el color de la misma manera como el ojo humano lo realiza. Los materiales más comúnmente empleados sobre estos dispositivos, tales como papeles, opacos o transparencias utilizan varias combinaciones de tintas para lograr respuestas visuales que estimulen hacia los colores de la naturaleza. La habilidad de lograr la misma apariencia del color a partir de diferentes combinaciones de tintas es referida como metamerismo. Debido a que las tintas sobre los sustratos (opacos o transparencias) y la sensibilidad de los dispositivos varían de producto a producto, existe una variación en la respuesta de los dispositivos para los colores metaméricos producidos por los diferentes sustratos.

La intención de estos estándares es definir un test que permite la caracterización colorimétrica en términos del espacio CIE para los escáneres e impresoras. Los estándares establecidos son:

- ANSI IT8.7/1 – 1993 (ISO 12641) “Graphic technology – Color transmission target for input scanner calibration”
- ANSI IT8.7/2 – 1993 (ISO 12641) “Graphic technology – Color reflection target for input scanner calibration”
- ANSI IT8.7/3 – 1993 (ISO 12642) “Graphic technology – Input data for characterization of 4-Color process printing”

---

<sup>15</sup> *Information Technology, comité acreditado por el Instituto Americano de estándares – ANSI en 1987 que desarrolló tres estándares para el intercambio de datos digitales.*

El espacio de color CIE 1976 ( $L^*a^*b^*$ ) o CIELAB fue el espacio de color escogido para representar las tonalidades de los puntos de referencia en las tarjetas IT8.7. Para proporcionar una medida razonable de los puntos de referencia se tuvieron en cuenta las gamas de color que se pueden representar sobre los papeles y películas, en donde todos los fabricantes de estos productos fueron invitados incluyendo a Agfa Company, Eastman Kodak Company, Fuji PhotoFilm Company y Konica Corporation. Los datos proporcionados por estas compañías, fueron utilizados para estimar la gama de color CIELAB que cada sustrato puede producir. Estas estimaciones fueron logradas a través de métodos computacionales de modelamiento matemático.

### **2.3.3.1 Diseño de las referencias IT8.7**

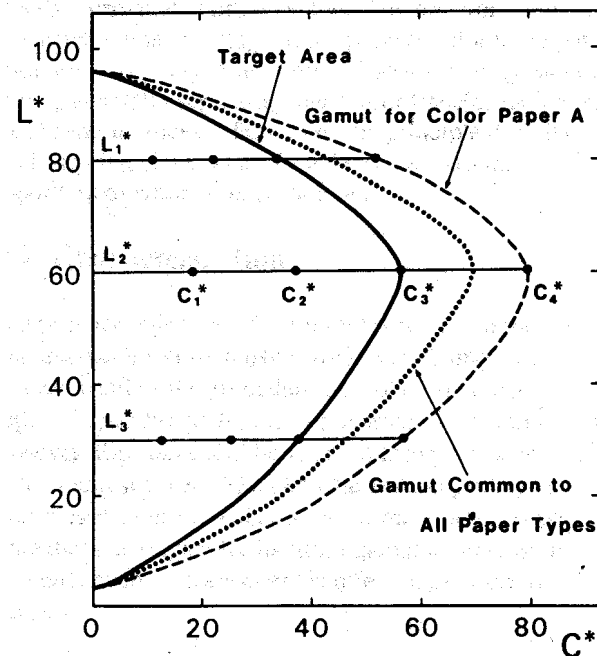
Como se anotó anteriormente, los métodos computacionales para calcular los límites de las gamas de color para los dispositivos sobre los diferentes sustratos, fueron desarrollados por las compañías quienes participaron en la descripción de este estándar internacional siendo el espacio de color CIELAB escogido para especificar los valores de las muestras de color para las referencias IT8.7.

Los principios básicos de estos estándares internacionales deben estar basados en las especificaciones definidas por la CIE 1931 acerca del observador estándar bajo el iluminante  $D_{50}$  y además, estar basados en los procedimientos computacionales definidos para los cálculos colorimétricos de los IT8.7. Además, cada referencia debe ir acompañada de un archivo digital en formato ASCII que incluya los valores numéricos de estos cuadros de color.

Las referencias IT8.7 establecen un espacio uniforme en cuanto a tono, luminosidad y cromatismo. Como se mencionó en el primer capítulo el espacio CIELAB es un sistema de color tridimensional en donde  $L^*$  es la luminancia,  $a^*$  es la dimensión del verde al rojo, y  $b^*$  es la dimensión del azul al amarillo. Con este espacio CIELAB el gris neutral se encuentra en el origen (0,0) y los colores se convierten en colores saturados hacia los extremos máximos ( $\pm a$ ,  $\pm b$ ).

Los valores para las referencias IT8.7/1 y la IT8.7/2 fueron definidos a partir de 12 ángulos seleccionados referentes a los valores de tonalidad. A partir de estos datos, los demás valores fueron determinados. En las referencias IT8.7, estos ángulos se determinan con las letras desde la A hasta la L. Para cada ángulo de tonalidad definido, fueron determinados tres niveles de luminancia,  $L_1^*$ ,  $L_2^*$ ,  $L_3^*$ . Para cada nivel  $L^*$ , tres valores igualmente espaciados de  $C^*$  (croma) fueron seleccionados,  $C_1$ ,  $C_2$ , y  $C_3$ . Este procedimiento fue utilizado para seleccionar los 108 ( $12 \times 3 \times 3$ ) colores que componen las referencias IT8.7 1 y 2 (para transmisión y reflexión respectivamente).

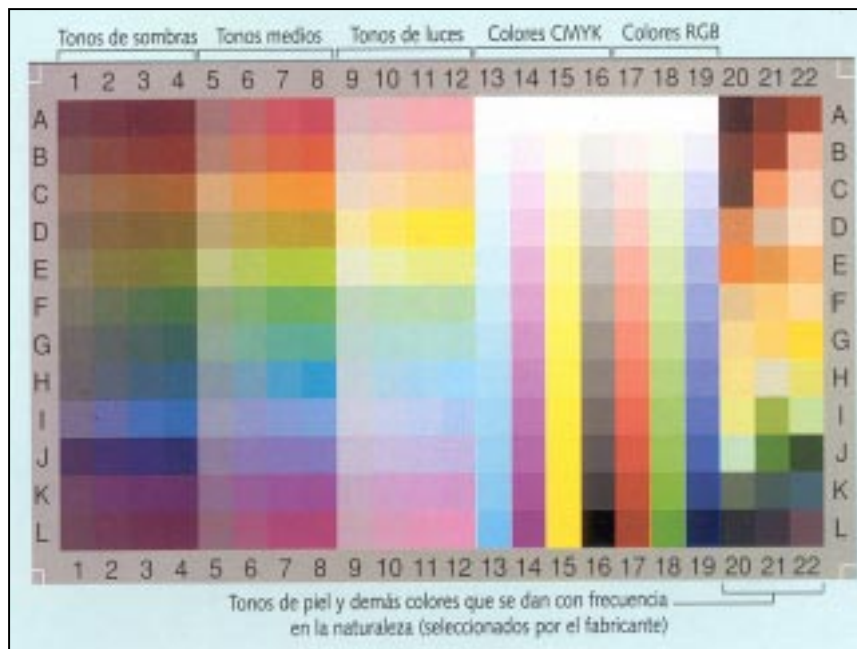
**Figura 2-20**  
Gama de las referencias IT8  
(Gráfico tomado de la norma  
*ANSI IT8.7/1-1993*)



Además, en la referencia se incluye un cuarto color que corresponde a la máxima cromaticidad para cada ángulo de tonalidad y luminosidad. Estos colores están identificados como  $C_4$ . Estas referencias IT8.7 se encuentran disponibles en diferentes tamaños de 4 x 5 pulgadas para transparencias, 35 mm para diapositivas, y 5 x 7 pulgadas para papel. La siguiente imagen ilustra la referencia IT8.7 utilizada para la caracterización en escáneres.

**Figura 2-21**

Tarjeta de referencia IT8.7  
para escáneres



### 2.3.3.2 Metodología para caracterizar dispositivos

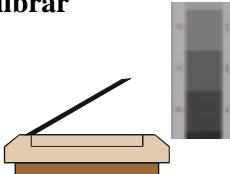

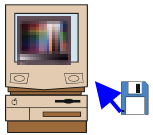
Como se anotó anteriormente, el objetivo de la caracterización colorimétrica es establecer la relación entre un espacio de color dependiente del dispositivo y el espacio independiente CIELAB.

Esta relación se define a partir de las referencias IT8.7 las cuales contienen zonas de color bien definidas (valores ideales en el espacio CIELAB) y suministrados en un archivo digital.

Para el caso del escáner, el procedimiento de caracterización colorimétrica consiste en digitalizar la imagen de referencia IT8.7/1 o IT8.7/2 para transparencias u opacos respectivamente, y estos resultados “medidos realmente” se relacionan con los “valores ideales”. Este método de comparación entre los valores leídos vs. valores ideales (referencias IT8.7) están basados en diversos esquemas que han sido tratados, entre los cuales están las regresiones polinomiales. El resultado de esta caracterización genera el perfil cromático que consiste en una tabla de consulta 3D o un algoritmo para obtener dicha tabla, que permite la transformación RGB a CIELAB para lograr la correspondencia en términos de coordenadas absolutas.

El siguiente esquema representa el flujo de trabajo para la caracterización del escáner:

Tabla 2-4 Caracterización del escáner

<p><b>Calibrar</b></p>  <p>Es adecuado calibrar el dispositivo de entrada y ajustar todos los valores para reflejar las condiciones normales de funcionamiento.</p>	<p><b>Aplicar el modelo de referencia</b></p>  <p>Digitalización del modelo de referencia IT8.7</p>	<p><b>Procesado de gestión del color</b></p>  <p>Lectura de los valores de la digitalización y establecimiento de la relación con los valores objetivos suministrados por el modelo CIE. El resultado es un perfil de color.</p>
--	---	---

La caracterización de un dispositivo de impresión es similar a la de un escáner. En este caso, se recomienda la utilización de la norma IT8.7/3 que contiene 928 muestras de color diferentes. Cada una de estas muestras de color que se imprimen, se miden con un colorímetro o espectrofotómetro<sup>16</sup>. A medida que se leen los valores de color de las diferentes muestras, el CMS relaciona el color real impreso con el color original. Así, el CMS puede generar un perfil completo para la impresora.

Antes de imprimir la norma IT8.7/3 es conveniente crear una situación medioambiental estable en la que todos los parámetros de impresión sean iguales a los que se utilizan cuando se ejecuta finalmente el trabajo de impresión. El tipo de papel, la tinta, incluso la temperatura del entorno de trabajo, influyen en la precisión de la caracterización.

El siguiente esquema representa el flujo de trabajo para la caracterización de la impresora:

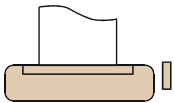


<p><b>Calibrar</b></p>  <p>Calibración según los estándares de especificación normales.</p>	<p><b>Aplicar el modelo de referencia</b></p>  <p>Impresión del modelo de referencia IT8.7</p>	<p><b>Procesado de gestión del color</b></p>  <p>Medición de los valores impresos y comparación con los valores de muestra. El resultado es el perfil de color.</p>
--	---	--


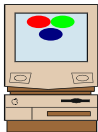

Tabla 2-5 Caracterización de la impresora

<sup>16</sup> Dispositivos de medición del color

De igual modo, se realiza la caracterización para monitores implicando la utilización de un medidor de luz o colorímetro, o en algunas ocasiones de un espectrofotómetro. Estos dispositivos para medir el color del monitor vienen normalmente con una ventosa de caucho que se adhiere directamente en la parte frontal del monitor. El dispositivo mide los colores que realmente emite el monitor y envía estos datos al CMS donde seguidamente, se crea el perfil del rendimiento del monitor relacionando los valores medidos con los valores ideales que deberían haberse emitido.

El siguiente esquema representa el flujo de trabajo para la caracterización del monitor:

*Tabla 2-6 Caracterización del monitor*

<p><b>Calibrar</b></p>  <p>Ajuste de las condiciones controladas para brillo, contraste y fuentes de luz externas como aparecerían en condiciones normales de funcionamiento.</p>	<p><b>Aplicar el modelo de referencia</b></p>  <p>Muestra de las manchas de color de referencia en la pantalla.</p>	<p><b>Procesado de gestión del color</b></p>  <p>Medición de los valores de las manchas de color y comparación con los valores de referencia.</p>
--	--	--

### 2.3.3.3 Mapas de Conversión ( Rendering Intents)

En el flujo de trabajo digital se hace necesario transferir la información de color de un dispositivo fuente a un dispositivo destino. El CMS necesita saber de dónde vienen los valores de color (dispositivo origen) y hacia dónde se quieren enviar (dispositivo destino), de esta forma, la conversión de color siempre tiene lugar entre dos perfiles. Se puede decir que la conversión de color entre el dispositivo origen y el dispositivo destino, consta de dos etapas:

1. Hallar las coordenadas de color del dispositivo origen y su correspondencia en coordenadas absolutas.
2. Determinar la correspondencia en el perfil destino.

En el primer paso siempre es posible hallar alguna coordenada absoluta, pero en el segundo paso es muy posible que la correspondencia de las coordenadas absolutas no se encuentre en la tabla del perfil del dispositivo destino. En este caso se hace necesario realizar una conversión.

Esta conversión numérica la realiza un componente del CMS denominado el **motor de administración de color – CMM**, el cual permite manejar los colores fuera de gama y asignar de nuevo los colores mediante diferentes métodos o mapas de conversión (*rendering intents*) que dependen del tipo de imágenes que se estén utilizando, como por ejemplo, tonos continuos o imágenes de colores planos. El CMM puede estar incluido en el sistema operativo como por ejemplo el ColorSync de Macintosh o también puede operar desde un programa específico como los de Agfa, Kodak, Heidelberg, entre otros.

Las especificaciones de un perfil ICC incluyen cuatro métodos de direccionamiento o conversión para manejar los colores fuera de gama, estos métodos son:

- Colorimétrico absoluto
- Colorimétrico relativo
- Perceptual
- Saturación

En el método de direccionamiento conocido como **colorimétrico absoluto** los colores que no pueden mostrarse en el espacio cromático destino se pierden y éstos son sustituidos por el color reproducible más próximo en la zona límite vecina del gamut de destino. Es una operación conocida como recortado (*clipping*). Normalmente, los colores de logotipos en el gamut de un dispositivo de impresión no necesitan transformaciones y para este tipo de imágenes el propósito de conversión colorimétrico absoluto es el más adecuado.



**Figura 2-22** Asignación Colorimétrica Absoluta

Con el método **colorimétrico relativo** se establece que lo principal es que todos los niveles de brillo estén dentro de la gama de brillo del destino. En este método, el blanco de origen se convierte en el blanco de destino, proceso conocido como compensación del punto blanco y como consecuencia la imagen resultante se puede volver más clara o más oscura que el original, pero las zonas de blanco coincidirán.



**Figura 2-23** Asignación Colorimétrica Relativa

Existe un tercer método de conversión denominado **perceptual**. En este método todos los colores del espacio cromático original se alteran, pero los colores mantienen sus posiciones cromáticas entre sí. No es aceptable que unos colores se reproduzcan de forma exacta mientras que otros se conviertan en aproximaciones. Hay que alterar todos los colores incluidos aquellos que podrían ser reproducidos adecuadamente de modo que sus relaciones relativas se mantengan y el ojo sea capaz de compensar la diferencia existente entre la imagen del monitor y la impresa. El ojo humano es más sensible a las relaciones entre los

colores que a una longitud de onda concreta del color. Puesto que este método conserva estas relaciones, la mayoría de las personas no visualizan que se han alterado los colores de la imagen.



