

**ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE CAPAZ DE  
RASTREAR EL MOVIMIENTO OCULAR USANDO MATLAB, PARA LA  
APLICACIÓN Y DESARROLLO DEL CUESTIONARIO DE RECONOCIMIENTO  
DE EMOCIONES FACIALES (CREF)**

**JUAN SEBASTIÁN TRILLOS VALDIVIESO**

**OSCAR DANIEL VARGAS ARENAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PIEDRECUESTA**

**2013**

**ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE CAPAZ DE  
RASTREAR EL MOVIMIENTO OCULAR USANDO MATLAB, PARA LA  
APLICACIÓN Y DESARROLLO DEL CUESTIONARIO DE RECONOCIMIENTO  
DE EMOCIONES FACIALES (CREF).**

**JUAN SEBASTIÁN TRILLOS VALDIVIESO**

**OSCAR DANIEL VARGAS ARENAS**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**DIRECTORA  
INGENIERA RAQUEL DÍAZ RAMÍREZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PIEDRECUESTA  
2013**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del director de proyecto**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestras familias que hicieron posible este proceso educativo.

A nuestra directora de proyecto que nos brindó gran apoyo en todo momento.

Al Laboratorio de Neurociencias y Comportamiento de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga que nos propuso este reto y nos brindó las herramientas para hacer esto posible.

A cada una de las personas que nos prestaron sus ojos para el uso de este proyecto.

Y finalmente a los amigos que nos acompañaron durante todos estos años.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	14
1. OBJETIVOS.....	15
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. MOVIMIENTO OCULAR .....	16
2.1 EL OJO HUMANO Y EL MOVIMIENTO OCULAR.....	16
2.2 EYE TRACKING .....	17
2.3 TÉCNICAS DE REGISTRO OCULAR Y EYE TRACKERS .....	17
2.4 APLICACIONES COMERCIALES DEL EYE TRACKING.....	20
3. PRUEBA CREF .....	22
3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS PRUEBA CREF MODO MANUAL.....	24
3.2 REQUERIMIENTOS CREF DIGITAL .....	24
4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	26
4.1 IMAGEN DIGITAL.....	26
4.1.1 Vecindad de un pixel .....	28
4.1.2 Máscara.....	28
4.2 ESPACIOS DE COLOR.....	29
4.2.1 Espacio de color RGB .....	29
4.2.2 Espacio de color HSV.....	30
4.2.3 Espacio de color CMYK.....	31
4.3 FILTROS .....	32
4.3.2 Filtro de media.....	32
4.3.3 Filtro de mediana.....	32
4.5 SEGMENTACIÓN.....	34
4.5.1 Umbralización .....	34
4.6 OPERACIONES MORFOLÓGICAS .....	35
4.6.1 Dilatación.....	35

4.6.2 Erosión .....	36
4.7 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES EN MATLAB .....	36
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO OCULAR .....	39
5.1 PROTOCOLO PARA LA CAPTURA DE VIDEO .....	40
5.1.1 Cámara .....	40
5.1.2 Iluminación .....	41
5.1.3 Distancia al Monitor .....	41
5.1.4 Base .....	42
5.2 DIGITALIZACIÓN DE LA PRUEBA CREF .....	43
5.3 EYE TRACKER .....	45
5.3.1 Apertura de video .....	47
5.3.2 Pre-procesamiento .....	47
5.3.3 Elección del espacio de color .....	48
5.3.4 Conversión RGB a HSV .....	49
5.3.5 Filtro de media .....	50
5.3.6 Umbralización .....	50
5.3.7 Operaciones Morfológicas .....	52
5.3.8 Ubicación de la pupila.....	54
5.3.9 Eliminador de Parpadeos y Transiciones .....	55
5.4 CALIBRADOR.....	56
5.4.1 Toma de Video de Calibración .....	57
5.4.2 Constantes de Calibración .....	58
5.5 ANALISIS PRUEBA CREF .....	59
5.5.2 Consideración Eye Tracker.....	61
5.5.3 Escalamiento y corrección de posición.....	62
5.5.4 Sincronización Video-Prueba CREF.....	63
5.5.5 Corte y reordenamiento de los paquetes.....	65
5.5.6 Clasificación de la información según la zona de atención .....	66
5.5.7 Generación del fichero Análisis CREF .....	67
5.6 INTERFAZ GRÁFICA .....	68

5.7 PRUEBAS Y RESULTADOS .....	72
5.7.1 Pruebas .....	72
5.7.2 Recomendaciones .....	81
5.7.3 Diagnóstico de Prueba .....	82
6. CONCLUSIONES .....	83
7. TRABAJOS FUTUROS.....	85
BIBLIOGRAFIA.....	86

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Anatomía interna y externa del ojo. ....	16
Figura 2. Filmación Directa .....	18
Figura 3. Electroculograma (EOG).....	18
Figura 4. Seguimiento ocular usando Filmación directa con apoyo de hardware ..	19
Figura 5. Dispositivo invasivo de Eye Tracking.....	20
Figura 6. Base para Tarjetas .....	22
Figura 7. Paisaje-Santander (Escala de Grises).....	26
Figura 8. Paisaje-Santander (Blanco y Negro o Binaria) .....	27
Figura 9. Paisaje-Santander (RGB) .....	27
Figura 10. Vecindad de un pixel.....	28
Figura 11. Imagen y Componentes RGB .....	29
Figura 12. Cubo RGB .....	30
Figura 13. Imagen y Componentes HSV .....	30
Figura 14. Cono HSV.....	31
Figura 15. Comparación RGB y CMYK.....	31
Figura 16. Filtro de media .....	32
Figura 17. Filtro de mediana .....	33
Figura 18. Histograma .....	33
Figura 19. Segmentación.....	34
Figura 20. Umbralización .....	35
Figura 21. Dilatación .....	36
Figura 22. Erosión.....	36
Figura 23. Metodología para el desarrollo Sistema de Seguimiento Ocular .....	39
Figura 24. Enfoque de cámara.....	40
Figura 25. Posición Iluminación .....	41
Figura 26. Distancia al Monitor .....	42
Figura 27. Base para Apoyar la Cabeza .....	42
Figura 28. GUI CREF.....	43
Figura 29. Prueba CREF .....	44
Figura 30. Reporte_CREF_NombreEvaluado.xls .....	45
Figura 31. Algoritmo del Eye Tracker.....	46
Figura 32. Recorte de Imagen .....	47
Figura 33. Elección del Espacio de Color .....	48
Figura 34. Comparación entre RGB y Saturación.....	49
Figura 35. Criterio para Elección de Máscara.....	50
Figura 36. Selección de Umbral con base en el Histograma .....	51

Figura 37. Binarización .....	51
Figura 38. Operaciones Morfológicas .....	52
Figura 39. Cambio de Centro Operaciones Morfológicas .....	53
Figura 40. Ubicación de la pupila.....	54
Figura 41. Punto Central.....	54
Figura 42. Adaptación de planos .....	55
Figura 43. Imagen de Calibración .....	56
Figura 44. Algoritmo de Calibración.....	57
Figura 45. Secuencia de Calibración .....	58
Figura 46. Clusters de puntos.....	58
Figura 47. Resultados Calibración .....	59
Figura 48. Algoritmo Tabulación de Datos.....	60
Figura 49. Tiempos de presentación CREF .....	61
Figura 50. Reflejo del Monitor en la Pupila .....	62
Figura 51. Representación del Recorrido Visual.....	62
Figura 52. Corrección de Posición .....	63
Figura 53. Determinación del Tiempo Inicial.....	64
Figura 54. Tiempo de Cómputo MATLAB .....	65
Figura 55. Zonas de Interés CREF .....	66
Figura 56. Análisis_CREF_NombreEvaluado.xls.....	67
Figura 57. Modelo del Iceberg .....	68
Figura 58. Interfaz de Usuario ANÁLISIS CREF .....	69
Figura 59. Barra de Tareas.....	69
Figura 60. Menú Archivo.....	70
Figura 61. Menú de Ayuda.....	70
Figura 62. ¿Cómo Usar Esta Interfaz? .....	71
Figura 63. ¿Qué Reportes Puedo Obtener? .....	71
Figura 64. Menú Acerca de.....	72
Figura 65. Resultado Tez Clara Ojos Claros.....	73
Figura 66. Resultado Tez Clara Ojos Café .....	73
Figura 67. Resultado Tez Morena Ojos Oscuros .....	74
Figura 68. Resultado Tez Trigueña Ojos Cafés .....	74
Figura 69. Resultado Tez Morena Ojos Claros.....	75
Figura 70. Resultado Lentes.....	76
Figura 71. Problemas Maquillaje 1.....	77
Figura 72. Problemas Maquillaje 2.....	77
Figura 73. Nevus de Ota.....	78
Figura 74. Procesamiento Nevus de Ota .....	78
Figura 75. Tez Clara Ojos Claros Pestañas Claras .....	79

Figura 76. Recorrido Visual Miedo.....82

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Expresiones Faciales .....	23
Tabla 2. Ventajas y Desventajas prueba CREF manual. ....	24
Tabla 3. Comandos MATLAB .....	37
Tabla 4. Resumen de Resultados .....	80

## RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

**TÍTULO:** ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE CAPAZ DE RASTREAR EL MOVIMIENTO OCULAR USANDO MATLAB, PARA LA APLICACIÓN Y DESARROLLO DEL CUESTIONARIO DE RECONOCIMIENTO DE EMOCIONES FACIALES (CREF).

**AUTORES:** JUAN SEBASTIÁN TRILLOS VALDIVIESO, OSCAR DANIEL VARGAS ARENAS

**FACULTAD:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DIRECTOR:** RAQUEL DÍAZ RAMÍREZ

### RESUMEN

El seguimiento ocular es una aplicación de procesamiento de imágenes que detecta y sigue los movimientos oculares e indica la dirección a la cual una persona ha mirado, lo que convierte este proceso en una herramienta importante para áreas como la psicología y el marketing especialmente, donde se busca estudiar la respuesta de un grupo de personas respecto a distintos estímulos visuales.

El desarrollo de este proyecto investigativo se realizó en el entorno de MATLAB, software orientado al cálculo numérico y la programación con un gran número de utilidades para el procesamiento de imágenes y el desarrollo de software. Otras herramientas y hardware utilizadas son; una cámara de video, una lámpara de luz blanca para mantener una iluminación estándar y un apoya cabezas para evitar el movimiento durante las tomas de datos; con lo cual se logran establecer condiciones favorables para la toma del video.

El software desarrollado en este proyecto muestra el recorrido visual realizado por los pacientes en cada imagen y otorga datos estadísticos que permiten hacer un análisis cuantitativo de la prueba psicológica “CREF”. Además como paso indispensable para la adaptación del software a cada sujeto, se requiere un primer video de calibración para ajustar así las variables a la fisionomía de cada usuario.

**PALABARAS CLAVE:** Eye Tracking, Gaze Tracking, Matlab, procesamiento de imágenes.

## GENERAL SUMMARY OF THE THESIS

**TITLE: DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF SOFTWARE ABLE TO TRACK THE EYE MOVEMENT USING MATLAB TO THE APPLICATION OF FACIAL EMOTION RECOGNITION TEST (CREF) BECAUSE ITS SPANISH INITIALS.**

**AUTHOR(S): JUAN SEBASTIAN TRILLOS VALDIVIESO, OSCAR DANIEL VARGAS ARENAS**

**FACULTY: ELECTRONIC ENGINEERING**

**DIRECTOR: RAQUEL DÍAZ RAMÍREZ**

### ABSTRACT

Eye-tracking is an image processing application that detects and tracks eye movement and indicates the direction where a person has looked, making this process an important tool in areas such as psychology and marketing, where is relevant to study the response of a group of people related to different visual stimuli.

The development of this research project was carried out in the MATLAB environment, oriented numerical software and programming with a large number of utilities for image processing and software development. Other tools and hardware used: a video camera, white light lamp to maintain a standard lighting and a headrest to prevent movement during shooting data, thus able to establish favorable conditions for making the video.

The software developed in this project shows visual route made by patients and provides statistical data that allows a quantitative analysis of psychological test "CREF". Also as an essential step for the adaptation of the software to each subject, a video of calibration is required to adjust the variables for each user physiognomy.

**KEY WORDS:** Eye Tracking, Gaze Tracking, MATLAB, image processing

## INTRODUCCIÓN

El seguimiento ocular o *eye tracking* es una herramienta que ha permitido a profesionales de diferentes ámbitos obtener información exclusiva y de gran valor para comprender diversos comportamientos humanos y realizar investigaciones acerca del porqué las personas actúan de una forma u otra frente a la presentación de diferentes estímulos visuales. Con el pasar de los años estas tecnologías han disminuido progresivamente sus costos, llevando así a que más profesionales se adentren en el uso de software y hardware de *eye tracking* permitiendo avances importantes en la interacción entre el usuario y la tecnología como lo han hecho por ejemplo, Hassan Montero y Víctor Solana de la Universidad de Granada España con sus estudios “Eye-Tracking en Interacción Persona-Ordenador”[1] y “Visualización de información Persona-Ordenador propuesta algorítmica para la ordenación espacial de grafos”[2] dando ejemplo a la comunidad científica que ésta herramienta es una opción viable para la realización de diversos estudios debido a sus múltiples campos de acción.

En este documento se presenta una aplicación del Eye-tracking; en la cual se desarrolló un software para la digitalización de la prueba psicológica (CREF) para la elaboración del proyecto investigativo “EVALUACIÓN DEL RECONOCIMIENTO DE EMOCIONES” identificado con el código 080-0912-3100 en la dirección general de investigación de la Universidad Pontificia Bolivariana centrándose principalmente en obtener resultados estadísticos del comportamiento visual de los individuos evaluados, siendo de utilidad para futuros estudios y mejoras de ésta prueba enfocada en el reconocimiento de emociones faciales en personas.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar un sistema de reconocimiento ocular mediante herramientas de procesamiento de imágenes en MATLAB para analizar los resultados de la prueba psicológica CREF.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Crear un algoritmo de programación que haga uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes en MATLAB, que permita reconocer y seguir los movimientos oculares en una serie de fotogramas.
- Realizar una interfaz de usuario en MATLAB, que facilite el análisis de los datos obtenidos en el test CREF.
- Desarrollar un algoritmo que facilite el análisis de los videos obtenidos de la prueba CREF, para establecer qué secciones específicas de una foto o video observó un individuo en un determinado tiempo.

## 2. MOVIMIENTO OCULAR

### 2.1 EI OJO HUMANO Y EL MOVIMIENTO OCULAR

El ojo es el instrumento primordial del sentido de la vista, un instrumento con el cual son dotados la mayoría de organismos del reino animal. En el caso específico de los seres humanos el movimiento ocular se rige por diversos tipos de músculos controlados por nervios craneales mediante el envío de impulsos eléctricos que permiten orientar los ojos en forma vertical, horizontal y circular (figura 1).

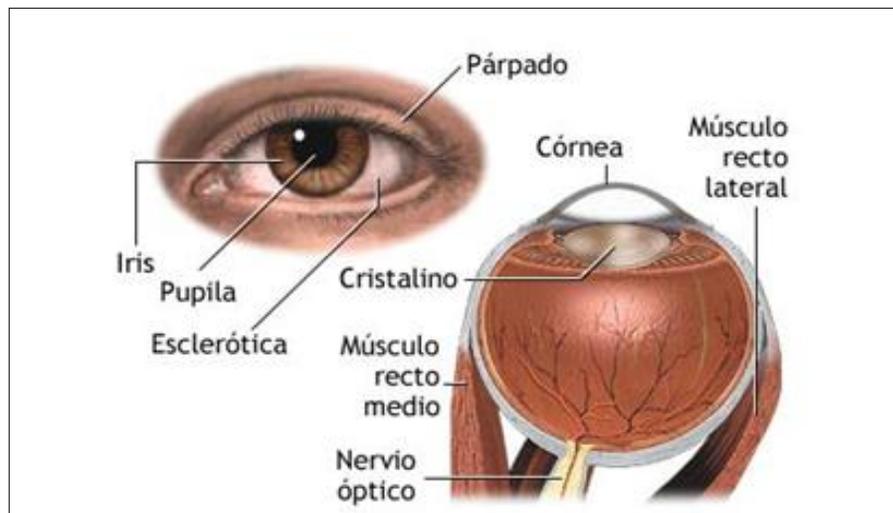


Figura 1. Anatomía interna y externa del ojo.  
Tomado de University of Maryland MEDICAL CENTER  
<[http://www.umm.edu/esp\\_imagepages/8867.htm](http://www.umm.edu/esp_imagepages/8867.htm)>[Consultado en Diciembre de 2012]

A continuación se mencionarán los movimientos oculares más comunes que guardan algún vínculo o importancia para el eye tracking [13]:

- Compensatorios: Movimientos reflejos que involucran coordinadamente ambos ojos y se dan en el momento en que se realiza un movimiento brusco de la cabeza o el tronco.
- Sacádicos: Movimientos voluntarios que permiten visualizar rápidamente diversas áreas de un escenario. Son usados generalmente para facilitar la recogida de información del lugar donde se encuentra el observador.

- Fijación: Aunque no se considera un movimiento puesto que como su mismo nombre lo indica es la fijación del globo ocular en un punto dado, existen minúsculos movimientos de vibración del ojo (tremor) que pueden llegar a afectar el seguimiento ocular considerablemente.
- Seguimiento: Movimientos que se producen coordinadamente con ambos ojos con el fin de perseguir estímulos visuales con algún tipo de desplazamiento.

