

Uso del sistema HSI para asignar falso color a objetos en imágenes digitales

J.J. Báez Rojas y M.A. Alonso Pérez
Coordinación de Óptica, INAOE,
Luis Enrique Erro No. 1, Tonantzintla, Puebla, México,
Apartado Postal 51 y 216, 72000,
e-mail: jjbaezr@inaoep.mx, malonso@inaoep.mx

Recibido el 12 de febrero de 2008; aceptado el 15 de abril de 2008

En este trabajo se presentan resultados de la asignación de falso color a objetos en imágenes digitales. El cambio del color se realiza en el sistema de color HSI por su significado en inglés (H Hue, S Saturation, I Intensity). Para mantener la apariencia de los objetos originales, se mantienen las matrices S e I, y se transforma la matriz H. De esta forma, la imagen resultante tiene los mismos efectos de sombreado, cambiando sólo la tonalidad. El sistema HSI asocia la tonalidad de los colores con ángulos.

Descriptores: Procesamiento de imágenes digitales; espacios de color; falso color.

In this manuscript are shown results of the designation of false color of objects in digital image. The change of hue is done using the color system HSI (Hue, Saturation, Intensity). In order to maintain the appearance of the original objects, the matrix S and I are not altered, and the H matrix becomes. As a result, the resulting image has the same shaded effects, changing only the tone. The system HSI associates the tone of the colors with angles.

Keywords: Digital image processing; color spaces; false color.

PACS: 07.05.Pj; 42.30.-d

1. Introducción

El procesamiento digital de imágenes equivale a realizar operaciones sobre un conjunto de datos obtenidos de las imágenes, con el fin de mejorar la imagen para alguna aplicación en particular o para extraer algún tipo de información útil de ella.

En los últimos años se han dedicado muchos esfuerzos al estudio del análisis de imágenes en color. Originalmente muchas técnicas fueron empleadas sobre imágenes en niveles de grises. Los trabajos más recientes están relacionados con segmentación de imágenes a color, análisis de textura, morfología matemática, estandarización de imágenes a color y localización de objetos.

La asignación de falso color a los objetos de las imágenes significa modificar el color a una o varias regiones contenidas en la imagen digital. Esta técnica se utiliza para enfatizar los objetos.

Por otra parte, el método de reproducción del color utilizado en las pantallas de cristal líquido, denominado sistema aditivo consiste en partir del negro, e ir añadiendo mayor o menor cantidad de luz de los tres colores básicos (rojo, verde y azul). Con éstos, a su vez se pueden conseguir una extensa variedad de colores, incluyendo la luz blanca. Estos tres colores básicos forman el espacio de color RGB que se detallará más adelante. No obstante, este espacio de color no es el más conveniente para el procesamiento de imágenes en color, pues las operaciones en este espacio pueden producir colores metámeros no deseados [1]; además de que el sistema RGB es muy sensible a las condiciones de iluminación de la escena. Por estas razones es útil hacer procesamientos en otros

espacios de colores, en los que podemos llegar a través de transformaciones, partiendo del espacio RGB; y después, para visualizar la imagen transformada, aplicar las respectivas transformaciones inversas.

Un modelo o espacio de color nos indica la manera en que un color está definido. Generalmente, un espacio de color está determinado por una base de n vectores, cuyas combinaciones lineales generan todos los elementos del espacio. Entre mayor sea el número de vectores, el espacio comprenderá una mayor cantidad de colores reales. Por mencionar algunos ejemplos: espacio de una dimensión, la escala de grises; espacios de dos dimensiones, los planos RG, GB y BR que son variedades del amarillo, cian y magenta, respectivamente; espacios tridimensionales, el espacio RGB (Red, Green, Blue), HSV (Hue, Saturation, Value), HSI (Hue, Saturation, Intensity) y YIQ; espacio de cuatro dimensiones, CMYK (Cyan, Magenta, Yellow y Key -color negro-), modelo utilizado en la impresión a colores.

