

Visión artificial mediante el coeficiente de correlación para exámenes de retinoscopia

Artificial vision through the correlation coefficient for retinoscopy examinations

Henry Vallejo, Jorge Paucar y Oswaldo Martínez

Abstract—An automated system was designed and implemented to perform retinoscopy examinations using artificial vision with the correlation coefficient for the processing of retinal images. The technique of observation and experimentation was used to identify the necessary conditions involved in performing the retinoscopy examination. A mechanical, electronic and artificial vision system design was established for the selection and installation of the necessary components for the automation. For the operation of the automated system an algorithm of processing and comparison of images programmed in the LabVIEW software was developed; through a connection to the serial port, data is sent from the computer to the Arduino Uno development board, which controls actuators that are servomotors that direct the position of the lenses and effect the movement of the light beam of the retinoscope. For the automatic change of lenses, a suitable mechanical system was implemented in order to obtain a fixed image of the retina; a human machine interface (HMI) was created, which allows the operator to view the examination process in real time. With the implementation of the system the average time of the image comparison was determined, with the result that: eyes without ametropia were compared in 162,28 ms, myopia in 166,02 ms, with farsightedness in 170,7 ms and with astigmatism in 174,75 ms, reducing the time taken to perform the retinoscopy examination of 250 to 150 seconds equivalent to 40%. It was concluded that the time of comparison of the images increase in 2.44% while the sea was the refractive damage.

Index Terms—retinoscope, processing of retinal images, artificial vision, retinal images, retinoscopy examinations

Resumen—Se diseñó e implementó un sistema automatizado para realizar exámenes de retinoscopia empleando visión artificial con el coeficiente de correlación para el procesamiento de imágenes de la retina. Se empleó la técnica de observación y experimentación, para identificar las condiciones necesarias que intervienen en la realización del examen de retinoscopia, se estableció un diseño del sistema mecánico, electrónico y de visión artificial para la selección e instalación de los componentes requeridos para la automatización. Para el funcionamiento del sistema automatizado se desarrolló un algoritmo de procesamiento y comparación de imágenes programadas en el

software LabVIEW; a través de una conexión con el puerto serial se envía datos desde el computador hacia la tarjeta de desarrollo Arduino Uno la cual controla los actuadores que son servomotores que direccionan la posición de los lentes y efectúan el movimiento del haz de luz del retinoscopio. Para el cambio automático de lentes se implementó un sistema mecánico para obtener una imagen fija de la retina; se creó una interfaz hombre máquina (HMI), que permite al operador visualizar el proceso del examen en tiempo real. Se determinó el tiempo promedio de la comparación de imágenes, resultando que: ojos sin ametropía se comparan en 162,28 ms, con miopía en 166,02 ms, con hipermetropía en 170,7 ms y con astigmatismo en 174,75 ms, logrando reducir el tiempo promedio empleado para realizar el examen de retinoscopia de 250 a 150 segundos equivalente al 40%. Se concluyó que el tiempo de comparación de las imágenes incrementa en 2,44% mientras mayor sea el daño refractivo.

Palabras Claves—Retinoscopio, procesamiento de imágenes retinianas, visión artificial, imágenes retinianas, exámenes de retinoscopia

I. INTRODUCCIÓN

SEGÚN la nota descriptiva N°282 de la Organización Mundial de la Salud se estima que en el mundo hay aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegas y 246 millones presentan baja visión [1].

En Ecuador mediante el Registro Nacional de Discapacidades realizado por el Ministerio de Salud Pública, se conoce que existe un total de 48695 personas que presentan una discapacidad de tipo visual [2].

La evolución de la visión artificial, desde que se inventó la fotografía ha intentado extraer características físicas de las imágenes. Como el análisis de radiografías que transformó la Medicina.

Muchas investigaciones se han centrado en, capturar la información visual del entorno físico para extraer características relevantes visuales [3], que utilizan principios ópticos de la fotorretinoscopia.

Instituciones oftalmológicas realizan el examen de retinoscopia mediante un dispositivo llamado retinoscopio que se sostiene en la mano, es una técnica que determina el error de refracción del ojo (Miopía, hipermetropía o astigmatismo) y determina si debe o no el paciente utilizar anteojos. Pero es una técnica manual en la que el oftalmólogo debe estar presente y cada prueba se lo realiza por separado [4].

