

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Implementación del Algoritmo de Corrección de Color en
Imágenes Digitales usando Ecuación basado en el
Método Gray World y White Patch
Propuesta tecnológica.**

Juan Sebastián Romero Coronel

Ingeniería Electrónica

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Electrónico

Quito, 08 de abril de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO POLITECNICO

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Implementación del algoritmo de corrección de color en imágenes digitales
usando ecualización basado en el Método Gray World y White Patch**

Juan Sebastián Romero Coronel

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Luis Miguel Procel , Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 08 de abril de 2016

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Juan Sebastián Romero Coronel

Código: 00107417

Cédula de Identidad: 1717641458

Lugar y fecha: Quito, abril de 2016

RESUMEN

Este trabajo presenta la implementación de un algoritmo para realzar el color de una imagen, considerando efectos globales, locales e incluyendo la distribución espacial de color. El algoritmo ejecuta el realce de color de una manera automática ecualizando los colores y mejorando la imagen. El algoritmo recibe el nombre de ACE (ecualización automática de color). El algoritmo implementado está basado en el sistema visual humano y al mismo tiempo fusiona los métodos de ecualización “Parche Blanco” y “Mundo Gris”. ACE es un algoritmo adaptativo que puede manejar diferentes niveles de luminosidad al momento de ecualizar la imagen. El algoritmo ha mostrado resultados muy buenos manteniendo la constancia de color y luminosidad mientras ecualiza el color y mejora la imagen. El trabajo presenta la perspectiva matemática, características y resultados del algoritmo. Los resultados muestran una imagen con mayor contraste. La imagen resultante es visualmente mejor y contiene un mayor número de detalles. Concluyendo que ACE maximiza la información contenida en la imagen.

Palabras clave: ACE, histograma, ecualización, luminosidad, probabilidad de densidad uniforme, constancia de color, constancia de luminosidad.

ABSTRACT

This paper presents the implementation of an algorithm to improve the color of an image considering global and local effects, including the spatial distribution of color. The algorithm performs the color enhancement automatically equalizing the colors and improving the image. The algorithm is called ACE (automatic color equalization). The implemented algorithm is based on the human visual system and at the same time uses the equalization methods "White Patch" and "Gray World". ACE is an adaptive algorithm that can handle different levels of brightness when the image is equalized. The algorithm has shown very good results maintaining color and brightness constancy, while equalizing and improving the image. The paper presents the mathematical perspective, the characteristics and results of the algorithm. The results show an image with higher contrast. The resulting image is visually better and contains a higher number of details. Concluding ACE maximizes the information contained in the image.

Key words: ACE, histogram, equalization, luminosity, uniform density probability, color constancy, luminosity constant

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	9
Realce de imágenes.....	10
Histogramas.....	10
Realce de Color.....	11
White Patch and Gray World (Parche Blanco y Mundo Gris).....	13
Oros métodos: Retinex y RACE.....	14
Desarrollo del Tema.....	16
Perspectiva matemática e implementación.....	16
Características y Resultados del Filtro.....	22
Conclusiones.....	30
Referencias bibliográficas.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Funciones Distancia	18
------------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de Histograma	12
Figura 2: Estructura Básica del Algoritmo	16
Figura 3: Tipos de Funciones de Distancia	19
Figura 4: Tipos de Funciones de Distancia	19
Figura 5: Tipos de Funciones de balance en el Contraste	20
Figura 6: Imagen de prueba No.1	24
Figura 7: Histograma de luminancia de la imagen de prueba No.1	24
Figura 8: Histograma RGB de la imagen de prueba No.1.....	25
Figura 9: Imagen de prueba No.1 después del filtro	25
Figura 10: Histograma de luminancia de la imagen de prueba No.1 después del filtro.....	26
Figura 11: Histograma RGB de la imagen de prueba No.1 después del filtro.....	26
Figura 12: Imagen de prueba No.2.....	27
Figura 13: Histograma de luminancia de la imagen de prueba No.2	27
Figura 14: Histograma RGB de la imagen de prueba No.2.....	28
Figura 15: Imagen de prueba No.2 después del filtro	28
Figura 16: Histograma de luminancia de la imagen de prueba No.2 después del filtro.....	29
Figura 17: Histograma RGB de la imagen de prueba No.2 después del filtro.....	29

INTRODUCCIÓN

El sistema visual humano (SVH) tiene la capacidad de percibir una imagen a pesar de las variaciones en la intensidad de luz existente, siempre y cuando dichas variaciones sean pequeñas. Al concepto previamente mencionado se lo llama constancia de color (Wyszecki & Stiles, 1967) (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). A pesar de dicha cualidad, la percepción de objetos del SVH tiene una gran dependencia en la composición cromática y espacial. (Devalois & Devalois, 1991). La apariencia de una imagen no puede ser solo entendida de una manera global, debe ser comprendida de manera global y local.

El objetivo de este trabajo es implementar un algoritmo que permita el realce de color en una imagen digital. Por consiguiente el algoritmo implementado deberá maximizar la información contenida en la imagen así como su dinámica. Se espera que dicho algoritmo imite ciertas cualidades del SVH, por ejemplo la constancia de color y luminosidad. Sin embargo no se trata de imitar toda la complejidad del sistema visual humano. El algoritmo implementado recibe el nombre de Ecuación Automática de Color (ACE del inglés, Automatic Color Equalization) ya que para realzar el color en una imagen se debe ecualizar la misma. (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). Para concretar este objetivo se debe conocer los conceptos de realce de imágenes, histogramas en imágenes y la manipulación de los mismos (ecualización) los cuales se detallarán más adelante en este trabajo.

El algoritmo tiene una gran importancia debido a que tiene la capacidad de maximizar la información contenida en una imagen. ACE va a permitir observar información en una foto la cual que antes del filtro era desconocida permitiendo que los usuarios del filtro hagan conclusiones acertadas que sin el filtro hubiesen equivocadas o indeterminables. El algoritmo una vez implementado es sencillo de ejecutarlo para cualquier imagen maximizando los detalles de la misma.

Un método que trate de emular al SVH debe imitar al menos tres de sus características. La primera es la naturaleza diferencial de la percepción del color, lo cual significa que la percepción de la imagen proviene de la comparación de áreas locales en la imagen. La segunda similitud con el SVH es la naturaleza variante espacial en la percepción del color, lo que significa que el sistema visual es influenciado por contexto local y global. Y finalmente se debe tener en cuenta la no linealidad (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008).