Los espacios de color más utilizados son los tridimensionales RGB, HSI, YIQ. Los dos primeros los detallaremos en las secciones siguientes, pues en ellos está basado nuestro trabajo. YIQ es un espacio anteriormente utilizado por el estándar de las emisiones de televisión NTSC (National Television System(s) Committee). Y contiene la información de luminancia, y está es la única componente utilizada por las televisiones en blanco y negro. I y Q son las componentes cromáticas denominadas fase y cuadratura. Un ejemplo del espacio YIQ en el procesamiento de imágenes es la ecualización del histograma del canal Y, con esto sólo se normalizan los niveles de brillo de la imagen.

2. Modelo de color RGB

Este modelo es un subespacio del espacio euclidiano conformado por el cubo unitario [1] mostrado en la Fig. 1. Los colores aparecen con sus componentes primarias de rojo, verde y azul. Los valores de R, G y B se encuentran a lo largo de tres ejes. En otras palabras, en el eje del rojo, en el eje del verde y en el eje del azul se encuentran las intensidades de cada color. El cian está situado en el vértice del cubo en donde el color verde y el azul tienen su máximo valor, y el valor del rojo es cero; las coordenadas son $(R, G, B) = (0, 1, 1)$. Análogamente, el magenta, que es la combinación del rojo y el azul, está situado en las coordenadas $(R, G, B) = (1, 0, 1)$; y el amarillo (mezcla de verde con rojo) se sitúa en $(R, G, B) = (1, 1, 0)$. El negro está colocado en el origen del sistema y el blanco en el vértice opuesto al origen. La escala de grises se encuentra en la diagonal que va del negro al blanco. Todos los demás colores se encuentran dentro del cubo.

Por conveniencia los colores se han normalizado de forma que el cubo de la Fig. 1 sea unitario. Es decir todos los valores de R, G y B están en el intervalo [0,1]. En el caso de imágenes digitales los valores de R, G y B son números ente-

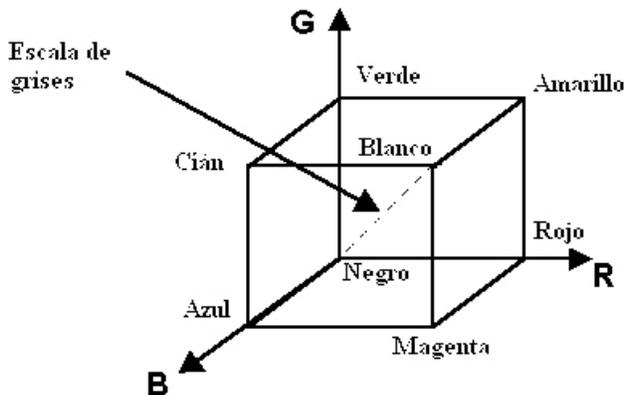


FIGURA 1. Cubo unitario, que representa al espacio de color RGB.

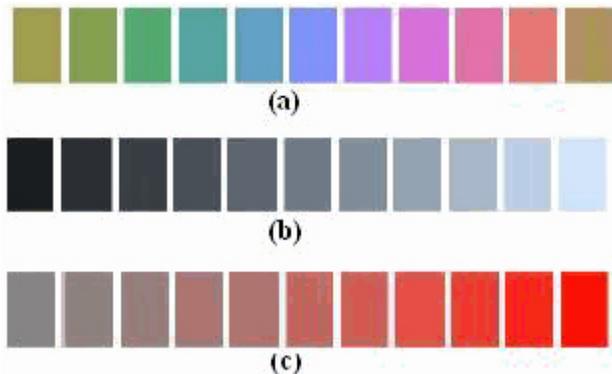


FIGURA 2. Tono, saturación e intensidad. En la Fig. 2a se presentan diferentes tonalidades (color dominante); en la Fig. 2b encontramos distintas intensidades, que son representadas por esta escala de grises; en la Fig. 2c hay variedades de saturación del color rojo.

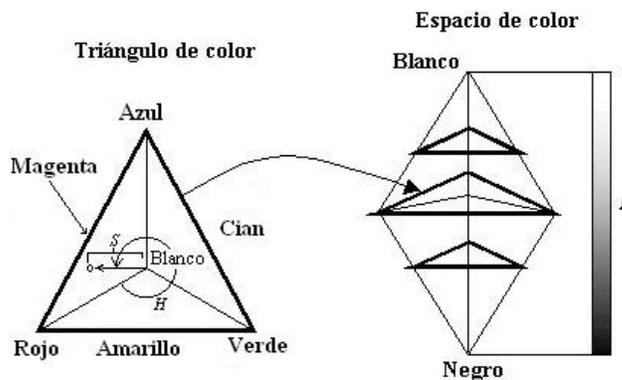


FIGURA 3. Triángulo de color y doble pirámide triangular. El triángulo de color muestra la manera en que se miden el tono y la saturación; el tono es una medida angular y la saturación es una medida longitudinal. La doble pirámide triangular es la representación del espacio HSI, la intensidad va del negro al blanco pasando por la escala de grises.

ros y van de 0 a 255, lo cual permite generar más de 16×10^6 colores.