El propósito de este estudio es automatizar el proceso para

H. Vallejo y J. Paucar son Docentes-Investigadores de la Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Electrónica y Automatización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1 1/2, Riobamba – Ecuador.

O Martínez es Docente-Investigador de la Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1 1/2, Riobamba – Ecuador.

exámenes de retinoscopia utilizando visión artificial, diseñando el sistema mecánico - electrónico y programando un algoritmo para el procesamiento y comparación de imágenes de la retina con el fin de mejorar el proceso del examen.

A. Examen de rinoscopia

El examen de retinoscopia se realiza mediante sombras de tipo directas: cuando el movimiento del haz de luz del retinoscopio y el reflejo retiniano tiene la misma dirección. En caso contrario son sombras inversas cuando presenta direcciones opuestas, se puede observar en la Fig. 1 [5].

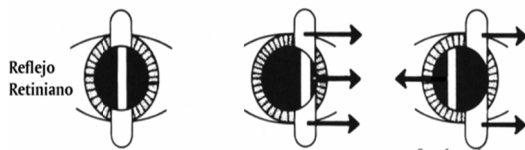


Fig. 1. Tipos de sombra en retinoscopia.

El proceso manual para realizar el examen de retinoscopia se puede observar en la Fig. 2.



Fig. 2. Tipos de sombra en retinoscopia.

Para realizar el examen es necesario mantener una iluminación baja o penumbra, siendo el estado de la luz un factor importante para poder facilitar la observación de las sombras. Primero se realiza la acomodación de la persona, una vez ubicada se procede a la fijación de su vista en un punto, mientras mantiene sus dos ojos abiertos [6]. El examinador con su retinoscopio procede a la proyección de un haz de luz que se mueve de manera horizontal y vertical en el ojo. Mientras analiza los reflejos mediante la observación del movimiento de los mismos. Según esto, el examinador procede a su neutralización mediante la adición de lentes positivas o negativas [7], las anomalías obtenidas se pueden observar en las Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 5.

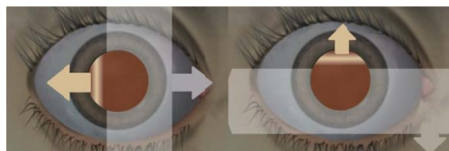


Fig. 3. Reflejo del ojo con miopía.

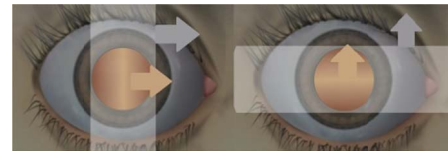


Fig. 4. Reflejo del ojo con hipermetropía.

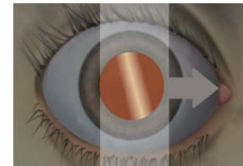


Fig. 5. Astigmatismo mixto.

II. METODOLOGÍA

Las etapas a seguir para el diseño son: diseño mecánico, diseño electrónico y algoritmo de visión artificial.

A. Diseño mecánico

Para la proyección del haz de luz se diseñó un mecanismo que cuenta con actuadores, servomotores que replican el movimiento realizado por la muñeca del médico, se puede observar en la Fig. 6.

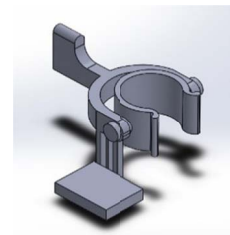


Fig. 6. Mecanismo proyección haz de luz.

El cambio de las lentes oftálmicas se realiza con un mecanismo de rueda, se puede observar en la Fig. 7, misma que tiene 18 divisiones en las que se encuentran las distintas lentes positivas y negativas usadas en nuestro sistema.



Fig. 7. Mecanismo cambio de lentes.

B. Diseño electrónico

El esquema de conexión electrónico se puede observar en la Fig. 8, el elemento central es una tarjeta Arduino Uno que tiene la función de maestro, se comunica con todos los componentes que integran la placa y se encarga del control de los mismos.

