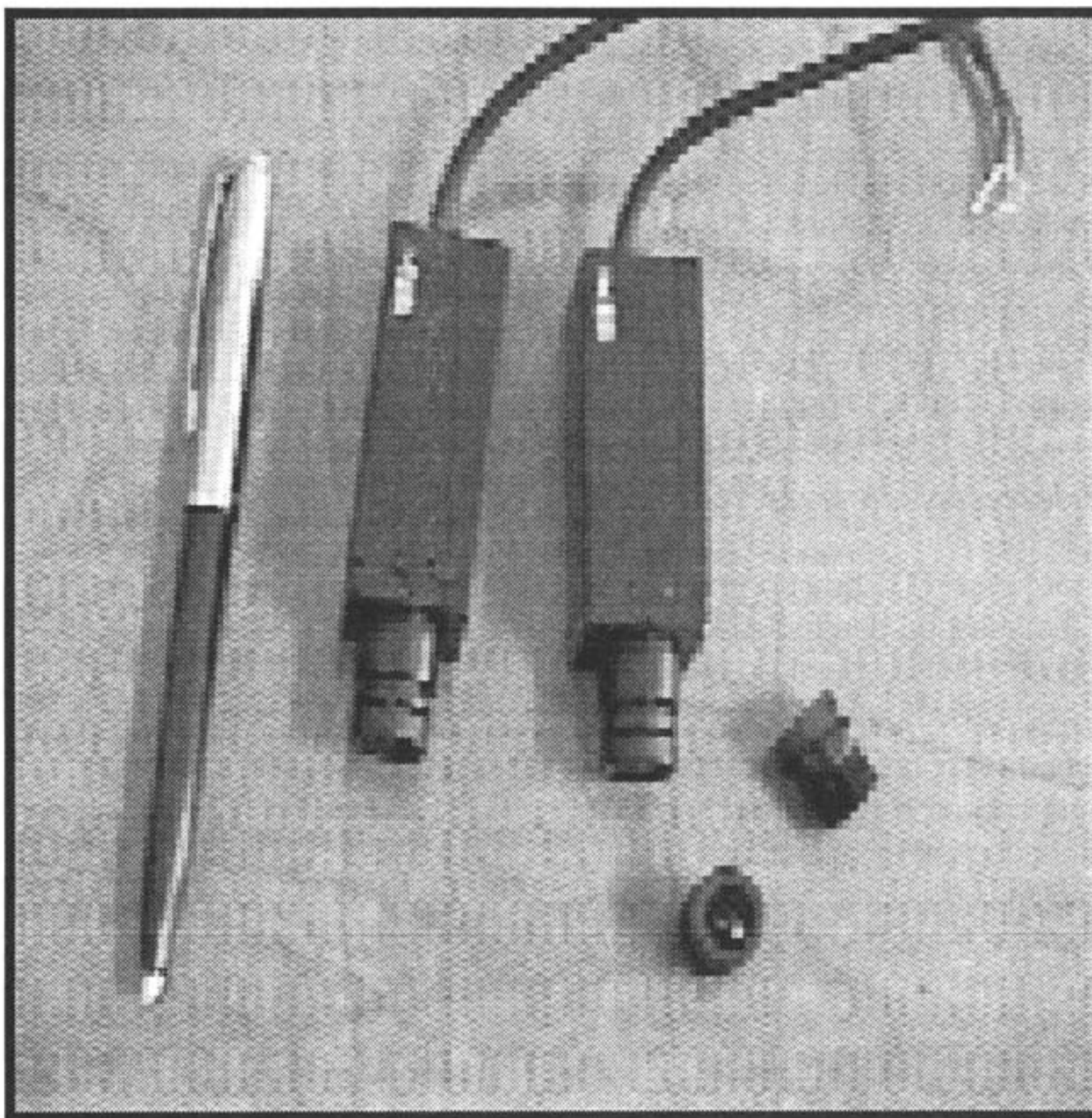


Introducción a los sistemas de visión en colores



Cámaras color de tamaño reducido.

□ **Humberto Loaiza C, M.Sc.**
Ingeniero Electricista
Profesor Titular
Universidad del Valle

RESUMEN

En este artículo se presenta el panorama actual y las perspectivas de los sistemas de visión en colores. También, se desarrollan los fundamentos del color, necesarios en el tratamiento de imágenes. Adicionalmente, se incluyen ejemplos de aplicaciones que ilustran las ventajas de los diferentes modelos de color y que pueden servir de orien-

tación en la especificación de una máquina de visión.

ABSTRACT

This article reviews the present state and the perspectives of the color vision systems. Also, this paper develops the fundamentals of color generation and perception and introduces various color models. Some examples of applications illustrating the advantages of different color models are given. These examples may serve of orientation for the specification of a machine vision.

PALABRAS CLAVES

Sistemas de visión, modelos de color, inspección visual, procesamiento de imagen

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, las máquinas de visión que se utilizan en aplicaciones de manufacturación y automatización emplean cámaras y técnicas de procesamiento monocromáticas. En sistemas de visión implementados con computadores personales, la solución monocromática implica menos costo y un procesamiento más rápido, sin embargo, en la actualidad los sistemas de visión en colores constituyen otra opción factible.