**Figura 2-24** Asignación Perceptual

Hay un caso esencial en las imágenes de los gráficos estadísticos, donde lo importante es que los colores sean brillantes y saturados y no que su tono sea exactamente al del original. En este tipo de imágenes, conviene aplicar el método conocido como **saturación**. Este método de conversión hace que la saturación de los colores se mantenga en la transformación de gamut a gamut, aunque sea a costa del brillo y tonalidad de los colores. A todos los colores se les aplica la escala según la saturación más brillante posible.



**Figura 2-25** Asignación de Saturación

### 3 APLICACIÓN DE UN CMS EN EL FLUJO DEL SISTEMA DE PREPrensa DIGITAL

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Para cualquier organización que provea servicios de impresión es ventajoso incursionar en el concepto de la administración del color. Quien posee la habilidad de reproducir colores con mayor precisión puede ahorrarse tiempo, dinero, sustratos y reprocesos. La clave del dominio de un sistema de administración de color (*CMS*) es comprender el concepto y encontrar las herramientas adecuadas para implantarlas en el flujo de trabajo. Hoy en día, muchos fabricantes de software están integrando el concepto de la administración del color a nivel del sistema operativo o en aplicaciones independientes. Pero si se carece de un entendimiento de los principios básicos será difícil escoger las herramientas apropiadas.

Entendiendo como flujo de trabajo digital el escaneado, la visualización del color en el monitor e impresión de un archivo en color con una impresora digital, los programas e instrumentos que conforman un CMS pueden ser utilizados para equilibrar los espacios de color entre los dispositivos que intervienen en el flujo de trabajo.

*Tabla 3-1 Resultados que los usuarios buscan de un CMS*

Igualación de pantalla a impresión	El usuario quiere ver la imagen en el monitor y desea que la reproducción sea lo más ajustada posible a ésta.
Igualación de original a impresión	El usuario quiere que la imagen impresa tenga la mayor similitud posible al original.
Igualación de pantalla a pantalla	Los usuarios quieren sincronizar los colores en dos o más monitores para que los diseños se puedan ver con exactitud.
Igualación de impresión a impresión	El cliente quiere imprimir algo previamente impreso y desea los mismos colores impresos en la primera vez.

Tras esta problemática, el enfoque del ICC estableció las siguientes premisas:

- La responsabilidad del sistema operativo de realizar las transformaciones de color y liberando de esta función a las aplicaciones gráficas.
- El uso de programas para crear los perfiles de color, capaces de portar la información de color de los diferentes equipos y la necesaria para calcular las transformaciones. Estos perfiles son de varios tipos: para dispositivos de entrada, de salida y para monitores.

- La medición de imágenes estandarizadas a través de dispositivos colorimétricos, como densitómetros, colorímetros y espectrofotómetros.
- Cuatro técnicas para el cálculo de la igualación de las reproducciones de color: la colorimetría absoluta, relativa, perceptual y la de saturación, descritas en el capítulo anterior.

### 3.2 PROGRAMAS DE GENERACIÓN DE PERFILES

La herramienta más especializada de la administración del color son los programas de generación de perfiles. Estas aplicaciones permiten crear perfiles cromáticos de monitores de tubos de rayos catódicos, de monitores planos, escáneres, cámaras digitales, impresoras a color y prensas litográficas de impresión.

Dentro de las aplicaciones existentes en el mercado y evaluadas para fines de esta investigación, se listan:

**Tabla 3-2 Software de Administración de Color**

Fabricante	Producto	Precio	Plataforma	Perfiles	Instrumentos
Agfa Gevaert <a href="http://www.agfa.com">www.agfa.com</a>	ColorTune	US\$ 3.500	Mac y PC	E, M, I.	Espectrofotómetro
Monaco Systems, Inc. <a href="http://www.monacosys.com">www.monacosys.com</a>	MonacoPROOF	US\$2.970	Mac y PC	E, M, I.	Colorímetro y Espectrofotómetro
	MonacoEZColor	US\$900	Mac y PC	E, M, I.	Colorímetro

E = Escáner, M= Monitor, I= Impresora

Otros programas de creación de perfiles que se encuentran en el mercado son: el ProfileMaker de GretagMacbeth, ColorOpen de Heidelberg, MonacoProfiler de Monaco Systems, ColorBlind de ITEC, el Kodak Colorflow de Kodak, CompassProfile de Praxisoft, CandelaColor de Pictographics International Corporation. Además, los proveedores de programas de diagramación y de edición del color como Adobe, QuarkXpress y Corel han dado soporte a los perfiles ICC.

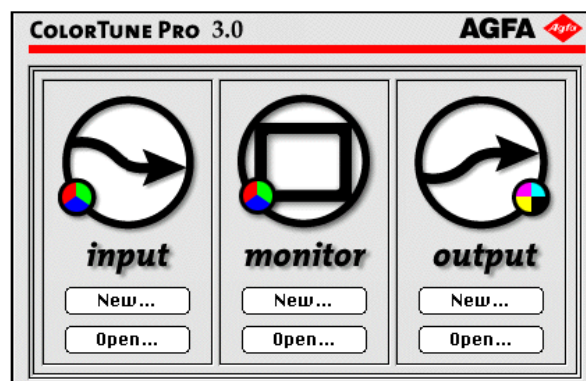
Enseguida se hará una descripción de las soluciones de administración de color de la tabla 3-2, presentadas por algunos proveedores del sector gráfico que fueron evaluadas para finalmente implantar una de ellas en un flujo de pre prensa digital en estudio.

### 3.2.1 Programa de Agfa Gevaert

La firma Agfa es una compañía pionera en el sector de las artes gráficas y de los sistemas de administración de color. El programa ColorTune permite crear, modificar y comparar los perfiles cromáticos de todos los dispositivos de la cadena de producción. Esta aplicación incluye las referencias IT8.7/1, IT8.7/2 e IT8.7/3, así como los archivos que contienen los valores numéricos en el modelo CIELAB de las muestras de color de estas referencias.

**Figura 3-1**

Pantalla principal de ColorTune de Agfa para generar perfiles para escáner, monitor e impresora



Agfa introdujo el programa de administración de color con el nombre de FotoTune y en abril de 1997 lanza la versión ColorTune para perfilar escáneres, monitores e impresoras. Esta aplicación utiliza su propio módulo de transformación de color, el CMM de Agfa, encargado de las transformaciones numéricas entre perfiles.

Dentro de la evaluación realizada se encontró que esta aplicación es capaz de generar perfiles de salida ICC (para impresoras) mediante la referencia IT8.7/3 extendida que contiene 928 cuadros de color. Por el gran número de muestras de color se hace necesario hacer las mediciones a través de un espectrofotómetro o dispositivo de medición en línea para automatizar la lectura de las tonalidades. Si el instrumento mide los colores fila por fila se conoce como escaneo de eje  $x$ ; y si lo hace horizontal y verticalmente se denomina instrumento de escaneo de ejes  $x$ - $y$ .

### **3.2.2 Programa de Monaco Systems**

La firma Monaco Systems presenta varias soluciones de administración de color. MonacoPROFILER y MonacoEZColor fueron las herramientas evaluadas para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Se encontró una gran similitud entre MonacoPROFILER y ColorTune de Agfa por el número de opciones y características disponibles, dirigidas a usuarios avanzados con alto grado de conocimiento en este tema.

Teniendo en cuenta que un sistema de administración de color es una herramienta dentro del sistema de pre prensa digital, ésta debe ser cuidadosamente seleccionada y aplicada con considerable sentido técnico. Para esta selección es fundamental evaluar las características técnicas de los dispositivos que conforman el flujo de trabajo digital al cual se integrará el CMS. Es conveniente definir que los dispositivos de preimpresión (un monitor, un escáner, una cámara digital o una impresora a color) son compatibles con los perfiles ICC o en su defecto poseen un sistema propio de calibración del color de elevada calidad. Equipos sin funciones de calibración<sup>17</sup> son excesivamente limitados para el trabajo profesional.

La aplicación seleccionada para la creación de los perfiles de los dispositivos del flujo digital en estudio, fue la aplicación MonacoEZColor de Monaco System. A continuación se describe el procedimiento empleado para implantar esta herramienta al flujo digital.

### **3.3 IMPLANTACIÓN DE MONACO EZCOLOR**

Antes de considerar la práctica de la implantación del software EZColor al flujo de trabajo digital, es conveniente considerar que un sistema de administración de color consiste en un conjunto de software y hardware que se integran para equilibrar las diferencias de color que se presentan entre los dispositivos.

---

<sup>17</sup> Entendiéndose por calibración al ajuste de un monitor, escáner o impresora, a un estándar determinado en su mayoría por el fabricante, para obtener un rendimiento consistente.

Dentro de los componentes hardware se puede enunciar el monitor, el escáner, la impresora y algunos dispositivos opcionales de medición del color tales como el colorímetro. En la parte de software se encuentran los perfiles cromáticos, la aplicación empleada para generar estos perfiles y una aplicación para usarlos (Adobe PhotoShop o Monaco ColorWorks).

Es importante aclarar que MonacoEZColor es una herramienta software que permite crear los perfiles cromáticos de los dispositivos de entrada, del monitor y de salida. Para aplicar estos perfiles al flujo de trabajo se emplea una aplicación administradora de color, un ejemplo es el Monaco ColorWorks que contiene su propio módulo de transformación de color - CMM, el cual actúa como intérprete central entre los gamuts de los dispositivos. La tarea principal del CMM es comparar estos gamuts y realizar los ajustes necesarios a través de cualquiera de los métodos de asignación nombrados en el capítulo anterior.

En resumen, un completo sistema de administración de color consiste de:

- Conjunto de dispositivos (Monitor, escáner, cámara digital, impresora, colorímetro).
- Perfiles de los dispositivos ( Descripción cromática del dispositivo).
- Software para crear los perfiles de los dispositivos (MonacoEZColor).
- Software para aplicar los perfiles (Monaco ColorWorks , PhotoShop). Cada aplicación administradora de color tiene su propio método para aplicar o usar los perfiles de color.

Los requerimientos del sistema para la instalación del Monaco EZColor son:

- Plataforma Macintosh o Windows
- Pentium PC o superior
- Tarjeta de video de 24 bits que soporte 800X600 de resolución
- Unidad de CD-ROM
- Acceso a un escáner
- 32 MB de RAM
- 50 MB de espacio libre en disco

### 3.3.1 Creación de perfiles para monitores

Esta etapa del proceso de administración de color, consiste en calibrar y caracterizar<sup>18</sup> un monitor de tubos de rayos catódicos. En esta sección se detallará el procedimiento básico de calibración y caracterización aplicado a un monitor con las siguientes especificaciones técnicas:

Marca/Referencia del Monitor: ViewSonic PS790

---

Tamaño de Pantalla: 19 pulgadas (18,0 pulgadas de diagonal visibles)

Resolución: 1600 x 1200

Distancia entre píxeles: 0,25 mm

Profundidad de bits: 24 bits

Antes de comenzar con este proceso fue necesario encender el monitor y dejarlo calentar por el término de 30 minutos para asegurar la exactitud de las mediciones. Así mismo, es importante asegurarse de tener condiciones de iluminación adecuadas para una apropiada visualización y evaluación de las imágenes evitando luces brillantes y objetos coloreados alrededor del monitor.

#### **Paso 1: Calibración del monitor**

Es necesario calibrar el monitor para asegurar la consistencia de los resultados debido a que existen diversas variables que pueden influir en la representación de la pantalla.

##### **a. Ajuste del punto blanco:**

El punto blanco revela el nivel de blancura, medida en grados kelvin, que alcanzará un píxel cuando los fósforos rojo, verde y azul reciben la cantidad máxima de impulso eléctrico. Dependiendo del punto blanco seleccionado, el monitor puede ofrecer imágenes azulosas (9300°K) o imágenes rojizas (3000°K).

---

<sup>18</sup> *Determinar el gamut de colores y características de reproducción de los dispositivos que componen el sistema.*

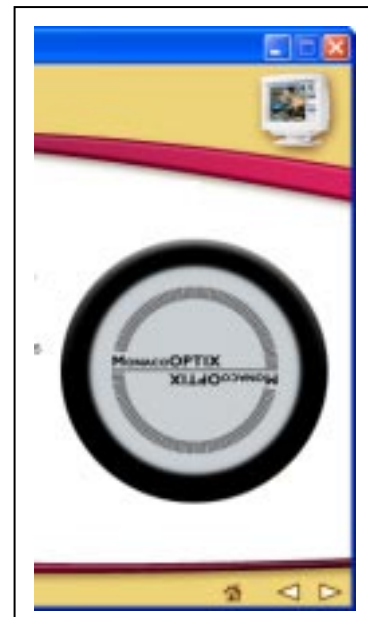
El punto blanco es también el término empleado para describir la temperatura de una fuente de luz empleada en un ambiente de trabajo. El valor de este parámetro para el monitor debe ser lo más cercano posible al punto blanco establecido para las condiciones de iluminación del ambiente de trabajo.

Este parámetro es definido mediante los controles que posee el monitor en la parte frontal, escogiendo el punto blanco más cercano al punto blanco de las condiciones de iluminación. Para el ejercicio de calibración se escogió un punto blanco de 6500°K.

**b. Ajuste del brillo y contraste:**

Para el ajuste de estos parámetros se utiliza un dispositivo de medición, específicamente el colorímetro, que se adhiere a la pantalla y permite una medición confiable del negro más claro, del negro más oscuro y del nivel óptimo de brillo del monitor, así:

**Figura 3-2**  
Colorímetro OPTIX para mediciones en pantalla



- Negro más claro: Se ajustan los controles de la parte frontal del monitor llevando el contraste y el brillo al 100%. A continuación se presenta un ejemplo de los datos que internamente reporta el software para la definición de este parámetro.

*Measuring Lightest Black*

*Lightest Black Measuring 1 : Y: 0.003435 x: 0.182859 y: 0.059122*

*Lightest Black Measuring 2 : Y: 0.003647 x: 0.190644 y: 0.057824*

*Lightest Black Measuring 3 : Y: 0.003839 x: 0.189248 y: 0.060602*

*Lightest Black Measured : 0.003839*

- Negro más oscuro: Se ajustan los controles de la parte frontal del monitor llevando el contraste al 100% y el brillo al 0%. A continuación se presenta un ejemplo de los datos que internamente reporta el software para la definición de este parámetro.

*Measuring Darkest Black*

*Darkest Black Measuring 1 : Y: 0.003958 x: 0.191504 y: 0.058899*

*Darkest Black Measuring 2 : Y: 0.001466 x: 0.203005 y: 0.062327*

*Darkest Black Measuring 3 : Y: 0.001062 x: 0.217294 y: 0.060939*

*Darkest Black Measured : 0.001062*

- Nivel de brillo del monitor: Aquí se fija el brillo del monitor de modo que las lecturas que realiza el software caigan en el indicador identificado como “Buenos Resultados”. Una vez se consigue el brillo óptimo es importante no volver a tocar estos controles. Para el ejercicio de calibración se consiguió un nivel de brillo del 57%.

**c. Ajuste de los niveles de gama:**

Este ajuste se realiza a través del software MonacoEZColor y hace referencia a la reproducción no lineal de la intensidad de la pantalla. En esta sección se selecciona la curva que indica qué nivel de impulso eléctrico aporta un determinado grado de luminosidad de la pantalla. Este parámetro se mide en una escala del 0 al 2.5, en la cual los números más altos representan un mayor contraste. Apple Computer recomienda un monitor de color de la gama 1.8. Para los sistemas Windows se recomienda trabajar con una gama de 2.2.