## 2.2 EYE TRACKING

El seguimiento ocular (Eye Tracking) es una técnica usada para evaluar el punto en donde se fija la mirada de un individuo; para esto existen diferentes sistemas y tecnologías; entre ellos se conocen, el electrooculograma (EOG), sistemas de detección en tiempo real mediante cámaras de visión nocturna con iluminación infrarroja, cámaras filmadoras y cámaras web; estas últimas usan fotogramas de video (*frames*) para detectar el movimiento ocular usando diferentes algoritmos de programación; la información obtenida mediante este sistema de seguimiento puede ser usada principalmente en la investigación de sistemas visuales, diseño de productos, análisis de publicidad y pruebas psicológicas entre otros.

## 2.3 TÉCNICAS DE REGISTRO OCULAR Y EYE TRACKERS

Las técnicas de registro ocular son procedimientos que permiten mantener un registro del movimiento del ojo, ya sea mediante la filmación directa de este o usando información electroquímica del globo ocular como se explican a continuación [13]:

- Filmación directa: Esta es la manera más tradicional en la cual se realiza seguimiento ocular. Consiste en como su nombre indica, filmar directamente el ojo con una cámara de video y luego analizar la grabación para determinar la posición de la mirada. Aunque es un método no invasivo y de fácil uso, requiere tener en cuenta ciertas variables al usarlo como método de registro. Ver figura 2.



Figura 2. Filmación Directa

Tomado de <<http://blog.pucp.edu.pe/?amount=0&blogid=3639&query=evaluacion>>  
[Consultado en Diciembre de 2012]

- EOG: El electrooculograma es un método que exige la aplicación de electrodos alrededor de los ojos. Presenta resultados de alta precisión pero tiene la desventaja de ser un método bastante invasivo y molesto para el observador, llegando incluso a afectar y en hasta cierto punto restringir ciertos movimientos dificultando la obtención de resultados de acuerdo a los parámetros establecidos en estudios psicológicos y de comportamiento. Ver figura 3.

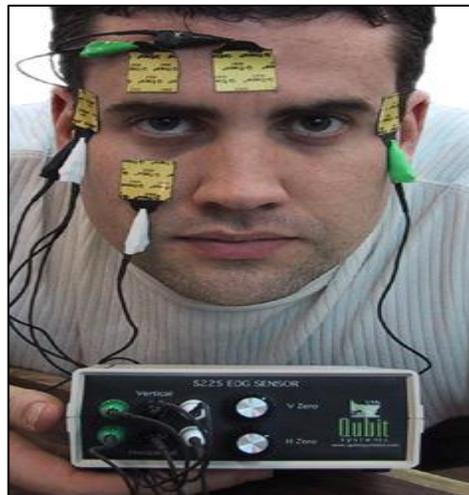


Figura 3. Electrooculograma (EOG)

Tomado < [https://clon.uab.es/pda\\_ssl/web/Oftalmologia/1\\_7\\_proves.](https://clon.uab.es/pda_ssl/web/Oftalmologia/1_7_proves.)>  
[Consultado en mayo de 2013]

- Filmación directa con apoyo de hardware: Consiste en la filmación directa del globo ocular mediante el uso de algún equipo de grabación de video

para posteriormente (o en tiempo real dependiendo de la velocidad de procesamiento de la máquina) realizar un análisis detallado de los movimientos del ojo con algoritmos de programación que usan diferentes técnicas tales como la segmentación o la umbralización que permiten obtener un banco de datos de las diferentes posiciones de este, así como el tiempo en el cual el observador realizó dichos movimientos (figura 4). Se ve afectada altamente por factores tales como la calidad del hardware de filmación y la iluminación del entorno, además resulta invasivo para el paciente.



Figura 4. Seguimiento ocular usando Filmación directa con apoyo de hardware  
Tomado de <<http://hazmerca.files.wordpress.com/2011/04/eye-tracking.jpg>> [Consultado en mayo de 2013]

Los eye trackers o dispositivos de seguimiento ocular, permiten el monitoreo y registro de la forma en la cual una persona observa una imagen, brindando información relevante tal como en qué zonas de la escena en concreto fijó su atención y durante cuánto tiempo lo hizo.

Estos dispositivos son de gran utilidad en una amplia variedad de disciplinas, como el marketing, la investigación médica y la psicología ya que permiten obtener de forma numérica y por tanto objetiva datos relevantes para sus respectivos campos de acción.

Pueden dividirse básicamente en dos tipos: los que colocan algún dispositivo en la cabeza del participante (figura 5) y los que registran el movimiento a distancia mediante cámaras en trípodes. Los primeros aunque resultan invasivos permiten al usuario una mayor libertad de movimiento, y los segundos permiten una menor movilidad pero no resultan invasivos lo que genera menos desconcentración en el observador. [2]

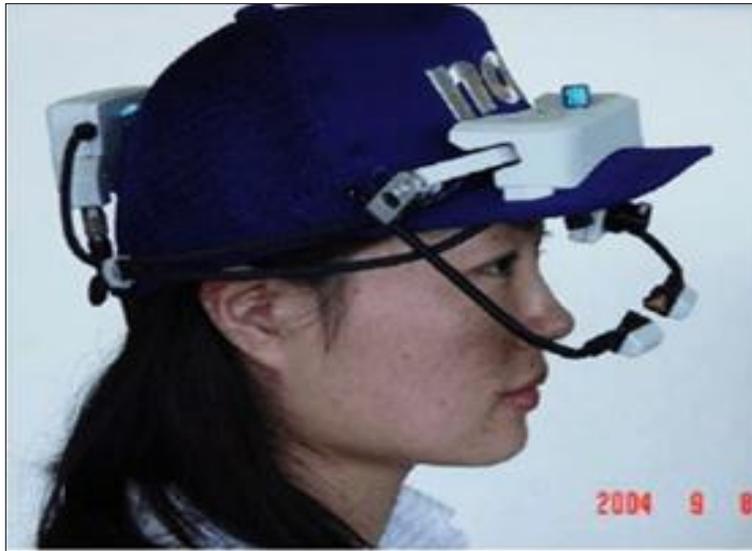


Figura 5. Dispositivo invasivo de Eye Tracking.  
Tomado de NSU <<http://www.nosolousabilidad.com/articulos/eye-tracking.htm>>  
[Consultado en Diciembre de 2012]

## 2.4 APLICACIONES COMERCIALES DEL EYE TRACKING

A continuación se enuncian algunas de las áreas donde el eye-tracking ha resultado de gran utilidad [2]:

- Área de diseño industrial: Empresas de aeronáutica han usado el seguimiento ocular como una forma de estudiar la ergonomía de los paneles de control en sus aviones para ubicarlos de forma adecuada, con el fin de que los pilotos especialmente en una situación de emergencia comprendan donde están todos los mecanismos de reacción rápida.
- Área de Mercadeo y Publicidad: El área de publicidad es una de las que más necesita de estos dispositivos. Especialmente cuando se realizan

estudios previos o posteriores de mercado, donde se analiza la reacción de los consumidores ante diversos tipos de publicidad y que zonas del anuncio publicitario captaron su atención más que otras.

- Deporte: Se ha usado en prácticas deportivas para mejorar el rendimiento. En baloncesto se realizan estudios de este tipo para ayudar a los jugadores a aprender en que zonas del tablero debe fijarse y cuales otras no para encestar el balón.
- Área clínica: En esta área las aplicaciones van desde analizar los comportamientos psicológicos de individuos ante la presentación de diversas imágenes hasta su uso para realizar programas de salud que permitan corregir defectos de visión.

### 3. PRUEBA CREF

El Cuestionario de Reconocimiento de Emociones Faciales (CREF) es una prueba psicológica que busca identificar cuáles emociones son mayor o menormente reconocidas por las personas [10].

La realización típica de esta prueba se hace manualmente usando 28 imágenes de expresiones faciales impresas en tarjetas exponiéndolas durante un segundo y posteriormente preguntando al evaluado que emoción identificó.

Las imágenes de las tarjetas de reconocimiento de emociones faciales humanas, fueron realizadas por actores profesionales. De las 28 imágenes presentadas, 14 corresponden a modelos femeninos y 14 a modelos masculinos (Ver tabla 1). El objetivo de las tarjetas es reconocer las emociones innatas planteadas por Ekman (2003) [9]. Alegría, asco, ira, miedo, sorpresa y tristeza y una expresión neutral.

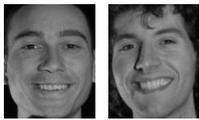
La presentación de estas tarjetas se realiza mediante una base de madera (figura 6) que las soporta y permite visualizar una a la vez.



Figura 6. Base para Tarjetas  
Tomado de Protocolo CREF [8]

Para obtener un registro de esta prueba el evaluador llevará una serie de planillas y tendrá que tabular manualmente los datos una vez termine con cada uno de los evaluados.

Tabla 1. Expresiones Faciales  
Tomada de protocolo CREF [8]

Expresión emocional	Imágenes	
	Género Femenino	Género Masculino
Alegría		
Asco		
Ira		
Miedo		
Sorpresa		
Tristeza		
Neutral		

### 3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS PRUEBA CREF MODO MANUAL

El desarrollo del cuestionario de reconocimiento de emociones faciales (CREF) de forma manual, tiene una serie de ventajas y desventajas que se enuncian en la tabla 2.

Tabla 2. Ventajas y Desventajas prueba CREF manual.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo costo.</li><li>• No requiere equipos informáticos.</li><li>• Fácil transporte.</li><li>• No es invasivo con el paciente.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Registro y tabulación manual por parte del evaluador.</li><li>• Gran inversión de tiempo para análisis de resultados.</li><li>• Cuando se aplica a una población numerosa el tiempo para emitir los resultados se incrementa.</li><li>• El tiempo de exposición a la imagen no es siempre el mismo debido al error humano.</li></ul>

### 3.2 REQUERIMIENTOS CREF DIGITAL

El Laboratorio de Neurociencias y Comportamiento de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga hizo una lista de requerimientos para mejorar el desarrollo y la implementación del proyecto “EVALUACIÓN DEL RECONOCIMIENTO DE EMOCIONES” [10] identificado con el código 080-0912-3100 en la Dirección General de Investigación de la Universidad Pontificia Bolivariana.

A continuación se enuncian los parámetros requeridos:

1. Digitalización de la prueba CREF para reducir el error humano en la toma de datos que muestre las imágenes en orden aleatorio y además que permita cambiar el tiempo de exposición (tiempo que se muestra cada imagen).

2. Un conjunto de tablas que muestren el orden en que las imágenes fueron expuestas, cantidad de aciertos, tiempo de exposición de cada imagen, tiempo total de la prueba, confusión (sí la hubo), y tiempo de respuesta (tiempo que demora en contestar el sujeto).
  
3. El recorrido visual del evaluado sobre las imágenes observadas y una tabla que muestre el tiempo que duró mirando secciones determinadas de estas. También deben organizarse las imágenes de la siguiente forma: alegría, asco, sorpresa, tristeza, ira, miedo, neutral; sin importar el orden en que fueron expuestas.
  
4. A la hora de mostrar los datos, no tener en cuenta parpadeos ni transiciones (recorrido visual de un punto de atención a otro) de las imágenes pues estos son considerados como ruido y no proporcionan información relevante para el test.

## 4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

### 4.1 IMAGEN DIGITAL

Una imagen digital (en escala de grises) puede ser definida como una función bidimensional  $f(x, y)$ , donde  $x$  y  $y$  son coordenadas espaciales. La amplitud de  $f$  para cualquier par de coordenadas  $(x, y)$  es llamada intensidad de la imagen en un punto, y cada punto representa un píxel de la imagen total, siendo este la menor unidad en color que puede formar parte de una imagen.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1y} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{x1} & p_{y2} & & p_{x,y} \end{bmatrix}$$

Siendo " $p$ " un píxel.



Figura 7. Paisaje-Santander (Escala de Grises)  
Autores

La figura 7 muestra una imagen en escala de grises la cual tiene dimensiones  $m \times n$  donde cada píxel posee un valor determinado de gris; el rango va en matices desde negro (0) a blanco (1).

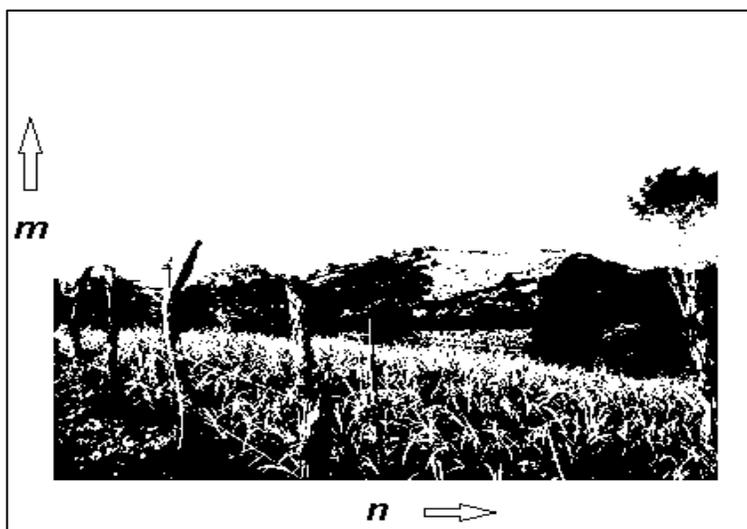


Figura 8. Paisaje-Santander (Blanco y Negro o Binaria)  
Autores

Las imágenes en blanco y negro o binarias como se ve en la figura 8 son las que poseen únicamente dos valores (0 y 1). Suelen obtenerse en el proceso de análisis de características de la imagen.

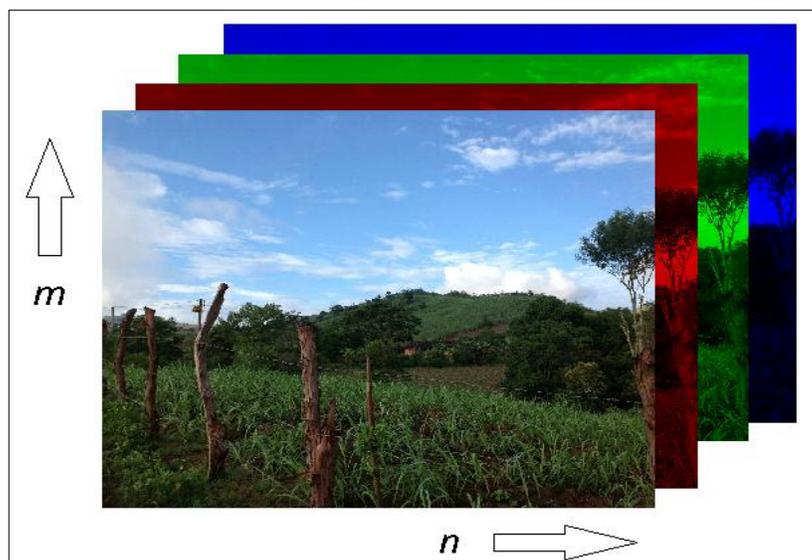


Figura 9. Paisaje-Santander (RGB)  
Autores

Las imágenes a color se construyen a partir de componentes superpuestas que dependiendo de su intensidad forman algún tono específico (figura 9). Las componentes utilizadas para definirla dependen del espacio de color en el que se hayan obtenido o se estén analizando (ver sección 4.2).

#### 4.1.1 Vecindad de un pixel

Un pixel  $p$  en coordenadas  $(x, y)$  tiene 4 vecinos diagonales, dos horizontales y dos verticales. Este conjunto de puntos puede llamarse vecindad-4, vecindad-diagonal y vecindad-8 dependiendo de la cantidad de pixeles vecinos que sean tomados en cuenta (figura 10). [3]

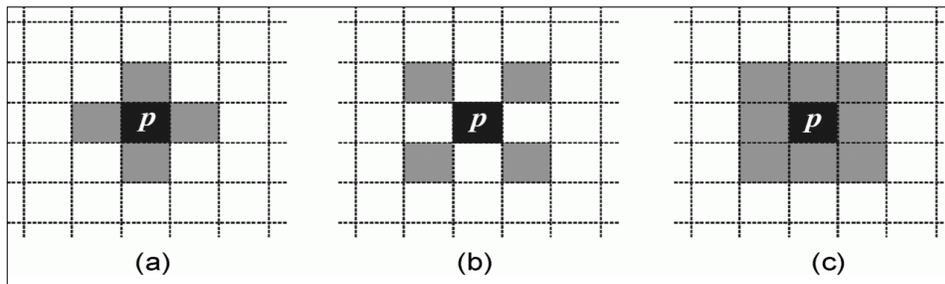


Figura 10. Vecindad de un pixel

10.a Vecindad-4 - 10.b Vecindad-Diagonal - 10.c Vecindad-8

Tomado de <<http://forensicphotoshop.blogspot.com/2013/01/pixel-neighborhoods.html>>  
[Consultado en mayo de 2013]

El concepto de vecindad cobra importancia para la aplicación de filtros y operaciones morfológicas debido a que las máscaras se construyen a partir de este concepto.

#### 4.1.2 Máscara

Una máscara es una matriz usualmente pequeña usada para filtrar, detectar bordes, realizar operaciones morfológicas y otras funciones a una imagen digital. Esto se consigue realizando una convolución entre la máscara y la imagen. También se conocen como matrices de convolución o kernels.

## 4.2 ESPACIOS DE COLOR

Un espacio de color es un modelo matemático que permite clasificar los colores en sistemas de coordenadas espaciales en donde cada color está representado como un solo punto [3], haciendo más fácil su especificación ya que existe una combinación estándar para cada tonalidad. Algunos de los espacios de color más usados son: RGB, CMYK, HSI y HSV.