La conveniencia del uso del color en el procesamiento de imágenes radica, principalmente, en que el color es un descriptor poderoso que frecuentemente permite simplificar la identificación y extracción de objetos de una escena y, también, en que el ojo humano puede discernir cientos de tonalidades e intensidades de un color, mientras que sólo cerca de dos docenas de tonalidades de gris.

La expansión de las máquinas de visión en colores está garantizada por la disponibilidad de cámaras color CCD (*charge-coupled device*) de bajo precio, alta resolución y buena calidad. Además, la existencia de microprocesadores con funciones de multimedia que favorecen el procesamiento de imágenes (ej.: Pentium MMX) la continua disminución del precio de la memoria (ej.: memorias SD RAM) los buses de interface con elevadas tasas de transferencia (ej.: el bus PCI) los sistemas operativos en tiempo real y el conocimiento de técnicas de análisis y algoritmos optimizados, son otros factores que pueden contribuir a la difusión de los sistemas de visión en colores.

Aunque muchos sistemas de visión comerciales presentan pocas o nulas funciones para el tratamiento de imágenes en colores, es posible aplicar todas estas técnicas y herramientas a cada uno de los planos de color que conforman la imagen, como si se tratara de una imagen monocromática.

Es importante indicar que en algunas aplicaciones, como por ejemplo la detección de presencia, la verificación del ensamblaje de partes mecánicas y la inspección de conectores electrónicos, los sistemas monocromáticos constituyen una solución acertada.

En este artículo se presentan los conceptos y términos básicos usados en la descripción y modelización del color, los cuales permitirán abordar con mayor claridad el procesa-

miento de imágenes y el estudio de máquinas de visión en colores.

2. REPRESENTACIONES DEL COLOR

La percepción del color es un fenómeno psicofisiológico complejo en donde interviene la composición espectral de la luz, la estructura molecular del objeto observado y los receptores e interpretadores de la luz; en el caso humano estos dos últimos componentes, corresponden, respectivamente, a los ojos y al cerebro.

Aunque el proceso que efectúa el cerebro humano para la percepción del color es un fenómeno que aún no se entiende completamente, la naturaleza física del color puede expresarse sobre una base teórico-experimental.

Espectro visible. El espectro visible de la luz es continuo. Esto ocasiona un efecto de desvanecimiento en la transición de un color a otro impidiendo diferenciar el inicio o el final de los colores. En consecuencia, no existe un único color que pueda llamarse rojo, verde o azul.

La CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) con base en resulta-

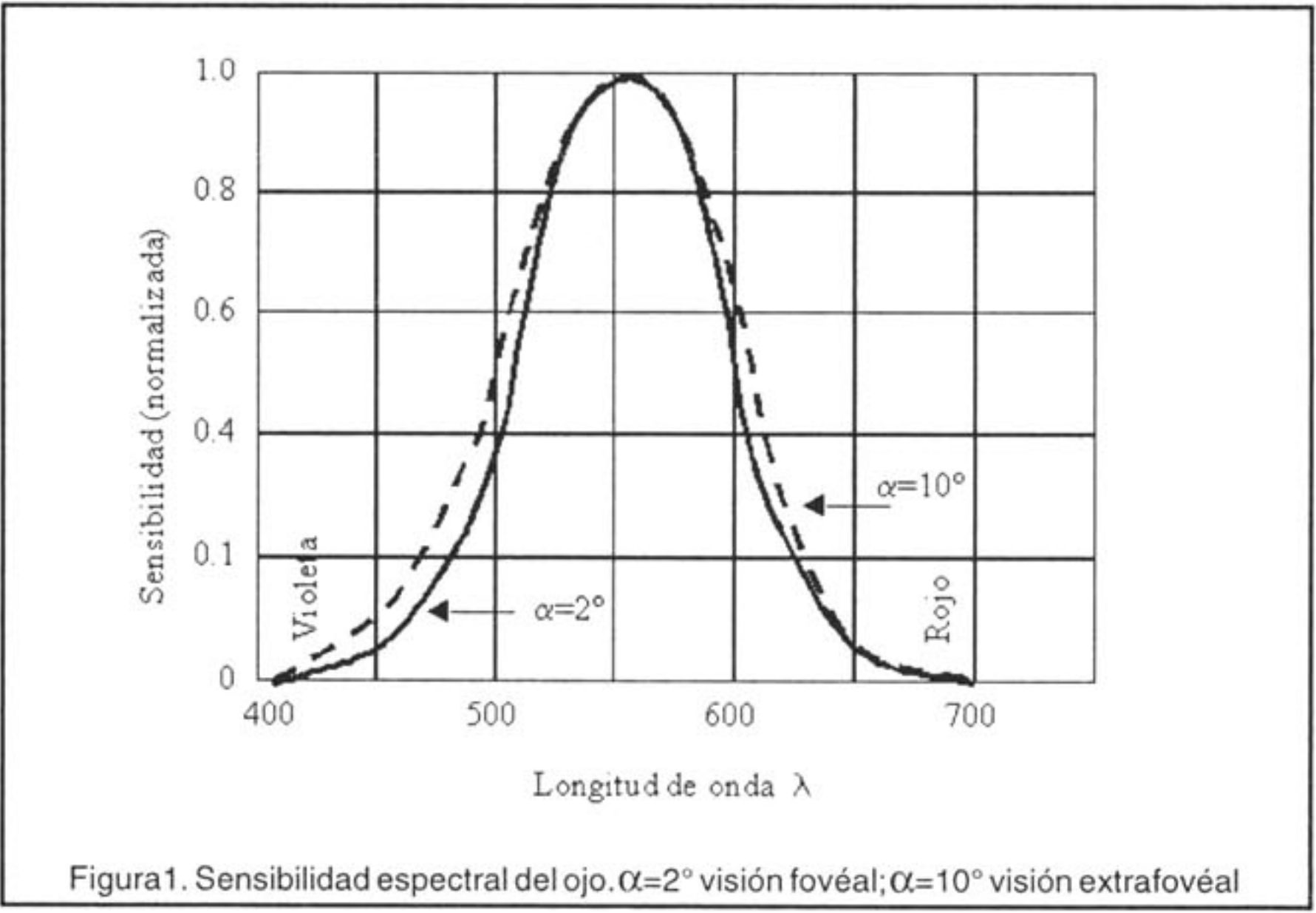
dos experimentales, considera que la respuesta de sensibilidad de un observador normal en visión diurna está representada por la figura 1.