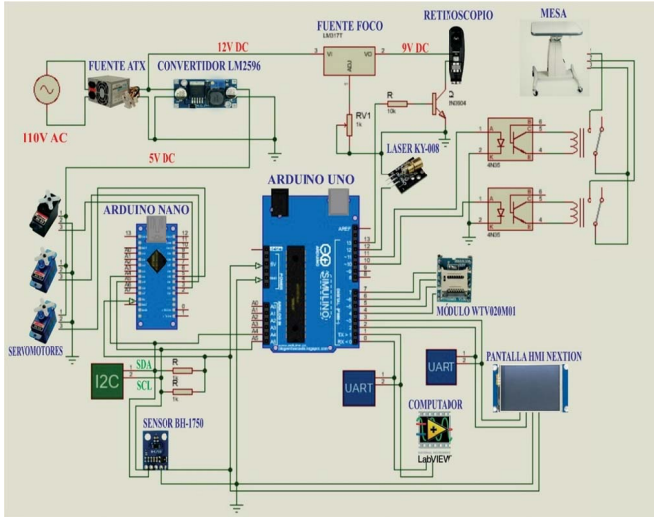


Fig. 8. Diseño electrónico.

Los terminales A4 y A5 del Arduino Uno y Arduino Nano se conectan entre sí para poder establecer una comunicación I2C mediante las líneas SDA y SCL. Esta comunicación permite enviar y recibir órdenes entre los Arduinos, además de la lectura del sensor BH-1750 que cuenta con esta comunicación.

La señal del sensor de luz BH-1750 se conecta a los terminales D4 (SDA) y D5 (SCL) de la comunicación I2C mediante dos resistencias de 1K.

Los terminales RESET, CLOCK, DATA y BUSY del módulo MP3 WTV020M01 se conectan a D4, D5, D6, D7 del Arduino Uno permitiendo el control del módulo desde estas líneas de comunicación.

De los terminales D10 y D11 del Arduino Uno, salen las señales de control para subir y bajar la mesa, estas señales de control van hacia los opto acopladores, separando con esto la etapa de control y fuerza representada esta última por los relés.

El terminal D12 y D13 del Arduino Uno, manda las señales de control de ON/OFF al diodo láser KY-008 y al foco del retinoscopio respectivamente.

La pantalla HMI Nextion se conecta a las terminales D2 y D3 del Arduino Uno, mismas que funcionan como las líneas de comunicación serial TX/RX entre Arduino y la pantalla.

El Arduino Nano se encarga de los actuadores, mismos que se encuentran conectados a las terminales D3, D4, D5 permitiendo el control de los servomotores que mueven los mecanismos de cambio de lentes y proyección del haz de luz, mientras el controlador Arduino Uno realiza sus demás funciones.

La alimentación para los componentes del sistema electrónico, se da mediante la salida de 12V DC de la fuente ATX, esta salida es regulada a 5V y 9V para alimentar los servomotores, y el foco del retinoscopio respectivamente mediante el conversor de voltaje LM2596 y el regulador LM317.

C. Algoritmo de procesamiento de imágenes

El diseño cumple con las siguientes etapas, se puede observar en la Fig. 9.



Fig. 9. Diseño electrónico.

1) Adquisición de Imagen

El proceso inicia con el ingreso del usuario, luego se procede a adquirir la imagen de las sombras de su retina mediante una cámara digital Genius F100, que cuenta con un sensor de imagen de 1080p Full HD pixel CMOS que ayuda a tener una mejor adquisición de imágenes con una resolución de 12MP.

2) Pre- Procesamiento

Mediante la herramienta Vision Assistant de Labview se procesa la imagen RGB transformándola en una imagen en escala de grises, aplicando el brillo necesario para aclarar los detalles, mediante un filtro de mediana se elimina ruido y detalles innecesarios [8]. El resultado del mismo se puede observar en la Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13.

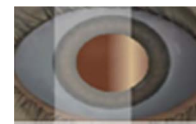


Fig. 10. Figura original.



Fig. 11. Imagen escala de grises.



Fig. 12. Imagen con brillo.



Fig. 13. Imagen filtrada.

3) Comparación

En esta etapa se utiliza el programa Microsoft Access como sistema de gestión de base de datos, en el cual se guardan las imágenes de las sombras de la retina del ojo con las distintas ametropías.