Realce de imágenes

El concepto de mejora (realce) de la imagen abarca gran cantidad de técnicas que tienen como objetivo mejorar la apariencia visual de la imagen (Pratt, 2007). De igual manera cuando la calidad de la imagen incrementa con propósitos de análisis se considera un realce de la imagen (Pratt, 2007). El análisis anteriormente mencionado puede ser realizado por un ser humano o por una máquina (una computadora). En el abanico de técnicas para mejorar una imagen se encuentra que las más comunes son la limpieza de ruido (denoising), agudizar los bordes (edge-enhancement), remover desenfoque (blurring-enhancement), ecualización de color (ACE), entre otras técnicas. Teniendo en mente que existen varios métodos para mejorar una imagen, se debe conocer que en la actualidad no existe una teoría general o única que unifique el mejoramiento o realce de una imagen (Pratt, 2007). Se debe principalmente a que es difícil concebir un estándar de calidad de imagen que permita definir un criterio en lo que respecta a mejoramiento de imágenes (Pratt, 2007). Si bien existen todas las técnicas anteriormente mencionadas en el realce de la imagen, este trabajo se centra únicamente en la implementación de la ecualización de color.

Histogramas

Un Histograma es una aproximación de la función de densidad de probabilidad (Montgomery & Runger, 2003). En cada intervalo del histograma el área de las barras

representa la frecuencia relativa (Montgomery & Runger, 2003). De igual manera este concepto aplica cuando se habla de imágenes. La función de probabilidad de primer orden $p(F, x, y, t)$ en una imagen se aproxima mediante un histograma en una imagen (Pratt, 2007). Para una mejor comprensión de la imagen se usa el histograma espacial el cual se representa con la notación Hs . Por consiguiente $Hs(j)$ representará el número de píxeles que poseen un nivel de intensidad j que se encuentre entre $0 < j < 255$ (Pratt, 2007). Este caso se da cuando la imagen está cuantizada a 8 bits lo que significa que los valores de intensidad pueden ir desde 0 (negro) hasta 255 (blanco). El valor máximo de intensidad se lo halla mediante la ecuación $I_{max} = 2^n - 1$ donde I_{max} es el valor máximo de intensidad y n representa el número de bits a los cuales está cuantizada la imagen. Un claro ejemplo del uso de un histograma en una imagen se observa en la

Imagen



Histograma

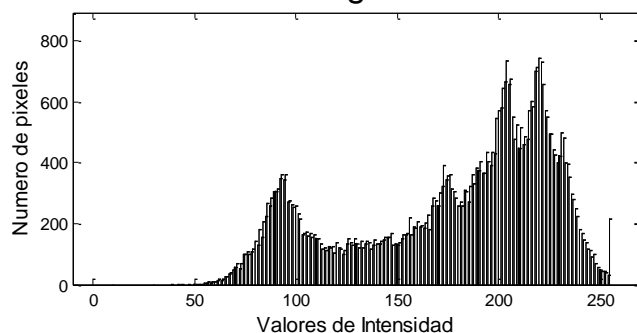


Figura 1. En dicha figura, en el eje de las ordenadas se observa los posibles valores de intensidad que cada pixel puede tomar. De manera similar en el eje de las abscisas se observa cuantos pixeles poseen un determinado valor de intensidad.

Cuando se realiza el histograma de la luminosidad de una imagen generalmente se encuentra que la mayoría de pixeles tienen valores por debajo del promedio. En imágenes de este tipo los detalles que se encuentran en las regiones oscuras son difíciles de apreciar. (Pratt, 2007). La técnica de mejora de una imagen llamada manipulación del histograma trata de cambiar el histograma de la imagen original y forzarlo a seguir una distribución determinada. Si se trata que el histograma siga una función de probabilidad uniforme se dice que se ecualiza el histograma (Pratt, 2007).

Realce de Color

Ecualizar una imagen a color es más delicado que ecualizar una imagen monocromática. Se debe evitar un enfoque inocente cuando se manipulan las imágenes. (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). Sin embargo los conceptos de ecualización del histograma pueden ser usados para ecualizar una imagen a color. Una imagen a color está compuesta de 3 matrices, comúnmente una matriz que contiene la información del color rojo, una matriz para el color azul, y una última matriz para el color verde (RGB) (Pratt, 2007). Generalmente cuando se procesa una imagen se procesa individualmente cada una de las matrices RGB sin embargo en el método ACE no se puede mantener la misma idea (Rizzi, Gatta, & Marini, 2003).

Imagen



Histograma

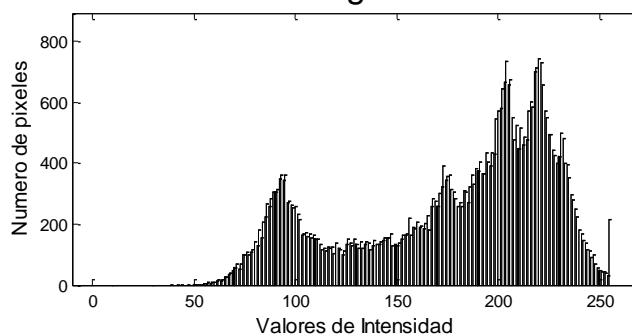


Figura 1: Ejemplo de Histograma

Cuando se usa el método de realce ACE se debe realizar una transformación en los espacios de estado de color. En otras palabras se realiza una transformación a tres matrices que contienen la misma información con otra estructura (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). La transformación más usual es de RGB a un espacio de estado de tipo HSV donde las matrices contienen la información de Matiz (hue), Saturación (Saturation) y Valor de luminosidad (luminance). De manera análoga se puede usar un espacio de color de tipo Luminosidad-crominancia donde se encuentra que la información de la imagen se contiene en una matriz de luminancia y dos de crominancia. En el algoritmo desarrollado estas transformaciones presentan algunas ventajas, la más importante es que el algoritmo de ecualización puede ser solo usado en la matriz de luminancia de manera que no se afecte la constancia de color. Las matrices de entrada pertenecientes a la imagen serán representadas

como $I_R(i)$, $I_G(i)$, $I_B(i)$, mientras que el triplete de salida será representado como $O_R(i)$, $O_G(i)$, $O_B(i)$. Teniendo en consideración la transformación de espacio de color anteriormente mencionada la única matriz que se manipula es la matriz luminancia representada como $L(i)$.