En la figura 1 se observa que la luz visible presenta un espectro de energía electromagnética que se extiende desde 400 a 700 nm, aproximadamente.

Dada la continuidad del espectro de colores, surge el problema de cómo representar las diferentes tonalidades del espectro visible. Existen principalmente dos respuestas a este interrogante: representación frecuencial y representación espacial de colores.

Representación frecuencial. En este caso se considera el aspecto ondulatorio de la luz. A partir de la percepción de un estímulo luminoso, S , se pretende obtener una estimación de su composición espectral, $f(\lambda)$. Para lograr esto se podría recurrir al filtraje de este estímulo con ayuda de un conjunto de N filtros cuya sensibilidad espectral, $c_i(\lambda)$, fuera tan angosta como la respuesta del sensor usado para captar el estímulo. La respuesta R_i del sensor está dada por la ecuación 1.

$$R_i = \sum_{\lambda_i - \epsilon}^{\lambda_i + \epsilon} f(\lambda) d\lambda, \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$



donde ϵ es la mitad del ancho de banda de cada filtro y λ_i la longitud de onda de los componentes del estímulo luminoso.

El problema principal en esta representación reside en el gran número de sensores, N , necesarios para que el conjunto de respuestas R_i sea una buena aproximación de $f(\lambda)$.

Representación espacial. En esta representación se recurre a un espacio de colores de k dimensiones. Las características del ojo humano permiten que todos los colores sean vistos como una combinación variable de rojo (**Red**), verde (**Green**) y azul (**Blue**), lo que conduce a $k=3$. Estos colores son denominados colores *primarios* de luz. Para propósitos de estandarización, la CIE especificó, en 1931, las siguientes longitudes de onda para los tres colores primarios: $\lambda_{\text{rojo}}=435.8$ nm, $\lambda_{\text{verde}}=546.1$ nm y $\lambda_{\text{azul}}=700$ nm. Lo anterior no significa que al combinar estos tres colores con sus longitudes de onda estandarizadas se pueda obtener todo el espectro de colores. Para lograr generar otros colores es necesario modificar tanto la intensidad como la longitud de onda de los colores primarios.

Los colores de luz denominados *secundarios* se obtienen a partir de la suma de dos colores primarios: magenta = rojo más azul; cyan = verde más azul, y amarillo = rojo más verde. La mezcla de los tres colores primarios (o un secundario con su primario opuesto), con intensidades adecuadas, produce luz blanca.

Antes de abordar la caracterización del color es adecuado hacer una diferenciación entre colores primarios de luz y colores primarios de colorantes (o pigmentos). En el caso de colorantes un color primario es definido como aquel que sustrae o absorbe un color primario de luz y refleja o transmite los otros dos. En consecuencia, los colores primarios de colorantes son el magenta, cyan y amarillo y los secundarios son el

rojo, verde y azul. La mezcla de los tres pigmentos primarios (o un secundario con su primario opuesto), con intensidades adecuadas, produce negro.

3. CARACTERIZACIÓN DEL COLOR

Caracterizar la luz es fundamental en la ciencia del color. Si la luz es acromática (desprovista de color, como una imagen de televisión blanco y negro) su sólo atributo es la *intensidad*. De esta forma, el término *nivel de gris* hace referencia a una medida escalar de intensidades que parte del negro, pasa por el gris y termina en blanco.

Las tres cantidades básicas usadas para *describir la calidad* de una fuente de luz cromática (provista de color) son: la radiación (*radiance*), luminosidad (*luminance*) y brillo (*brightness*). La radiación es la cantidad total de energía que fluye a partir de la fuente de luz y se mide en watts (W). La luminosidad da una medida de la cantidad de luz *percibida* por un observador y se mide en lúmenes (lm). El brillo es un descriptor subjetivo que es prácticamente imposible de medir. Este involucra la noción acromática de intensidad y es un factor clave para describir la sensación de color.

Las características que generalmente *distinguen un color de otro* son el brillo (*brightness*), el matiz (*hue*), y la saturación (*saturation*). Como ya se indicó, el brillo incorpora una noción cromática de intensidad. El matiz es un atributo asociado con la longitud de onda dominante dentro de una mezcla de ondas de luz. De esta forma, el matiz representa el color dominante que percibe un observador. La saturación se refiere a la pureza relativa del color dominante, es decir a la cantidad de luz blanca mezclada con el matiz. La saturación es inversamente proporcional a la cantidad de luz blanca adicionada.