### 4.2.1 Espacio de color RGB

En el espacio de color RGB, cada color aparece en función de sus componentes espectrales primarias: red, green y blue. Las imágenes representadas en este modelo de color están compuestas por éstas tres componentes superpuestas (figura 11). [3]

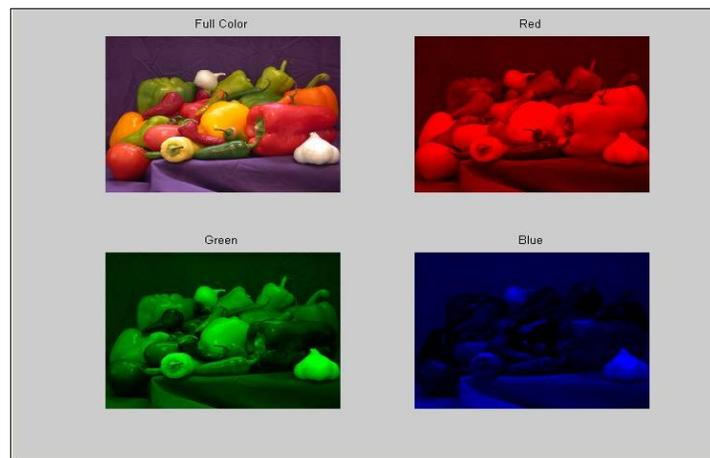


Figura 11. Imagen y Componentes RGB

Tomada de <[http://www.mathworks.com/matlabcentral/fox\\_files/18125/1/Screen\\_01.jpg](http://www.mathworks.com/matlabcentral/fox_files/18125/1/Screen_01.jpg)> [Consultado en de Diciembre 2012]

El espacio de color RGB puede representarse mediante un cubo (figura 12) en donde el origen es el color negro en el vértice (0,0,0) incrementando sus valores de intensidad a lo largo de sus tres ejes hasta el color blanco en el vértice (1,1,1).

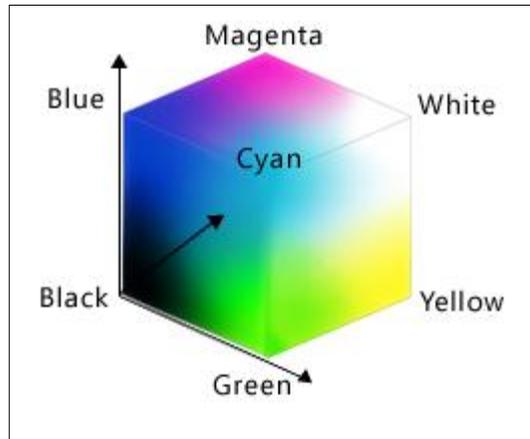


Figura 12. Cubo RGB

Tomada de <<http://i.msdn.microsoft.com/dynimg/IC98839.png>> [Consultado en de Mayo de 2013]

#### 4.2.2 Espacio de color HSV

El espacio de color HSV permite una separación del color y la iluminación (figura 13) [4]. Sus componentes son:

- Hue: Representa la longitud de onda dominante del color (rojo, verde, azul).
- Saturation: Es la profundidad o pureza del color. Es la componente menos sensible a la variación del color.
- Value: Representa el brillo del color (iluminación).

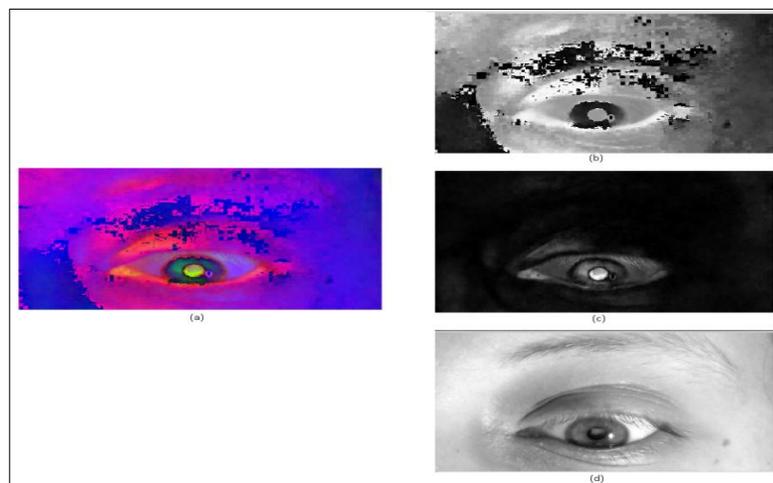


Figura 13. Imagen y Componentes HSV

13.a Imagen HSV - 13.b Hue - 13.c Saturation - 13.d Value  
Autores

El espacio de color HSV puede representarse mediante un cono invertido, como se ve en la figura 14. La región circular representa el matiz (hue), la altura el valor (value) y el radio la saturación (saturation).

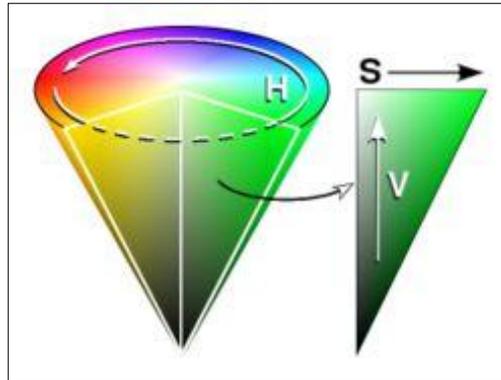


Figura 14. Cono HSV

Tomada de < [http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/images/Cono\\_HSV.png](http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/images/Cono_HSV.png)> [Consultado en Junio de 2013]

### 4.2.3 Espacio de color CMYK

CMYK (Cian Magenta Amarillo Negro) es un espacio de color normalmente usado en impresoras. Este modelo se basa en la sustracción del color y normalmente depende de los tipos de tinta y papel usados, así como el dispositivo de impresión (figura 15).

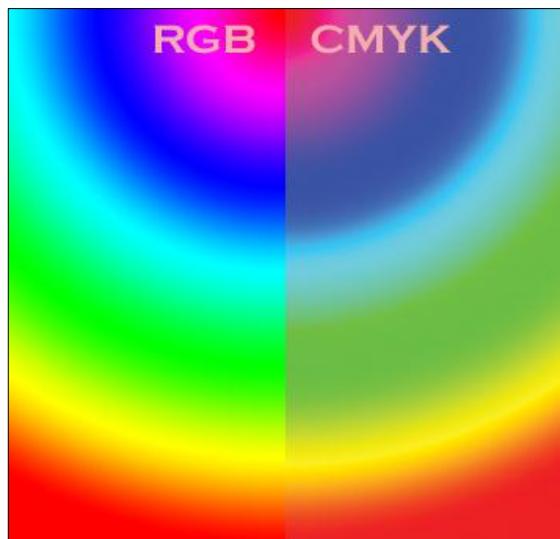


Figura 15. Comparación RGB y CMYK

Tomada de < <http://www.ibercreativos.com/blog/wp-content/uploads/2009/05/rgb-cmyk.jpg>> [Consultado en Junio de 2013]

### 4.3 FILTROS

Resultan eficaces a la hora de suavizar la imagen y eliminar ruido. También pueden llegar a usarse para resaltar cierta parte de la imagen dependiendo del tipo de máscara que se use. Para la aplicación de estos filtros se realiza una convolución entre la imagen a filtrar y una máscara (con una vecindad asignada). Algunos de los filtros más usados son: de media, media geométrica, media aritmética, mediana, adaptativos entre otros. [3]

#### 4.3.2 Filtro de media

El filtro de media le da al pixel central el promedio de todos los pixeles incluidos en la máscara de convolución (pixeles vecinos). Ver figura 16.



Figura 16. Filtro de media  
Izquierda: Imagen Original - Derecha: Imagen Filtrada  
Autores

#### 4.3.3 Filtro de mediana

El filtro de mediana da al pixel un valor que se encuentra en la imagen y no un promedio, reduciendo la apariencia borrosa que poseen las imágenes a las cuales se les ha aplicado un filtro de media (figura 17).



Figura 17. Filtro de mediana

Tomada de < <http://visionartificialparatodos.files.wordpress.com/2011/01/mediana.png> [Consultado en Junio de 2013]

#### 4.4 HISTOGRAMA

Un histograma de una imagen digital es una función de distribución discreta  $h(r_k) = n_k$  donde  $r_k$  representa un nivel de gris (normalizado de 0 a 1) y  $n_k$  representa el número de píxeles de la imagen que tienen el nivel de gris  $r_k$ . Los histogramas pueden ser monomodales, bimodales o multimodales (figura 18) y brindan datos estadísticos importantes que resultan útiles en otros apartados del procesamiento de imágenes como la segmentación. [3]

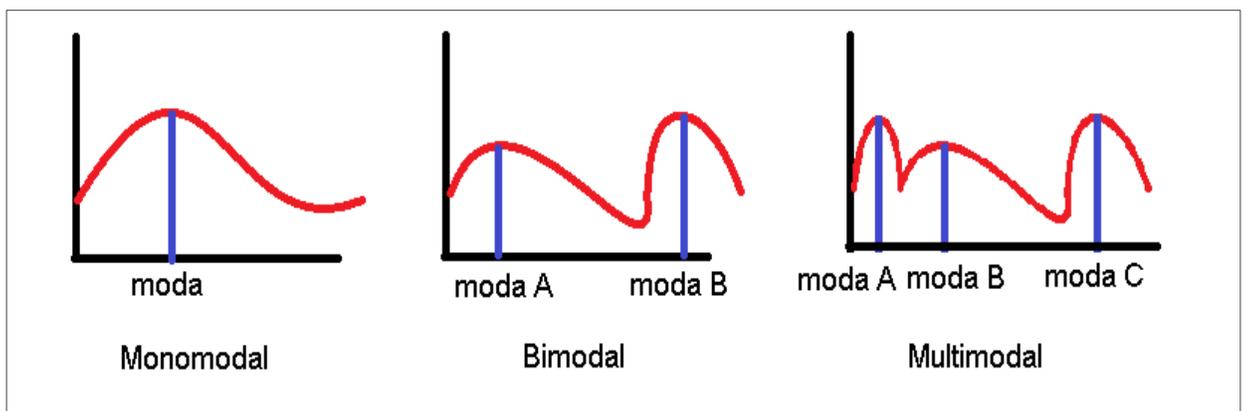


Figura 18. Histograma  
Autores

## 4.5 SEGMENTACIÓN

La segmentación es una operación que permite analizar cada pixel para comprobar si pertenece o no a una zona de interés, permitiendo distinguirlo de otros pixeles para producir una imagen separada en regiones (figura 19). [5]

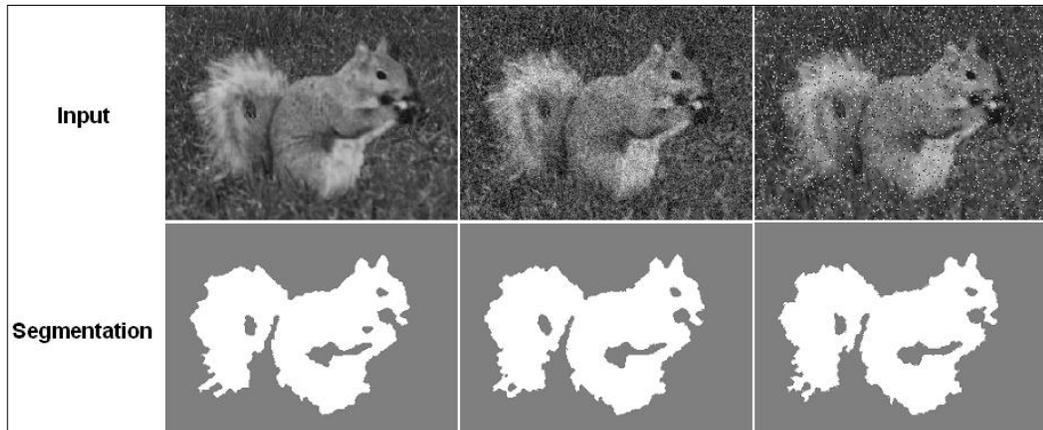


Figura 19. Segmentación

Tomado de <<http://www.cs.cmu.edu/~jxiao/images/segmentation.png>>

[Consultado en mayo de 2013]

Existen diferentes métodos de segmentación tales como umbralización, detección de bordes, transformación divisoria entre otros. De acuerdo a la información de interés y las herramientas disponibles para el proceso, en este proyecto la umbralización se escogió como el indicado para separar la pupila del resto del globo ocular (ver sección 5.3.6).

### 4.5.1 Umbralización

La umbralización es un método de segmentación en donde se binariza una imagen de entrada (en escala de grises) dependiendo de un nivel de gris conocido como umbral, para obtener a la salida una imagen en donde los pixeles que se encuentran por debajo de este umbral son representados con 0 y los demás con 1; o viceversa (figura 20). [11]

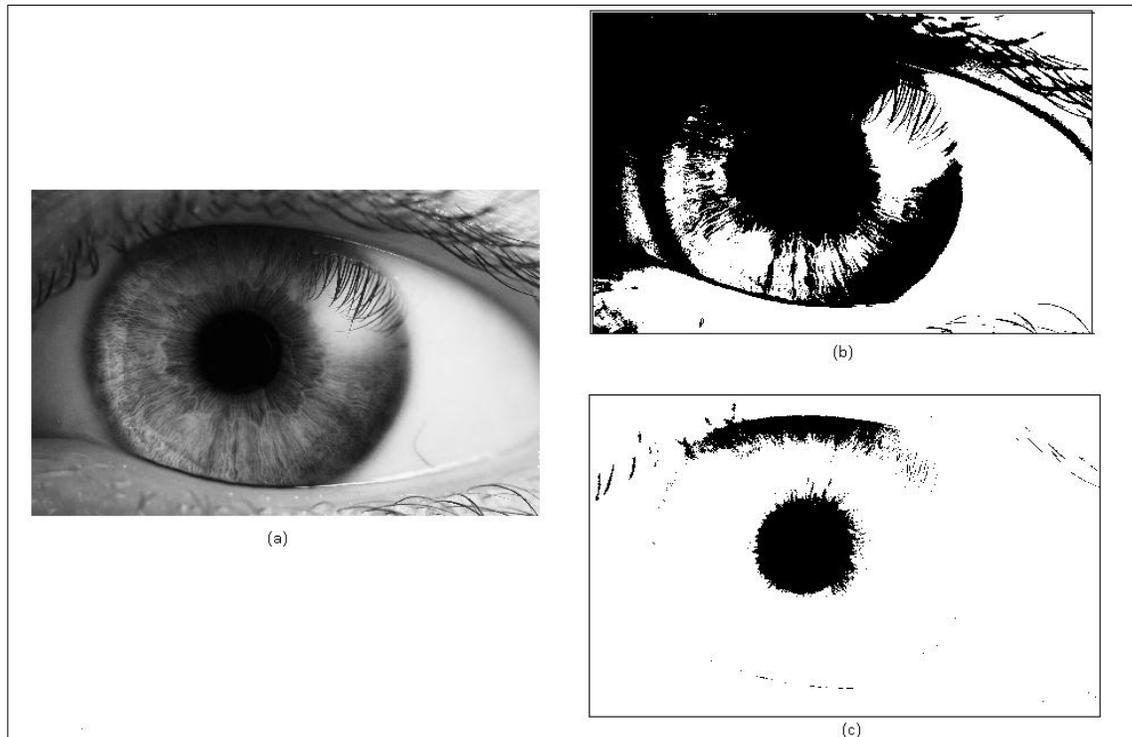


Figura 20. Umbralización

18.a Imagen Escala de Grises - 18.b Umbral de 0.4 - 18.c Umbral de 0.1  
 Imagen Original Tomada de <[http://3.bp.blogspot.com/-56X\\_3sqT3B4/T\\_tBof7LA5I/AAAAAAAAABEc/wGhLZsbb7Ss/s1600/ojo-humano.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-56X_3sqT3B4/T_tBof7LA5I/AAAAAAAAABEc/wGhLZsbb7Ss/s1600/ojo-humano.jpg)>  
 [Consultado en mayo de 2013]

## 4.6 OPERACIONES MORFOLÓGICAS

Las operaciones morfológicas son aquellas que afectan la forma o la estructura de un objeto en la imagen. Se usan en imágenes binarias como métodos de filtrado que permiten eliminar o resaltar algunas regiones deseadas. Para realizar estas operaciones se crea una máscara y se realiza una convolución entre esta y la imagen binarizada pixel a pixel. Las operaciones morfológicas más usadas son: erosión, dilatación, apertura y cierre. [3] [5]

### 4.6.1 Dilatación

En la dilatación se desliza la máscara sobre la imagen binarizada y se realiza la siguiente operación: si el origen de la máscara coincide con un pixel negro no hay

cambio, pero si coincide con un pixel blanco entonces se hacen blancos todos los pixeles que alcance a cubrir la máscara (figura 21). [3]

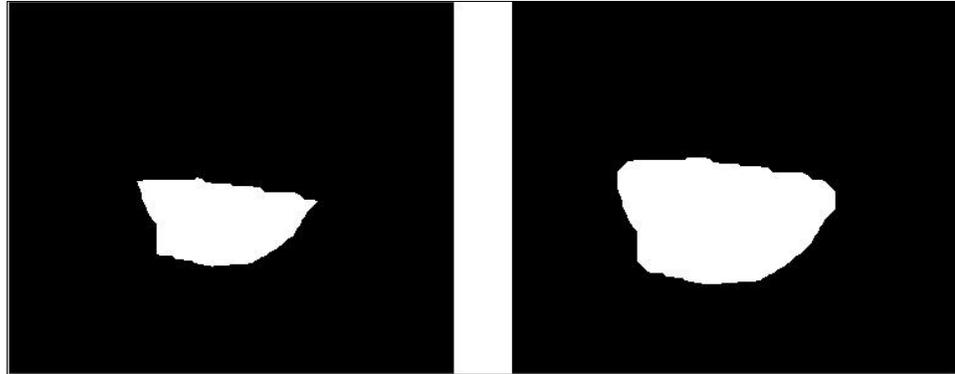


Figura 21. Dilatación  
Autores

#### 4.6.2 Erosión

En la erosión se desliza la máscara sobre la imagen binarizada y se realiza la siguiente operación: si la máscara está en su totalidad dentro de la imagen entonces se retienen los valores originales, si no estos se eliminan (figura 22). [3]



Figura 22. Erosión  
Autores

#### 4.7 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES EN MATLAB

MATLAB es un lenguaje de programación desarrollado por MathWorks Inc, que integra computación, visualización y programación en donde los problemas y soluciones se expresan con notación matemática sencilla. Este además permite la

integración de paquetes de funciones conocidos como Toolbox que extienden las posibilidades de este software para la solución de problemas de ingeniería.