**Paso 2: Caracterización del monitor**

Después de la calibración descrita anteriormente, el monitor está preparado para la caracterización. Esta se lleva a cabo determinando las diferencias entre los valores del fósforo medidos y los valores originales. Estos valores indican el nivel de brillo que alcanzará cada tipo de fósforo al reaccionar ante la misma cantidad de energía. Para determinar los valores del fósforo de un monitor se utiliza un dispositivo de medición que se adhiere a la pantalla por succión.

En esta práctica fue empleado el colorímetro MonacoOPTIX, que permite medir una serie de cuadros de colores representados en la pantalla y generados por el software MonacoEZColor. Las diferencias entre los valores medidos y los valores originales son utilizadas para determinar el rango de colores reproducibles por el monitor, es decir, para generar el perfil del monitor, el cual es almacenado con un nombre<sup>19</sup> en un archivo digital de extensión ICM y localizado en Windows\System\Color en Windows 98 o Windows\System32\spool\drivers\color para Windows XP. Un ejemplo de los datos numéricos que utiliza el software para realizar estas mediciones se listan a continuación:

#### Measuring 33 Patches

Sensor Measured Y: 2.220818 x: 0.570069 y: 0.395060  
Sensor Measured Y: 1.539580 x: 0.574914 y: 0.400737  
Sensor Measured Y: 1.000440 x: 0.583886 y: 0.408607  
Sensor Measured Y: 0.599983 x: 0.585350 y: 0.414078  
Sensor Measured Y: 0.323954 x: 0.582228 y: 0.416963  
Sensor Measured Y: 0.141937 x: 0.572208 y: 0.426252  
Sensor Measured Y: 0.049777 x: 0.546660 y: 0.449728  
Sensor Measured Y: 0.024660 x: 0.514904 y: 0.478549  
Sensor Measured Y: 5.514734 x: 0.317237 y: 0.525282  
Sensor Measured Y: 3.879198 x: 0.318556 y: 0.529687  
Sensor Measured Y: 2.561002 x: 0.320664 y: 0.536915  
Sensor Measured Y: 1.552769 x: 0.323612 y: 0.549975  
Sensor Measured Y: 0.836292 x: 0.331536 y: 0.574162  
Sensor Measured Y: 0.351492 x: 0.355770 y: 0.631702  
Sensor Measured Y: 0.100582 x: 0.388848 y: 0.599803  
Sensor Measured Y: 0.027817 x: 0.492596 y: 0.499888  
Sensor Measured Y: 1.509938 x: 0.190226 y: 0.082693  
Sensor Measured Y: 1.020416 x: 0.190515 y: 0.083245  
Sensor Measured Y: 0.637367 x: 0.191312 y: 0.084415  
Sensor Measured Y: 0.355231 x: 0.193204 y: 0.087243

---

<sup>19</sup> Suele emplearse un nombre descriptivo que incluye el tipo de perfil, tipo de monitor y fecha de creación.

Sensor Measured Y: 0.170525 x: 0.198673 y: 0.095305  
Sensor Measured Y: 0.062595 x: 0.225766 y: 0.133895  
Sensor Measured Y: 0.026855 x: 0.499200 y: 0.493573  
Sensor Measured Y: 0.025141 x: 0.505229 y: 0.487726  
Sensor Measured Y: 9.375159 x: 0.289156 y: 0.265161  
Sensor Measured Y: 6.538449 x: 0.291456 y: 0.269634  
Sensor Measured Y: 4.257167 x: 0.294990 y: 0.276695  
Sensor Measured Y: 2.540296 x: 0.300474 y: 0.289722  
Sensor Measured Y: 1.334836 x: 0.310692 y: 0.311633  
Sensor Measured Y: 0.532724 x: 0.336667 y: 0.365261  
Sensor Measured Y: 0.131595 x: 0.442048 y: 0.549566  
Sensor Measured Y: 0.030077 x: 0.492584 y: 0.500068  
Sensor Measured Y: 0.025678 x: 0.505213 y: 0.487792

Esta técnica de caracterización aún no es aceptada como guía para el usuario o el cliente en sus decisiones de color, pero es una forma de garantizar que los parámetros permanezcan constantes con el paso del tiempo.

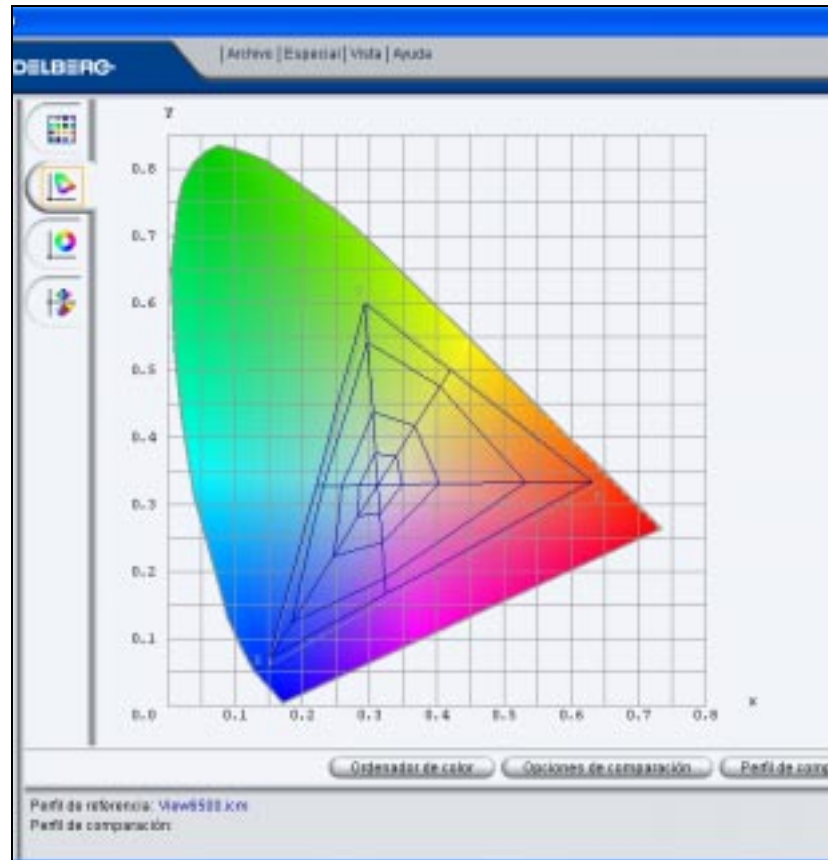
Una vez el perfil del monitor es creado, se recomienda asegurar los controles de brillo y contraste ya que si las posiciones de estos controles son cambiadas, es necesario volver a perfilar el monitor. Es necesario volver a crear el perfil para el monitor cuando:

- Se modifican los ajustes de brillo y contraste.
- El punto blanco del hardware ha sido modificado.
- Las condiciones de iluminación han cambiado.

A continuación se representa gráficamente el perfil creado para el monitor ViewSonic PS790 en el espacio CIE:

### Figura 3-3

Gráfica del perfil cromático del monitor ViewSonic PS790; gráfico elaborado en el Software Printopen de Heidelberg.



### 3.3.2 Creación de perfiles para escáneres

Antes de crear el perfil del escáner es necesario calibrarlo para asegurar la consistencia de los resultados; además, la mayoría de los escáneres tienden a capturar las imágenes de forma más oscura de lo que realmente ellas son. Del mismo modo, cuando se trabaja con imágenes a color, los escáneres no calibrados pueden agregar tonalidades dominantes, presentando un desequilibrio cromático en alguna de las áreas de la imagen. Cada dispositivo es diferente y varía según el tiempo de uso. La calibración ayuda a estandarizar la respuesta de la captura del escáner y mejorar la calidad de las imágenes escaneadas.

En esta sección se detallará el proceso llevado a cabo para la calibración y caracterización aplicado a un escáner plano con las siguientes especificaciones técnicas:

Marca/Referencia del Escáner: Umax/PowerLook 3000

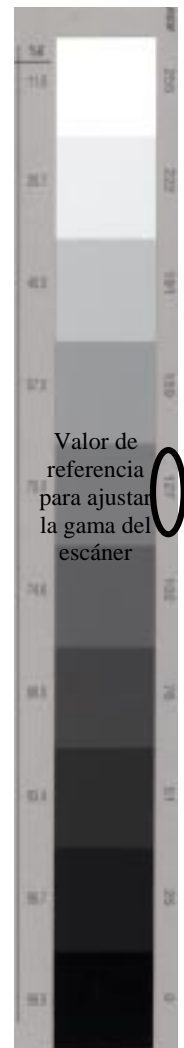
---

Sensor: CCD tri-lineal  
Número de lentes: 2  
Resolución óptica: 1220 x 3048 dpi en Lente 1  
3048 x 3048 dpi en Lente 2  
Máxima densidad óptica: 3.6 D (Rango Dinámico)  
Profundidad de bits: 24 / 42 bits por pixel (Modo Color)  
8 / 14 bits por pixel (Modo Escala de Grises)  
1 bit por pixel (Modo Blanco y Negro)  
Interface: SCSI II  
Fuente de Alimentación: 100 – 240 V CA  
Frecuencia: 47 – 63 Hz  
Consumo de energía: 60 watts máximo  
Rangos Ambientales: 5° - 40°C (Temperatura de operación)  
25 – 85% (Humedad relativa)  
Peso: 18.5 Kg  
Sistema Operativo: Windows 98 o superior

### **Paso 1: Calibración del escáner**

En este primer paso se tiene en cuenta el procedimiento establecido por el fabricante del escáner el cual consta de dos partes: la linearización y la neutralización. Para este paso es fundamental el uso de la tarjeta objetivo suministrada por el fabricante de este dispositivo de entrada (figura 3-4).

Con estas utilidades de calibración es posible ajustar el brillo y contraste al igual que remover las tonalidades dominantes (*color cast*) de las imágenes a escanear. Existen dos clases de tonalidades dominantes: del escáner y de la imagen. El *color cast* del escáner se puede presentar cuando un escáner muestra un desequilibrio de la luz roja, verde o azul. El *color cast* de la imagen (fotografía) puede ser creada por condiciones de iluminación o problemas de exposición. En este proceso de calibración sólo se dará tratamiento al *color cast* del escáner



**Figura 3-4**  
Target de Calibración  
para el escáner Umax PowerLook 3000

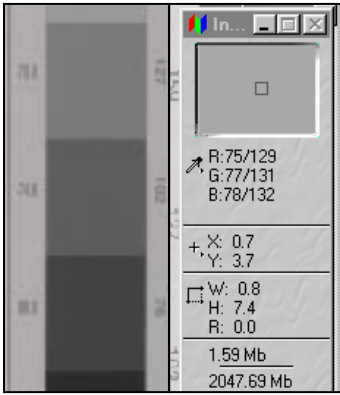
Este proceso de calibración consiste, en primer lugar, en corregir la respuesta del escáner con respecto al brillo y contraste, ajustando el valor de gama del escáner, procedimiento conocido como linearización. El objeto de este ajuste es encontrar un valor de gama que genere una respuesta de 127, el valor ideal suministrado por el fabricante del *Umax Power Look3000*, escáner en estudio. Es decir, que al medir el cuadro #5 del target de referencia, el escáner efectivamente arroje el mismo valor.

En la realidad esta medición difiere del estándar de referencia; debido a esto se recomienda la linearización para garantizar que los resultados obtenidos en la imagen final sean consistentes. Este parámetro es modificado por el usuario hasta encontrar el valor que recomienda el fabricante del escáner.

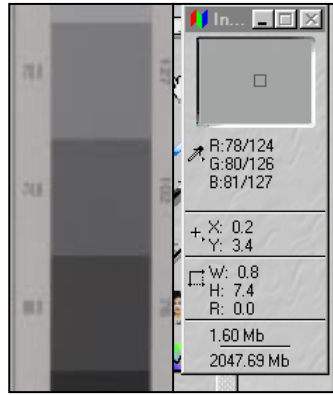
Para encontrar este valor, se realizan modificaciones con intervalos de 0,1 en el nivel de gama y midiendo el incremento gradual hasta lograr que el valor medido sea de 127 en el cuadro #5. El valor de gama encontrado en la práctica fue de 1.0

Una vez ajustado este parámetro se hace necesario realizar la neutralización para equilibrar las medidas de las luces rojas, verdes y azules.

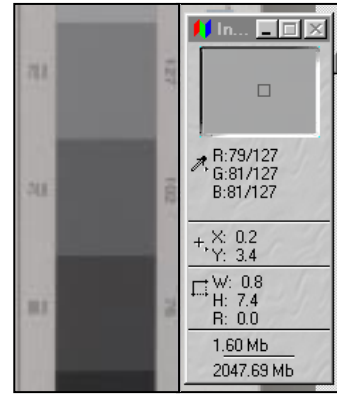
En la gráfica siguiente podemos apreciar los valores obtenidos antes de la calibración, después de la linearización y en la neutralización. Los valores RGB inicialmente medidos en el cuadro #5 del target de referencia fueron 129, 131 y 132 respectivamente (Figura 3-5a). Después de la linearización los valores medidos de RGB fueron 124, 126 y 127 (Figura 3-6b). Con este resultado, es evidente la realización de la neutralización para equilibrar las medidas del rojo verde y azul. Siguiendo el procedimiento respectivo se logró equilibrar las medidas de los valores RGB a 127 respectivamente (Figura 3-6c).



**Figura 3-5 a**  
Valores RGB obtenidos  
antes de la calibración



**Figura 3-5 b**  
Valores RGB obtenidos  
después de Linearizar



**Figura 3-5 c**  
Valores RGB  
después de neutralizar

## **Paso 2: Caracterización del escáner**

Una vez el escáner se encuentre ajustado de acuerdo con las especificaciones del fabricante, está preparado para la caracterización. Tal como se describió anteriormente, un sistema de administración de color necesita conocer las características de su dispositivo de entrada, a través del perfil cromático correspondiente. Para la creación del perfil de entrada es necesario escanear una tabla de referencia IT8 (Tabla descrita en el capítulo anterior) teniendo en cuenta que las correcciones automáticas de color estén deshabilitadas.

El programa MonacoEZColor analiza la imagen digitalizada del target IT8.7/2 y compara los valores RGB de los cuadros de color escaneados con los valores oficiales de referencia proporcionados en un archivo digital de formato ASCII por el fabricante del target expresados en función de XYZ y CIELAB.

Conociendo la relación entre los valores digitalizados y los valores de referencia, el sistema de gestión de color genera un archivo de extensión ICM como el perfil del escáner.

Conviene realizar un nuevo perfil para el escáner cuando:

- La lámpara del escáner es cambiada.
- Se utiliza una nueva referencia IT8.

- Se cambian los ajustes de calibración para el escáner.
- Se cambia la referencia IT8 para opacos o para transparencias.

La siguiente figura ilustra el target de referencia IT8.7/2 para opacos utilizado para caracterizar el escáner Umax PowerLook 3000.

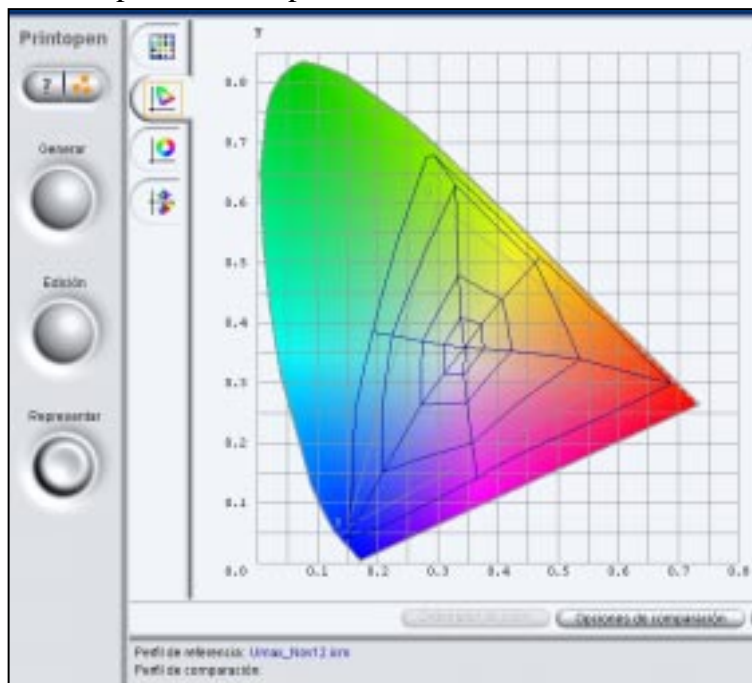


**Figura 3-6**

Target IT8.7/2 de Monaco Systems, Inc utilizada para la caracterización del escáner plano *Umax PowerLook 3000* con un nivel de gama de 1.0.