Juntos, matiz y saturación reciben el nombre de cromaticidad (*chromaticity*) por lo tanto, un color puede ser caracterizado por su brillo y cromaticidad. La cantidad de rojo, verde y azul necesaria para formar cualquier color particular se llama *triestímulo* (*tristimulus*). La notación que se utiliza para el triestímulo rojo es X , para el verde Y y para el azul Z . Un color se puede especificar por sus tres *coeficientes* tricromáticos, que se definen como:

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X + Y + Z} \\ y &= \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z &= \frac{Z}{X + Y + Z} \end{aligned} \quad (2)$$

de donde se obtiene que,

$$x + y + z = 1 \quad (3)$$

Para cualquier longitud de onda en el espectro visible, los valores de los triestímulos necesarios para producir el color correspondiente a la longitud de onda pueden obtenerse directamente a partir de curvas o tablas [1] [2] elaboradas a partir de resultados experimentales.

Otra forma de especificar los colores es usando el *diagrama de cromaticidad* de la CIE, el cual presenta la composición de los colores como una función de X (rojo) y Y (verde). El valor de Z se obtiene de la ecuación (3). Esta especificación bidimensional del color presenta la ventaja de unificar la representación frecuencial y la representación espacial [3]. El diagrama de cromaticidad se usa frecuentemente para mezclar colores, dada su directa interpretación gráfica.

4. MODELOS DE COLOR

El propósito de un modelo de color es facilitar la especificación de colores en alguna forma estándar. En esencia, un modelo de color es una especificación de un sistema coordenado de tres dimensiones y de un subespacio dentro de tal sistema, donde cada color se representa por un punto. Dada la simplicidad del espacio tridimensional, éste ha sido escogido como instrumento de representación del color en detrimento de la representación frecuencial.

Los modelos de color que se utilizan actualmente están orientados al desarrollo de hardware o a la manipulación de imágenes. Entre los modelos orientados al *hardware* se encuentran: el modelo RGB (*Red, Green, Blue*) utilizado en monitores y cámaras de vídeo a colores; el modelo CMY (*Cyan, Magenta, Yellow*) usado en impresoras; y el modelo YIQ (Y corresponde a la luminosidad -*luminance*-, *Inphase*, *Quadrature*) que es el estándar para la transmisión de señal de televisión en formato NTSC (*National Television Standard Committee*). Entre los modelos de color para la manipulación de imágenes (tales como la creación de gráficos en color para animaciones) se encuentran los modelos HSI (*Hue, Saturation, Intensity*) y HSV (*Hue, Saturation, Value*).

Los modelos de color que se emplean frecuentemente en el procesamiento de imágenes son el RGB, el YIQ y el HSI. A continuación se presentan las características, utilidades y diferencias de estos tres modelos; además, se incluye el modelo CMY, dada su importancia en las impresoras para computadores.

4.1 Modelo RGB

En el modelo RGB cada color se disgrega en sus componentes espectrales primarios y se representa por un sistema de coordenadas cartesianas, como el que se ilustra en la figura 2. En este modelo los nive-