3. Modelo de color HSI

En el modelo de color HSI los colores se distinguen unos de otros por su tono, intensidad, y saturación [2].

El tono está asociado con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas luminosas. Así, el tono representa el color dominante tal y como lo percibimos; cuando decimos que un objeto es rojo, verde o café estamos indicando su tono (Fig. 2a).

La intensidad representa la iluminación percibida. La intensidad da la sensación de que algún objeto refleja más o menos luz. Este atributo lo podemos ver claramente en un televisor en blanco y negro (Fig. 2b).

La saturación se refiere a la cantidad de luz blanca mezclada con el color dominante. La saturación es un atributo que nos diferencia un color intenso de uno pálido. Cada uno de los colores primarios tiene su mayor valor de saturación antes de ser mezclados con otros. Así, el azul cielo es muy claro (menos saturado), mientras que el azul marino es más opaco (más saturado). Otro ejemplo, es el color rosa (rojo y blanco) que está menos saturado; mientras que el color rojo está totalmente saturado (ver la Fig. 2c).

Tono y saturación están definidos por el triángulo de color que se muestra en la Fig. 3. Se observa que el tono H del punto de color O es una medida angular, medida desde el eje rojo. Así, cuando $H=0^\circ$, el color es rojo, cuando H es 60° el color es amarillo, y así sucesivamente. La saturación S del punto O es proporcional a la distancia desde O hasta el centro del triángulo. Entre mayor sea esta distancia la saturación será mayor.

El valor de intensidad del punto O es proporcional a la distancia (sobre la recta perpendicular al plano del triángulo y que pasa por su centro) medida desde el punto negro hasta

donde inicia el vector del punto O. De esta forma, para cualquier punto de color en la pirámide triangular, si su respectivo valor de intensidad tiende al punto del blanco, entonces el color será más claro. Pero si tiende al punto negro el color será más oscuro.

Uniendo tono, saturación e intensidad se tiene la estructura de doble pirámide triangular, Fig. 3. Los puntos sobre la superficie de la pirámide representan un color totalmente saturado. Los colores de los puntos interiores de la pirámide se hacen menos saturados conforme se acercan al eje vertical.

4. Conversión de RGB a HSI

El tono (H) y la saturación (S) están dados en términos de las ecuaciones denominadas coordenadas cromáticas que están definidas como

$$r = \frac{R}{R + G + B}, \tag{1}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}, \tag{2}$$

$$b = \frac{B}{R + G + B}. \tag{3}$$

Que no son otra cosa que los valores normalizados de R, G y B. Sumando las Ecs. (1) a (3) resulta la ecuación del plano en el espacio euclidiano *rgb* que pasa por los puntos (1,0,0), (0,1,0) y (0,0,1):

$$r + g + b = 1. \tag{4}$$

La figura geométrica sobre el plano delimitado por estos puntos es un triángulo equilátero (Fig. 4). Se conoce que la gama de colores resultantes por la combinación de tres colores está modelada precisamente por este tipo de triángulos [2]. El triángulo de la Fig. 4 corresponde a una rodaja de la doble pirámide triangular.

La intensidad I, está definida como el promedio de R, G y B:

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B), \tag{5}$$

cuyo valor está también en el intervalo [0,1].