Para el procesamiento de las imágenes de este proyecto se hizo uso de las herramientas proporcionadas principalmente por la Image Processing Toolbox de MATLAB 2012b-versión educativa. Además se usaron algunas funciones de la Computer Vision Toolbox para leer los videos.

En la tabla 3 se muestran los comandos más importantes usados en este proyecto. Para ampliar la información se recomienda recurrir a la ayuda proporcionada por MATLAB buscando por el nombre de cada comando o en su página web. Ver [6].

Tabla 3. Comandos MATLAB  
Tomado de la Sección de Ayuda Matlab R2012b [6]

Comando	Función
imread(magen)	Permite leer una imagen en cualquier formato
imwrite(var, imagen)	Permite guardar una imagen desde MATLAB
imshow(imagen,var)	Permite visualizar una imagen
Figure	Permite abrir una figura para visualizar imágenes en ella
strel(forma,tamaño)	Crea una máscara para usar en las operaciones morfológicas
Fspecial(forma,tamaño)	Crea un filtro, se usa en conjunto con imfilter
imerode(imagen,máscara)	Erosiona una imagen
imdilate(imagen,máscara)	Dilata una imagen
imfill(imagen,'holes')	Rellena agujeros en la imagen
imfilter(imagen,máscara)	Aplica un filtro a la imagen
rgb2gray(imagen)	Convierte una imagen RGB a escala de grises
Im2bw(imagen,umbral)	Convierte una imagen en escala de grises, en binaria según un umbral determinado.
Regionprops	Mide las propiedades de una imagen o

	región
Imhist(imagen)	Muestra el histograma de una imagen
Vidoreader	Lee todos los fotogramas de un archivo de video
vision.VideoFileReader	Lee un archivo de video, un fotograma a la vez
step(visión.VideoFileReader)	Permite avanzar al siguiente fotograma
rgb2hsv(imagen)	Convierte una imagen en espacio de color a una en espacio de color HSV

## 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO OCULAR

El sistema de reconocimiento ocular diseñado en este proyecto se enfoca exclusivamente en la tabulación de los datos del cuestionario psicológico “CREF”, el cual busca en este caso específico la digitalización del test mediante tomas de video a los sujetos de evaluación y determinar dónde se sitúa la mirada del individuo de prueba al momento de exponerlo a imágenes de personas con distintas emociones faciales (alegría, tristeza, ira, miedo entre otras), abriendo una nueva posibilidad de investigación ya que si se comparan los parámetros que rigen la prueba CREF propuesta por el Laboratorio de Neurociencias y Comportamiento de la Universidad Pontificia Bolivariana [10], esta sólo se limita a la identificación de la emoción sin importar cuál fue la característica que observó el evaluado para llegar a su conclusión, por esta razón se propone una nueva forma computarizada para aplicar la prueba y permitir nuevas posibilidades de análisis de datos, haciéndola menos subjetiva y más eficaz a la hora recolectar la información final. Para esto se siguieron los siguientes pasos:

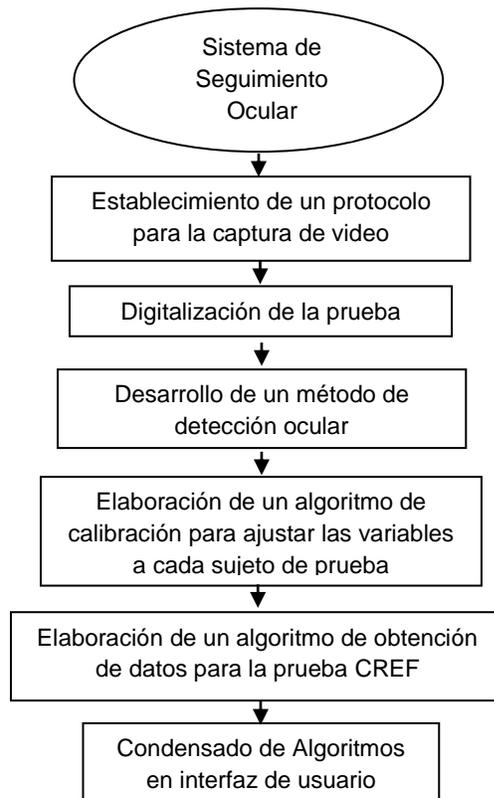


Figura 23. Metodología para el desarrollo Sistema de Seguimiento Ocular  
Autores

Como primer paso para poder establecer el protocolo de captura de video fue necesario escoger uno de los métodos de registro ocular teniendo como prioridad la comodidad del paciente, razón por la cual utilizó Filmación Directa ya que es poco invasiva pues requiere solo de un reposacabezas para mantener la altura de la cabeza constante y además se adapta a los requerimientos exigidos por el usuario final.

## 5.1 PROTOCOLO PARA LA CAPTURA DE VIDEO

Es necesario tener como primera instancia un protocolo que permita establecer las pautas para poder replicar la prueba posteriormente.

### 5.1.1 Cámara

La cámara de video usada en este proyecto fue una Handy Cam Samsung HMX-F80; ésta captura video a 30 fotogramas por segundo con una resolución de 720x1280.

Debido a que el recorrido de los dos ojos es igual se opta por usar únicamente uno de ellos permitiendo de esta forma un acercamiento más detallado. Para que la captura sea efectiva y con la menor cantidad de errores posibles es necesario obtener el enfoque de uno de los dos ojos del individuo de prueba de tal forma que la cámara tome el ojo de frente y en primer plano como muestra la figura 24.

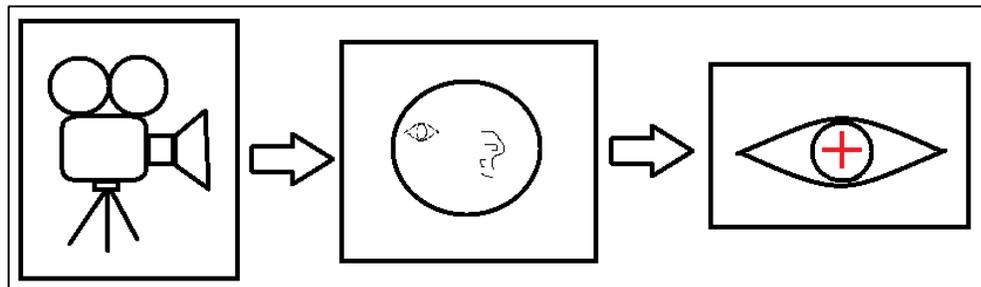


Figura 24. Enfoque de cámara  
Autores

### 5.1.2 Iluminación

También es necesario establecer condiciones de iluminación mínimas, ya que cambios bruscos de luz durante la toma de videos afectan las pruebas, para esto se recomienda suprimir las entradas de luz solar y mantener alumbrado el cuarto con lámparas de luz blanca. Adicional a esto se requiere una lámpara para la cara del evaluado ubicada de forma a un costado lateral de la pantalla para evitar que el reflejo de ésta se ubique en zonas centrales del ojo y afecte el funcionamiento del Eye Tracker, como se muestra en la figura 25.

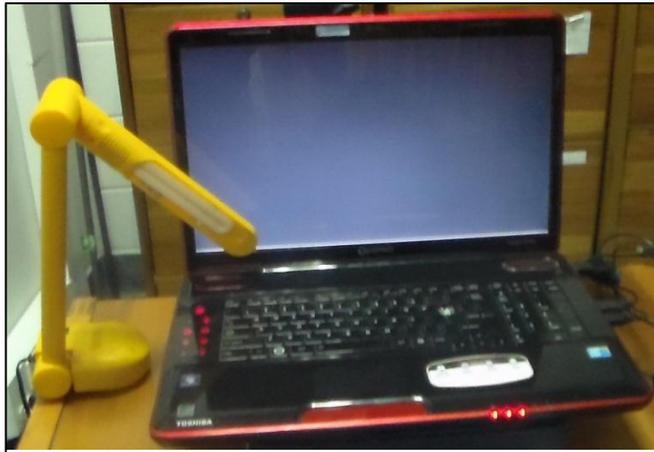


Figura 25. Posición Iluminación  
Autores

### 5.1.3 Distancia al Monitor

La distancia del sujeto evaluado a la pantalla es otra variable a controlar. Para el desarrollo de este proyecto se tomaron medidas entre los 40 y 45 centímetros de la pantalla para obtener comodidad al observar y también para garantizar que los movimientos oculares sean de una magnitud considerable para analizar, ya que entre más lejos se sitúe el individuo de la pantalla el ojo realiza movimientos más cortos (desde el punto de vista del video). Ver figura 26.

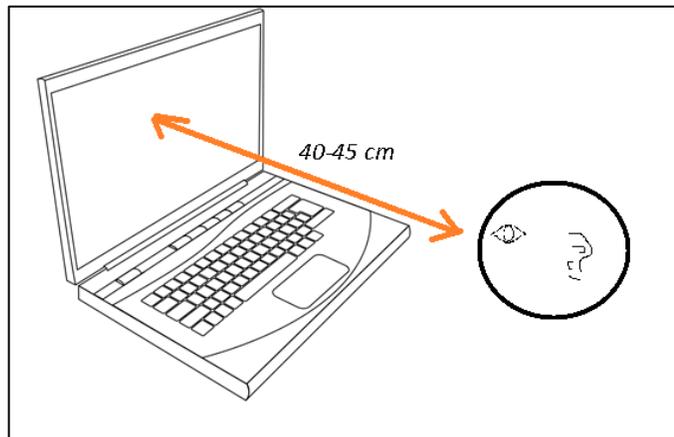


Figura 26. Distancia al Monitor  
Autores

#### 5.1.4 Base

Adicional a las consideraciones anteriores, se debe tener en cuenta la altura y posición de la cabeza del paciente para lo cual se propuso el uso de una base de apoyo de cabeza como se muestra en la figura 27, la cual tiene como objetivo graduar la altura y evitar que las personas hagan movimientos bruscos que entorpezcan los resultados al momento de hacer seguimiento ocular debido a que pueden ser interpretados como cambios de posición y dirección de la mirada.

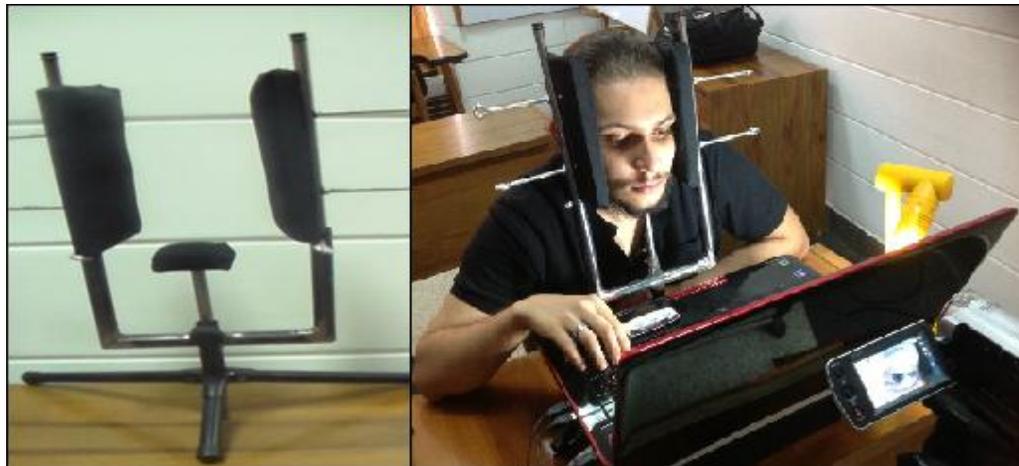


Figura 27. Base para Apoyar la Cabeza  
Autores

La base se ajusta a la fisionomía (ancho de la cara y la altura) de la persona evaluada permitiendo mantener la misma posición en los videos de calibración y prueba CREF brindando de esta forma estabilidad a los resultados ya que si no se conserva la posición inicial entre video de calibración y prueba es muy posible que los datos obtenidos no representen el verdadero movimiento ocular de la persona.

## 5.2 DIGITALIZACIÓN DE LA PRUEBA CREF

Con el fin de complementar el análisis de la prueba se desarrolló una pequeña aplicación que permite aplicar el test en un ordenador (figura 28). Esta aplicación se realizó con GUIDE y le da al evaluador herramientas para tomar los videos de calibración y de la prueba CREF (requerimiento 1, ver sección 3.2).



The image shows a graphical user interface (GUI) for the CREF application. The window has a title bar with 'Salir' and 'Ayuda' menus. The main content area is titled 'CREF' and contains four input fields: 'Digite el nombre del Evaluado', 'Edad', 'Sexo', and 'Tiempo de exposición (s)'. At the bottom, there are two buttons: 'Prueba CREF' and 'Calibración'.

Figura 28. GUI CREF  
Autores

El apartado ayuda en la barra de menú, contiene información de cómo deben realizarse los videos de calibración y prueba CREF. Las 28 imágenes de las expresiones usadas en esta interfaz fueron proporcionadas por el Laboratorio de Neurociencias y Comportamiento de la Universidad Pontificia Bolivariana y tienen un tamaño de 541x721 pixeles.

El evaluador puede ingresar datos tales como el nombre de la persona a evaluar, su edad y sexo. También puede modificar el tiempo de exposición de todas las imágenes de la prueba. Cuando se ejecuta la prueba se muestran las imágenes en orden aleatorio (para cada sujeto existe un orden diferente). Después de la exposición de cada imagen se muestra un menú en el cual el evaluado ingresa el valor correspondiente a la emoción facial que él cree observó (figura 29).



Figura 29. Prueba CREF  
Autores

Después de terminar la prueba por completo, el programa crea un directorio con el nombre del evaluado y dentro de este un fichero de Excel llamado `Reporte_CREF_NombreEvaluado.xls` que contiene los ítems solicitados (requerimiento 2, ver sección 3.2) por el Laboratorio de Neurociencias y Comportamiento: el código de cada imagen, el orden en que estas fueron mostradas, cantidad de aciertos, tiempo de exposición de cada imagen, tiempo total de la prueba, confusión de emoción (sí la hubo), y tiempo de respuesta (tiempo que demoró el sujeto en contestar) como se muestra en la figura 30.

Además se guardará otro fichero en Excel llamado `Delays_Matlab_NombreEvaluado.xls` que contiene datos relevantes para la sincronización que se usarán posteriormente en el análisis de la prueba (ver sección 5.5.4) para determinar los tiempos exactos en los cuales el sujeto estaba mirando determinada imagen.

Nombre	Oscar Daniel Vargas Arenas				
Edad	22				
Sexo	Masculino				
Número	Expresión	Respuesta	Confusión	Código	Tiempo (s)
28	Normal	Correcto	-	HN92	1,2069834
20	Ira	Incorrecto	Normal	HRNG94	2,00900381
14	Tristeza	Incorrecto	Invalido	HTNG26	0,23941313
13	Tristeza	Incorrecto	Invalido	MTNG18	0,29470496
1	Alegría	Incorrecto	Invalido	MFP58	0,16905564
19	Ira	Incorrecto	Alegría	MRNG55	0,66024883
2	Alegría	Correcto	-	MFP12	0,24635133
15	Tristeza	Correcto	-	HTNG56	0,19005999
23	Miedo	Correcto	-	HMNG66	0,47053802
4	Alegría	Incorrecto	Normal	HFP71	0,30069391
18	Ira	Incorrecto	Alegría	HRNG41	0,52957656
12	Sorpresa	Correcto	-	HSNG98	0,81289101
3	Alegría	Incorrecto	Tristeza	HFP106	0,18321871
5	Asco	Correcto	-	MDNG112	0,39602258
11	Sorpresa	Incorrecto	Tristeza	HSP31	1,54140637
24	Miedo	Correcto	-	MMNG88	0,3603837
8	Asco	Correcto	-	HDNG97	0,2861563
10	Sorpresa	Correcto	-	MSP105	0,26514697
9	Sorpresa	Correcto	-	MSNG25	0,91261267
27	Normal	Correcto	-	HN65	0,20995251
26	Normal	Correcto	-	MN48	0,70877456
21	Miedo	Correcto	-	MMNG107	0,13111519
7	Asco	Correcto	-	HDNG11	0,40497159
16	Tristeza	Correcto	-	MTNG96	0,15515569
25	Normal	Correcto	-	MN14	0,17518226
17	Ira	Correcto	-	MRNG15	0,10461282
6	Asco	Correcto	-	MDNG42	0,57953023
22	Miedo	Incorrecto	Sorpresa	HMNG24	0,25649596
Correctas	18				
Incorrectas	10				
Exposición (s)	0,5				

Figura 30. Reporte\_CREF\_NombreEvaluado.xls  
Autores

### 5.3 EYE TRACKER

Una vez realizada la toma de video teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente; la siguiente etapa del diseño es el método de detección ocular o Eye Tracker. Este se compone de diversas técnicas de procesamiento de imágenes y se aplica a cada uno de los fotogramas que componen el video, siguiendo la secuencia que muestra la figura 31.