White Patch and Gray World (Parche Blanco y Mundo Gris)

En la mayoría de los casos el sistema visual humano normaliza los valores de intensidad percibida en sus canales fisiológicos. Dicha normalización es una característica intrínseca del sistema humano la cual se tratará de emular. El sistema humano hace la normalización con respecto a una referencia, la cual es un blanco hipotético, a este proceso se lo llama mecanismo de “Parche Blanco” (“White Patch”). La normalización permite maximizar los valores con respecto al valor del blanco hipotético (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). El valor de blanco hipotético es el valor máximo de luminosidad en la imagen percibida. (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). El mecanismo mantiene la constancia de color. La suposición de “White Patch” (“Parche blanco”), indica que al menos existe un pixel o “parche de pixeles” blancos en la imagen. (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). En fotografía este proceso se realiza abriendo el obturador de la cámara (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007).

La suposición del “Mundo Gris” (“Gray World”) explica que al momento en que se realiza el cálculo de la media, de la intensidad de los pixeles de toda la imagen, el valor resultante es un valor gris (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). Cuando la imagen está cuantizada a 8 bits el valor de dicho pixel corresponde al valor 128. Por otro lado el mecanismo de mundo gris elimina una dominancia cromática perteneciente a uno de los canales RGB (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). El mecanismo indicado (mundo gris) es parte importante en la habilidad de adaptarse por parte del algoritmo (ACE). Sin embargo si

se usa por si solo el mecanismo de mundo gris puede fallar manteniendo la constancia de color. (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008)

Otros métodos: Retinex y RACE

En esta sección se detalla otros métodos parecidos a ACE, sin embargo el resto del trabajo se centra única y exclusivamente en ACE. Se trata de que conocer otros métodos de manera que se tenga un conocimiento general en realce de imágenes más completo. El Algoritmo de Retinex fue desarrollado por Land y McCann en el año de 1971 y fue uno de los primeros trabajos en el tema de mejoramiento de imágenes (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). El algoritmo Retinex se basa en caminos o rutas establecidas en la imagen de manera que se realiza un escaneo del contenido espacial. Mediante el uso de estos caminos se realiza un cálculo no lineal y diferencial llamado “Tasa de reseteo” con la cual se mejora la imagen (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). Debido a que este trabajo se centra en ACE no se detalla la implementación de Retinex. Sin embargo se debe recordar que el algoritmo comprende una linearización en la cual se ajusta los valores de la imagen filtrada al intervalo de luminosidad comprendido por la imagen global (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008) (Ferradans, Bertalmío, Provenzi, & Caselles, 2011).

Por otro lado se tiene el algoritmo de RACE, dicho algoritmo es la combinación entre el algoritmo Retinex y el algoritmo ACE. El objetivo de usar lo mejor de ambos métodos. Si bien su desempeño es ligeramente mejor que ACE se debe tener en cuenta que también su costo computacional es más alto (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). Se recuerda que el costo computacional de un algoritmo está muy relacionado con el tiempo que le toma al algoritmo en completarse (Pratt, 2007). Se debe realizar un compromiso entre el costo computacional y la eficiencia del algoritmo. Mientras más grande sea la imagen filtrada el algoritmo tardará un tiempo mayor comparado con el tiempo requerido para una imagen

pequeña. Este fenómeno se observa en todos los algoritmos mencionados. El algoritmo RACE usa el “White Patch” y “Gray World” de manera simultánea tanto de manera local como global maximizando la información contenida en la imagen de manera muy similar a ACE sin embargo con el aporte de Retinex mejora la constancia de color (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008).

DESARROLLO DEL TEMA

Perspectiva matemática e implementación

ACE es un algoritmo adaptativo que trata de emular el sistema visual humano. Para emular el sistema visual humano se debe considerar principalmente dos mecanismos del mismo. Estos mecanismos son inhibición lateral y contraste local-global (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). Usando estos mecanismos ACE va a mantener en su estructura una alta semejanza con el sistema visual humano. Adicionalmente, los efectos locales y globales provienen de las múltiples operaciones relacionadas al número de píxeles. El filtro sigue la estructura que se detalla en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 2 (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). En dicha figura se observa que el algoritmo se divide esencialmente en dos partes las cuales serán detalladas en las subsiguientes secciones. Se observa que al algoritmo ingresa la imagen original una vez realizada el ajuste cromático y espacial se recupera una imagen R_C la cual no puede ser observada ya que contiene valores de intensidades negativos y positivos por lo cual se realiza el escalamiento dinámico donde la imagen resultante contiene únicamente valores de intensidad positivos y es observable de nuevo (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007).