Para la comparación de imágenes se emplea el complemento MathScript de LabVIEW. El proceso de comparación de imágenes está basado en el coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación es una técnica que mide el grado de relación entre dos variables aleatorias [9]. Al obtener las imágenes procesadas y transformadas en un arreglo

bidimensional, se envían al algoritmo de comparación de imágenes para calcular su coeficiente de correlación utilizando las siguientes fórmulas.

$$a = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{i,j}}{m \cdot n} \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{i,j}}{m \cdot n} \quad (3)$$

Covarianza: Es la sumatoria del producto de cada elemento de la primera matriz con su correspondiente de la segunda matriz, dividido para el número total de elementos de la matriz y esto menos el producto de las medias aritméticas de las dos matrices.

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{i,j} \cdot y_{i,j})}{m \cdot n} - \bar{x} \cdot \bar{y} \quad (4)$$

Desviación típica: Es igual a la raíz cuadrada de la diferencia entre la sumatoria de todos los elementos elevados al cuadrado de la matriz sobre el número total de elementos de la misma y el cuadrado de su media aritmética.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{i,j})^2}{m \cdot n} - (\bar{x})^2} \quad (5)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{i,j})^2}{m \cdot n} - (\bar{y})^2} \quad (6)$$

Coficiente de correlación: es la división entre la covarianza y el producto de la desviación típica de cada matriz.

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (7)$$

donde x es un arreglo bidimensional de la imagen de la cámara, y es un arreglo bidimensional de la imagen de la base de datos, i es el número de fila, j es el número de columna, n es el número de filas totales de la matriz y m es el número de filas totales de la matriz.

El diagrama de flujo del algoritmo de comparación de imágenes, se puede observar en la Fig. 14, las matrices de cada imagen son los datos de entrada para iniciar este proceso.

En la Fig. 15(a) se muestra el procesamiento de un ojo con miopía, (b) procesamiento de un ojo con Hipermetropía y (c) procesamiento de un ojo astigmatismo.

III. RESULTADOS

Se realizó una prueba para determinar el tiempo en el que se ejecuta la comparación de las imágenes tomando una muestra de 50 datos por cada ametropía visual. Estos datos se tomaron

realizando una medición del tiempo de ejecución de la etapa de comparación. Se ingresó en una estructura de secuencia, los comandos Tick Count [10], los cuales se restan entre sí para mostrar el valor del tiempo de ejecución de esa etapa, se puede observar en la Fig. 16.

La ecuación (8) muestra el tiempo de ejecución de la comparación de imágenes cada vez que se ejecute el algoritmo.

$$\text{tiempo ejec} = \text{tiempo sal} - \text{tiempo ent} \quad (8)$$

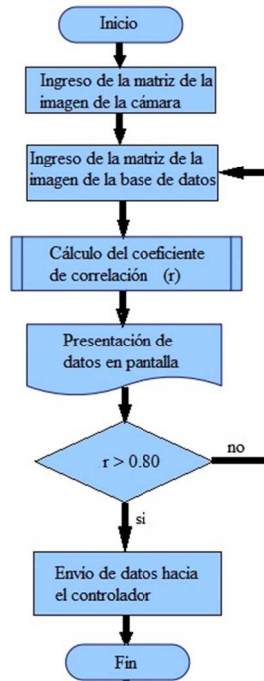


Fig. 14. Diagrama de flujo del algoritmo de comparación de imágenes.

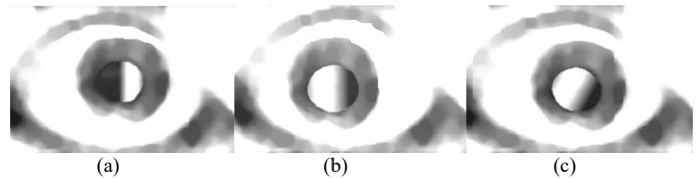


Fig. 15. (a) Ojo con Miopía, (b) Ojo con Hipermetropía, (c) Ojo con Astigmatismo.