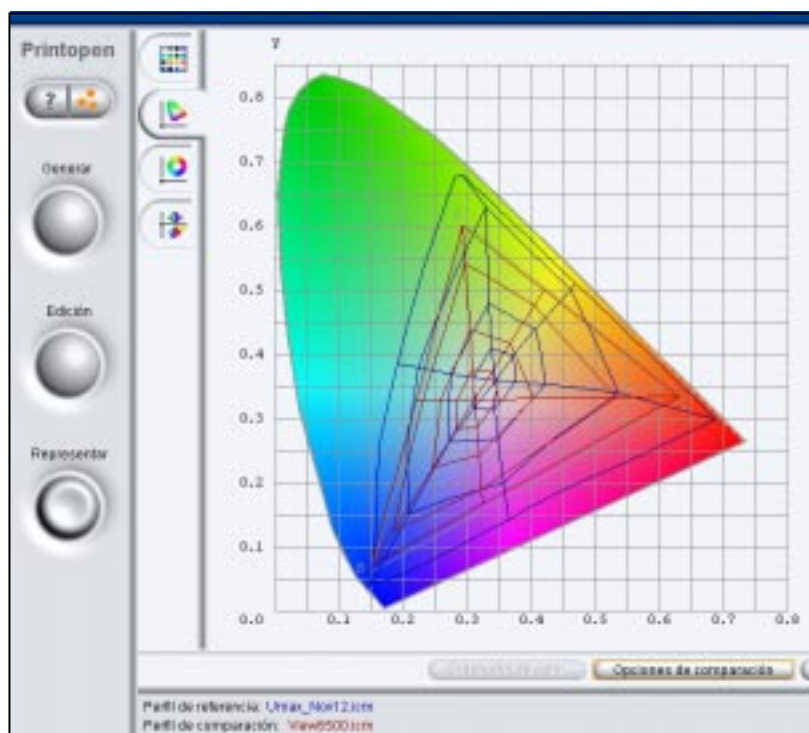
A continuación se representa gráficamente el perfil creado para el escáner PowerLook 3000 en el espacio CIE:

**Figura 3-7**  
Perfil cromático del  
Escáner Umax  
PowerLook 3000;  
Gráfico elaborado en  
PrintOpen de  
Heidelberg



Teniendo los perfiles del dispositivo de entrada(escáner) y del monitor podemos compararlos gráficamente, así:

**Figura 3-8**  
Comparación gráfica del perfil  
del escáner Umax (en azul) y el  
perfil del monitor ViewSonic (en rojo).



### 3.3.3 Creación de perfiles para impresoras

Antes de caracterizar el dispositivo de salida del flujo de trabajo digital, es fundamental haber obtenido los perfiles cromáticos para el monitor y para el dispositivo de entrada, donde se encuentra la fuente de la información cromática.

La referencia estándar de la industria para la caracterización de las impresoras es la tarjeta IT8.7/3 (referenciada en el capítulo anterior), que utiliza 928 muestras de color. Sin embargo, el software Monaco EZColor emplea su propio target de referencia junto con el target IT8.7/2 utilizado para la caracterización del escáner.

Con estas dos referencias se genera el perfil para la impresora que requiere ser modificado cada vez que se modifique:

- El tipo de papel para el cual se crea el perfil
- La resolución de salida
- Las referencias de las tintas.

El dispositivo de salida empleado para generar el perfil corresponde a una impresora *Hewlett Packard Color Inkjet CP1700*, con las siguientes características técnicas:

Marca/Referencia de la impresora: Hewlett Packard Inkjet cp1700

---

Memoria RAM: 16 MB integrada

Microprocesador: 2 Procesadores de 96Mhz cada uno

Resolución: 2400 dpi

Velocidad de impresión color: 14 páginas por minuto

Velocidad de impresión B/N: 16 páginas por minuto

Formato de impresión: hasta carteles de 33 x 127 cm

Cartuchos de impresión: Individuales para cada color (CMYK)

Interface: USB, infrarrojo, JetDirect

Fuente de Alimentación: 100 – 200 VCA

Frecuencia: 50 – 60 Hz

Consumo de energía: 47.7 watts en impresión

Rangos Ambientales: 5° - 40°C (Temperatura de operación)

20 – 80% (Humedad relativa)

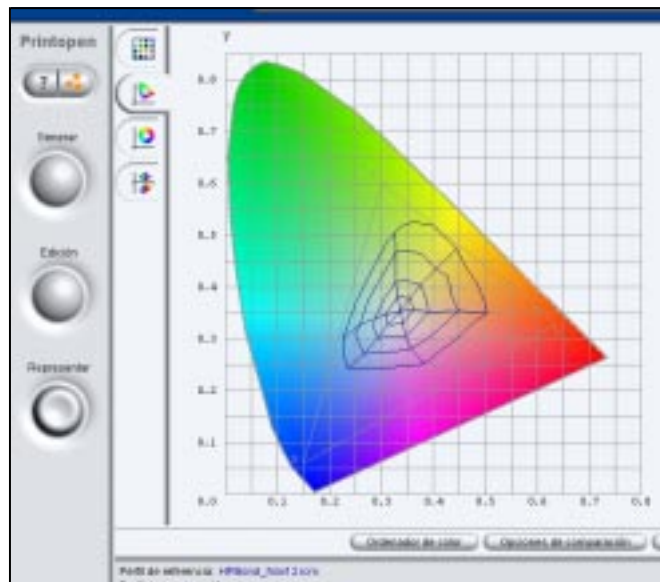
Peso: 15 Kg

Sistema Operativo: Windows 95/98/ME/XP Windows NT 4.0/2000;Linux

A continuación se representa gráficamente el perfil cromático generado para la impresora descrita anteriormente para el papel Bond de 75g/m<sup>2</sup> de alta blancura y lisura, de fibra de caña de azúcar fabricado por la empresa Propal S.A., así como la comparación cromática con el perfil generado para el escáner *Umax PowerLook 3000*.

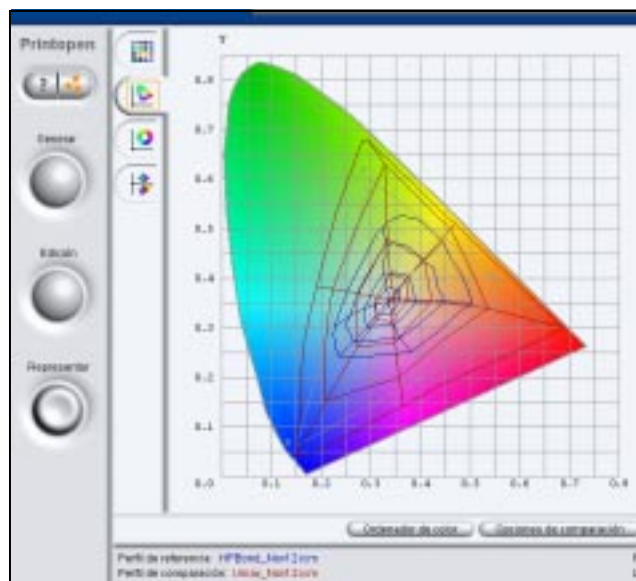
**Figura 3-9**

Perfil cromático de la impresora Hewlett Packard inkjet cp1700



**Figura 3-10**

Comparación entre el perfil de la impresora *Hewlett Packard* (en azul) con el perfil del escáner *Umax* ( en rojo).



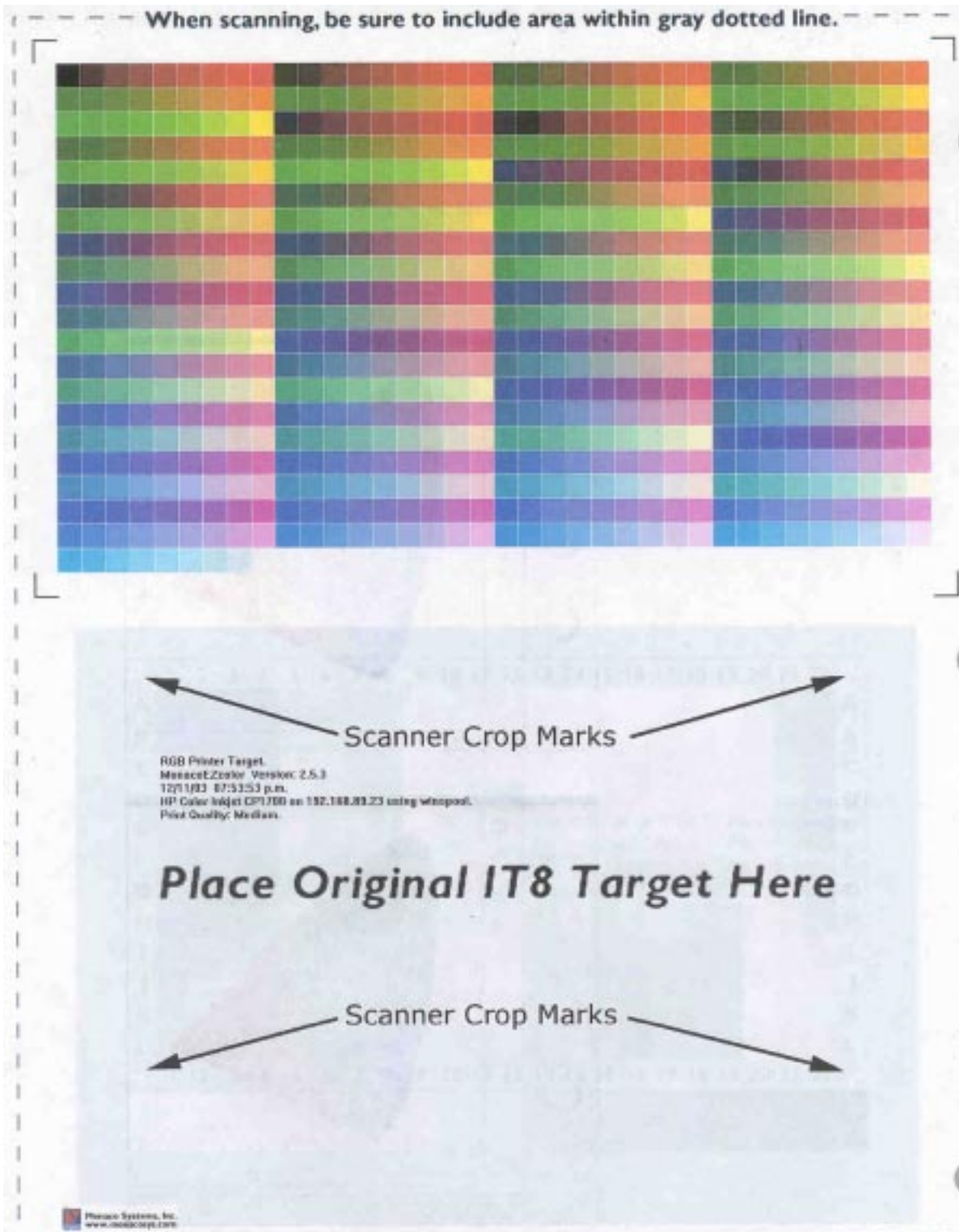


Figura 3-11

### 3.4 USO DE LOS PERFILES CROMÁTICOS GENERADOS POR EL SOFTWARE MONACO EZCOLOR

La mayoría de las aplicaciones de administración del color almacenan los archivos digitales correspondientes a los perfiles cromáticos en directorios definidos por defecto, dependiendo de la plataforma de trabajo.

Tabla 3-3 Localización de los perfiles cromáticos

Plataforma	Localización del perfil
Macintosh <OSX	System Folder>ColorSync Profiles
Macintosh OSX	Library>ColorSync>Profiles
Windows 98/ME	Windows\System\Color
Windows 2000	WINNT\System32\spool\drivers\color
Windows XP	Windows\System32\spool\drivers\color

#### 3.4.1 Configuración de los perfiles en la plataforma de trabajo

Una vez creados, los perfiles están listos para ser empleados en el flujo de trabajo digital y configurados en la plataforma de trabajo. Para este trabajo de investigación, se indicará la configuración de cada clase de perfil en el sistema operativo Windows.

##### 3.4.1.1 Configuración del perfil del monitor

La configuración del perfil del monitor se realiza a través del panel de control accediendo al ícono de la pantalla y seleccionando el archivo del perfil correspondiente en la pestaña de nombre *Administración de color* de las opciones avanzadas.

En la lista de perfiles se encuentran disponibles una serie de archivos de extensión ICM (para la plataforma windows) proporcionados por el fabricante del dispositivo. Estos perfiles de color son genéricos y han sido creados bajo condiciones diferentes a las

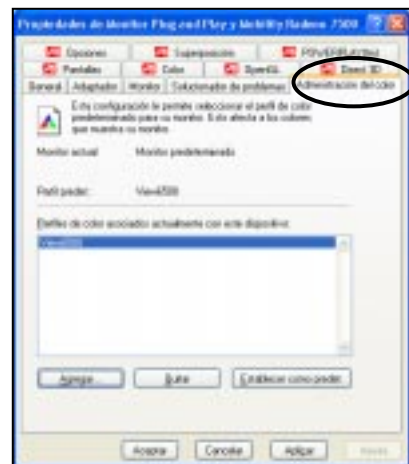


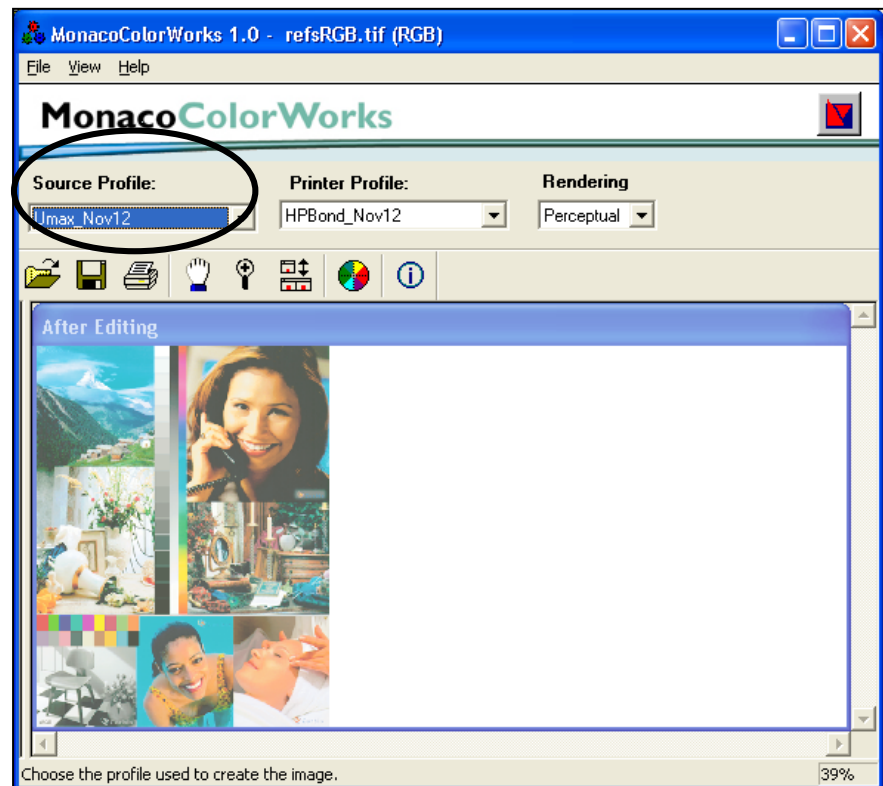
Figura 3-12  
Pantalla de configuración del perfil del monitor

normalmente empleadas en el sitio de trabajo donde opera el equipo, lo que hace poco adecuada su utilización.