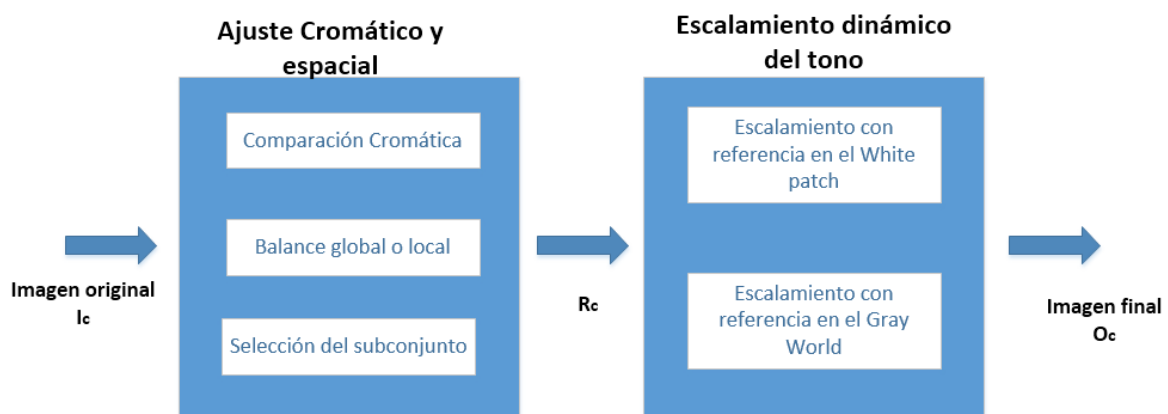


Figura 2: Estructura Básica del Algoritmo

AJUSTE CROMÁTICO Y ESPACIAL

La primera etapa del algoritmo comprende el ajuste cromático y espacial. Para realizar este proceso cada valor de intensidad de cada pixel debe ser recalculado. El cálculo de los nuevos valores de intensidad se lo realiza siguiendo la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). El resultado se lo denomina R_C , dicho resultado es una matriz la cual cada elemento tiene una correspondencia directa a cada elemento de la matriz de la imagen original (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). En la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa cómo se relacionan las matrices R_C e I_C . Donde p y j representan coordenadas en \mathbb{R}^2 de cada pixel. La diferencia entre p y j es que p representa las coordenadas del pixel recalculado y j representa las coordenadas de los pixeles usados en el recalcu del pixel de coordenadas p . N_1 y N_2 representan las dimensiones del subconjunto usado en el recalcu del pixel de coordenadas p , donde $p(m, n) \in [N_1; N_2]$. Se encuentra que r_{max} representa el valor máximo que puede tomar la función $r(\cdot)$ y S representa el subconjunto seleccionado.

$$R_C(p) = \frac{\sum_{j \in S, j \neq p} \frac{r(I_C(p) - I_C(j))}{d(p, j)}}{\sum_{j \in S, j \neq p} \frac{r_{max}}{d(p, j)}} \quad (1)$$

El subconjunto S de dimensiones $[N_1; N_2]$ son los pixeles que son usados en el recalcu de la intensidad para un pixel de coordenadas p , este subconjunto tiene un gran impacto en dos aspectos. El subconjunto modifica el costo computacional ya que mientras más grande sea el subconjunto mayor será el costo computacional y por ende mayor el tiempo que le toma al algoritmo en ejecutarse. El segundo aspecto donde el subconjunto afecta es en la precisión de la imagen resultante. Mientras mayor sea el subconjunto mejor es la imagen

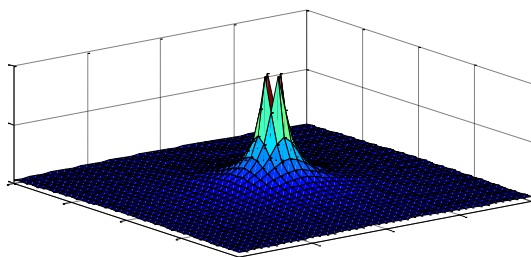
resultante y la información contenida es mayor. De forma que en la selección del subconjunto debe existir un compromiso entre el tiempo que le toma al algoritmo y la precisión deseada. En este trabajo se probó con un subconjunto relativamente grande y con toda la imagen, el mejor resultado se obtuvo cuando el subconjunto era igual a toda la imagen, a pesar del costo computacional significativo.

Las funciones $r(\cdot)$ y $d(\cdot)$ son muy importantes. La función $d(\cdot)$ es la función de distancia la cual permite discriminar cuales pixeles influyen más y cuales menos en el cálculo del nuevo valor de intensidad para un pixel dado (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). Se encuentra que existen varios tipos de funciones de distancia que son útiles para ACE, estas son: Euclidiana, Manhattan, exponencial inversa y máximo (Bertalmio, Provenzi, & Rizzi, 2007). Las ecuaciones para las diferentes funciones distancia se detallan en la Tabla 1 donde d representa la distancia, dx y dy representan la diferencia de las coordenadas de los pixeles de p y j , se recuerda que tanto p como j pertenecen a \mathbb{R}^2 y Ed es la distancia euclidiana. En la Figura 3 y Figura 4 se observa las diferentes funciones graficadas en tres dimensiones. En este trabajo se realizó la prueba de todas las funciones y la distancia Ed y $\frac{1}{Ed}$ ofrecen los mejores resultados.

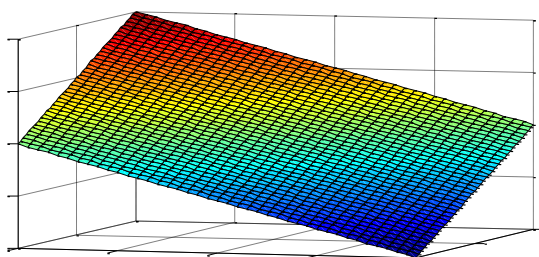
Tabla 1: Funciones Distancia

Euclidiana	Manhattan	Exponencial Inversa	Máximo
$d = \sqrt{dx + dy}$	$d = dx + dy$	$d = \frac{1}{e^{-\alpha Ed}}$	$d = \max(dx, dy)$

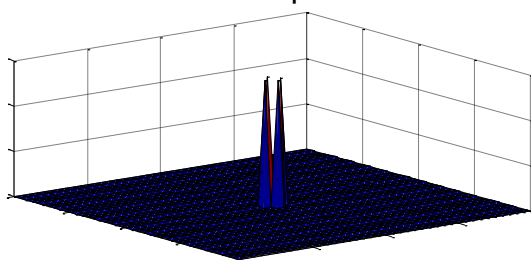
Distancia Euclídeana



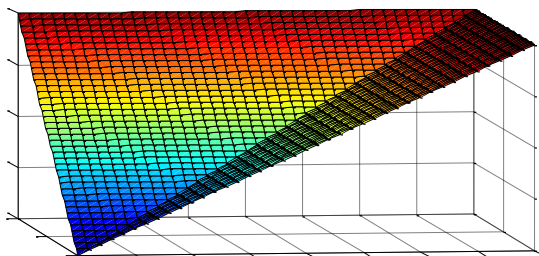
Distancia Manhattan

*Figura 3: Tipos de Funciones de Distancia*

Distancia Exponencial



Distancia Máxima

*Figura 4: Tipos de Funciones de Distancia*

En la Figura 3 y en la Figura 4 se observa las diferentes funciones distancias en un espacio tridimensional. La función $r(\cdot)$ contiene la diferencia entre el valor del pixel recalculado y los demás pixeles pertenecientes al subconjunto, es decir $I_C(p) - I_C(j)$ (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). Dicha diferencia es el mecanismo de inhibición lateral, mencionado con anterioridad. La función $r(\cdot)$ se llama función de balance de contraste y permitirá modificar los valores de intensidad de un pixel en relación a los demás pixeles. (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). Es posible ocupar varias funciones de balance, entre ellas la función de una línea recta, la función de una línea que satura en ciertos valores (función saturación) y una función escalón (Heaviside) (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007).