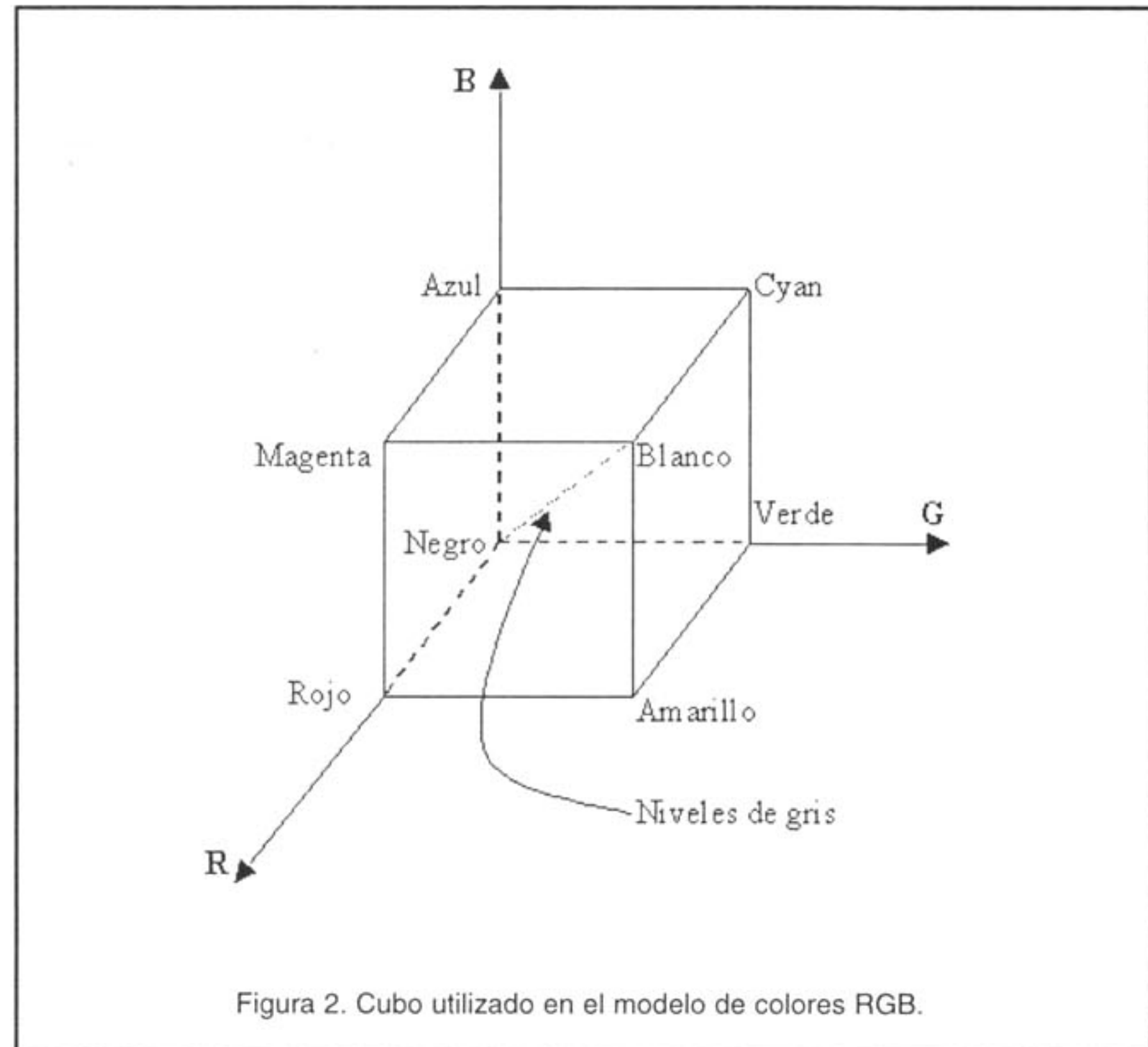


Figura 2. Cubo utilizado en el modelo de colores RGB.

les de gris se extienden en línea recta desde el color negro (origen del sistema coordenado) hasta el blanco. Los colores son puntos dentro o sobre el cubo y se definen como vectores que se extienden desde el origen. Por conveniencia se supone que todos los colores están normalizados entre 0 y 1, de tal forma que los lados del cubo de la figura 2 tienen dimensión 1.

Las imágenes con modelo RGB contienen tres planos de imágenes independientes, uno para cada color primario. Cuando estas tres imágenes son inyectadas a un monitor RGB, la pantalla de fósforo produce una imagen de color compuesto. El procesamiento de imágenes en color, utilizando el modelo RGB, toma sentido cuando las imágenes se expresan naturalmente en términos de tres planos de color. Actualmente muchas cámaras a colores, utilizadas para adquirir imágenes digitales, utilizan el formato RGB. Lo anterior convierte al modelo RGB en un modelo de gran importancia para el procesamiento de imágenes, a pesar de que no deriva en un

proceso intuitivo para determinadas aplicaciones como por ejemplo la de aparear colores.

El modelo RGB encuentra gran utilidad en el procesamiento de imágenes multispectrales tomadas por aviones o satélites. Por ejemplo, los datos tomados por el satélite LANDSAT (*Land Satellite*) de la NASA, están compuestos por cuatro imágenes de la misma escena. Cada imagen se obtiene con un sensor que opera en un rango espectral diferente; dos imágenes son tomadas dentro del rango visible del espectro (verde y roja), y las otras dos dentro de la sección infrarroja [4]. El significado físico de cada imagen o de la combinación de éstas, puede interpretarse directamente cuando se segmentan en sus componentes espectrales o se procesan y visualizan sobre un monitor a colores usando el modelo RGB.

El modelo RGB no conlleva a excelentes resultados cuando se utiliza en el resaltamiento de imágenes en color de rostros humanos, donde algunas partes están "escondidas" por sombras. Para tratar este pro-

blema, generalmente, se recurre a la homogenización del histograma [5]. Debido a la presencia de tres planos color en la imagen RGB y a que en el histograma sólo intervienen los valores de intensidad, el procedimiento en este caso consiste en aplicar, independientemente, la homogenización del histograma a cada plano. La parte oculta por la sombra se resalta efectivamente en la mayoría de los casos. Sin embargo, las intensidades en todos los tres planos resultan alteradas de forma diferente; es decir, las intensidades relativas entre los colores no se conservan. El resultado final es que propiedades de color importantes de la imagen, tales como el tono de piel, pueden aparecer no naturales cuando se visualizan en un monitor RGB.

El modelo RGB ha encontrado recientemente otros campos de aplicación como lo son la medida de distribución de potencia espectral [7], la estimación de parámetros geométricos de las escenas capturadas [8][9] y la espectrofotometría [10]. Igualmente, se ha utilizado para la localización de robots móviles autónomos [11].

4.2 Modelo CMY

Como se indicó, el cyan, magenta y amarillo son los colores secundarios de luz o colores primarios de colorantes. Muchos de los dispositivos que depositan colorantes sobre papel, tales como impresoras y copiadoras, requieren datos de entrada CMY o realizar una conversión interna de RGB a CMY. Esta conversión se realiza con la operación siguiente:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

donde, sigue vigente la suposición de que todos los valores de colores están normalizados en el rango [0,1].