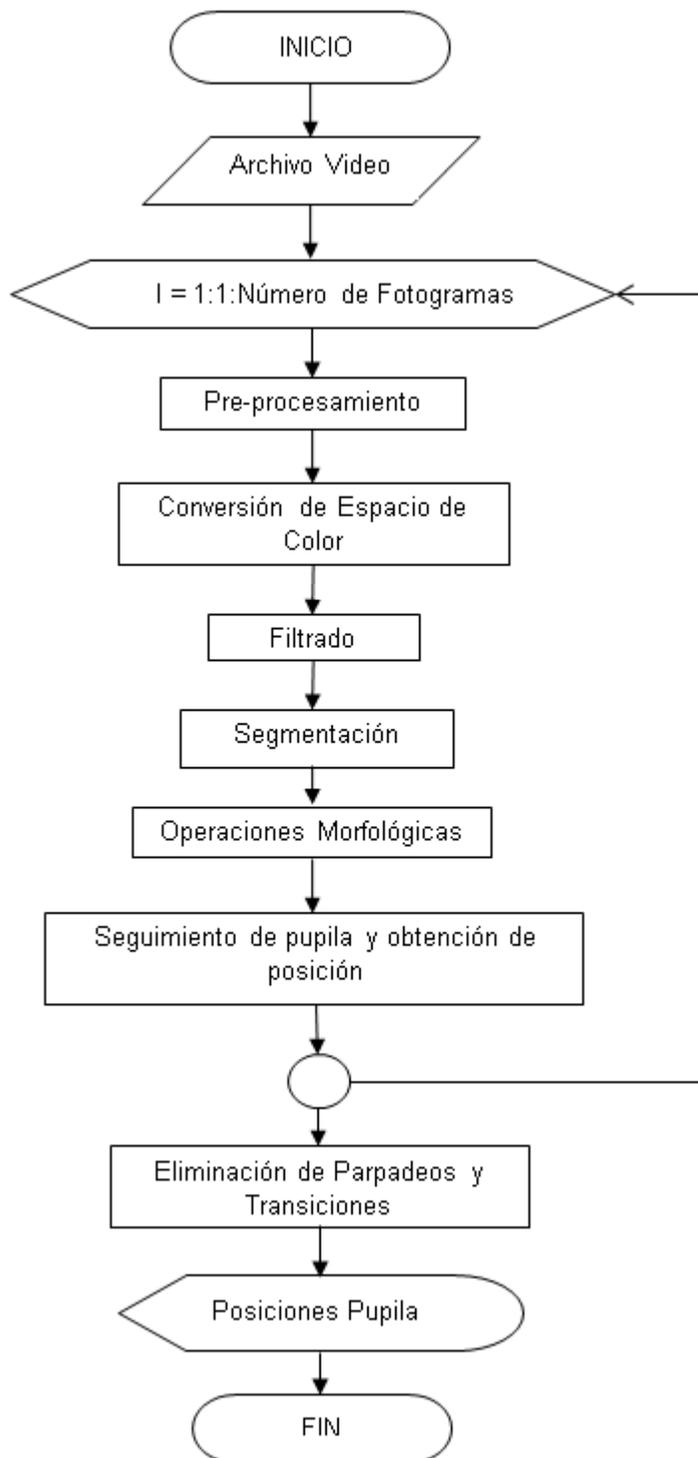


Figura 31. Algoritmo del Eye Tracker Autores

A continuación se explicarán cada una de las técnicas aplicadas a cada fotograma de video:

### 5.3.1 Apertura de video

Para empezar se parte de la integración del video tomado a MATLAB. El comando VideoReader se usó únicamente para obtener las características de este, como número de fotogramas, formato y duración pero no para pasar de un fotograma a otro debido a que este almacena cada fotograma en la memoria RAM, resultando muy lento y en algunas ocasiones (videos extensos) llegando al máximo de almacenamiento, haciendo imposible realizar cualquier otra tarea.

Para solucionar este problema se usó el comando vision.VideoFileReader en conjunto con el comando step(visión.VideoFileReader), ambos de la Computer Vision Toolbox de MATLAB. De esta forma se puede leer el fotograma actual en vez del video en su totalidad, permitiendo así extraer sólo la información necesaria y pasar al siguiente, evitando la sobrecarga de memoria.

### 5.3.2 Pre-procesamiento

Antes de realizar el procesamiento se realizó un recorte de la zona de interés (figura 32) con el objetivo de disminuir la cantidad de perturbaciones presentes en cada imagen. Las medidas de este recorte se hacen teniendo en cuenta el zoom realizado con la cámara de video. El punto central del recorte lo da el evaluador (usuario) al hacer un clic sobre la pupila.



Figura 32. Recorte de Imagen  
Autores

### 5.3.3 Elección del espacio de color

Debido a que el color del iris varía de un evaluado a otro y a que la pupila se ve afectada por perturbaciones como el reflejo del monitor o las pestañas, es necesario trabajar en un espacio de color en donde estos factores no alteren la detección. Para esto se realizó la siguiente prueba:

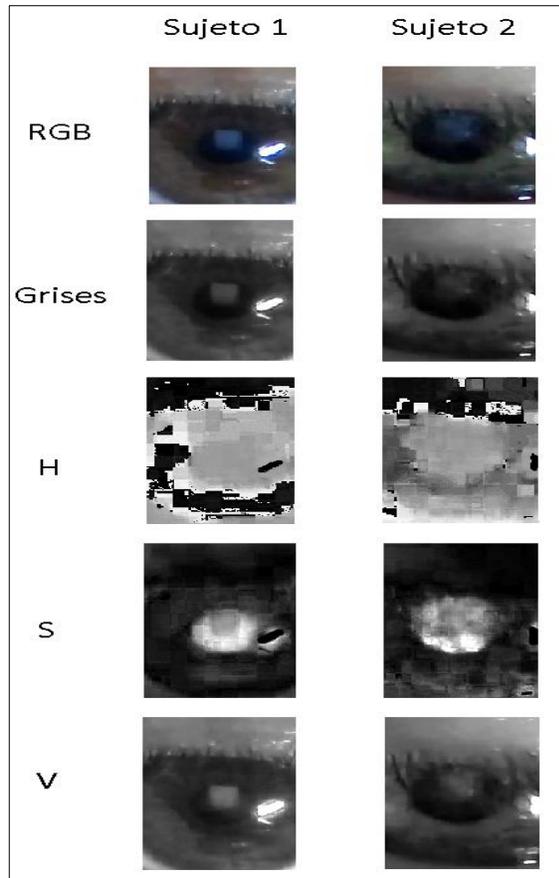


Figura 33. Elección del Espacio de Color  
Sujeto 1. Color Café - Sujeto 2. Color Verde  
Autores

Como se observa en la figura 33, en el espacio de color HSV y específicamente usando la componente de saturación, se obtiene una imagen que cumple con los requerimientos deseados, pues no se ve afectada por el cambio de color en el iris y además reduce el ruido producido por las pestañas y el reflejo del monitor.

### 5.3.4 Conversión RGB a HSV

Las imágenes capturadas por la cámara de video se encuentran por defecto en el espacio de color RGB. Se realizó una conversión a espacio de color HSV para facilitar la detección de la pupila ya que la componente de saturación resulta muy útil a la hora de diferenciar las intensidades de cada color. Debido a que la pupila presenta un color más intenso (más puro) comparada con los colores que pueden observarse en el iris, la detección es igual sin importar el color de ojos de la persona. Esto también ayuda a separar cualquier reflejo que se presente dentro de la cavidad ocular como se aprecia en la figura 34.

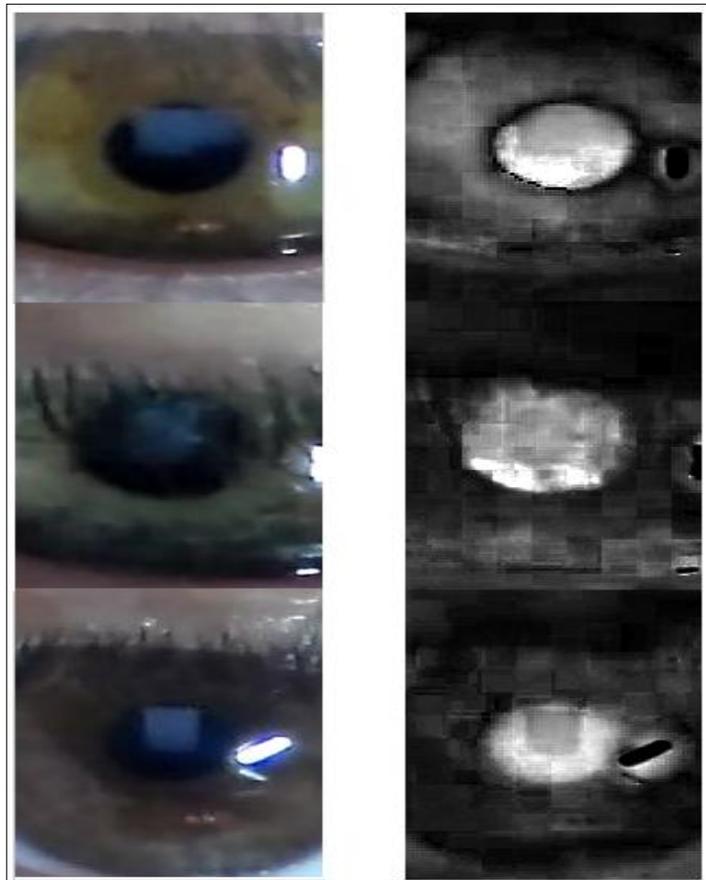


Figura 34. Comparación entre RGB y Saturación  
Autores

### 5.3.5 Filtro de media

Posteriormente se usó un filtro de media en las componentes de saturación de cada imagen, el cual varía el tamaño de la máscara de convolución dependiendo del número de píxeles saturados en la imagen. Esto se usó para eliminar perturbaciones que se den a causa de algunos tonos en la piel (parpados) o las pestañas del sujeto. Se hizo variable debido a los diferentes de tamaños de pupila que pueden existir durante la prueba. En la figura 35 se muestra una imagen con una perturbación alta debido a las pestañas, con el filtro de media se logra que la sección en donde se encuentra la pupila sea la de valores de gris más altos.

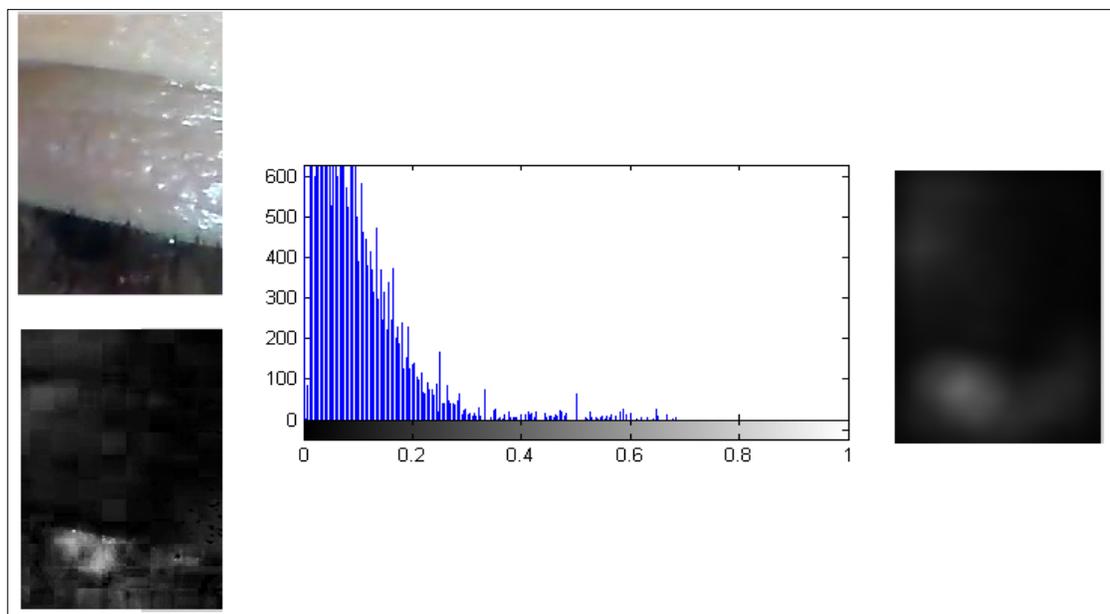


Figura 35. Criterio para Elección de Máscara  
Autores

### 5.3.6 Umbralización

Después de obtener la imagen filtrada se determina un valor de umbral dependiendo del nuevo histograma (el umbral varía en cada fotograma). El umbral se escoge sabiendo que después de usar el filtro de media, los valores más altos en el histograma representan la pupila.

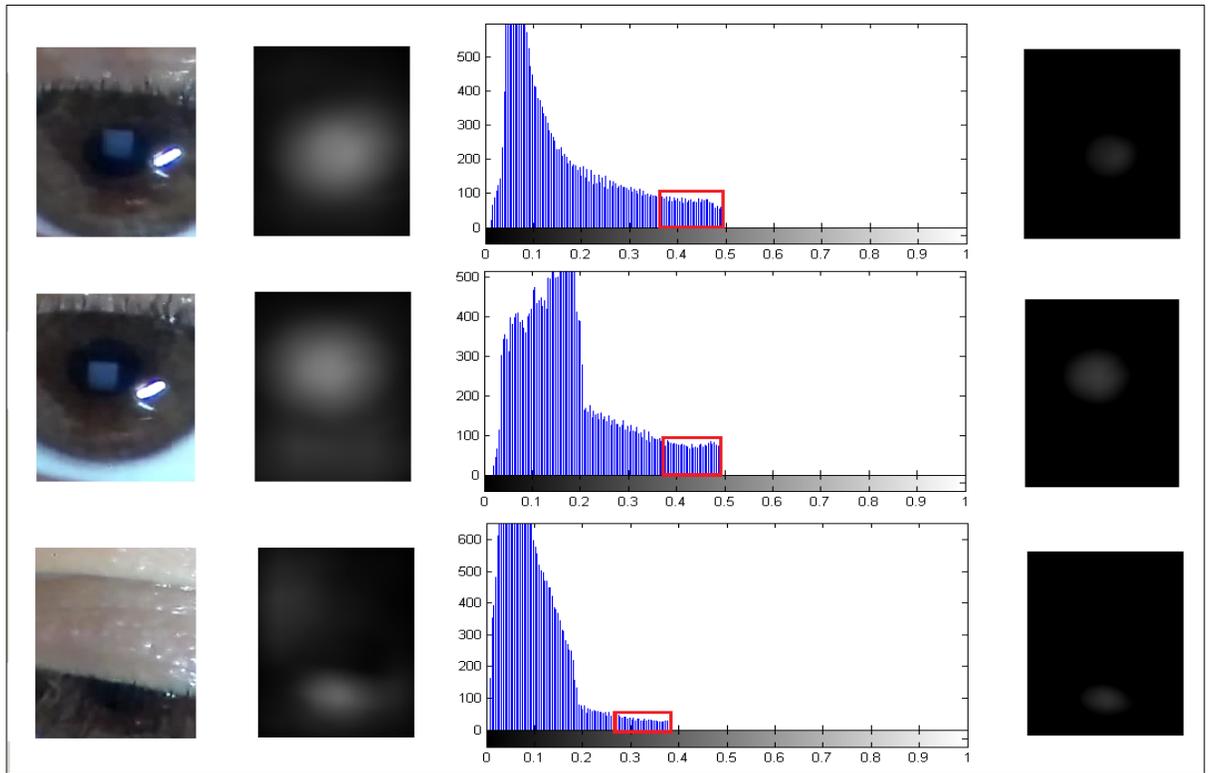


Figura 36. Selección de Umbral con base en el Histograma  
Autores

Al umbralizar se puede obtener una imagen con la menor cantidad de ruido posible, haciendo más sencilla la detección de la pupila. Se consideró apropiado tomar como umbral el valor más alto de gris menos un 20% como se observa en la figura 36. Esta imagen se binariza de acuerdo a este umbral para trabajar únicamente con dos niveles de gris (figura 37).