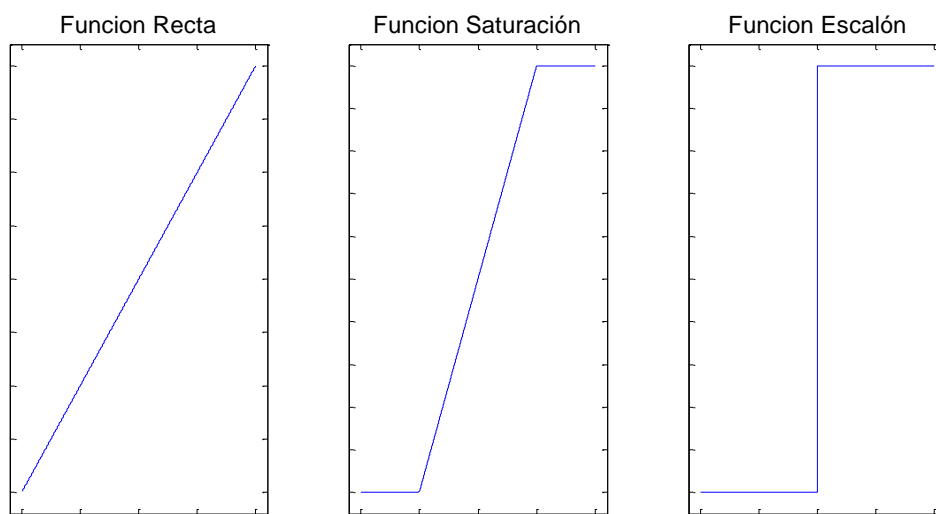


Figura 5: Tipos de Funciones de balance en el Contraste

Adicionalmente es de vital importancia que la función sea par, esto ayudará a implementar la característica del mundo gris. La función de balance de contraste también contribuye en el efecto de parche blanco, dicha contribución se realiza cuando la función es no lineal (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). Debido al motivo ya mencionado, la segunda y tercera funciones propuestas (Saturación y Escalón) tienen ventaja sobre la primera (línea recta). En la Figura 5 se observa las diferentes funciones. Considerando la idea anterior

en las dos primeras funciones se debe tener muy en cuenta la pendiente de la recta, en la tercera función (escalón) la pendiente es infinita. En este trabajo se encontró que la mejor función es la función escalón sin embargo la función de saturación se le aproxima bastante bien y minimiza el costo computacional cuando la pendiente es alta (mayor a 20). La pendiente será un parámetro en el balance de contraste ya que mientras mayor sea la pendiente mejor será mejora de la imagen.

ESCALAMIENTO DINÁMICO DEL TONO

La segunda etapa del filtro recibe la matriz R_C esta matriz tiene los valores recalculados de I_C , sin embargo no están en el rango correcto ya que contienen valores fuera del rango en los cuales la imagen está cuantizada. Por ejemplo si la imagen esta cuantizada a 8 bits el rango máximo del valor de intensidad de los pixeles es [0,255] pero R_C contiene valores fuera de ese rango por lo que se debe hacer un escalamiento de manera obligatoria. Existen dos tipos de escalamiento, un escalamiento lineal y un escalamiento haciendo uso del Parche Blanco y del Mundo Gris (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). En este trabajo se usa únicamente el segundo método debido a sus superiores resultados en contraste con el primer método. El método de Mundo Gris y Parche Blanco permite incluir valores de referencia al momento de escalar, mientras que un escalamiento lineal no lo permite (Bertalmio, Provenci, & Rizzi, 2007). El escalamiento lineal es el método más sencillo. En este método la idea es reasignar los valores de la matriz R_C al rango correcto usando la relación de una línea recta mediante la ecuación (2) donde S_C es la pendiente y se la calcula como $S_C = \frac{255-0}{M_C-m_C}$, $M_C = \max(R_C)$ y $m_C = \min(R_C)$

$$O_c(p) = S_c(R_c(p) - m_c) \quad (2)$$

El escalamiento usando el parche blanco y mundo gris se lo realiza usando la ecuación (3) (Provenzi, Gatta, Fierro, & Rizzi, 2008). En la cual se observa un valor constante el cual es la luminosidad media que se usa permitiendo mantener una constancia en la luminosidad cercana a la media. El ya mencionado mecanismo va a escalar la imagen en el rango $[0,1]$, si es el caso de cuantización a 8 bits y se necesita un re-escalamiento al rango $[0,255]$ multiplicar toda la matriz por 255 resulta en una matriz dentro del rango deseado.

$$O_c(p) = \frac{1}{2} + \frac{R_c(p)}{2M_c} \quad (3)$$

Características y Resultados del Filtro

En esta sección se presenta las principales características del filtro así como su desempeño. ACE es capaz de mantener la constancia de luminosidad gracias al uso de mecanismo de Mundo Gris. El ya ampliamente mencionado mecanismo permite que la luminosidad sea reducida en las áreas donde es muy elevada e incrementa la luminosidad en las áreas donde es baja, probando su superioridad con otros métodos de mejora de imágenes que solo pueden elevar la luminosidad y no reducirla. En la Figura 6 se observa la imagen de prueba que se usa en el filtro, en la Figura 7 y en la Figura 8 se observa el histograma de luminancia y el histograma de cada canal de los colores rojo, verde y azul (RGB) de la imagen de la Figura 1. En la Figura 9 se observa la imagen resultante del filtro.

Visualmente se puede comparar la mejora de la imagen y la existencia de mayor número de detalles con respecto a la Figura 6. Donde mayoritariamente se incrementan los detalles se encuentran principalmente en las zonas oscuras de la imagen (zonas correspondientes a la parte baja del histograma), sin embargo el algoritmo tiene la capacidad

de reducir la luminosidad si esta es muy elevada (zonas correspondientes a la parte alta del histograma). Comparando la Figura 7 y la Figura 10 se puede observar la mejora en la matriz de luminancia, ya que la matriz resultante está mejor distribuida a través de los valores posible ($[0,255]$) generando una función de distribución de probabilidad la cual tiende a una función uniforme. Cuando se compara la imagen de la Figura 8 con respecto a la Figura 11 se observa la ecualización en cada uno de los respectivos canales de color, es decir en cada canal RGB respectivamente.