La ecuación (4) demuestra que la luz reflejada por una superficie de color cyan puro no contiene rojo ($C=1-R$), similarmente, magenta puro no refleja verde y amarillo puro no refleja azul. La conversión CMY a RGB es igualmente fácil, pero no presenta ningún interés práctico.

4.3 Modelo YIQ

El modelo YIQ se usa en la transmisión de imágenes en color para los sistemas de televisión NTSC. Básicamente el modelo YIQ es una recodificación del modelo RGB para lograr la transmisión eficiente del color y mantener la compatibilidad con los televisores a blanco y negro. Por eso la componente de luminosidad Y contiene toda la información de video que requiere un televisor monocromático. La conversión RGB a YIQ se define como:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.273 & -0.322 \\ 0.212 & -0.522 & 0.315 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

La conversión RGB a YIQ se obtiene invirtiendo la matriz dada en la ecuación (5).

El modelo YIQ fue diseñado pensando en aprovechar que el sistema visual humano es más sensible a cambios de luminosidad que a cambios de matices (*hue*) o cambios de saturación. Por este motivo, se utiliza un mayor ancho de banda (o bits en imágenes digitales) para representar al componente Y y menos para los componentes I y Q.

Además de ser un estándar ampliamente difundido, el modelo YIQ presenta como principal ventaja, en el procesamiento de imágenes, el desacople entre la información de luminosidad (Y) y la información de color (I y Q). De esta forma, el componente de luminosidad de una imagen puede procesarse sin afectar sus componentes de color. Por ejemplo, se puede aplicar la homogeneización

del histograma únicamente al componente Y de una imagen en formato YIQ. De esta forma las intensidades relativas entre los colores no se ven afectadas por el proceso de homogenización. Lo anterior permite remediar el problema expuesto en el modelo RGB para el resaltamiento de imágenes.

4.4 Modelo HSI

El modelo HSI es una herramienta ideal para desarrollar algoritmos de procesamiento de imágenes basados en alguna propiedad de sensado de color del ser humano. El modelo HSI debe su utilidad a dos hechos principales. En primer lugar, el componente de intensidad, I, se desacopla de la información de color en la imagen. En segundo lugar, los componentes matiz (H) y saturación (S) están fuertemente relacionados con la forma como el sistema de visión humano percibe el color.

El modelo HSI es de gran utilidad en aplicaciones que van desde el diseño de sistemas de visión para determinar automáticamente el grado de madurez de frutas y verduras, hasta sistemas para confrontar muestras de color o inspeccionar la calidad del acabado del color en productos diversos. En estas y similares aplicaciones, la operación del sistema debe basarse en las propiedades del color que una persona utilizaría para realizar la tarea especificada.

La figura 3a presenta el triángulo que define los componentes del modelo HSI. En la misma figura se puede observar que para un punto **P**, su componente H es el ángulo formado entre el eje rojo y el vector **P**. De esta forma, por ejemplo, cuando $H = 0^\circ$, el color del punto P es rojo; cuando $H = 60^\circ$, el color es amarillo y cuando $H = 120^\circ$, el color es verde. El componente de saturación, S, es proporcional a la distancia de **P** al centro del triángulo: entre más lejos del centro el color es más saturado (menos cantidad de luz blanca). El componente I se mide con respecto a una



línea perpendicular al triángulo y que pasa a través de su centro. Las intensidades por encima del triángulo tienden hacia el blanco y las intensidades por debajo tienden hacia el negro.