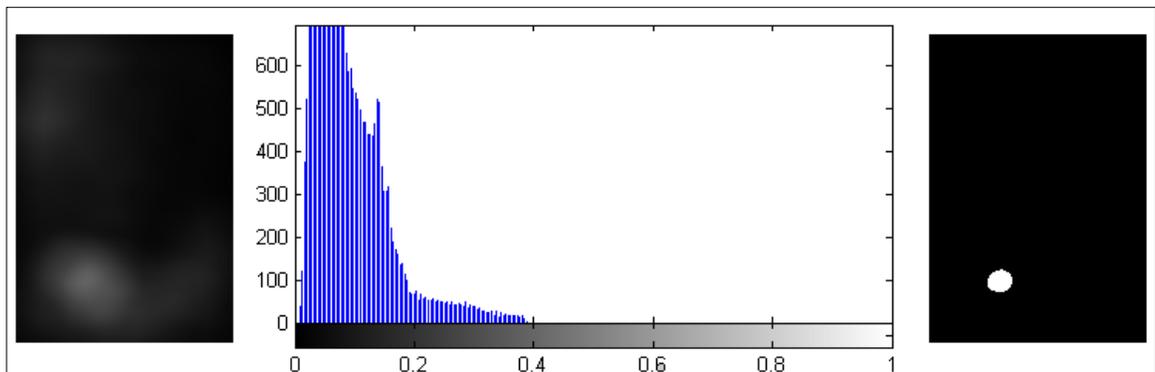


Figura 37. Binarización  
Autores

### 5.3.7 Operaciones Morfológicas

Al trabajar con una gran cantidad de imágenes, es posible que en algunas aún después de todo el procesamiento anteriormente mencionado permanezcan con algo de ruido. Para esto se realiza una erosión y posteriormente una dilatación dependiendo del radio de la pupila con el objetivo de eliminar el ruido sin que este radio varíe mucho de una imagen a otra. En la figura 38 se muestra como una sombra en el parpado hace que al umbralizar aparezcan dos figuras, problema que se soluciona con las operaciones morfológicas.

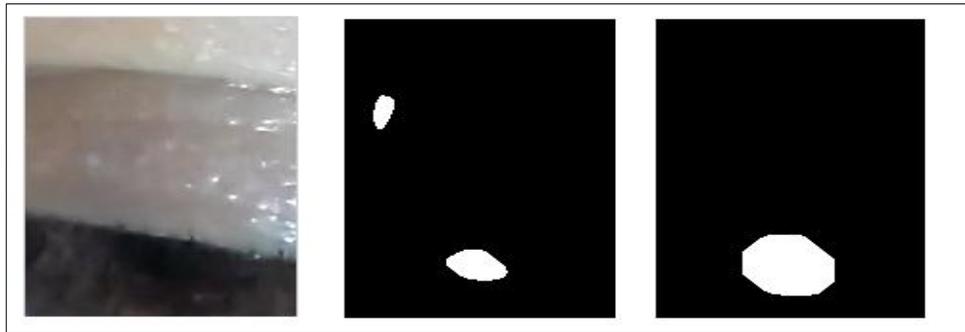


Figura 38. Operaciones Morfológicas  
Autores

Se realizó una prueba para observar que tanto cambia la ubicación del centro antes y después de realizar las operaciones morfológicas. Para esto se tomaron los datos de posición de una prueba de calibración (ver sección 5.4) y se halló la distancia entre los puntos.

En la figura 39, el movimiento en X representa si el evaluado miró a la izquierda o derecha, y el movimiento en Y si este miró arriba o abajo. La distancia entre los puntos, representa el cambio de ubicación del centro de la pupila antes y después de las operaciones morfológicas. Los picos existentes cerca al segundo 100 y en el segundo 500 se deben a parpadeos (que son posteriormente eliminados) y el resto de puntos tienen una distancia menor a 0.5 píxeles (en distancia entre los puntos), lo cual indica que los centros son prácticamente iguales en ambos casos.

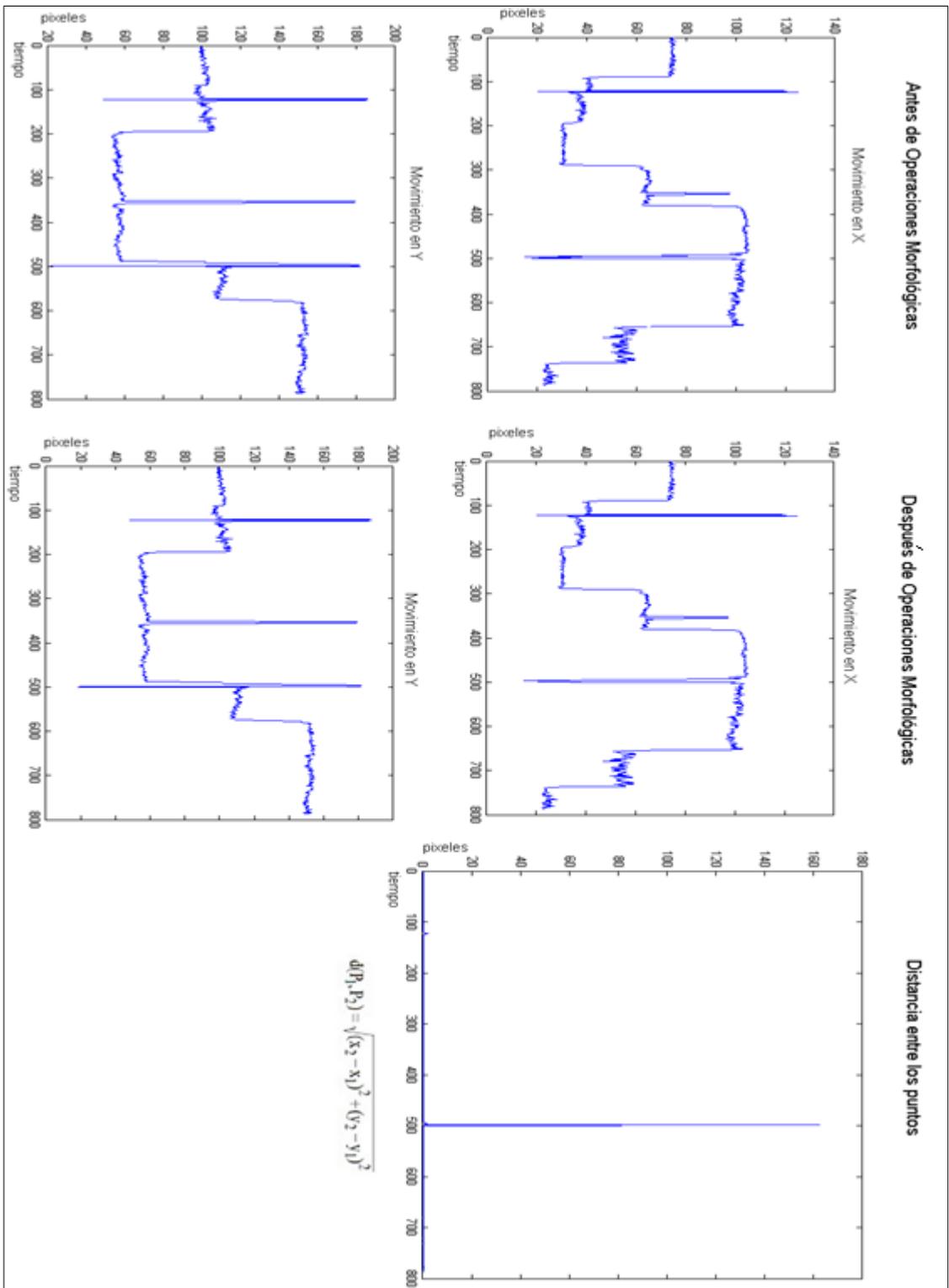


Figura 39. Cambio de Centro Operaciones Morfológicas Autores

### 5.3.8 Ubicación de la pupila

La pupila se ubica con el comando `regionprops` de la Image Processing Toolbox de MATLAB usando la propiedad `centroid`, entregando como resultado un vector de 1X2 que muestra las coordenadas  $(x, y)$  del centro de masa de la región blanca (figura 40). Estas posiciones se guardan para cada uno de los fotogramas.

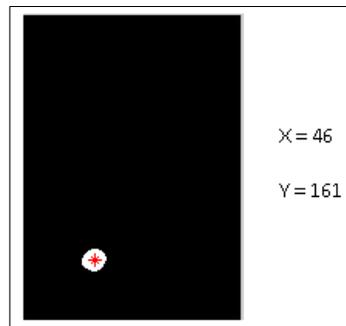


Figura 40. Ubicación de la pupila  
Autores

Para ubicar la posición de la mirada se comienza indicando al evaluado que observe el punto central (figura 41). Las posiciones de la pupila en este tiempo se promedian y el resultado se toma como el centro de referencia sobre la imagen.

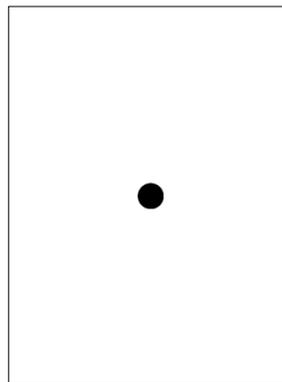


Figura 41. Punto Central  
Autores

Las coordenadas de cada punto se ubican a partir de este centro de referencia midiendo la distancia entre A y B (figura 42). De esta forma se conoce la dirección y magnitud de cada movimiento. Posteriormente los datos se escalan y ajustan dependiendo de los resultados obtenidos en la calibración (ver sección 5.4)

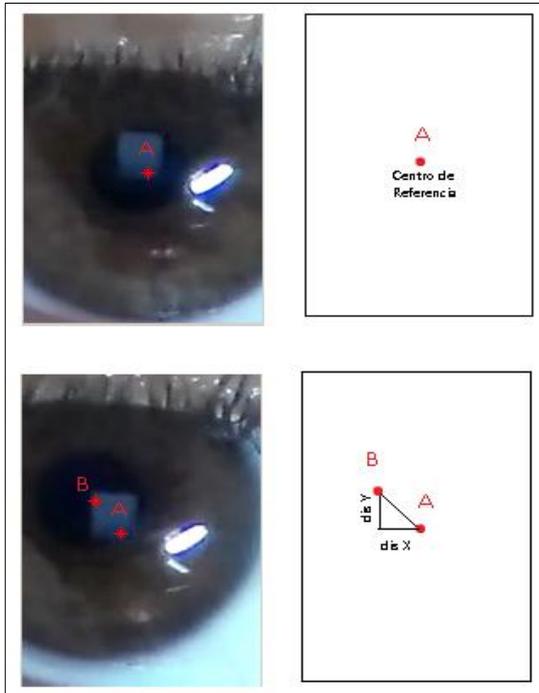


Figura 42. Adaptación de planos  
Autores

### 5.3.9 Eliminador de Parpadeos y Transiciones

Después de que se han almacenado todos los datos de posición de la pupila se ejecuta un algoritmo que determina cuales de los movimientos fueron parpadeos, cuales transiciones y cuales realmente fueron los puntos donde el sujeto fijo la mirada. El algoritmo hace un barrido de las posiciones y examina las anteriores y posteriores al valor actual, determinando sí hay una distancia muy grande entre los puntos en cortos periodos de tiempo; sí esto se cumple se considera al movimiento como un parpadeo o transición.

El Laboratorio de Neurociencias y Comportamiento de la Universidad Pontificia Bolivariana considera los parpadeos y las transiciones como ruido (requerimiento 4, ver sección 3.2), por lo tanto los datos se pasan por un filtro que los elimina dejando únicamente los que representan focos de atención.

## 5.4 CALIBRADOR

Debido a que cada persona es fisionómicamente distinta, para obtener resultados precisos se realizó una etapa de calibración de los movimientos oculares, lo que permite establecer los límites y parámetros de la mirada de cada individuo por aparte.

Para esto se usó una imagen estándar formada por nueve puntos (ver figura 43) los cuales representan el máximo desplazamiento ocular del sujeto de prueba en todas las direcciones; debido a que esta imagen tiene las mismas dimensiones de las imágenes del test (541x721 píxeles).

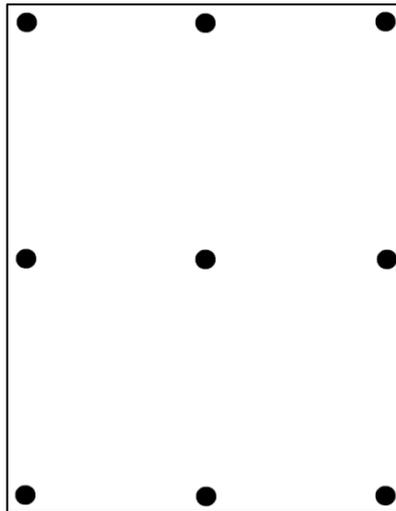


Figura 43. Imagen de Calibración  
Autores

En la figura 44 se muestra el algoritmo de calibración. El bloque Eye Tracker que aparece en este diagrama de flujo es el algoritmo presentado anteriormente en la figura 31.

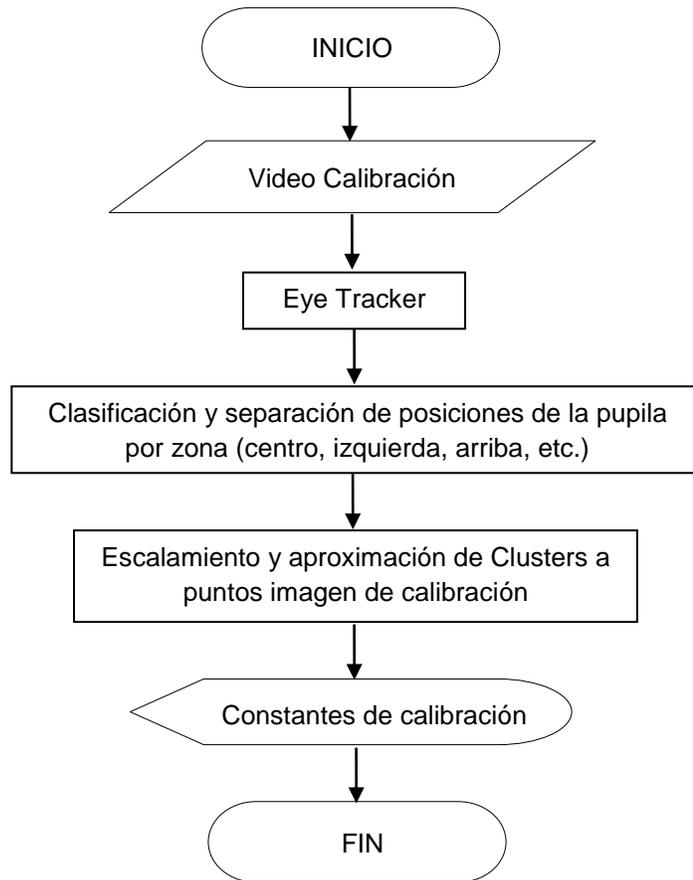


Figura 44. Algoritmo de Calibración  
Autores

#### 5.4.1 Toma de Video de Calibración

El proceso se inicia con una toma de video del evaluado realizando un recorrido por cada uno de los puntos de la imagen de calibración partiendo del punto central el cual será la referencia para las mediciones, luego se recomienda una duración mínima de 4 segundos en este. En los puntos del 2 al 9 se recomienda una duración mínima de 2 segundos. El recorrido debe hacerse en el orden expuesto en la figura 45 debido al diseño del algoritmo. Esto se hace usando la interfaz de usuario de la que se habla en la sección 5.2, pulsando el botón Calibración.

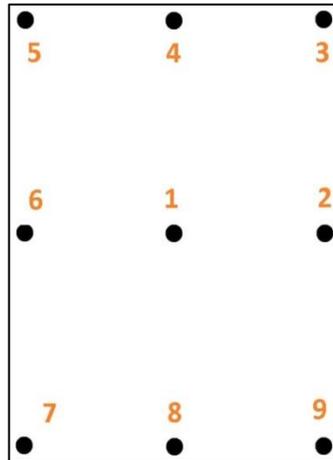


Figura 45. Secuencia de Calibración  
Autores

### 5.4.2 Constantes de Calibración

Después de pasar por el Eye Tracker se obtienen las constantes de calibración. Esto se hace mediante un algoritmo que determina cuando hubo un cambio de posición de mirada de un punto a otro, permitiendo separar por zonas cada cúmulo de puntos (izquierda, arriba, diagonal izquierda arriba, etc., ver figura 46). Por esta razón es necesario que el recorrido que se hace en la toma de video sea siempre el mismo y en lo posible, siguiendo las pautas sugeridas en la sección anterior.

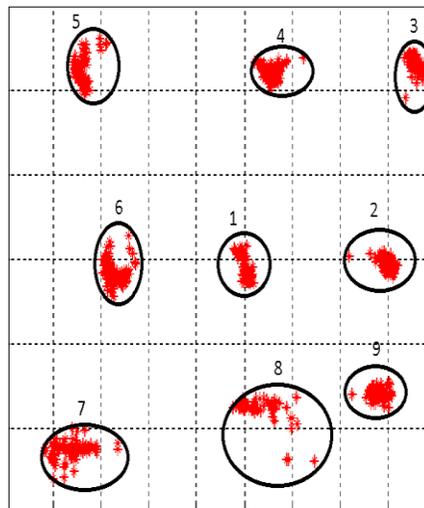


Figura 46. Clusters de puntos  
Autores

Luego se obtiene un promedio de las posiciones de los puntos en cada zona, y sus valores máximos y mínimos. Con esta información se realiza una corrección en magnitud y en posición para ajustar los datos a los de la imagen de calibración original (ver figura 47). Estos datos de corrección se almacenan en variables para posteriormente usarse en el análisis de la prueba CREF.