Para hallar el tono nos auxiliamos de la Fig. 4, en donde el centro del triángulo equilátero *W* tiene coordenadas (1/3, 1/3, 1/3); *w* es el vector que va del origen a *W*; el punto de color *O* tiene coordenadas (*r*₀, *g*₀, *b*₀); el vector *o* va del origen al punto *O*. Como se mencionó, el tono es el ángulo formado por el eje rojo y el vector que termina en un punto de color *O*. Con la figura auxiliar notamos que este ángulo está formado por los vectores *e_r* - *w* y *o* - *w*, en donde *e_r* es el vector que termina en el punto (1, 0, 0). Utilizando la ecuación del producto punto entre dos vectores *a* · *b* = ||*a*|| ||*b*|| cosθ para 0 ≤ θ ≤ 180, llegamos a que el tono H se expresa de la siguiente manera:

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{(\mathbf{o} - \mathbf{w}) \cdot (\mathbf{e}_r - \mathbf{w})}{\|\mathbf{o} - \mathbf{w}\| \|\mathbf{e}_r - \mathbf{w}\|} \right]. \tag{6}$$

Realizando las operaciones concernientes, finalmente obtenemos

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2} [(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right], \tag{7}$$

para 0 ≤ H ≤ 180.

De la Fig. 4, si *b* > *g*, o equivalentemente si *B* > *G*, entonces H > 180. Para este caso primero ocupamos la Ec. (7) y luego hacemos H = 360 - H.

Para el cálculo de la saturación prolongamos la recta definida por los puntos *W* y *O* hasta que corte algún lado del triángulo, el punto donde se corta lo denotamos por *O'* (Fig. 4). Dado que la saturación está en el intervalo cerrado [0,1] y es proporcional a la distancia de *W* hasta *O* (|*WO*|), ésta se define como

$$S = \frac{|WO|}{|WO'|}. \tag{8}$$

Centremos nuestra atención en el área del triángulo delimitada por los puntos *e_r*, *W*, y *e_g*, llamémosle A1 y supongamos que *O* se encuentra en esta área. Para obtener S, necesitamos conocer las coordenadas de *O'*. Estas coordenadas las podemos obtener resolviendo el sistema de ecuaciones, que es resultado de la intersección de la recta que pasa por *W* y *O'* y que matemáticamente [3] se expresa así:

$$r = k \left(r_0 - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3}, \tag{9}$$

$$g = k \left(g_0 - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3}, \tag{10}$$

$$b = k \left(b_0 - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3}, \tag{11}$$

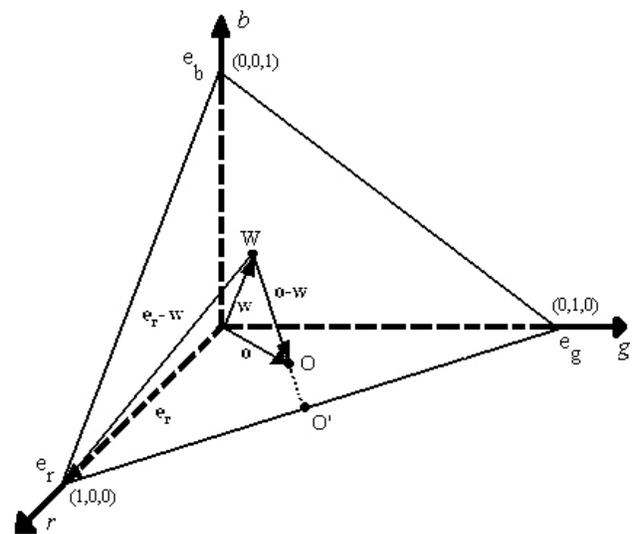


FIGURA 4. Plano que corta al espacio euclidiano en los puntos (1,0,0), (0,1,0) y (0,0,1) con ejes coordenados *r*, *g* y *b*, y ecuación *r* + *g* + *b* = 1.

con k dentro del intervalo $[0, 1]$ y la recta que pasa por e_r, e_g cuya ecuación paramétrica es

$$r = -l + 1, \quad (12)$$

$$g = l, \quad (13)$$

$$b = 0, \quad (14)$$

l en $[0, 1]$.

Ya resuelto el sistema de ecuaciones se descubre que O' tiene coordenadas

$$O' = \left[\frac{1 - g_0 - 2b_0}{1 - 3b_0}, \frac{g_0 - b_0}{1 - 3b_0}, 0 \right]. \quad (15)$$

Después, sustituyendo las coordenadas de W, O y O' en la Ec. (8)

$$S = 1 - 3b_0, \quad (16)$$

donde b_0 es el mínimo de r_0, g_0 y b_0 en el área A1, con lo que esta ecuación se transforma en

$$S = 1 - \frac{3\min(R, G, B)}{R + G + B}. \quad (17)$$

De manera análoga para las áreas triangulares A2 y A3 definidas por los puntos e_g, W, e_b y e_r, W, e_b respectivamente, se llega a la Ec. (17).