### 3.4.1.2 Configuración del perfil del escáner

La configuración de los perfiles de entrada se realiza a través de un programa editor de imágenes o una herramienta para aplicar perfiles, siendo el usuario quien selecciona el perfil del escáner donde se digitalizó la imagen. Para efectos de este trabajo, la herramienta ColorWorks de Monaco fue empleada para configurar el perfil de entrada para el escáner *Umax PowerLook 3000*.

**Figura 3-13**  
Configuración del perfil de entrada a través del Software ColorWorks de Monaco Systems

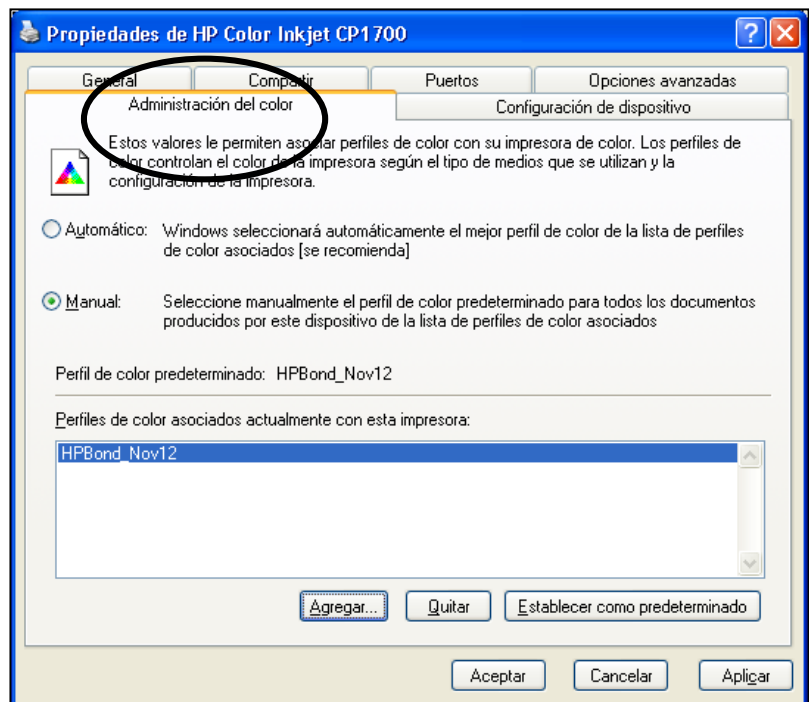


### 3.4.1.3 Configuración del perfil de la impresora

La configuración en el sistema operativo Windows para los perfiles de salida se realiza de manera similar a la especificada para los perfiles de entrada. La configuración se define en

las propiedades de la impresora a través del panel de control, específicamente en la pestaña de nombre *Administración del color*.

**Figura 3-14**  
Pantalla de configuración  
para los perfiles de salida.



Como se mencionó anteriormente, uno de los elementos de un sistema administración de color es la herramienta empleada para aplicar los perfiles cromáticos generados para cada dispositivo e integrarlos al flujo de trabajo del sistema de preensa digital. En este proyecto, dicha herramienta utilizada corresponde a *ColorWorks 1.0* de *Monaco Systems* que permite asociar los perfiles de entrada y salida a las imágenes de color.

El resultado obtenido con los perfiles creados para el escáner *Umax PowerLook 3000* y para la impresora *Hewlett Packard cp1700* se detallan en las imágenes presentadas en el anexo de este documento, considerando que el *Monaco ColorWorks* realiza las transformaciones necesarias entre los perfiles del dispositivo fuente y del dispositivo destino, empleando su propio motor de transformación o CMM indicando las formas de

conversión o asignación de nuevos valores para los colores que se encuentren fuera de gama del dispositivo destino. Los métodos de conversión empleados por ColorWorks son el perceptual, saturación y colorimétrico.

## 4 CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA DE LOS DISPOSITIVOS DIGITALES

Las dos funciones básicas de un sistema de administración de color son la caracterización colorimétrica de sus dispositivos y la conversión de color entre ellos. La primera función, hace referencia a la relación entre el espacio dependiente del dispositivo y el espacio de color independiente del dispositivo, basado en el CIELAB. La segunda, corresponde a las transformaciones colorimétricas entre los espacios de color.

En este capítulo se describe una de las metodologías existentes<sup>20</sup> para realizar la caracterización colorimétrica de los dispositivos digitales, es decir, para obtener la relación con el espacio de color CIELAB. El método de caracterización escogido para este trabajo de investigación está basado en mediciones y en la aplicación de funciones polinomiales de primer hasta tercer grado.

### 4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA

El procedimiento descrito en los apartados siguientes (*Hardeberg, Jon; 2001*) es aplicado para:

1. Hallar la relación entre el espacio CIELAB y el espacio de un dispositivo de salida sin aplicación de perfiles.
2. Hallar la relación entre el espacio CIELAB y el espacio de un dispositivo de salida con aplicación de los perfiles obtenidos a través del software *MonacoEZ Color* graficados en el capítulo anterior.

---

<sup>20</sup> *Modelos de caracterización colorimétricas propuestos por Jon Y. Harderberg en su libro Acquisition and Reproduction of Color Images: Colorimetric and multispectral approaches, 2001.*

#### 4.1.1 Impresión del target de referencia

Para comenzar, se toma como referencia un gráfico de  $N = 135$  muestras de color con valores XYZ y LAB conocidos y suministrados por el fabricante de la referencia (*Heidelberg*). Este target es impreso en las mismas condiciones definidas en el proceso de caracterización con el software *MonacoEZ Color* (de papel, resolución e incluyendo condiciones ambientales) para su posterior comparación de resultados.



**Figura 4-1**

Target con 135 muestras de color con valores XYZ y LAB conocidos.

Los valores numéricos para esta referencia, utilizada en el presente trabajo de investigación, fueron calculados por el fabricante *Heidelberg* bajo un iluminante D50 y siguiendo las especificaciones de un observador estándar de  $2^\circ$  (conceptos descritos en las secciones 1.3.5 y 1.3.6). Los respectivos valores ideales en XYZ se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4-1 Valores numéricos XYZ del target de referencia para la caracterización colorimétrica.  
 Archivo digital en formato ASCII

ORIGINATOR "Heidelberg Prepress / PrintOpen ICC" DESCRIPTOR "PrintOpen Testchart RGB 3-Colors" MEASUREMENT_SOURCE "Illumination=D50 ObserverAngle=2 WhiteBase=Abs NUMBER_OF_SETS 135											
#	X	Y	Z	#	X	Y	Z	#	X	Y	Z
1	0,747509	0,764881	0,727574	46	0,762543	0,785424	0,642744	91	0,048721	0,047582	0,073826
2	0,719012	0,735197	0,699997	47	0,657365	0,705197	0,627291	92	0,102201	0,078797	0,093315
3	0,612338	0,62382	0,59063	48	0,542422	0,61304	0,599692	93	0,181858	0,12438	0,117776
4	0,497082	0,508173	0,475573	49	0,389085	0,481061	0,553603	94	0,261153	0,164716	0,134226
5	0,406748	0,414144	0,383294	50	0,203245	0,299888	0,469433	95	0,322472	0,1937	0,135986
6	0,272843	0,278384	0,2548	51	0,685656	0,667203	0,594742	96	0,07969	0,100226	0,122497
7	0,192717	0,196439	0,176453	52	0,612338	0,62382	0,59063	97	0,173177	0,175843	0,155425
8	0,173177	0,175843	0,155425	53	0,511196	0,548156	0,572461	98	0,279987	0,252273	0,191364
9	0,086326	0,087834	0,074803	54	0,367515	0,428787	0,530711	99	0,378325	0,316889	0,219333
10	0,055817	0,056733	0,045913	55	0,188561	0,261562	0,448231	100	0,442355	0,347504	0,218856
11	0,619144	0,553637	0,610996	56	0,113204	0,133863	0,23422	101	0,701979	0,733914	0,315716
12	0,540385	0,504164	0,594658	57	0,22203	0,219646	0,275885	102	0,5995	0,657482	0,303642
13	0,457911	0,450884	0,58025	58	0,316356	0,281287	0,301518	103	0,481657	0,565597	0,29218
14	0,333998	0,355523	0,543436	59	0,409308	0,340032	0,334459	104	0,336645	0,44148	0,270328
15	0,178957	0,220011	0,466708	60	0,470577	0,371745	0,334943	105	0,161586	0,267046	0,222594
16	0,794311	0,811712	0,777766	61	0,088909	0,077193	0,207118	106	0,504076	0,449288	0,088591
17	0,68058	0,720931	0,74674	62	0,154799	0,11255	0,229604	107	0,434768	0,416489	0,092594
18	0,56353	0,626652	0,718268	63	0,224438	0,146062	0,240685	108	0,319831	0,335469	0,080046
19	0,411638	0,496762	0,671223	64	0,287115	0,174592	0,247366	109	0,196856	0,236119	0,073088
20	0,216713	0,306205	0,572956	65	0,341223	0,198841	0,243282	110	0,086891	0,13414	0,061387
21	0,703336	0,678488	0,690983	66	0,072511	0,066477	0,145251	111	0,630273	0,621689	0,288551
22	0,615352	0,618528	0,67588	67	0,133011	0,099584	0,16755	112	0,557118	0,580564	0,291011
23	0,514039	0,543145	0,65418	68	0,202648	0,13383	0,180378	113	0,447826	0,498718	0,277178
24	0,37389	0,428127	0,610588	69	0,275399	0,169935	0,196342	114	0,309058	0,384502	0,260665
25	0,197661	0,26257	0,522936	70	0,333324	0,195666	0,19583	115	0,14387	0,226286	0,205492
26	0,166028	0,213724	0,401917	71	0,577396	0,523158	0,420504	116	0,030017	0,030911	0,023501
27	0,322049	0,351148	0,470214	72	0,517128	0,494655	0,424602	117	0,082361	0,06725	0,038009
28	0,449953	0,450302	0,504389	73	0,406748	0,414144	0,383294	118	0,162488	0,114441	0,052416
29	0,537525	0,509474	0,523396	74	0,282029	0,315793	0,349467	119	0,240662	0,153591	0,058997
30	0,597869	0,540372	0,52019	75	0,141994	0,190907	0,290843	120	0,306191	0,183154	0,059226
31	0,09955	0,082925	0,251371	76	0,735504	0,763448	0,503456	121	0,115594	0,195015	0,076467
32	0,16512	0,117649	0,273213	77	0,629926	0,684419	0,485412	122	0,253881	0,328926	0,08867
33	0,230244	0,148176	0,281758	78	0,512028	0,590575	0,467183	123	0,387708	0,439484	0,092249
34	0,290695	0,175782	0,28874	79	0,364553	0,463339	0,432808	124	0,506411	0,527875	0,095819
35	0,350566	0,202029	0,289451	80	0,182734	0,286028	0,355188	125	0,58324	0,568104	0,091081
36	0,144286	0,155188	0,375378	81	0,662112	0,648727	0,46157	126	0,056151	0,075092	0,041308
37	0,262578	0,247481	0,433454	82	0,589434	0,607713	0,459695	127	0,131666	0,137315	0,050802
38	0,355613	0,305257	0,455117	83	0,479188	0,524636	0,444393	128	0,240572	0,216772	0,064123
39	0,431801	0,349908	0,473124	84	0,336647	0,404742	0,410314	129	0,34062	0,281981	0,074716
40	0,500412	0,386764	0,481056	85	0,16707	0,24554	0,338063	130	0,406051	0,311495	0,074308
41	0,484276	0,378422	0,408722	86	0,117854	0,171273	0,178447	131	0,657469	0,685118	0,094419
42	0,427036	0,351313	0,41224	87	0,247831	0,288564	0,217817	132	0,546839	0,604727	0,092395
43	0,351973	0,307524	0,397479	88	0,374275	0,388934	0,238959	133	0,426466	0,511161	0,091314
44	0,253288	0,243446	0,373367	89	0,480092	0,464361	0,269985	134	0,282214	0,387186	0,088285
45	0,13208	0,148012	0,316923	90	0,547663	0,499839	0,267336	135	0,048721	0,047582	0,073826

#### 4.1.2 Medición del target de referencia

Después de impreso, este patrón de 135 muestras de color con valores XYZ Y CIELAB conocidos, se registra utilizando el escáner *Umax PowerLook3000* debidamente calibrado. De esta digitalización se obtiene para cada muestra de color los respectivos valores RGB medidos.

#### 4.1.3 Comparación de los valores de referencia con los valores medidos

Para realizar esta comparación se aplican dos modelos matemáticos para las transformaciones requeridas; el primero, para convertir los valores RGB medidos a valores XYZ y de ahí aplicar las fórmulas 1.16, 1.17 y 1.18 dadas en la sección 1.3.7.1 para obtener los valores CIELAB. La segunda transformación, se realiza desde los valores RGB medidos al espacio CIELAB directamente.

##### 4.1.3.1 Transformación de valores RGB a valores XYZ

La eficiencia de una caracterización colorimétrica está relacionada con la función de transformación utilizada para obtener los datos correspondientes al espacio del color CIELAB. Para este trabajo de investigación se recurrió a una función polinomial de primer orden establecida como una transformación matricial 3 x 3 definida como:

$$(T1, XYZ): \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Prácticamente los valores XYZ son obtenidos multiplicando los valores RGB por una matriz 3 x 3 conformada por los siguientes parámetros:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D50} \equiv \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1.0479 & 0.0229 & -0.0502 \\ 0.0296 & 0.9904 & -0.0171 \\ -0.092 & 0.0151 & 0.7519 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

El rango válido para los valores RGB está entre 0 y 1.

### 4.1.3.2 Transformación de valores XYZ a valores CIELAB

Una vez obtenidos los valores XYZ es posible hallar los valores CIELAB utilizando las ecuaciones definidas por la CIE, las cuales están en función de las variables XYZ.