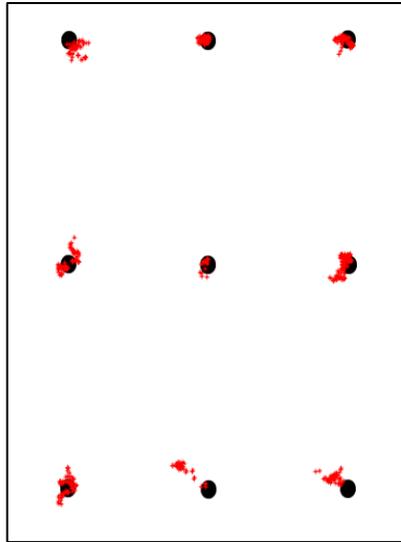


Figura 47. Resultados Calibración Autores

## 5.5 ANALISIS PRUEBA CREF

La prueba CREF consta de 28 imágenes presentadas en orden aleatorio, en donde cada imagen aparece por un intervalo de tiempo en pantalla y luego aparecen diversas opciones en donde el evaluado debe elegir la que él cree representa la emoción presentada. El análisis de esta prueba busca representar gráfica y numéricamente el recorrido que el evaluado realizó para dar al evaluador herramientas que permitan determinar en qué zonas focalizó su atención antes de dar su respuesta. En la figura 48 se observa el algoritmo llevado a cabo para realizar la tabulación de la prueba CREF. El bloque Eye Tracker que aparece en este diagrama de flujo es el algoritmo presentado anteriormente en la figura 31.

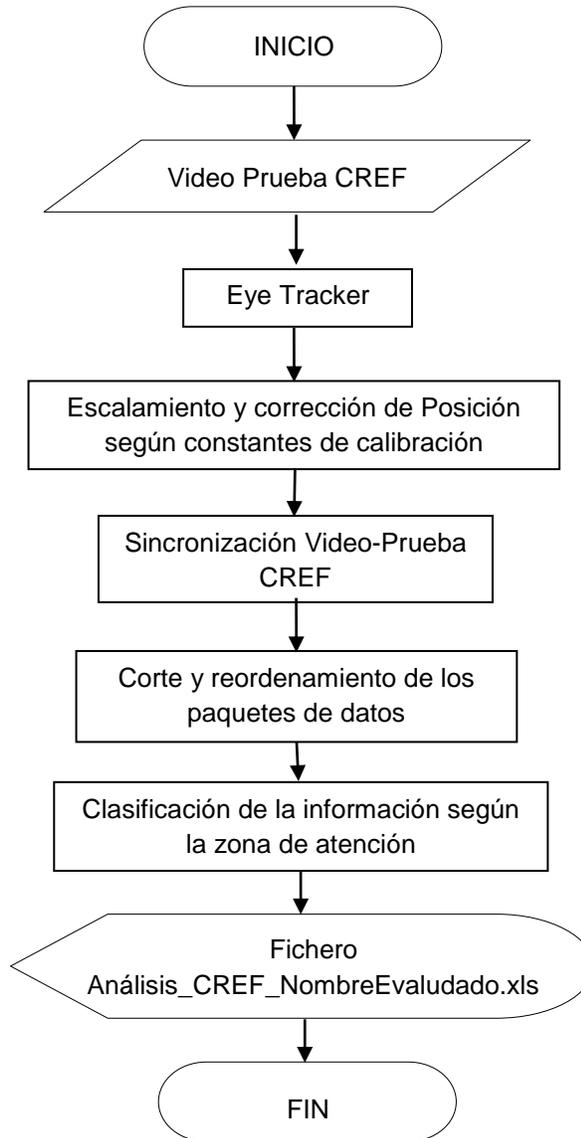


Figura 48. Algoritmo Tabulación de Datos Autores

### 5.5.1 Toma de video Prueba CREF

El proceso se inicia con la toma del video de la prueba CREF, la cual debe hacerse inmediatamente terminado el video de calibración para que no cambien las condiciones de posición del evaluado y de grabación. Esta toma de video se hace usando la interfaz de usuario de la que se habla en la sección 5.2, pulsando el botón Prueba CREF.

Inicialmente aparece una imagen con punto en el centro (ver figura 49) durante 5 segundos que se debe mirar fijamente y abriendo los ojos de forma tal que los parpados no interfieran con la pupila (sólo durante la primera imagen). Luego aparece la primera expresión aleatoria durante un tiempo que escoge el evaluador (tiempo de exposición) y luego aparece el listado de opciones, que desaparece cuando el evaluado elige una de estas. Posteriormente vuelve a aparecer la imagen del centro, pero esta vez por dos segundos y se repite el proceso hasta terminar con las imágenes.

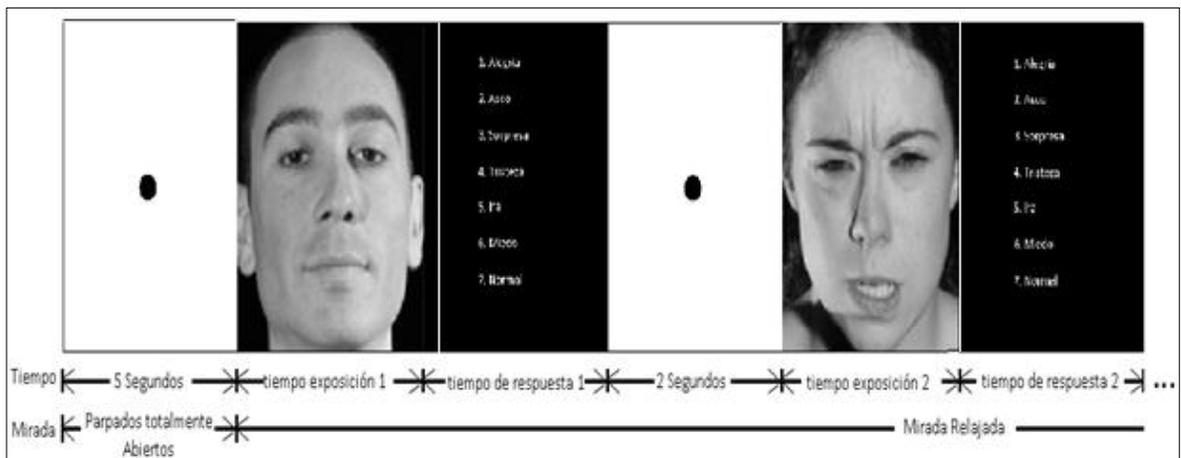


Figura 49. Tiempos de presentación CREF  
Autores

Al terminar el video se generan dos ficheros de Excel (ver sección 5.2) que contienen información necesaria para la sincronización del video con los datos.

### 5.5.2 Consideración Eye Tracker

Es importante mencionar que la única diferencia que existe entre el Eye Tracker del calibrador y el del análisis, es que cuando se pide que el usuario haga clic en la pupila (ver sección 5.3.2) en el primero puede realizarse en cualquier área de esta, mientras que en el segundo es necesario hacer clic en el reflejo que se produce por la luz del monitor dentro de la pupila (figura 50). Esto debe hacerse para solucionar ciertos problemas de sincronización de los que se hablará en la sección 5.5.4.



Figura 50. Reflejo del Monitor en la Pupila  
Autores

### 5.5.3 Escalamiento y corrección de posición

Los datos se modifican según las constantes obtenidas en la etapa de calibración para ajustarse a las dimensiones de la imagen y realizar cualquier corrección de posición que sea necesaria. Los datos se representan mediante puntos sobre la imagen observada, en donde los colores se muestran en degradé del rojo al amarillo, representando el inicio y el final del recorrido visual respectivamente (ver figura 51).



Figura 51. Representación del Recorrido Visual  
Autores

En la figura 52 se muestra una imagen en la que intencionalmente se miró a los ojos y nariz de la foto de prueba. En esta se pueden observar los efectos de la corrección de posición.

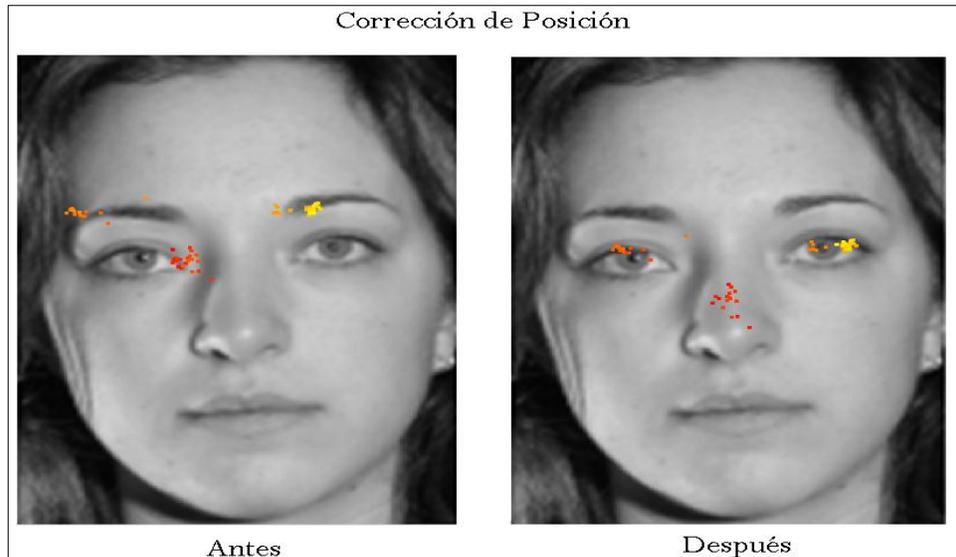


Figura 52. Corrección de Posición  
Autores

#### 5.5.4 Sincronización Video-Prueba CREF

La sincronización del video y la prueba CREF es uno de los factores más importantes a tener en cuenta, debido a que si los tiempos de ambas no concuerdan se mostrarían resultados erróneos en todas las imágenes. Los tiempos se leen del fichero Delays\_Matlab\_NombreEvaluado.xls creado después de la prueba CREF.

A continuación se mostrará una lista de los tiempos que fueron tomados en cuenta para la sincronización:

1. Tiempo inicial

Este resulta muy importante pues indica cuando se muestra la primera expresión y a partir de este se empiezan a tomar en cuenta los demás tiempos.

El problema radica en que es posible que exista un retardo entre el momento en que se presiona el botón de grabación de la cámara y la

ejecución de la prueba CREF. Para solucionar este inconveniente, inicialmente se pide al evaluador que haga clic en el reflejo del monitor que se crea sobre la pupila (al ver la imagen inicial) del evaluado y se detecta el primer cambio de imagen de blanco a negro (sobre la pupila); en éste momento se toma el tiempo inicial. Ver figura 53.

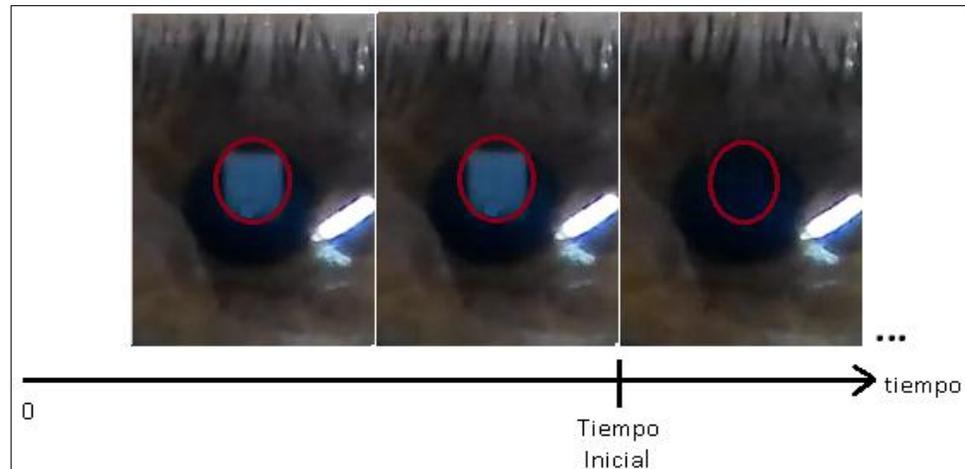


Figura 53. Determinación del Tiempo Inicial  
Autores

2. Tiempo de exposición

Es el tiempo durante el cual se muestra la expresión, este es el más importante ya que los datos guardados durante este tiempo son los que se van a mostrar sobre las imágenes. Se ve afectado por el tiempo de cómputo de MATLAB.

3. Tiempo de respuesta

Es el tiempo que demora el evaluado en contestar que expresión cree él observó. Se ve afectado por el tiempo de cómputo de MATLAB.

4. Tiempo de imagen punto central

Es el tiempo durante el cual se muestra la imagen con el punto central entre imagen e imagen. Se ve afectado por el tiempo de cómputo de MATLAB.

5. Tiempo de cómputo de MATLAB

El tiempo de cómputo es el que demora MATLAB en ejecutar las instrucciones de código. Resulta de gran importancia debido a que depende del ordenador en el cual se corra la prueba CREF y los procesos que se

estén ejecutando en ese instante. Por ejemplo, si se ejecutan las líneas de código mostradas en la figura 54 se esperaría que la imagen `img1.png` se mostrara durante 2 segundos y luego se cerrara, pero como se puede ver en realidad son 2,074 segundos debido a que toma un tiempo extra el abrir y cerrar la imagen.

```
>> tic
imshow('img1.png')
pause(2)
close
toc
Elapsed time is 2.074494 seconds.
```

Figura 54. Tiempo de Cómputo MATLAB  
Autores

Estos 0,074 segundos extra pueden parecer insignificantes, pero al multiplicarlos por 28 imágenes se convierten en 2,072 segundos que en cuadros por segundo (en nuestro caso 30) serían aproximadamente 62 fotogramas de video perdidos, resultando en una sincronización errónea.

El tiempo de cómputo de MATLAB se toma en cuenta a la hora de particionar los paquetes de datos para corregir problemas de sincronización.

### 5.5.5 Corte y reordenamiento de los paquetes

El vector que contiene todos los datos de posición escalados y corregidos se corta en determinados puntos dependiendo de los tiempos de sincronización comentados en la sección anterior.

Para la entrega de los resultados, y teniendo en cuenta que la prueba CREF es aleatoria se lee del `Reporte_CREF_NombreEvaluado.xls` el orden en que fueron expuestas las imágenes, y se reorganizan los paquetes de datos previamente cortados de la siguiente forma (debido al requerimiento 3, ver sección 3.2): alegría, asco, sorpresa, tristeza, ira, miedo, neutral

### 5.5.6 Clasificación de la información según la zona de atención

Según el tercer requerimiento (ver sección 3.2) donde se busca conocer el recorrido visual de evaluado, el Laboratorio de Neurociencias y Comportamiento de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga propone una zonas específicas para sus estudios las cuales se muestran en la figura 55; todo lo que quede fuera de estas zonas junto con parpadeos y transiciones durante el tiempo de exposición de las imágenes será considerado zona muerta y no se tomarán en los análisis, aunque se mostrarán en el reporte final para llevar un control detallado de los datos obtenidos.

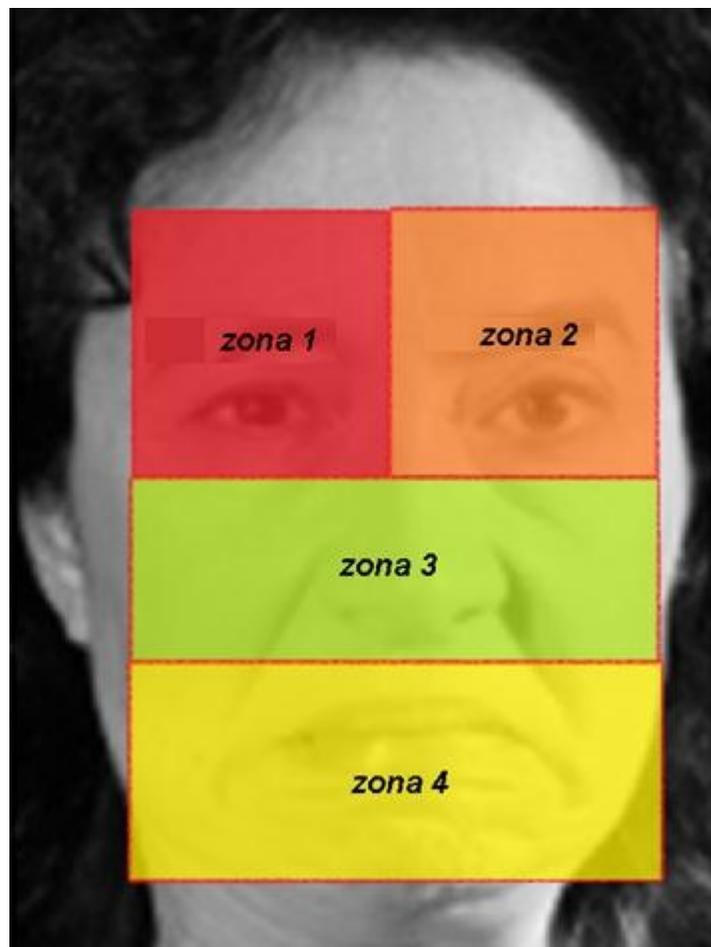


Figura 55. Zonas de Interés CREF  
Autores

Se delimitaron zonas para cada imagen ya que la posición de los elementos de interés (en este caso ojos, nariz y boca) varían considerablemente entre una y otra imagen. Los paquetes de datos ordenados pasan por un algoritmo que cuenta cuantos puntos de estos corresponden a una determinada zona.

### 5.5.7 Generación del fichero Análisis CREF

Como paso final se procede a guardar toda la información obtenida en un fichero de Excel llamado Análisis\_CREF\_NombreEvaluado.xls el cual contiene por hoja de cálculo (28 hojas en total ordenadas por emoción), una imagen con el recorrido visual y la cantidad de datos que aparecen en cada zona de interés.