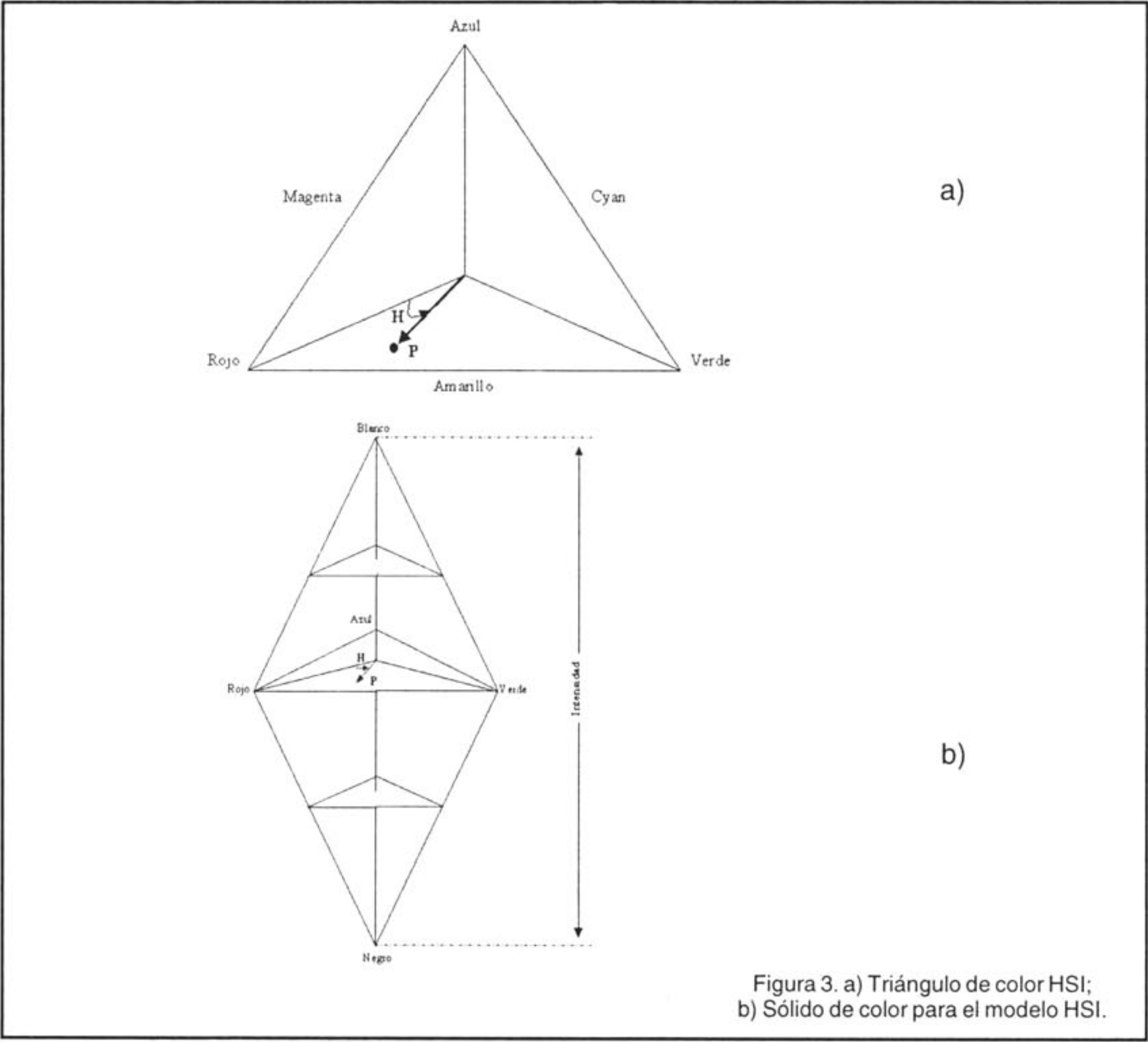


Figura 3. a) Triángulo de color HSI; b) Sólido de color para el modelo HSI.

La combinación de los componentes I, S y H en un espacio de colores tridimensional conduce a una estructura en forma de doble pirámide como la que presenta la figura 3b.

La obtención de los parámetros HSI a partir del modelo RGB normalizado, se logra por medio de las siguientes definiciones:

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \tag{6}$$

$$S = 1 - \frac{[\min(R, G, B)]}{I} \tag{7}$$

$$H = \begin{cases} h = \frac{1}{2\pi} \cos^{-1} \left(\frac{[(R - G) + (R - B)]}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right) & \text{para } (B/I) < (G/I) \\ 1 - h & \text{para } (B/I) > (G/I) \end{cases} \tag{8}$$

H no es definido cuando S=0 y S es indefinida cuando I=0.

La conversión del modelo HSI al RGB depende del valor de H y se realiza de acuerdo con las siguientes expresiones:

Para $0^\circ < H \leq 120^\circ$

$$b = \frac{1}{3}(1 - S), \quad r = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right],$$

$$g = 1 - (r + b) \quad (9)$$

Para $120^\circ < H \leq 240^\circ$

$$r = \frac{1}{3}(1 - S), \quad g = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)} \right],$$

$$b = 1 - (r + g) \quad (10)$$

Para $240^\circ < H \leq 360^\circ$

$$g = \frac{1}{3}(1 - S), \quad b = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)} \right],$$

$$r = 1 - (r + g) \quad (11)$$

donde las variables r,g,b, están relacionadas con las variables R,G,B por las expresiones:

$$R = 3 I r, \quad G = 3 I g, \quad B = 3 I b \quad (12)$$

5. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN EN COLORES

En esta sección se presentan algunas aplicaciones que se benefician del uso del color. También se ilustra con el modelo de color más adecuado, dependiendo de las características del proceso.

Las máquinas de visión en colores constituyen una herramienta importante en muchas aplicaciones de inspección de ensamblajes y empaquetamiento, en las que el sistema debe verificar que los componentes estén en la posición correcta. En muchas de estas aplicaciones los colores de los componentes se usan como una base para la tarea de inspección. Por ejemplo, un

fabricante de determinado producto farmacéutico debe garantizar, por control y presentación, que las unidades se almacenen en paquetes, siguiendo un orden preestablecido: un primer color y/o texto hacia arriba, un segundo color y/o texto hacia abajo, la cara principal de los productos con igual orientación, etc. Si se utilizan los colores primarios de luz (rojo, verde y azul), el modelo RGB permitirá acelerar el proceso de ordenamiento.

El color también se explota en la industria automotriz para verificar la instalación correcta de componentes en automóviles ensamblados. Generalmente, dichos componentes se codifican por colores. Un ejemplo es la validación del color, de la ubicación y la orientación de los fusibles en los circuitos eléctricos de un vehículo.

Las aplicaciones que requieren confrontación o cuantificación de colores sobre un componente han usado tradicionalmente el modelo HSI. Las primeras aplicaciones de máquinas de visión a colores tenían como función diferenciar entre objetos de un color y el fondo. Entre estas aplicaciones se encuentran las operaciones de alineamiento y calibración.