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (4-3)$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad (4-4)$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad (4-5)$$

Donde  $X/X_n > 0.008856 \rightarrow (X/X_n)^{1/3}$   
 $Y/Y_n > 0.008856 \rightarrow (Y/Y_n)^{1/3}$   
 $Z/Z_n > 0.008856 \rightarrow (Z/Z_n)^{1/3}$

Y  $X/X_n \leq 0.008856 \rightarrow 7.7867(X/X_n) + 16/116$   
 $Y/Y_n \leq 0.008856 \rightarrow 7.7867(Y/Y_n) + 16/116$   
 $X/X_n \leq 0.008856 \rightarrow 7.7867(Z/Z_n) + 16/116$

### 4.1.3.3 Transformación de valores RGB a valores CIELAB

El autor *Jon Hardeberg*<sup>21</sup> en su trabajo de investigación doctoral propone un esquema de transformación en el cual los valores RGB medidos son transformados directamente a valores CIELAB, en lugar de transformarlos a valores XYZ. El modelo propuesto se representa matemáticamente por la siguiente ecuación:

$$(T_n, XYZ): \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} L^* \\ a^* \\ b^* \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Este modelo matemático utiliza como entradas las tres variables independientes R, G, y B; las salidas son los valores  $L^{(c)}$ ,  $a^{(c)}$ , y  $b^{(c)}$ . La función de interpolación es denotada como:

$$[L^{(c)} \ a^{(c)} \ b^{(c)}] = f([R \ G \ B]) \quad (4.7)$$

La transformación lineal puede ser escrita como una matriz de la siguiente forma:

---

<sup>21</sup> Ph.D del Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (Paris, France) en febrero de 1999. Su investigación estuvo relacionada con la adquisición y reproducción de las imágenes a color.

$$L^{(c)} = [R \ G \ B] * \begin{bmatrix} \alpha 1 \\ \alpha 2 \\ \alpha 3 \end{bmatrix} \equiv R\alpha 1 + G\alpha 2 + B\alpha 3 \quad (4.8)$$

$$a^{(c)} = [R \ G \ B] * \begin{bmatrix} \beta 1 \\ \beta 2 \\ \beta 3 \end{bmatrix} \equiv R\beta 1 + G\beta 2 + B\beta 3 \quad (4.9)$$

$$b^{(c)} = [R \ G \ B] * \begin{bmatrix} \gamma 1 \\ \gamma 2 \\ \gamma 3 \end{bmatrix} \equiv R\gamma 1 + G\gamma 2 + B\gamma 3 \quad (4.10)$$

Las anteriores ecuaciones 4.9, 4.10 y 4.11 pueden ser redefinidas como:

$$L^{(c)} = v^{(n)t} \alpha, \quad a^{(c)} = v^{(n)t} \beta, \quad b^{(c)} = v^{(n)t} \gamma \quad (4.11)$$

Donde  $v^{(n)}$  es un vector de grado  $n$ , que contiene todos los posibles productos cruz de las entradas R,G,B. El vector  $v^{(n)}$  se define de la siguiente forma para primero, segundo y tercer grado como:

$$v^{(1)} = [1, R, G, B]^t \quad (4.12)$$

$$v^{(2)} = [1, R, G, B, R^2, RG, RB, G^2, GB, B^2]^t \quad (4.13)$$

$$v^{(3)} = [1, R, G, B, R^2, RG, RB, G^2, GB, B^2, R^3, R^2G, R^2B, RG^2, RGB, RB^2, G^3, G^2B, GB^2, B^3]^t \quad (4.14)$$

Los valores de los coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , presentados por el autor *Hardeberg* se dan en la siguiente tabla:

Tabla 4-2 Coeficientes polinomiales para la caracterización de dispositivos

Elemento	j	$\alpha_j$	$\beta_j$	$\gamma_j$	Elemento	j	$\alpha_j$	$\beta_j$	$\gamma_j$
1	0	-1.48E+01	-2.12E+00	3.48E+00	RRR	10	-1.71E-06	5.30E-06	-3.90E-06
R	1	1.10E-01	6.18E-01	1.39E-01	RRG	11	1.87E-09	-6.29E-06	8.20E-07
G	2	2.58E-01	-7.28E-01	6.25E-01	RRB	12	8.79E-07	-4.12E-06	4.57E-06
B	3	1.01E-01	1.18E-01	-7.28E-01	RGG	13	3.04E-06	-1.90E-05	6.59E-06
RR	4	9.38E-04	-1.45E-03	1.73E-03	RGB	14	5.00E-07	3.58E-05	-7.38E-06
RG	5	-1.37E-03	3.88E-03	-2.03E-03	RBB	15	-1.85E-07	-1.23E-05	1.51E-06
RB	6	-5.56E-04	-9.25E-04	-1.41E-03	GGG	16	-2.43E-06	4.19E-06	-2.32E-06
GG	7	8.11E-04	1.57E-03	6.65E-04	GGB	17	-9.00E-07	7.04E-06	-6.41E-06
GB	8	3.03E-04	-7.64E-03	1.61E-03	GBB	18	3.57E-07	-1.49E-05	8.55E-06
BB	9	-3.46E-04	4.46E-03	-9.53E-04	BBB	19	7.11E-07	4.71E-06	-1.35E-06

#### 4.1.4 Resultados obtenidos

##### 4.1.4.1 Relación entre el espacio CIELAB y la impresora sin perfiles cromáticos

El método descrito anteriormente se aplicó para obtener la relación entre el espacio de color independiente del dispositivo - CIELAB y el espacio de color de la impresora inkjet *Hewlett Packard cp1700* sin asociarle un perfil cromático. Se aplicó la transformación de los valores RGB medidos a XYZ y CIELAB calculados. Así mismo, se aplicó la transformación directa de los valores RGB al espacio CIELAB. La presentación de los datos numéricos obtenidos en la caracterización se muestra en la tabla 4-5 y en la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos.

*Tabla 4-3 Resultados CIELAB e impresora sin perfil*

<b>Método</b>	$\overline{\Delta E}$
Transformación desde valores RGB a XYZ y a LAB.	28,30

La relación se presenta como la diferencia entre los valores LAB nominales (suministrados por el fabricante) y los valores obtenidos, es decir, el Delta E. Igualmente, al aplicar la transformación directa al espacio CIELAB a partir de los valores RGB medidos, se obtuvo que la diferencia entre el valor hallado y el valor nominal, se hace menor al aplicar el polinomio de grado tres, generando un  $\Delta E = 25,093$ .

##### 4.1.4.2 Relación entre el espacio CIELAB y la impresora con perfiles de salida

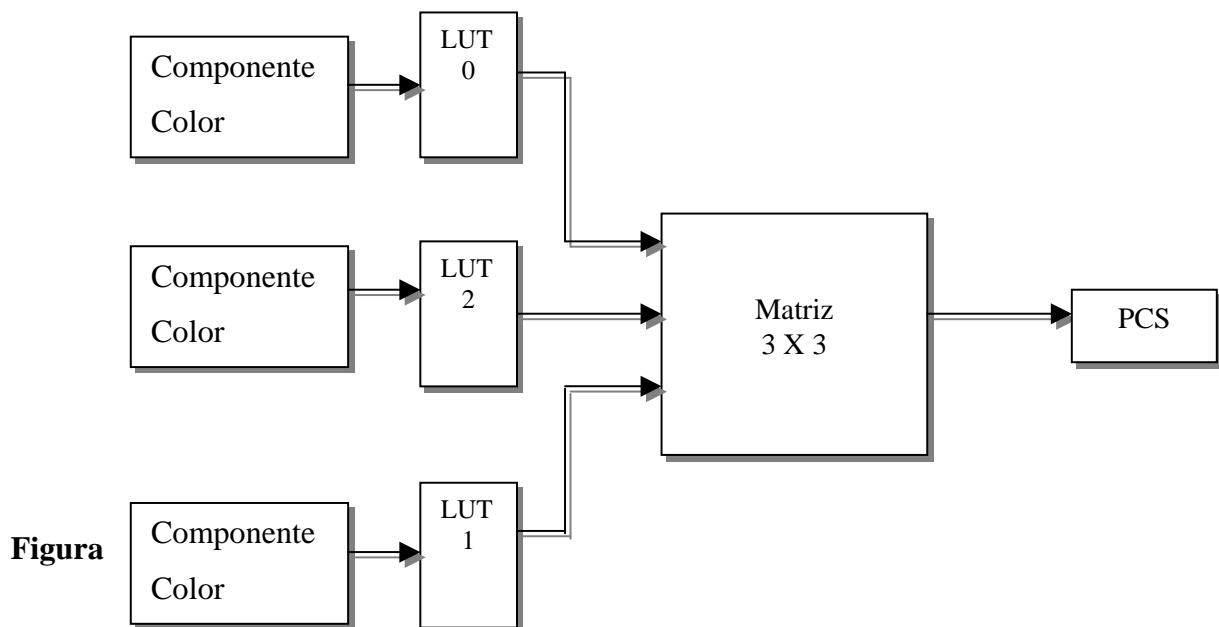
En el capítulo anterior se describió la forma de obtener los perfiles para los dispositivos de entrada, salida y visualización a través del *Monaco EZ Color*. A partir del perfil creado para el dispositivo de salida y siguiendo el método de caracterización descrito anteriormente, se encuentra la relación entre el espacio CIELAB y el generado por la impresora, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 4-4 Resultados CIELAB e impresora con perfil

Método	$\overline{\Delta E}$
Transformación desde valores RGB a XYZ y a LAB.	16,44

A partir de estos datos obtenidos se puede concluir que los resultados de la relación entre el espacio LAB y el espacio de color de la impresora con perfil, son satisfactorios comparados con el anterior Delta E calculado, al encontrar una disminución de este valor. Del mismo modo, encontramos que en la primera relación (dispositivo de salida sin perfil) el  $\Delta E_{\max} = 74,899$  y en la segunda relación (dispositivo de salida con perfil) el  $\Delta E_{\max} = 47,669$ .

En las siguientes tablas se presentan los datos obtenidos de la caracterización presentando los valores RGB medidos de los N=135 cuadros de color impresos en la impresora inkjet *Hewlett Packard cp1700* y medidos con el escáner *Umax PowerLook 3000*; así como también los valores CIELAB nominales y calculados. Los cálculos presentados corresponden a los valores obtenidos usando la transformación matricial descrita en las secciones 4.1.3.1 y 4.1.3.2 .



4-2 Modelo de transformación al espacio independiente del dispositivo, PCS (Profile Color Space)

Tabla 4-5 Valores obtenidos para la relación entre el espacio CIELAB y la impresora sin perfil

Cuadro de color #	Valores RGB medidos			Valores CIELAB calculados			Valores CIELAB de referencia			$\Delta E_i$
	i	R <sub>i</sub>	G <sub>i</sub>	B <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	
1	254,00	254,00	255,00	88,709	0,1309	-0,479	96,00	0,00	0,00	7,308
2	243,00	250,00	254,00	87,062	-1,848	-2,768	91	0	0	5,156
3	224,00	231,00	239,00	81,238	-1,312	-4,755	82	0,00	0,00	4,991
4	206,00	204,00	213,00	73,34	1,9544	-4,228	73	0,00	0,00	4,671
5	164,00	165,00	175,00	60,426	1,0953	-5,312	63	0,00	0,00	6,003
6	130,00	126,00	143,00	47,691	4,1791	-8,652	53	0,00	0,00	10,977
7	108,00	104,00	113,00	39,697	3,0135	-4,475	43	0,00	0,00	6,326
8	76,00	70,00	74,00	27,084	3,2426	-1,452	32	0,00	0,00	6,065
9	57,00	53,00	55,00	20,143	2,15	-0,597	21	0,00	0,00	2,390
10	31,00	30,00	30,00	10,123	0,4924	0,1776	9	0,00	0,00	1,239
11	249,00	160,00	231,00	68,306	41,476	-21,71	77	50,00	-35,00	18,025
12	203,00	162,00	237,00	64,472	25,954	-32,05	71	34,00	-44,00	15,818
13	155,00	163,00	240,00	61,077	10,794	-39,96	67	19,00	-51,00	14,974
14	90,00	130,00	218,00	48,576	6,2422	-50,19	62	1,00	-59,00	16,892
15	65,00	102,00	200,00	39,622	12,08	-56,11	61	-5,00	-61,00	27,797
16	255	255	255	88,997	0	0	100	0,00	0,00	11,003
17	204,00	250,00	255,00	84,702	-14,41	-7,527	96	-17,00	-6,00	11,692
18	161,00	235,00	255,00	78,949	-20,14	-17,39	94	-31,00	-10,00	19,978
19	123,00	205,00	255,00	69,95	-15,78	-32,86	91	-46,00	-14,00	41,375
20	70,00	155,00	236,00	54,828	-6,213	-49,15	91	-51,00	-15,00	66,937
21	254,00	208,00	254,00	78,833	22,339	-16,21	88	25,00	-18,00	9,712
22	200,00	211,00	255,00	75,467	2,9901	-22,95	84	8,00	-25,00	10,106
23	150,00	189,00	250,00	67,184	-2,046	-34,81	80	-8,00	-31,00	14,636
24	99,00	169,00	240,00	59,54	-6,93	-42,95	76	-24,00	-36,00	24,712
25	60,00	124,00	215,00	45,701	2,9525	-53,73	76	-30,00	-38,00	47,449
26	75,00	115,00	169,00	42,109	-1,941	-33,73	58	-21,00	-36,00	24,918
27	101,00	146,00	214,00	52,958	-0,925	-40,17	60	-13,00	-34,00	15,281
28	145,00	153,00	225,00	57,602	10,033	-37,88	65	8,00	-26,00	14,145
29	221,00	159,00	210,00	64,782	29,674	-16,6	69	26,00	-19,00	6,087
30	254,00	164,00	205,00	68,97	38,192	-6,424	75	44,00	-9,00	8,759
31	66,00	77,00	172,00	32,081	19,153	-53,41	30	67,00	-111,00	74,899
32	88,00	88,00	181,00	36,635	20,25	-50,38	33	70,00	-106,00	74,710
33	108,00	70,00	163,00	33,593	31,991	-45,08	43	78,00	-89,00	64,298
34	158,00	69,00	161,00	39,407	47,085	-33,04	51	85,00	-75,00	57,729
35	217,00	68,00	155,00	47,67	64,055	-14,27	60	93,00	-60,00	55,506
36	66,00	83,00	179,00	33,909	17,517	-54,23	40	38,00	-94,00	45,147
37	111,00	122,00	212,00	47,586	14,407	-48,47	42	45,00	-90,00	51,880
38	138,00	107,00	200,00	45,825	27,955	-44,61	50	58,00	-78,00	45,108
39	195,00	109,00	200,00	52,157	44,84	-32,92	56	69,00	-67,00	41,950
40	244,00	99,00	200,00	56,79	64,311	-24,23	64	81,00	-54,00	34,885
41	241,00	114,00	181,00	58,118	55,087	-11,31	63	76,00	-28,00	27,200
42	206,00	111,00	183,00	53,296	45,219	-21,16	55	63,00	-42,00	27,450
43	141,00	81,00	178,00	40,024	38,74	-42,17	47	49,00	-54,00	17,143
44	101,00	105,00	195,00	42,188	17,267	-48,47	39	31,00	-68,00	24,083
45	72,00	90,00	175,00	35,773	13,479	-48,49	36	23,00	-73,00	26,291
46	255,00	255,00	226,00	88,495	-3,564	13,926	99	-6,00	25,00	15,457
47	228,00	254,00	234,00	86,638	-11,48	6,5876	96	-24,00	19,00	19,961