Se probó el algoritmo con una imagen oscura la cual se observa en la Figura 12, se llega a la conclusión que es oscura ya que en el histograma de la Figura 13 se observa que todos los pixeles de la imagen corresponden a la parte baja del histograma. En la imagen de la Figura 14 se observa que los canales RGB también poseen valores de intensidad bajos por lo que la imagen es oscura. Luego de aplicar el filtro se observa que se maximiza la información contenida y la imagen resultante se encuentra en la Figura 15. En la Figura 16 se observa que la función de densidad de probabilidad de los pixeles está distribuida tendiendo a una función uniforme por lo cual la imagen ya no es oscura sin embargo tampoco es brillante. En la Figura 17 se encuentra que los canales RGB también han sido ecualizados y cada canal no es oscuro ya que los valores de los pixeles están distribuidos en todo el rango posible.

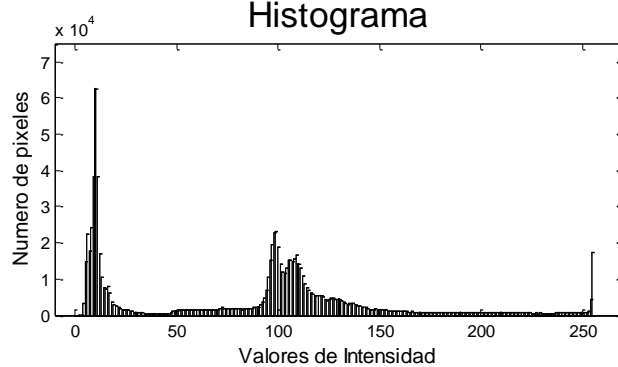
Imagen Original

*Figura 6: Imagen de prueba No.1*

Luminancia Original



Histograma

*Figura 7: Histograma de luminancia de la imagen de prueba No.1*

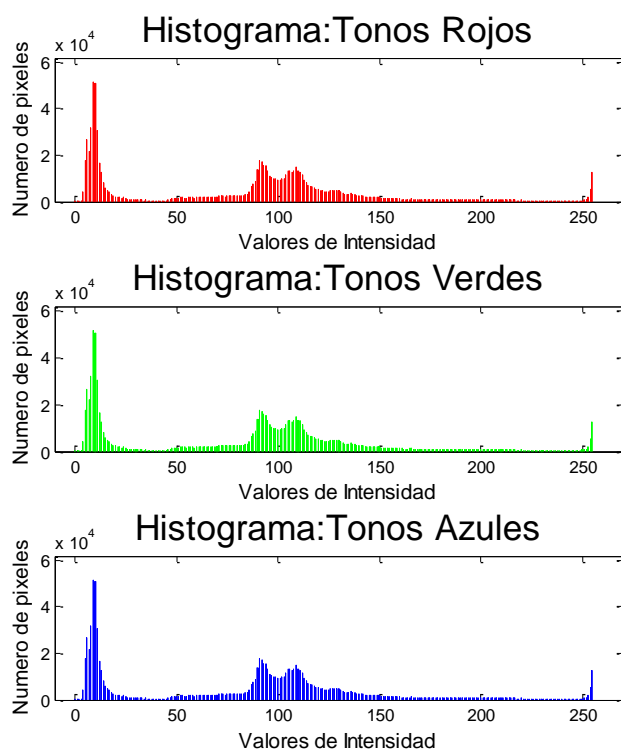


Figura 8: Histograma RGB de la imagen de prueba No.1

Imagen con filtro ACE

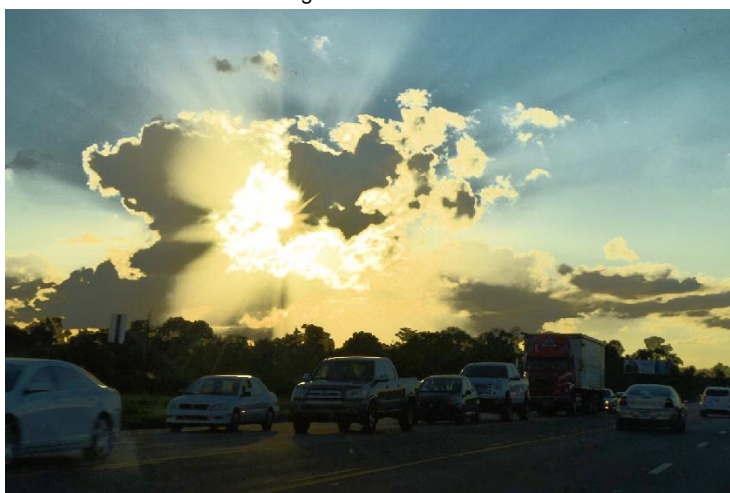


Figura 9: Imagen de prueba No.1 después del filtro

Luminancia Ecuilizada



Histograma

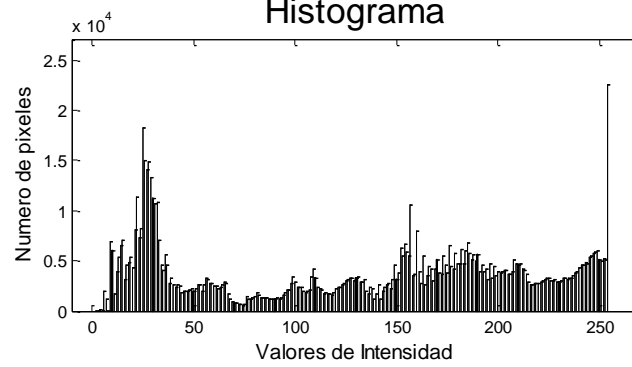


Figura 10: Histograma de luminancia de la imagen de prueba No.1 después del filtro