En procesos de alineamiento, la meta es encontrar la orientación y posición de una región de la imagen. Una vez obtenida esta información de referencia, se puede ubicar cualquier otro punto en la escena o dispositivo que se inspecciona. En procesos de calibración se emplean, entre otras, medidas de distancia, ángulos y área para determinar si una característica del objeto que se examina está dentro del rango de tolerancia.

El beneficio del modelo HSI en este tipo de aplicaciones se debe a que en la medida que el color de la imagen esté bien saturado, el componente H (matiz) se mantiene relativamente constante en presencia de sombras y otras variaciones de iluminación. Es decir, los procesos son menos dependientes de las condiciones de iluminación.

Las condiciones de iluminación son frecuentemente críticas en sistemas de visión. Por ejemplo, la luz ambiente que pasa a través de una ventana puede afectar dramáticamente un sistema de inspección por visión que trabaja en diferentes periodos durante el día. En estos casos, un sistema de visión basado únicamente en el componente H puede trabajar mejor con las herramientas estándares de las aplicaciones de alineamiento y calibración que si utiliza un análisis en niveles de gris.

En conclusión, el componente H contiene toda la información de color necesaria para confrontar (*matching*) apropiadamente un color. Lo anterior significa que es posible encontrar un color independientemente de las condiciones de iluminación. Además, la confrontación se realiza más rápido debido a que se trabaja con una tercera parte de los datos.

Una desventaja del modelo HSI en este tipo de aplicaciones es su menor precisión comparado con otros modelos (ejemplo: el modelo RGB) ya que sólo interviene el plano H. Otra desventaja radica en que frecuentemente se debe convertir la imagen de RGB a HSI. La sobrecarga anterior puede disminuirse si la tarjeta de adquisición de imágenes posee LUTs (*Look-up tables*) o convertidores que aceleren el cambio de formato.

Anteriormente el formato RGB no se utilizaba en confrontación de colores por el elevado número de cálculos necesarios. Al menos se requieren tres veces más, puesto que se debe procesar la información de los componentes rojo (R), verde (G) y azul (B). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el constante aumento en el rendimiento de los computadores ha motivado el desarrollo de nuevos algoritmos de confrontación basados en el modelo RGB.

La confrontación y clasificación de colores con el modelo RGB se realiza, comúnmente, comparando el histograma de colores del objeto estudiado y el histograma de colores del objeto de referencia.

En términos prácticos, cuando se desea identificar o confrontar ligeras variaciones en un color, el modelo RGB resulta más adecuado que el modelo HSI, pero consume más tiempo de procesamiento.

6. CONCLUSIÓN

La utilización de sistemas de visión en colores se había restringido por el elevado costo y largos tiempos de procesamiento que implicaba. El alto rendimiento de los microprocesadores y la evolución de las arquitecturas de computadores, acompañado de la constante disminución en cos-

to de los PCs y del hardware de adquisición de imágenes, hacen que las máquinas de visión en colores constituyan, hoy en día, una solución viable en diversas aplicaciones de control y automatización de procesos.

Lo anterior, sumado a que el color es un descriptor poderoso que frecuentemente simplifica la identificación y extracción de objetos a partir de una escena, permite prever la pronta expansión de los sistemas de visión en colores.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1.] WALSH. J.W.T, Photometry, Dover, New York, 1958
- [2.] KIVER. M. S, Color Television Fundamentals. McGraw-Hill, New York. 1965.
- [3.] KUNT. M, Traitement Numérique des Images, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Volume 2, Lausanne. 1997.
- [4.] GONZÁLEZ. R, and Woods R. Digital Image Processing Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1993.
- [5.] HORN, B.K.P, Robot Vision, MIT PRESS. Cambridge, Massachusetts. 1986.
- [6.] HARALICK R.M, and Shapiro, L.G. Computer and Robot Vision. Addison-Wesley Publishing Company, Vol. 1, Vol. 2. 1993.
- [7.] ABE. M, IKEDA. H, HIGAKI Y, and NAKAMICHI. A, method to estimate correlated color temperatures of illuminants using a color camera, IEEE Trans. On Instrumentation and Measurement 40,28-33, 1991.
- [8.] HEALEY, G., Using color for geometry-intensive segmenta-

tion, J. Opt. Soc. Am. A6, 920-937. 1989.

- [9.] NOVAK. C, Estimating scene properties by analyzing color histograms with physics-based models. Ph.D. Thesis, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1992.
- [10.] MARSZALEC. E. and PIETIKAINEN, M, Some aspects of RGB vision and its applications in industry, Machine Vision for Advanced Production, World Scientific Publishing Company, 55-72, 1996.
- [11.] LOAIZA. H, SUÁREZ. A, GONZÁLEZ. E, LELANDAIS. S. and MORENO. C, Real MagiCol: Complex Behavior through simpler Behavior Oriented Commands. Proceedings of the second Robocup Workshop. Robocup-98. Pg. 475-482. Paris, July 1998

AUTOR

Humberto Loaiza C.

Ingeniero Electricista y Magíster en automática de la Universidad del Valle, Colombia. Actualmente realiza estudios de doctorado (Ph.D.) en



el área de robótica móvil y visión artificial en la Université d'Evry, Francia. Es Profesor Titular de la Universidad del Valle.

c.e: hloaiza@eiee.univalle.edu.co

hloaiza@cemif.univ-evry.fr

Página Web:

<http://maxwell.univalle.edu.co/catedras/HUMBERTO/welcome.htm>