48	166,00	229,00	216,00	76,906	-22,73	-0,404	93	-40,00	15,00	28,190
Cuadro de color #	Valores RGB medidos			Valores CIELAB calculados			Valores CIELAB de referencia			$\Delta E_i$
	i	R <sub>i</sub>	G <sub>i</sub>	B <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	
49	88,00	180,00	175,00	60,201	-29,57	-6,317	90	-56,00	11,00	43,436
50	60,00	145,00	155,00	49,279	-24,2	-13,42	89	-61,00	10,00	58,997
51	255,00	219,00	221,00	80,553	13,122	3,8881	87	19,00	7,00	9,263
52	211,00	211,00	229,00	75,618	2,537	-8,895	82	0,00	0,00	11,238
53	177,00	210,00	222,00	73,033	-9,423	-9,804	78	-17,00	-6,00	9,826
54	91,00	163,00	211,00	56,763	-12,83	-31,94	75	-36,00	-11,00	36,161
55	66,00	119,00	179,00	43,139	-3,546	-37,75	74	-43,00	-13,00	55,871
56	68,00	84,00	142,00	32,502	6,9973	-34,68	32	5,00	-49,00	14,468
57	87,00	89,00	158,00	35,751	13,576	-38,4	35	17,00	-43,00	5,780
58	151,00	82,00	139,00	39,994	35,448	-18,98	45	41,00	-28,00	11,717
59	211,00	100,00	148,00	51,159	48,382	-4,499	53	57,00	-15,00	13,709
60	238,00	105,00	133,00	55,304	54,086	11,476	61	72,00	-1,00	22,561
61	64,00	75,00	143,00	29,963	11,671	-39,83	23	57,00	-94,00	70,978
62	72,00	57,00	145,00	26,379	25,386	-47,46	27	61,00	-86,00	52,479
63	121,00	63,00	147,00	33,006	36,61	-36,38	39	70,00	-67,00	45,701
64	176,00	65,00	132,00	40,425	50,932	-13,58	48	79,00	-51,00	47,383
65	221,00	61,00	136,00	47,048	66,009	-3,942	58	89,00	-35,00	40,164
66	54,00	60,00	107,00	23,669	8,3124	-28,7	15	47,00	-77,00	62,492
67	82,00	61,00	118,00	26,883	19,526	-29,74	22	51,00	-65,00	47,516
68	144,00	64,00	118,00	35,192	39,451	-14,49	36	64,00	-41,00	36,141
69	182,00	67,00	118,00	41,249	50,722	-3,573	46	74,00	-25,00	31,993
70	227,00	62,00	102,00	47,459	65,333	17,281	56	85,00	-8,00	33,149
71	248,00	165,00	166,00	67,791	31,642	12,778	74	39,00	17,00	10,513
72	222,00	166,00	174,00	65,542	22,123	4,3662	68	20,00	8,00	4,874
73	163,00	163,00	164,00	59,644	0,1423	-0,52	63	0,00	0,00	3,399
74	107,00	148,00	185,00	52,848	-7,128	-24,11	58	-25,00	-8,00	24,604
75	59,00	99,00	133,00	35,729	-6,566	-23,64	57	-35,00	-10,00	38,039
76	255,00	255,00	189,00	87,962	-7,443	31,687	98	-10,00	49,00	20,175
77	195,00	244,00	174,00	81,422	-25,6	28,514	95	-29,00	43,00	20,144
78	180,00	240,00	180,00	79,72	-28,23	22,733	92	-46,00	39,00	27,043
79	107,00	194,00	149,00	64,144	-35,32	14,193	89	-63,00	35,00	42,627
80	64,00	144,00	116,00	48,265	-31,01	7,1633	89	-69,00	34,00	61,831
81	255,00	208,00	188,00	77,649	14,977	16,536	86	14,00	33,00	18,487
82	212,00	209,00	173,00	74,21	-3,321	18,34	81	-6,00	26,00	10,581
83	152,00	193,00	174,00	66,47	-17,11	4,8913	78	-25,00	20,00	20,578
84	96,00	170,00	160,00	57,497	-26,03	-2,441	74	-46,00	15,00	31,228
85	70,00	128,00	126,00	44,161	-20,25	-5,171	73	-53,00	13,00	47,272
86	58,00	105,00	74,00	35,94	-22,58	12,273	55	-49,00	30,00	37,090
87	90,00	149,00	105,00	50,515	-27,58	17,018	57	-37,00	33,00	19,653
88	164,00	158,00	110,00	57,614	-3,331	25,974	62	-8,00	40,00	15,420
89	213,00	147,00	113,00	59,688	22,804	28,548	67	14,00	47,00	21,713
90	253,00	158,00	122,00	66,335	33,718	34,407	73	35,00	56,00	22,634
91	53,00	60,00	91,00	22,925	3,7966	-19,72	4	23,00	-45,00	36,958
92	99,00	54,00	86,00	26,141	24,239	-10,39	16	39,00	-25,00	23,115
93	161,00	60,00	82,00	36,223	43,914	10,048	33	57,00	3,00	15,209
94	200,00	65,00	77,00	43,048	54,751	24,737	44	70,00	20,00	15,996
95	232,00	70,00	78,00	48,832	63,14	33,649	55	82,00	36,00	19,982
96	64,00	76,00	90,00	28,188	-2,189	-9,967	28	-20,00	-6,00	18,249
97	70,00	65,00	68,00	25,027	2,6817	-1,026	32	0,00	0,00	7,541

98	171,00	78,00	82,00	40,653	39,2	17,094	42	33,00	16,00	6,438
Cuadro de color #	Valores RGB medidos			Valores CIELAB calculados			Valores CIELAB de referencia			$\Delta E_i$
	i	R <sub>i</sub>	G <sub>i</sub>	B <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	
99	217,00	89,00	90,00	49,211	51,272	26,531	51	52,00	28,00	2,426
100	244,00	91,00	92,00	53,518	59,686	32,563	60	68,00	42,00	14,148
101	255,00	255,00	138,00	87,418	-11,52	55,387	98	-15,00	80,00	27,016
102	173,00	238,00	123,00	78,201	-35,62	48,382	94	-34,00	75,00	30,996
103	152,00	221,00	127,00	72,887	-35,37	38,875	91	-52,00	71,00	40,456
104	122,00	207,00	131,00	67,939	-38,77	29,436	89	-71,00	67,00	53,792
105	72,00	159,00	90,00	52,418	-38,99	27,719	88	-77,00	65,00	64,036
106	255,00	119,00	64,00	59,052	50,553	54,76	73	33,00	78,00	32,292
107	180,00	126,00	71,00	51,22	17,335	38,264	67	12,00	70,00	35,841
108	164,00	159,00	72,00	57,465	-6,732	45,114	62	-11,00	64,00	19,886
109	103,00	144,00	84,00	49,512	-23,42	27,146	56	-41,00	57,00	35,250
110	65,00	113,00	65,00	38,504	-25,16	21,323	55	-54,00	55,00	47,306
111	255,00	205,00	126,00	76,221	11,466	46,095	85	10,00	68,00	23,644
112	228,00	223,00	127,00	78,053	-7,947	47,393	80	-12,00	61,00	14,331
113	145,00	182,00	116,00	62,389	-21,88	29,388	76	-32,00	56,00	31,557
114	103,00	184,00	116,00	60,824	-36,96	26,569	73	-55,00	51,00	32,722
115	71,00	144,00	87,00	48,058	-33,7	23,045	72	-64,00	50,00	47,093
116	21,00	20,00	19,00	5,6899	0,2853	0,767	0	0,00	0,00	5,748
117	120,00	64,00	66,00	30,582	25	10,156	13	34,00	21,00	22,533
118	180,00	75,00	73,00	41,336	43,436	23,835	32	55,00	47,00	27,523
119	225,00	68,00	64,00	47,322	61,178	39,312	44	68,00	59,00	21,099
120	233,00	70,00	68,00	48,891	63,112	39,492	54	81,00	69,00	34,883
121	75,00	143,00	77,00	47,805	-33,34	28,07	72	-67,00	68,00	57,554
122	96,00	162,00	81,00	54,097	-34,05	34,929	73	-58,00	70,00	46,483
123	123,00	175,00	76,00	58,913	-30,53	44,08	76	-34,00	74,00	34,629
124	199,00	205,00	90,00	71,404	-13,43	55,128	80	-13,00	79,00	25,376
125	255,00	196,00	93,00	74,019	14,14	58,778	85	8,00	85,00	29,084
126	65,00	94,00	62,00	32,854	-16,52	14,829	27	-33,00	33,00	25,220
127	108,00	93,00	60,00	35,902	2,5604	21,302	31	-7,00	39,00	20,704
128	184,00	92,00	66,00	44,76	36,449	32,732	42	30,00	51,00	19,568
129	204,00	89,00	73,00	47,122	45,817	32,838	50	50,00	61,00	28,616
130	247,00	87,00	83,00	53,338	61,872	37,539	59	67,00	71,00	34,322
131	255,00	255,00	102,00	87,156	-13,52	70,512	98	-16,00	93,00	25,089
132	159,00	233,00	82,00	75,936	-41,28	62,872	94	-36,00	89,00	32,201
133	130,00	215,00	92,00	70,001	-43,24	51,038	91	-54,00	85,00	41,353
134	94,00	184,00	86,00	60,153	-42,88	40,556	89	-73,00	82,00	58,798
135	82,00	172,00	87,00	56,396	-41,61	34,89	88	-79,00	81,00	67,250

En los anteriores datos se encontró la máxima diferencia de 74,899 para el cuadro de color No. 31, un color azul saturado. La mínima diferencia obtenida se encuentra en el cuadro #10 de color negro con un  $\Delta E = 1,239$ .

Tabla 4-6 Valores obtenidos para la relación entre el espacio CIELAB y la impresora con perfil

Cuadro de color #	Valores RGB medidos			Valores CIELAB calculados			Valores CIELAB de referencia			$\Delta E_i$
	i	R <sub>i</sub>	G <sub>i</sub>	B <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	
1	254,00	254,00	254,00	88,69	-2,893	2,1622	96,00	0,00	0,00	8,154
2	230,00	232,00	230,00	81,697	-3,665	2,7438	91	0	0	10,368
3	200,00	200,00	200,00	71,735	-2,417	1,806	82	0,00	0,00	10,699
4	177,00	177,00	177,00	64,261	-2,207	1,649	73	0,00	0,00	9,163
5	155,00	155,00	155,00	56,941	-2,001	1,4953	63	0,00	0,00	6,554
6	131,00	141,00	131,00	51,244	-7,147	5,4222	53	0,00	0,00	9,141
7	102,00	115,00	102,00	41,867	-8,723	6,6796	43	0,00	0,00	11,045
8	79,00	79,00	79,00	29,905	-1,241	0,9273	32	0,00	0,00	2,606
9	50,00	52,00	51,00	19,113	-2,022	1,0168	21	0,00	0,00	2,947
10	44,00	44,00	44,00	16,022	-0,851	0,6357	9	0,00	0,00	7,102
11	204,00	110,00	200,00	53,389	45,647	-29,32	77	50,00	-35,00	24,673
12	132,00	145,00	224,00	54,832	8,4362	-40,9	71	34,00	-44,00	30,406
13	139,00	139,00	225,00	53,949	14,018	-42,98	67	19,00	-51,00	16,110
14	79,00	165,00	233,00	57,569	-12,75	-41,24	62	1,00	-59,00	22,891
15	1,00	145,00	242,00	51,386	-6,864	-57,4	61	-5,00	-61,00	10,432
16	255	249	255	87,68	0	0	100	0,00	0,00	12,320
17	189,00	243,00	243,00	81,998	-20,57	-3,91	96	-17,00	-6,00	14,600
18	142,00	210,00	210,00	70,919	-24,77	-5,439	94	-31,00	-10,00	24,337
19	80,00	168,00	188,00	57,033	-25,28	-17,35	91	-46,00	-14,00	39,929
20	0,00	170,00	170,00	55,821	-39,63	-9,591	91	-51,00	-15,00	37,365
21	230,00	178,00	230,00	69,992	23,659	-16,84	88	25,00	-18,00	18,094
22	187,00	187,00	250,00	69,03	7,8007	-29,68	84	8,00	-25,00	15,686
23	130,00	201,00	253,00	69,198	-15,06	-31,37	80	-8,00	-31,00	12,911
24	71,00	195,00	241,00	65,371	-26,79	-31,86	76	-24,00	-36,00	11,742
25	7,00	188,00	200,00	61,572	-39,56	-16,33	76	-30,00	-38,00	27,731
26	6,00	150,00	204,00	51,282	-21,07	-36,47	58	-21,00	-36,00	6,735
27	74,00	146,00	224,00	52,194	-6,017	-45,88	60	-13,00	-34,00	15,837
28	152,00	152,00	201,00	57,127	6,1301	-23,93	65	8,00	-26,00	8,352
29	205,00	138,00	205,00	58,86	32,392	-22,58	69	26,00	-19,00	12,511
30	246,00	154,00	206,00	66,259	38,454	-9,912	75	44,00	-9,00	10,392
31	8,00	8,00	155,00	14,751	44,158	-74,84	30	67,00	-111,00	45,404
32	108,00	9,00	253,00	32,84	70,542	-97,68	33	70,00	-106,00	8,343
33	183,00	5,00	248,00	42,19	79,396	-76,89	43	78,00	-89,00	12,215
34	209,00	1,00	247,00	45,974	83,636	-69,1	51	85,00	-75,00	7,869
35	222,00	13,00	222,00	47,089	82,228	-52,81	60	93,00	-60,00	18,287
36	7,00	68,00	171,00	27,606	15,665	-60,36	40	38,00	-94,00	42,239
37	77,00	76,00	170,00	32,48	20,599	-50,58	42	45,00	-90,00	47,330
38	142,00	73,00	163,00	38,076	39,432	-35,75	50	58,00	-78,00	47,669
39	182,00	82,00	188,00	45,629	50,673	-36,44	56	69,00	-67,00	37,111
40	222,00	62,00	222,00	50,032	72,838	-47,5	64	81,00	-54,00	17,436
41	220,00	82,00	183,00	50,656	61,006	-24,14	63	76,00	-28,00	19,803
42	186,00	66,00	186,00	43,838	58,309	-38,42	55	63,00	-42,00	12,625
43	131,00	93,00	176,00	41,249	27,464	-37,84	47	49,00	-54,00	27,530
44	66,00	66,00	165,00	29,099	22,844	-53,86	39	31,00	-68,00	19,090
45	9,00	91,00	188,00	34,632	6,9834	-57,4	36	23,00	-73,00	22,400
46	253,00	253,00	201,00	87,535	-8,973	27,213	99	-6,00	25,00	12,049
47	180,00	240,00	181,00	79,734	-30,95	24,267	96	-24,00	19,00	18,454

48	120,00	200,00	180,00	66,79	-31,71	3,6112	93	-40,00	15,00	29,755
----	--------	--------	--------	-------	--------	--------	----	--------	-------	--------