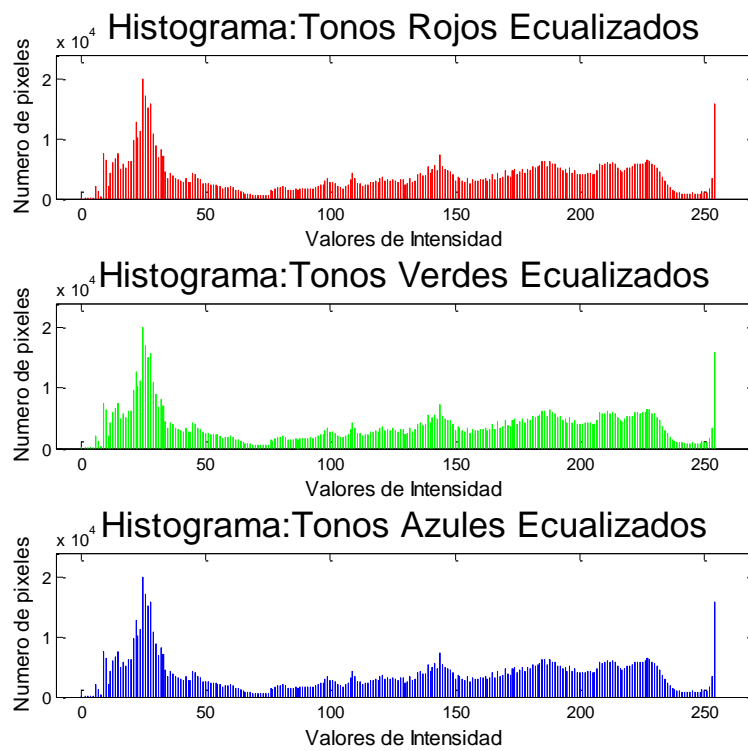


Figura 11: Histograma RGB de la imagen de prueba No.1 después del filtro

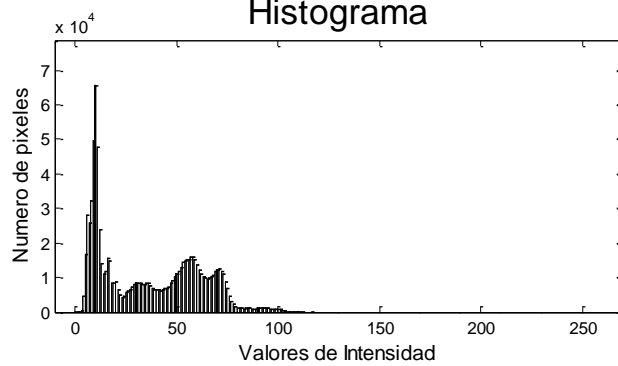
Imagen Original

*Figura 12: Imagen de prueba No.2*

Luminancia Original



Histograma

*Figura 13: Histograma de luminancia de la imagen de prueba No.2*

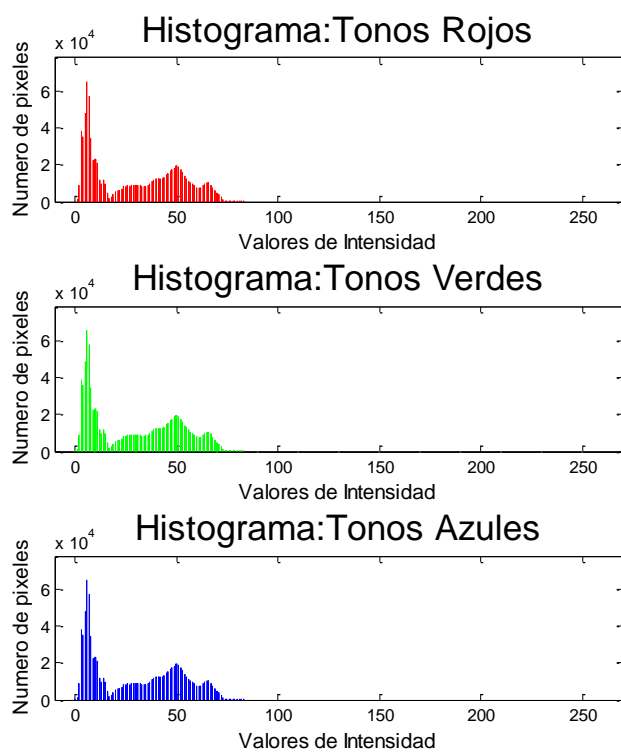


Figura 14: Histograma RGB de la imagen de prueba No.2

Imagen con filtro ACE

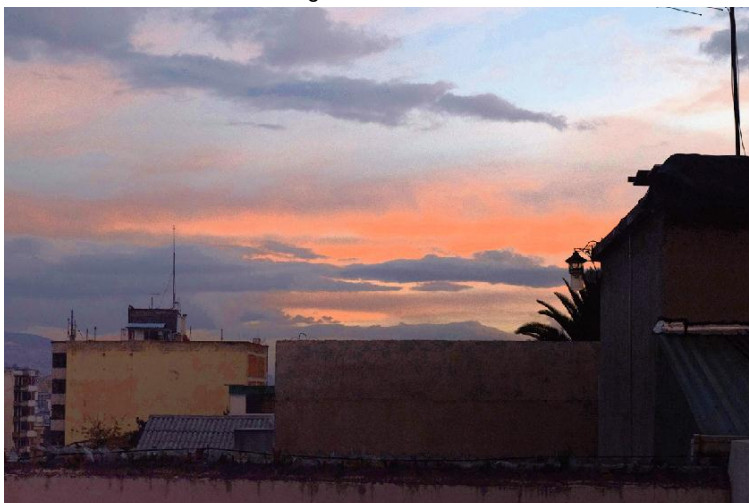


Figura 15: Imagen de prueba No.2 después del filtro

Luminancia Ecuilizada



Histograma

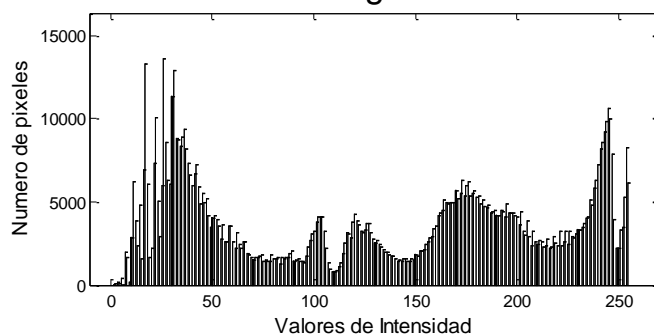


Figura 16: Histograma de luminancia de la imagen de prueba No.2 después del filtro