5. Conversión de HSI a RGB

Encontrar los valores de RGB depende de la posición del punto de color O en alguna de las áreas A1, A2 ó A3. Para el caso en que el punto de color se encuentre en A1 ($0 \leq H < 120$), de la Ec. (16) obtenemos

$$b_0 = \frac{1}{3}(1 - S). \quad (18)$$

A r_0 se le halla teniendo en cuenta que es proyección de O [1]:

$$r_0 = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60 - H)} \right], \quad (19)$$

Ahora, de la Ec. (4)

$$g_0 = 1 - (r_0 + b_0). \quad (20)$$

Finalmente, de las Ecs. (1) a (3), $R = 3Ir_0, G = 3Ig_0, B = 3Ib_0$. Sustituyendo éstas en las Ecs. (18), (19) y (20), tenemos,

- Para $0 \leq H < 120$,

$$B = I(1 - S), \quad (21)$$

$$R = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60 - H)} \right], \quad (22)$$

$$G = 3I - R - B, \quad (23)$$

De la misma forma para las áreas A2 y A3 se encuentran los valores RGB. Esto es:

- Para $e_g W e_b$ ($120 \leq H < 240$)

$$R = I(1 - S), \quad (24)$$

$$G = I \left[1 + \frac{S \cos(H - 120)}{\cos(180 - H)} \right], \quad (25)$$

$$B = 3I - R - G. \quad (26)$$

- Y para $240 \leq H < 360$,

$$G = I(1 - S), \quad (27)$$

$$B = I \left[1 + \frac{S \cos(H - 240)}{\cos(300 - H)} \right], \quad (28)$$

$$R = 3I - G - B. \quad (29)$$

6. Asignación de falso color a objetos en las imágenes digitales

Una imagen digital de color se compone de tres matrices de tamaño $m \times n$. Una matriz almacena los valores de R, otra los valores de G y la tercera contiene los valores de B. A cada píxel le corresponde la misma posición en cada una de estas tres matrices, de manera que el color depende de los valores de las matrices en dicha posición. En resumen, operar en el espacio RGB para imágenes digitales, es operar con píxeles que tienen información de R, G y B. Análogamente, una imagen digital en el espacio HSI consta de tres matrices $m \times n$, las cuales guardan los valores de H, S e I de manera respectiva. Así, cada píxel de la imagen digital en este espacio de color tiene tres datos: tono, saturación e intensidad.

En esta sección explicaremos las transformaciones del espacio RGB a HSI y viceversa, para lograr el objetivo de la asignación de falso color a los objetos en las imágenes digitales. Asignar falso color significa cambiar el color del objeto a cualquier otro color. El objeto debe estar coloreado con tonalidades armonizadas, en otras palabras, la diferencia entre cada tono debe ser suave, no muy contrastante para tener un buen resultado. En otro caso la asignación de falso color puede afectar a otros objetos o regiones de la imagen digital.

El método lo dividimos en dos etapas; la primera etapa consiste trabajar sobre la imagen del objeto, y en la segunda etapa se trabaja sobre toda la imagen. Es claro que estas imágenes en principio están en el sistema RGB. En forma detallada tenemos lo siguiente:

Etapas 1.— Elegimos una subárea del objeto, y por medio de la Ec. (7) hallamos el tono mínimo y máximo de esa región. Estos tonos implícitamente caracterizan a nuestro objeto, debido a que un gran número del total de píxeles del objeto tienen un valor de tonalidad que están entre el mínimo y el máximo. De este hecho, se recomienda tomar subáreas que contengan un mayor número de tonalidades.

Etapa 2.— Barriendo la imagen píxel a píxel hallamos los valores H, S e I (Ecs.(5),(7) y (17)), comparamos el tono del píxel con el tono máximo y con el tono mínimo. Si el valor del tono del píxel está entre los valores de los tonos máximo y mínimo, le asignamos la tonalidad deseada; en otro caso, conservamos el valor original de la tonalidad. Finalmente, dado que el píxel está en el espacio HSI, debemos retornar al espacio RGB a través de las ecuaciones (21) a (29) para poder visualizar nuestra imagen transformada. Notar que durante el proceso de comparación, en ambos casos los valores de S e I que daron intactos, con el fin de tener los mismos efectos de sombreado en la imagen resultante.