Cuadro de color #	Valores RGB medidos			Valores CIELAB calculados			Valores CIELAB de referencia			$\Delta E_i$
	i	R <sub>i</sub>	G <sub>i</sub>	B <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	
49	90,00	177,00	140,00	58,78	-36,52	12,106	90	-56,00	11,00	36,818
50	2,00	180,00	149,00	58,206	-48,15	5,9667	89	-61,00	10,00	33,609
51	251,00	215,00	215,00	79,263	10,401	6,8694	87	19,00	7,00	11,568
52	214,00	214,00	214,00	76,206	-2,543	1,9	82	0,00	0,00	6,607
53	135,00	213,00	213,00	71,421	-27,6	-6,245	78	-17,00	-6,00	12,475
54	77,00	177,00	177,00	59,089	-32,52	-7,783	75	-36,00	-11,00	16,603
55	11,00	145,00	145,00	48,168	-34,73	-8,405	74	-43,00	-13,00	27,512
56	8,00	97,00	162,00	34,945	-5,661	-41,53	32	5,00	-49,00	13,347
57	77,00	77,00	176,00	33,035	21,607	-53,12	35	17,00	-43,00	11,290
58	157,00	58,00	157,00	37,484	49,962	-33,03	45	41,00	-28,00	12,732
59	211,00	73,00	157,00	47,425	59,389	-14,72	53	57,00	-15,00	6,072
60	220,00	78,00	153,00	49,299	59,732	-8,991	61	72,00	-1,00	18,742
61	3,00	6,00	191,00	18,901	52,982	-88,67	23	57,00	-94,00	7,831
62	100,00	3,00	178,00	25,253	57,399	-68,62	27	61,00	-86,00	17,835
63	154,00	7,00	203,00	35,165	68,637	-64,47	39	70,00	-67,00	4,790
64	221,00	3,00	221,00	46,664	82,655	-53,02	48	79,00	-51,00	4,387
65	222,00	9,00	222,00	46,998	82,522	-52,97	58	89,00	-35,00	22,047
66	9,00	7,00	132,00	11,836	38,844	-66,03	15	47,00	-77,00	14,031
67	98,00	7,00	141,00	22,435	50,333	-51,32	22	51,00	-65,00	13,700
68	150,00	5,00	150,00	31,578	61,525	-39,51	36	64,00	-41,00	5,283
69	223,00	10,00	156,00	44,741	76,739	-18,5	46	74,00	-25,00	7,162
70	222,00	5,00	151,00	44,301	76,534	-16,29	56	85,00	-8,00	16,650
71	253,00	148,00	148,00	64,799	38,473	19,795	74	39,00	17,00	9,630
72	207,00	140,00	149,00	58,169	25,298	7,7017	68	20,00	8,00	11,172
73	155,00	155,00	155,00	56,941	-2,001	1,4953	63	0,00	0,00	6,554
74	79,00	158,00	158,00	53,559	-27,4	-6,488	58	-25,00	-8,00	5,271
75	1,00	150,00	151,00	49,691	-35,85	-9,264	57	-35,00	-10,00	7,395
76	249,00	245,00	136,00	84,701	-12,23	54,75	98	-10,00	49,00	14,659
77	183,00	239,00	138,00	79,12	-34,1	44,771	95	-29,00	43,00	16,771
78	124,00	212,00	124,00	69,257	-43,61	36,704	92	-46,00	39,00	22,983
79	81,00	199,00	122,00	64,255	-50,17	29,999	89	-63,00	35,00	28,318
80	0,00	184,00	107,00	58,691	-56,93	29,193	89	-69,00	34,00	32,975
81	255,00	186,00	149,00	72,479	20,173	31,011	86	14,00	33,00	14,996
82	209,00	209,00	158,00	73,775	-8,554	27,332	81	-6,00	26,00	7,778
83	152,00	216,00	152,00	71,914	-33,14	26,773	78	-25,00	20,00	12,211
84	70,00	204,00	114,00	65,264	-55,26	35,442	74	-46,00	15,00	24,081
85	4,00	157,00	113,00	50,969	-46,69	14,256	73	-53,00	13,00	22,952
86	8,00	184,00	76,00	58,415	-60,35	43,991	55	-49,00	30,00	18,340
87	91,00	181,00	91,00	59,261	-44,47	38,535	57	-37,00	33,00	9,569
88	177,00	175,00	82,00	62,471	-10,78	48,77	62	-8,00	40,00	9,211
89	220,00	173,00	86,00	65,709	8,6168	52,375	67	14,00	47,00	7,716
90	255,00	153,00	79,00	65,197	32,893	56,47	73	35,00	56,00	8,096
91	2,00	3,00	75,00	4,061	22,85	-43,13	4	23,00	-45,00	1,873
92	109,00	6,00	109,00	22,369	48,2	-31,01	16	39,00	-25,00	12,700
93	194,00	0,00	64,00	37,118	65,932	25,275	33	57,00	3,00	24,350
94	211,00	0,00	56,00	40,282	69,788	35,59	44	70,00	20,00	16,028
95	222,00	0,00	70,00	42,521	72,799	30,665	55	82,00	36,00	16,397
96	2,00	127,00	127,00	42,401	-31,91	-7,723	28	-20,00	-6,00	18,767

97	72,00	72,00	78,00	27,373	-0,143	-2,729	32	0,00	0,00	5,373
98	196,00	74,00	78,00	43,671	48,553	26,108	42	33,00	16,00	18,624
Cuadro de color #	Valores RGB medidos			Valores CIELAB calculados			Valores CIELAB de referencia			$\Delta E_i$
	i	R <sub>i</sub>	G <sub>i</sub>	B <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	L <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	
99	232,00	73,00	74,00	49,143	60,601	37,762	51	52,00	28,00	13,142
100	235,00	70,00	73,00	49,264	62,562	38,66	60	68,00	42,00	12,489
101	255,00	254,00	92,00	86,872	-16,44	76,307	98	-15,00	80,00	11,813
102	200,00	247,00	81,00	81,609	-35,16	72,78	94	-34,00	75,00	12,642
103	180,00	234,00	87,00	77,302	-36,72	65,02	91	-52,00	71,00	21,373
104	89,00	235,00	89,00	73,974	-64,29	58,716	89	-71,00	67,00	18,425
105	12,00	222,00	88,00	69,329	-69,95	52,857	88	-77,00	65,00	23,363
106	255,00	190,00	0,00	72,426	12,788	84,622	73	33,00	78,00	21,277
107	255,00	221,00	6,00	79,178	-2,561	89,198	67	12,00	70,00	26,998
108	222,00	222,00	14,00	76,83	-16,76	85,032	62	-11,00	64,00	26,370
109	94,00	223,00	50,00	70,644	-61,53	68,728	56	-41,00	57,00	27,811
110	80,00	205,00	80,00	65,476	-56,99	51,713	55	-54,00	55,00	11,380
111	255,00	218,00	85,00	78,742	0,4899	69,716	85	10,00	68,00	11,513
112	210,00	210,00	90,00	73,392	-13,85	59,813	80	-12,00	61,00	6,965
113	159,00	228,00	93,00	74,726	-41,39	58,979	76	-32,00	56,00	9,931
114	84,00	212,00	84,00	67,541	-58,14	52,657	73	-55,00	51,00	6,513
115	5,00	210,00	89,00	65,938	-66,71	48,004	72	-64,00	50,00	6,932
116	40,00	40,00	40,00	14,341	-0,803	0,6004	0	0,00	0,00	14,376
117	130,00	40,00	40,00	27,514	38,306	23,624	13	34,00	21,00	15,365
118	215,00	60,00	60,00	44,722	59,442	39,076	32	55,00	47,00	15,633
119	230,00	60,00	60,00	47,236	63,971	43,156	44	68,00	59,00	16,665
120	230,00	60,00	60,00	47,236	63,971	43,156	54	81,00	69,00	31,680
121	70,00	238,00	70,00	74,276	-70,06	66,113	72	-67,00	68,00	4,256
122	160,00	235,00	50,00	76,353	-45,96	75,902	73	-58,00	70,00	13,822
123	194,00	237,00	60,00	78,712	-33,92	76,414	76	-34,00	74,00	3,631
124	252,00	252,00	100,00	86,246	-16,35	72,413	80	-13,00	79,00	9,677
125	255,00	253,00	100,00	86,688	-15,63	73,025	85	8,00	85,00	26,544
126	7,00	155,00	7,00	49,522	-56,29	56,319	27	-33,00	33,00	39,915
127	127,00	127,00	10,00	46,088	-11,01	55,296	31	-7,00	39,00	22,568
128	185,00	100,00	10,00	46,08	29,843	59,135	42	30,00	51,00	9,102
129	255,00	100,00	10,00	55,929	56,385	72,447	50	50,00	61,00	14,386
130	255,00	115,00	10,00	58,205	49,83	73,798	59	67,00	71,00	17,415
131	253,00	254,00	10,00	86,503	-19,01	94,656	98	-16,00	93,00	11,999
132	209,00	242,00	10,00	80,735	-31,2	88,095	94	-36,00	89,00	14,134
133	190,00	244,00	10,00	80,109	-39,41	86,895	91	-54,00	85,00	18,302
134	83,00	240,00	10,00	74,919	-70,25	79,912	89	-73,00	82,00	14,499
135	17,00	240,00	17,00	74,088	-77,98	78,028	88	-79,00	81,00	14,263

La máxima diferencia de la relación entre el espacio LAB y el de la impresora con perfil se encuentra con un valor de 47,669 en el cuadro de color #38, y la mínima diferencia se encuentra en el cuadro de color #91 con un  $\Delta E = 1,873$ .

## 5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

### 5.1 CONCLUSIONES

- En este trabajo se investigó acerca de un tema muy específico del sector gráfico editorial, poco abordado a nivel regional presentándose escasez de información, lo que condujo a realizar una búsqueda intensiva de conceptos, bibliografía, aplicaciones e incluso, la realización de visitas a empresas de gran prestigio del sector gráfico a nivel nacional y consultas a nivel internacional, permitiendo entender la problemática tratada en esta investigación y consiguiendo una mayor orientación hacia una solución viable de ser aplicada en un proceso de pre prensa digital y específicamente en la División Editorial y de Publicaciones de la UIS.
- Es de resaltar que el tema tratado en esta investigación hace que la División Editorial y de Publicaciones de la UIS se convierta en una empresa del sector gráfico que adopte la administración del color, un concepto muy especializado y de actualidad en la industria de las artes gráficas y que sólo las grandes empresas de este sector suelen incorporar a sus procesos de pre prensa digital con el fin de incrementar la calidad de las imágenes a color, con el fin de satisfacer los requerimientos de los usuarios de hoy día.
- A pesar de la complejidad del tema, se ha escrito este documento de un modo sencillo y fácil comprensión con la intención de que sirva como texto guía para los usuarios del sistema de pre prensa digital, incluyendo a diseñadores gráficos, diagramadores, fotógrafos, operadores de escáneres y publicistas que incursionan en el campo del color digital.

- Contrariamente a la adopción del concepto de la administración del color, la implantación en el día a día del flujo del trabajo de la División Editorial y de Publicaciones resultó ser muy lenta y compleja. Los factores que contribuyeron a ello fueron los equipos y herramientas especializadas requeridas para realizar las mediciones colorimétricas, la estandarización y la calibración precisa de los dispositivos. Sin embargo, los resultados generados muestran que un sistema de administración del color, debidamente aplicado, contribuye a la calidad del color del sistema de pre prensa digital.
- El sistema de administración de color implantado no podría alcanzar un desempeño positivo sin la dedicación de tiempo y los recursos técnicos para la implementación y la calibración de todos los dispositivos involucrados en la cadena del flujo de trabajo, por que sin ellos, los perfiles de color tendrían una aplicación limitada y si no, contraria.
- Se encontró que para muchos fabricantes de dispositivos de hoy en día, el concepto de la administración de color es importante ya que cada vez ofrecen nuevas soluciones (de hardware y software) y maneras de simplificar el proceso hasta obtener que los principiantes en el tema se conviertan en expertos de la administración de color.
- Los resultados obtenidos en la comparación entre la imagen impresa con el perfil de color del dispositivo de salida generado por el sistema de administración de color implantado y la imagen impresa sin perfil, muestran, en la primera opción, una diferencia menor con el espacio de color independiente del dispositivo definido como el estándar internacional en la industria de las artes gráficas, el CIELAB, indicando que existe una mayor aproximación en la transformación colorimétrica de los dispositivos fuente (Escáner *UmaxPowerLook3000* ) y destino (Impresora inkjet *Hewlett Packard cp1700*).
- En este trabajo de investigación se aplicaron modelos matemáticos para la caracterización de dispositivos digitales (capítulo 4), que actualmente están siendo utilizados por las aplicaciones comerciales encontradas en el mercado y orientadas a satisfacer las necesidades de la administración de color. Sin embargo, se encontró que las diferencias obtenidas para la caracterización de la impresora inkjet *Hewlett Packard*

1700, fueron muy altos en comparación con los encontrados en la literatura. Es importante tener en cuenta que la medición de los datos se realizó con un escáner, a diferencia de los dispositivos especializados que comúnmente se suelen emplear para este fin, como son los espectrofotómetros o colorímetros. Igualmente, leer “manualmente” puede representar un problema con tendencias a equivocaciones en las lecturas y más aún si la referencia empleada presenta un número elevado de tonalidades.

- Finalmente, durante el desarrollo de este trabajo de investigación se vieron involucrados diferentes campos del saber como las ciencias de la computación, el procesamiento de imágenes, matemáticas, física, y la ciencia del color, completando todo un campo interdisciplinario que genera mayor entendimiento y mejores resultados al integrarlos.

## 5.2 PERSPECTIVAS

Este trabajo de investigación deja varios aspectos que tratar y desarrollar en trabajos futuros que por razones de tiempo y complejidad no fueron abordados.

- Crear y aplicar los perfiles de color para todos los dispositivos de la cadena del sistema de pre prensa digital de la División Editorial y de Publicaciones, incluyendo las diferentes clases de papel, y el sistema de elaboración de películas.
- Extender la aplicación de los perfiles de color al sistema de impresión offset utilizado en la División Editorial y de Publicaciones, incluyendo la calibración de las máquinas litográficas existentes.
- Sería relevante tratar las técnicas utilizadas para las transformaciones de color entre los perfiles fuente y destino, conocidas como mapas de conversión o *rendering intents* (descritas en el capítulo 2) en la administración de color.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, R.; SWEENEY, J., Administración del color: Conceptos básicos que ahorrarán dinero, Signs of the times & Screen printing, 30-44,1997.
- ADAMS, Richard and WEISBERG Joshua, The GATF practical guide to color management, GATFPRESS, 1998.
- AGFA, Gevaert. A guide to Color Separation, 1995.
- AGFA, Gevaert. Los secretos de la gestión del color, 1997
- AKARUN, L.; YARDUNCI, Y.; CETIN, A.E., Adaptive methods for dithering color images, IEEE Image Processing, IEEE transactions on, Vol.6, 1997.
- ANSI IT8.7/1 (1993). American National Standard: Graphic Technology – Color transmission target for input scanner calibration. NPES, Virginia.
- ANSI IT8.7/2 (1993). American National Standard : Graphic Technology – Color reflection target for input scanner calibration. NPES, Virginia.
- ANSI IT8.7/3 (1993). American National Standard : Graphic Technology – Input data for characterization of 4-Color process printing. NPES, Virginia.
- AZARBAYEJANI, A.; STAWER, T.; HOROWITZ, B.; PENTLAND, A., Visually Controlled graphics, IEEE Computer graphics and applications.
- BIRREN, F., El Gran Libro del Color, Blume, España, 1982.
- CASALS, Ricard, Escáneres: Descripción y Glosario, Barcelona, 2000.
- CHU, W.; SWEN, S., ColorSync™, IEEE Proceedings of Comcon'96, 440-444, 1996
- FIELD, G., Color Scanning and Imaging Systems, GATFPRESS, 1999.
- FRITSH, E., Selección del RIP, Signs of the times & Screen printing, 24-40, 1998.
- GREEN, Phil, Understanding Digital Color, Graphic Arts Technical Foundation, 1995
- HARDEBERG, J.Y. (2001). Acquisition and Reproduction of Color Images: Colorimetric and Multispectral Approaches

HEWLETT PACKARD, Reference guide –cp1700 series, 2001

ICC.1: 2000. Building ICC profiles – the mechanics and engineering. Dawn Wallner. The International Color Consortium. <http://www.color.org>

ICC.1: 2001. File Format for color profiles. The International Color Consortium. <http://www.color.org>

ISO 12641 (1997). Graphic technology – Prepress digital data exchange – Colour targets for input scanner calibration.

ISO 12642 (1996). Graphic technology – Prepress digital data exchange – Input data for characterization of 4-colour process printing.

ISO 12639 (1997). Graphic technology – Prepress digital data exchange – Colour targets for input scanner calibration.

LOAIZA, H., Introducción a los sistemas de visión en colores, Energía y Computación, Vol.1, 12-19, 1999.

MONACO EZCOLOR, User Guide. Color Control for the creative community, 2002.

RODRIGUEZ, M., A graphics arts perspective on RGB to CMYK conversion, IEEE Comput Soc, Vol.2, 1995.

TRUSSELL, H.J., Digital Color Imaging, IEEE Trans on Image Processing, Vol.1, 901-932,1997.

TRUSSELL, H.J., DSP Solutions run the gamut for color systems, IEEE Signal processing magazine, Vol.10, 8-23, 1993.

TRUSSELL, H.J.; VORA, P., On the accuracy of the scanning color images, IEEE, 161-164, 1992.

TRUMBLIN, J.; RUSHMEIER, H., Tone reproduction for realistic images, IEEE Computer Graphics and applications.

UMAX, 2000. User's manual and scanning guide. Versión 4.

VIEWSONIC, PS790, User's Guide.

[www.color.org](http://www.color.org)

[www.monacosys.com](http://www.monacosys.com)

[www.agfa.com](http://www.agfa.com)