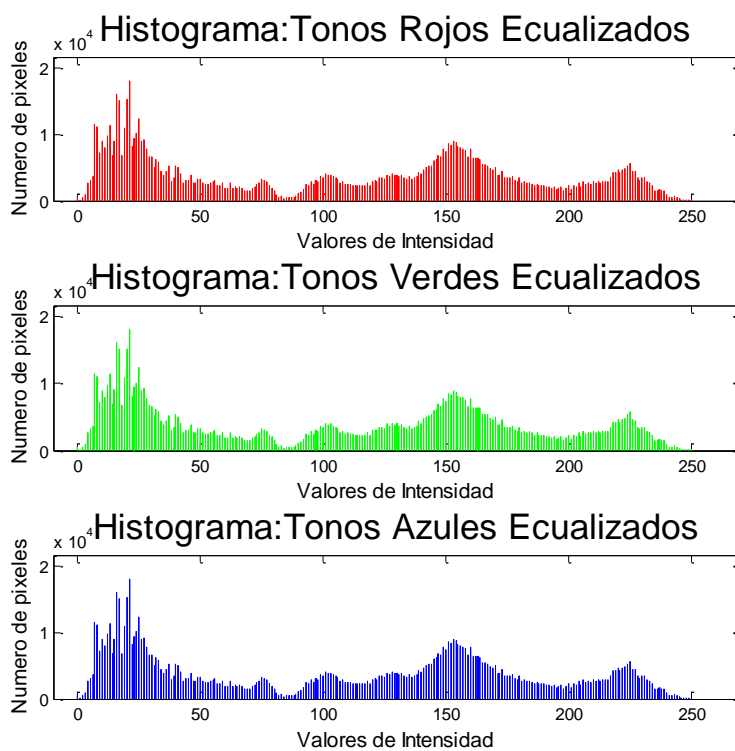


Figura 17: Histograma RGB de la imagen de prueba No.2 después del filtro

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha investigado la corrección de color en una imagen digital haciendo uso de técnicas que incluyen el comportamiento global y local de la imagen. ACE ha probado ser un método robusto que no solamente incrementa la luminosidad cuando debe sino también la reduce de ser necesario. En este trabajo se centra la atención en la implementación de ACE mediante los métodos de “Mundo Gris” y “Parche Blanco”. Se encontró que cuando se usa la imagen completa como subconjunto en la Ecuación (1) el costo computacional corresponde a $\mathcal{O}(N^2)$ donde N es el número total de píxeles existentes en la imagen lo cual significa un costo computacional muy elevado. Se encontró que existen varias funciones al momento de calcular la distancia entre los píxeles, de las cuales la distancia euclidiana demostró ser la mejor. De igual manera se encontró que la función de balance de contraste puede ser una línea recta, una función de saturación o una función tipo escalón. Después de probar las funciones se llegó a la conclusión que la función escalón es la mejor, sin embargo se puede hacer una aproximación bastante buena usando la función saturación. Para realizar dicha aproximación la pendiente debe ser un valor alto, preferentemente mayor a 20.

Las principales dificultades fueron encontradas al momento de implementar la ecuación (1) debido a que requería recalcular las intensidades de los píxeles y requería el uso de 4 lazos anidados. Por otro lado la ecuación (3) fue fácilmente implementada una vez que se calcula la matriz R_C . La linearización es de vital importancia y sin ella todo el algoritmo falla sin embargo su implementación no representa un gran problema. La importancia del trabajo es evidente, es la capacidad de maximizar información e inclusive mostrarla donde antes no se podía apreciar. Dicho efecto es más notorio cuando la imagen posee zonas muy oscuras o muy iluminadas de manera que la información antes invisible en la imagen se vuelve fácil de observar. De igual manera el algoritmo maximiza detalles que si bien si eran

visibles luego de aplicar el filtro son mucho más sencillos de ver a simple vista. Es un filtro pesado pero el mismo vale la pena ser aplicado cuando la imagen lo necesita.

Se concluye que el algoritmo implementado cumple los objetivos propuestos, sin embargo se piensa que se puede hacer un estudio futuro con respecto a implementar el filtro haciendo uso de funcionales de energía para resolver las ecuaciones parciales de manera que se obtenga otra forma de implementar ACE. De igual manera se piensa que se puede mejorar el algoritmo haciendo uso de una mejor función de balance de contraste, se podría hacer el estudio de cómo implementar la función de contraste como la resta de dos funciones saturación las cuales posean pendientes diferentes. Inclusive se podría implementar la función distancia con una función que cumpla el compromiso entre el costo computacional y el mejor resultado. Finalmente se concluye que el Algoritmo desarrollado maximiza la información contenida en la imagen entregando como resultado una imagen visualmente mejor que posee mayor número de detalles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertalmio, M., Caselles, V., Provenzi, E., & Rizzi, A. (2007). Perceptual Color Correction Through Variational Techniques. *IEEE Transactions on Image Processing IEEE Trans. on Image Process.*, 16(4), 1058-1072. Retrieved January 20, 2016, from <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4130414>
- Devalois, R. L., & Devalois, K. K. (1991). Spatial Vision.
- Ferradans, S., Bertalmio, M., Provenzi, E., & Caselles, V. (2011). An Analysis of Visual Adaptation and Contrast Perception for Tone Mapping. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 33(10), 2002-2012. Retrieved February 01, 2016, from <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5728823>
- Getreuer, P. (2012). Automatic Color Enhancement (ACE) and its Fast Implementation. *Image Processing On Line*, 2, 266-277.
- Fotografías de Esteban Albán (Quito. 2015)
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2003). *Applied statistics and probability for engineers*. New York: Wiley.
- Pratt, W. K. (2007). Digital Image Processing.
- Provenzi, E., Gatta, C., Fierro, M., & Rizzi, A. (2008). A Spatially Variant White-Patch and Gray-World Method for Color Image Enhancement Driven by Local Contrast. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 30(10), 1757-1770. Retrieved January 18, 2016, from <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4407718>
- Rizzi, A., Gatta, C., & Marini, D. (2003). A new algorithm for unsupervised global and local color correction. *Pattern Recognition Letters*, 24(11), 1663-1677.