Los pasos en concretos se dan en el siguiente algoritmo:

Algoritmo

Etapa 1.— Seleccionar una región del objeto en la imagen, hallar tono mínimo y tono máximo, por medio de la Ec. (7). (*Selección del objeto*).

Etapa 2.— Para los siguientes puntos realizar un barrido píxel a píxel en toda la imagen.

1. A través de las Ecs. de (5), (7) y (17) hallar los respectivos valores de H, S e I. (*Conversión del sistema RGB al HSI*).
2. Elegir un nuevo tono. Si se encuentra que un píxel tiene un tono que se encuentre entre el tono mínimo y máximo, le asignamos el nuevo tono. (*Comparación de tonos*).
3. Aplicar las transformaciones inversas [Ecs. (21) a (29)]. (*Conversión del sistema HSI a RGB*).



FIGURA 5. Imagen original. El edificio del ayuntamiento es el objeto seleccionado; dentro del recuadro de color amarillo el tono mínimo es 11°, y el tono máximo 25°.



FIGURA 6. Imagen procesada. Se ha cambiado la tonalidad del inmueble seleccionado con un nuevo tono de 180° -cian-.

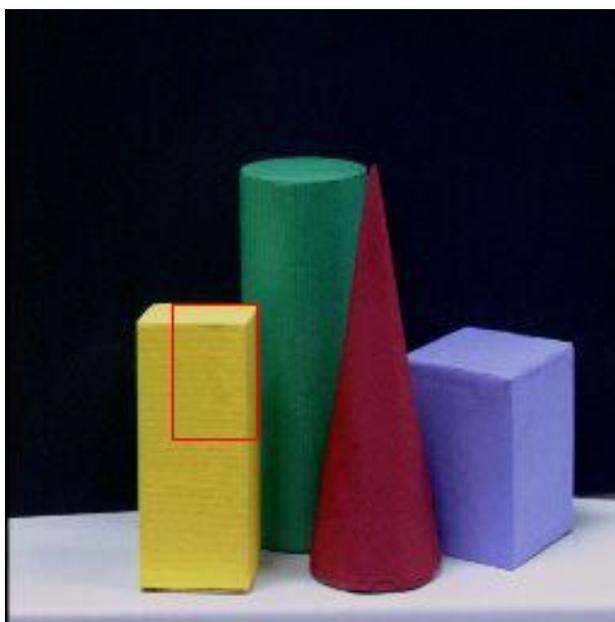


FIGURA 7. Imagen original. El objeto seleccionado a través de la subimagen con el contorno coloreado de rojo es el cilindro rectangular; dentro de la subimagen se encontró que el tono mínimo tiene un valor de 42°, y el máximo de 56°.

7. Resultados

Se muestran algunas imágenes resultantes de aplicar el algoritmo anterior. En las imágenes originales se muestran las subáreas rectangulares elegidas para cambiar el tono del objeto deseado.

En la Fig. 5 hemos elegido una región que se distingue por el centro de la imagen, con una zona con más brillo que otra; los tonos mínimo y máximo respectivamente son 11° y 25°. En la Fig. 6 hemos elegido el cian que corresponde a H=180° para asignar una nueva tonalidad al edificio del ayuntamiento. Obsérvese que en el piso hay manchones con esta nueva tonalidad, por la razón de que en la imagen original el piso tiene zonas con tonalidades entre el tono mínimo y el tono máximo.

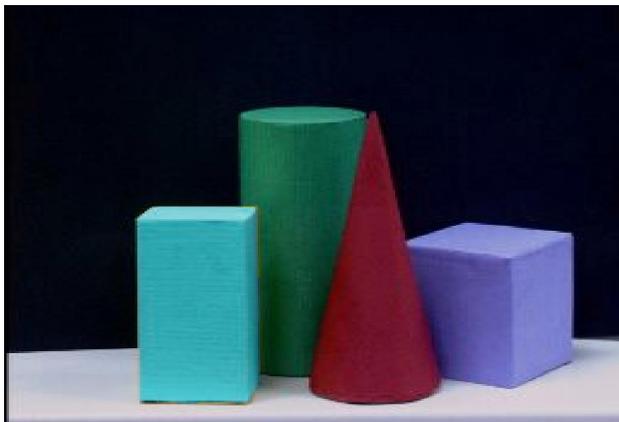


FIGURA 8. Imagen de salida. Resultado de aplicar el algoritmo de asignación de tonalidad, el tono sustituto es 184° .