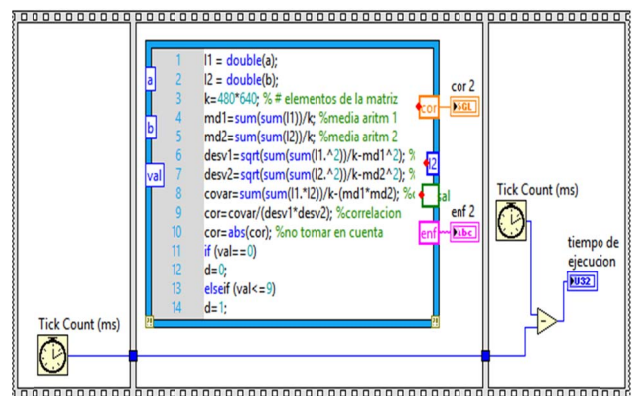


Fig. 16. Medición del tiempo de ejecución de la etapa de comparación.

Tomado los tiempos para cada ametropía se utilizó la estadística descriptiva con un nivel de confianza de 95.0 %, que es un nivel habitual para hacer declaraciones con una razonable probabilidad de acierto, y utilizando el software estadístico SPSS se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la Tabla I.

Los datos más representativos como el error típico son bajos teniendo un máximo de 2.8 para Hipermetropía que cuantifica cuánto se apartan los valores de la media. Se obtuvo una dispersión estándar con respecto a la media siendo igualmente mayor para la Hipermetropía. La asimetría y curtosis informan sobre la forma de la distribución pudiéndose observar baja variación con respecto a la media.

TABLA I
INDICADORES ESTADÍSTICOS DE LA DETECCIÓN

Indicador	Ojo Sano	Miopia	Hipermetropía	Astigmatismo
Media (ms)	162,28	166,02	170,7	174,74
Error típico	1,4988	2,3336	2,8427	1,9973
Mediana (ms)	163	164	167	170
Moda (ms)	163	164	161	170
Desviación estándar	10,5984	16,5016	20,1010	14,1230
Varianza de la muestra	112,3281	272,3057	404,0510	199,4616
Curtosis	-0,0390	0,4864	3,7100	-0,3974
Coefficiente de asimetría	-0,5781	-0,0852	1,4617	0,2370
Rango	44	77	114	68
Mínimo	140	125	131	142
Máximo	184	202	245	210
Suma	8114	8301	8535	8737
Cuenta	50	50	50	50
Nivel de confianza (95,0%)	3,0120	4,6897	5,71264	4,0137

La media aritmética es el factor más importante ya que muestra el tiempo promedio en que se ejecuta la comparación de cada ametropía [11].

TABLA II
TIEMPO DE COMPARACIÓN SEGÚN LA AMETROPIA

Tiempo (ms)	Ametropía	
162,28	1	Sanos
166,02	2	Miopia
170,7	3	Hipermetropía
174,74	4	Astigmatismo

El tiempo de comparación de las imágenes según la ametropía se puede observar en la Fig. 17.

Según la ecuación (9), la variación del tiempo de comparación entre miopía y sano es:

$$\% \text{variación} = \frac{\text{valor sig} - \text{valor ant}}{\text{valor sig}} \cdot 100\% \quad (9)$$

de donde se obtienen un valor de variación igual a 2.25%

Aplicando esta ecuación a cada una de las variaciones de ametropías se obtiene los siguientes resultados.

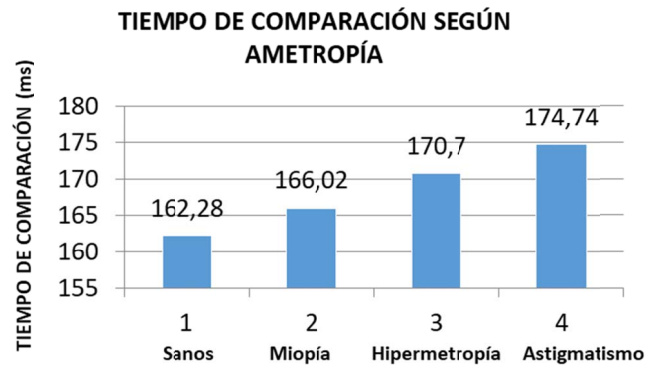


Fig. 17. Tiempo de comparación según la ametropía.

TABLA III
VARIACIÓN DE TIEMPO ENTRE AMETROPIAS

Variación	% variación
3,74	2,25%
4,68	2,74%
4,04	2,32%
promedio:	2,44%

En la Tabla III, se muestra el promedio de la variación del tiempo de comparación de imágenes con un valor de 2.44%, lo cual indica que mientras mayor es el daño refractivo mayor es el tiempo de comparación de las imágenes.