FIGURA 9. Imagen original. Se han elegido como objetos a transformar su tonalidad, el cielo y el edificio. En las regiones rectangulares de los objetos se tienen que el tono máximo y máximo de la región del edificio es 22° y 34° ; tono mínimo y máximo para la región del cielo es 211° y 216° , respectivamente.



FIGURA 10. Imagen de salida. El nuevo tono que se le asigno al edificio es 303° , y para el cielo 349° .



FIGURA 11. Imagen original. En esta imagen al tigre se le modificará sus tonalidades, y sobre el área rectangular seleccionada tenemos un tono mínimo de 0° , y un tono máximo de 36° .



FIGURA 12. Imagen resultante de la asignación de falso color. Al tigre se le ha puesto una nueva tonalidad con un valor de 320° .

El segundo resultado es el realizado sobre la imagen de figuras geométricas (Fig. 7). En esta, hemos seleccionado al cilindro rectangular para designarle un falso color; sobre el área remarcada con el color rojo se ha encontrado que los tonos mínimo y máximo de manera respectiva son 42° y 56° . El valor nuevo del tono que se ha elegido es 184° ; después de realizar las operaciones indicadas en el algoritmo tenemos nuestra nueva imagen (Fig. 8).

En la Fig. 9 se tiene la imagen del edificio del INAOE, aquí se tomaron dos sub-áreas de imagen; una del cielo (esquina superior derecho), y otra del edificio (planta baja del edificio). Tono mínimo y tono máximo del primero es 211° y 216° ; del segundo, 22° y 34° . Después de procesar la imagen

se consigue la Fig. 10, con $H=349^\circ$ para el cielo y $H=303^\circ$ para el edificio.

Finalmente, tenemos la imagen de un tigre (Fig. 11) y los tonos de referencia hallados son: tono mínimo, 0° ; tono máximo, 36° . La imagen resultante es la Fig. 12 con tono nuevo igual a 320° .

8. Conclusiones

Se ha asignado un falso color a los objetos que están dentro de una imagen digital, por medio del uso de los espacios de color RGB y HSI. Esto se ha logrado transformando la tonalidad de los objetos en consideración, manteniendo la saturación e intensidad en la imagen. De manera general, el procedimiento consiste en seleccionar una subimagen del objeto deseado, a la cual se le obtienen los valores del tono y se mantienen fijos los valores de saturación e intensidad. Posteriormente, se

elige un tono que sustituye a los valores anteriores de tono. Por último, se realiza la transformación inversa sobre toda la imagen para obtener los valores de RGB y poder visualizarla.

Este trabajo se puede aplicar en aquellas áreas en donde se requiera ver coloreado un objeto en diferentes tonalidades sin necesidad de colorear directamente al objeto, pues esto podría ser costoso en tiempo y dinero. Por ejemplo en tiendas de pinturas residenciales y comerciales, fabricantes de autos, en el cine, televisión, etc.

Para una buena comprensión, se ha dado a detalle cada definición necesaria, como procesamiento digital de imágenes, asignación de falso color, sistema aditivo de la reproducción del color, espacio de color, espacios de color RGB y HSI; así como el método para llegar a las ecuaciones de conversión del sistema RGB al sistema HSI y a la inversa; y el método para la asignación de falso color a los objetos en las imágenes digitales.

-
1. R.C. Gonzáles y R.E. Woods, *Tratamiento digital de imágenes* (ADDISON-WESLEY, USA, 1996) p. 241.
 2. G.A. Agoston, *Color Theory and Its Application in Art and De-*

sign, **19** (Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Germany, 1979) pp. 9 y 44.

3. C. Wexler, *GEOMETRÍA ANALÍTICA Un enfoque vectorial* (MONTANER Y SIMON, S. A., Barcelona, 1968) p. 49.