IV. DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos en la comparación de imágenes de la retina del ojo empleando el coeficiente de correlación, dan como resultado los siguientes tiempos: ojos sin ametropía se comparan en 162,28 ms, con miopía en 166,02 ms, con hipermetropía en 170,7 ms y con astigmatismo en 174,75 ms.

Una explicación para que el tiempo de comparación de las imágenes incremente, es que el tiempo aumenta mientras mayor sea el daño refractivo.

Este estudio fue limitado por condiciones de iluminación al momento de capturar la imagen de la retina, razón por la cual se puede utilizar distintos filtros. Siendo el filtro de la mediana el utilizado en esta investigación debido a que elimina el ruido de la imagen reemplazando cada pixel por la mediana de los pixeles vecinos.

En trabajos futuros se puede utilizar otros algoritmos en análisis entre similitud de imágenes, pudiendo realizarse un estudio de costo computacionales. Además de utilizar otras técnicas de detección de aspectos como borde de Sobel, Canny que ayuden a mejorar los tiempos de respuesta y además muestre guías para nuevas líneas de investigación en diferentes campos.

V. CONCLUSIONES

Se logró utilizar la visión artificial mediante el coeficiente de correlación para determinar ametropías en la retina del ojo, para ello se realizó el sistema mecánico, electrónico y el algoritmo necesario para el análisis de las imágenes. Se realizó un pre procesamiento de la imagen debido al ruido, utilizando el filtro de mediana para su corrección. En la comparación mediante el coeficiente de correlación se determinaron tiempos que aumentaban según el grado de cada ametropía. Obteniendo una variación de tiempo del 2.44%. El cambio de lentes corrige la refracción del haz de luz sea de sombras directas o inversas.

REFERENCIAS

- [1] “Ceguera y discapacidad visual”, World Health Organization. [En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. [Accedido: 27-nov-2017].
- [2] “https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/registro_nacional_discapacidades - Buscar con Google”.
- [3] Juárez Elera y L. G. Rodríguez Gonzales, “Implementación de un Algoritmo para la Detección de Cuerpos Extraños de las Leguminosas de Grano Seco Utilizando la Visión Artificial.”, Universida Nac. Pedro Ruiz Gallo, jun. 2017.
- [4] W. D. Furlan, J. G. Monreal, y L. M. Escrivá, Fundamentos de optometría, 2a ed.: Refracción ocular. Universitat de València, 2011.
- [5] R. Martín Herranz (). Retinoscopia [Online]. Disponible: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/optometria/retinoscopia.pdf>
- [6] “¿Qué es la hipermetropía?”, CooperVision Spain, 21-nov-2014. [En línea]. Disponible en: <https://coopervision.es/cuidado-de-la-vision-y-salud-ocular/que-es-la-hipermetropia>. [Accedido: 27-oct-2018].
- [7] “¿Qué causa el astigmatismo?”, American Academy of Ophthalmology, 09-ene-2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.aaopt.org/salud-ocular/enfermedades/astigmatismo-causas>. [Accedido: 27-feb-2018].
- [8] Sandoval Niño, Z. L., Prieto Ortiz, F. A. (2007). “Caracterización de café cereza empleando técnicas de visión artificial”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín, 60(2), 4105-4127.
- [9] Ó. F. Motato Toro y H. Loaiza Correa, “Identificación biométrica utilizando imágenes infrarrojas de la red vascular de la cara dorsal de la mano”, *Ing. E Investig.*, vol. 29, n.o 1, 2009.
- [10] “Tick Count (ms) Function - LabVIEW 2017 Help - National Instruments”. [En línea]. Disponible en: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361P-01/glang/tick_count_ms/. [Accedido: 28-oct-2018].
- [11] J. A. Fernández Soler, R. del C. García Pérez, O. M. Mariño Hidalgo, y J. A. Cobas González, “Caracterización de las ametropías atendidas en Consulta de Cirugía Refractiva del Centro Oftalmológico de Holguín”, *Correo Científico Méd.*, vol. 19, n.o 2, pp. 233-245, jun. 2015.
- [12] Radio Regulations, Satellite antenna radiation pattern for use as a design objective in the fixed-satellite service employing geostationary satellite, Recommendation ITU-R S.672-4, 1997.