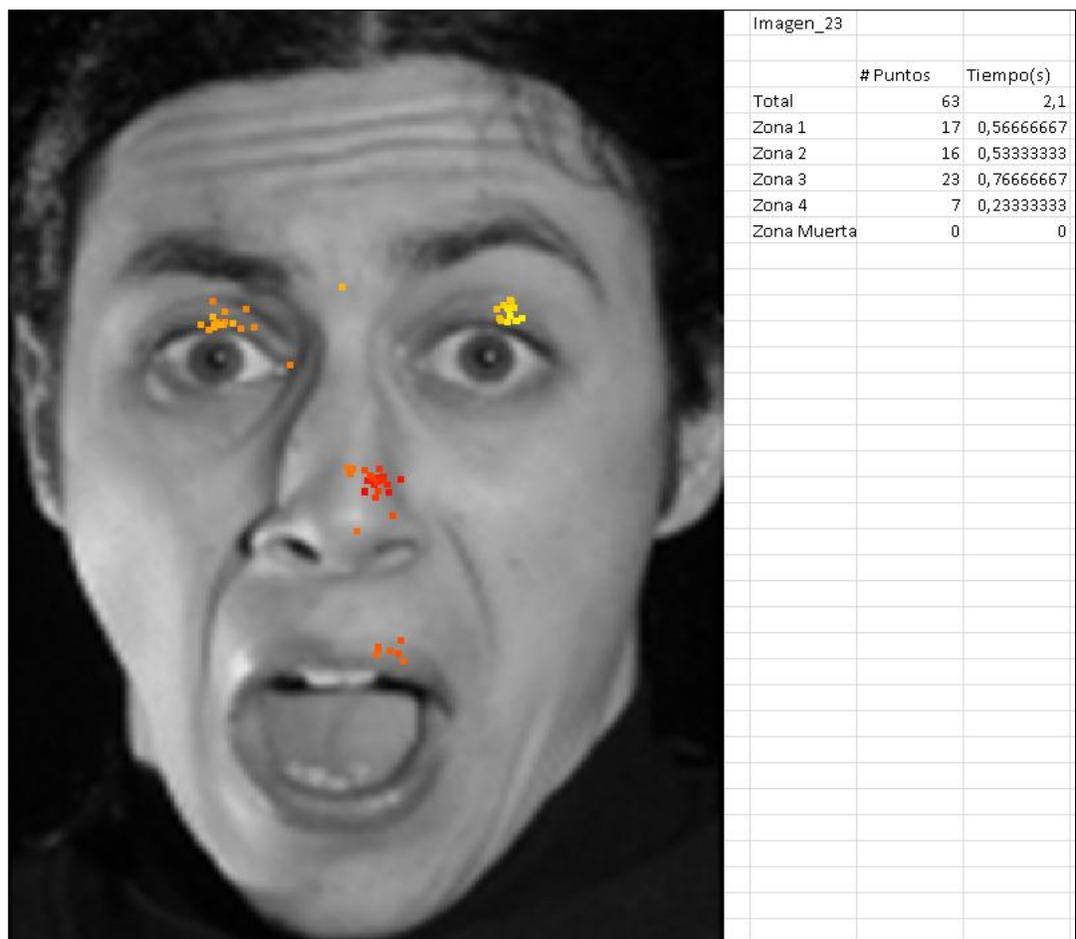


Figura 56. Análisis\_CREF\_NombreEvaluado.xls  
Autores

## 5.6 INTERFAZ GRÁFICA

Para la construcción y el diseño de esta interfaz de usuario pensando en la funcionalidad y la fácil navegabilidad de la misma, se siguió el modelo propuesto por la multinacional norteamericana IBM en 1992 [12], que habla de crear las interfaces pensando en un “Iceberg” inmerso en el mar.

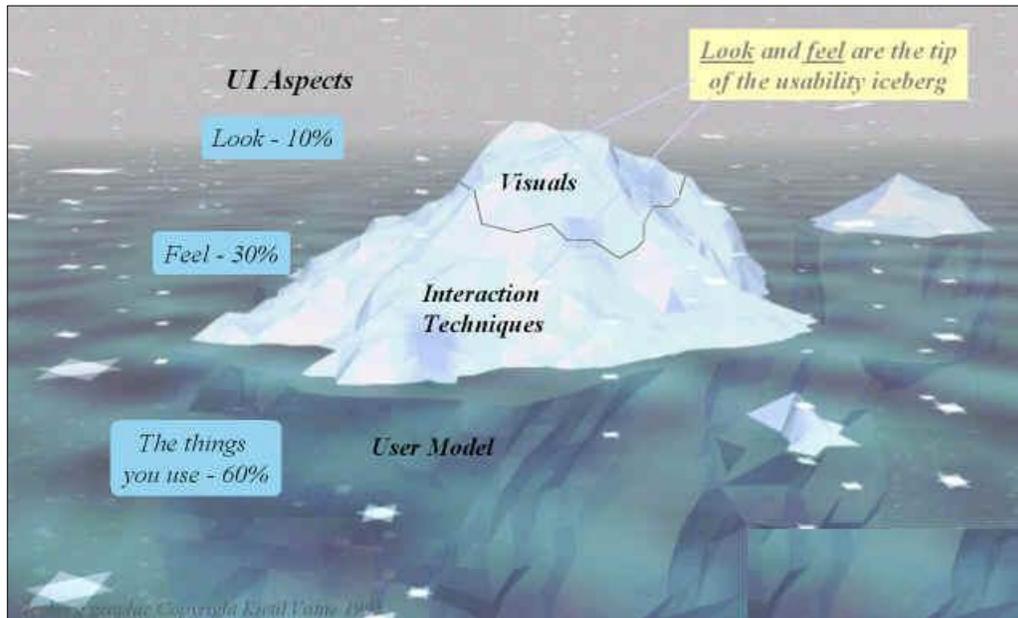


Figura 57. Modelo del Iceberg

Tomado de <<http://www.ibm.com/developerworks/web/library/w-berry/iceberg3a.jpg>>  
[Consultado en mayo de 2013]

De esta forma el tiempo de trabajo dedicado a la interfaz de usuario fue distribuido de la siguiente forma:

- 10% al aspecto y estética.
- 30% a la interacción (atajos de teclado, navegación, menús).
- 60% Relaciones entre los objetos, depuración de errores

Bajo estas premisas se diseñó la interfaz de usuario Análisis CREF, la cual fue desarrollada con GUIDE de MATLAB (ver figura 58).

En la interfaz de usuario ANALISIS CREF se condensaron cada una de las funciones, algoritmos y tópicos que involucran el desarrollo de la prueba CREF

desde su aplicación digital hasta el análisis de videos del proceso de seguimiento ocular.

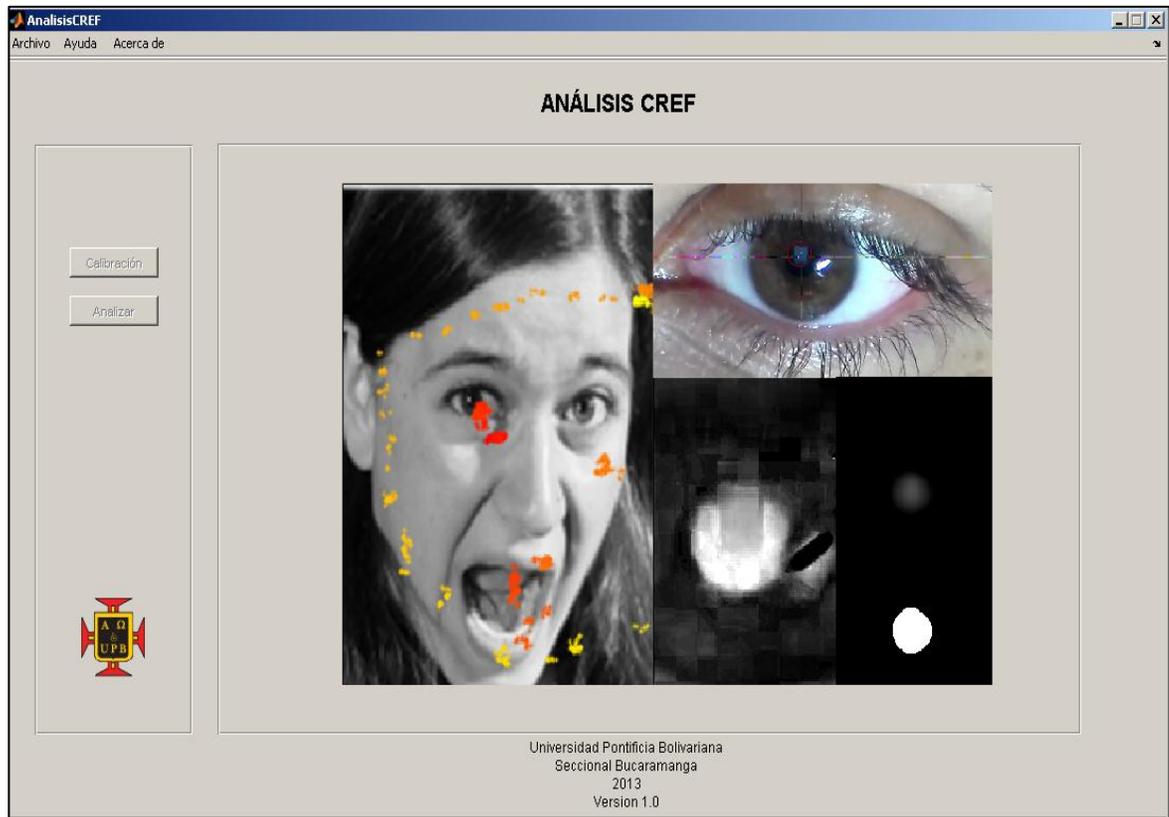


Figura 58. Interfaz de Usuario ANÁLISIS CREF  
Autores

A continuación se explicarán brevemente cada uno de los elementos que componen la barra de tareas que aparece en la figura 59.



Figura 59. Barra de Tareas  
Autores

- **Archivo**

En el primer botón Archivo aparecen 3 opciones (figura 60). Nuevo Análisis permite cargar un video de calibración para iniciar un análisis o volver a empezar en caso de errar al seleccionar el video; Prueba CREF permite abrir la interfaz

que se explica detalladamente en la sección 5.2 y Salir permite cerrar la interfaz cuando se requiera. Cada una de estas opciones tiene su respectivo atajo de teclado para agilizar su navegabilidad.

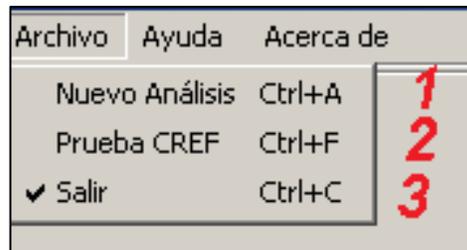


Figura 60. Menú Archivo  
Autores

- **Ayuda**

Esta interfaz cuenta con un apartado de ayuda que explica brevemente como usarse y que tipo de reportes se pueden obtener con ella (figura 61).

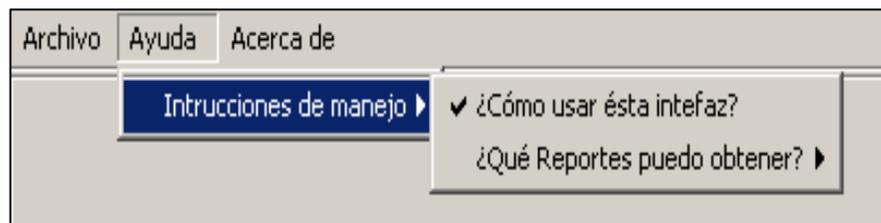


Figura 61. Menú de Ayuda  
Autores

Al hacer click en instrucciones de manejo y posteriormente en ¿Cómo usar ésta interfaz? se mostrará una ventana navegable con botones radiales en su parte inferior que muestran los pasos que se deben seguir para realizar el análisis de videos para el seguimiento ocular como muestra la figura 62.

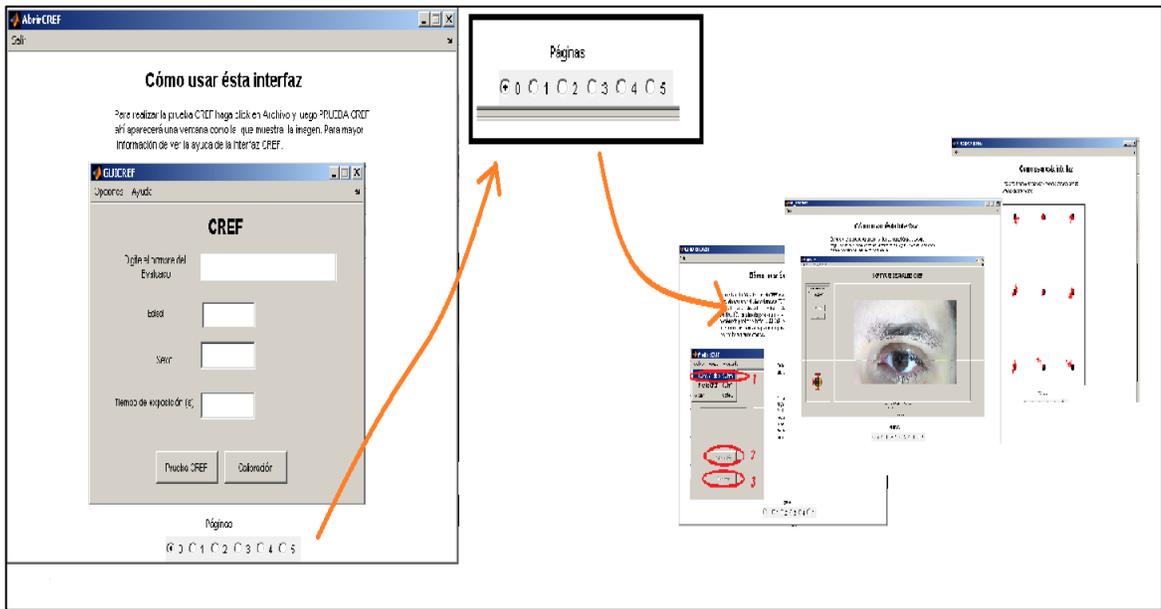


Figura 62. ¿Cómo Usar Esta Interfaz?  
Autores

Por otra parte si en vez de seleccionar instrucciones de manejo se da click en ¿Qué reportes puedo obtener? Se encuentran dos opciones que explican en que formatos y formas se obtienen los datos analizados en esta interfaz (figura 63) .

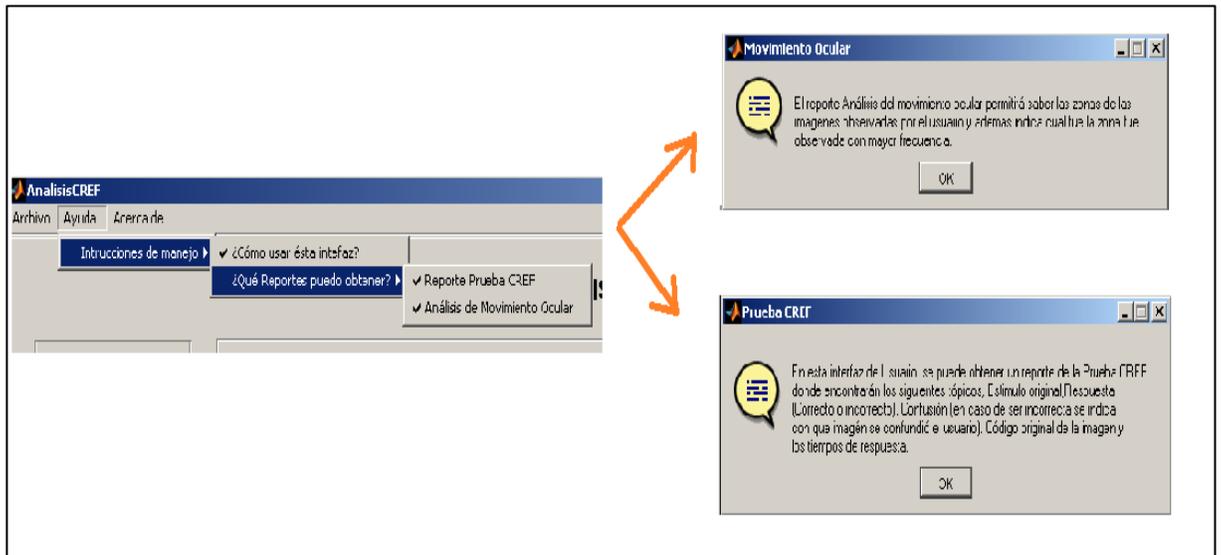


Figura 63. ¿Qué Reportes Puedo Obtener?  
Autores

- **Acerca de**

Para terminar se encuentra la pestaña de Acerca (figura 64) donde se muestra información de la interfaz y el contacto de los desarrolladores del software.



Figura 64. Menú Acerca de Autores

## 5.7 PRUEBAS Y RESULTADOS

### 5.7.1 Pruebas

Para poner a prueba la detección del Eye Tracker se contactaron personas con diferentes características fisionómicas, lo que permitió observar con que rasgos se presentan problemas y con que otros no. Para esto se pidió a los evaluados hacer la calibración (ver sección 5.4.1), ya que en esta se conoce el recorrido a realizar (ver figura 45).

- **Caso 1. Tez Clara Ojos Claros**

En este caso como en los cinco siguientes (figuras 65 a 69) se observa que la detección funciona adecuadamente sin importar las características de tono de piel y ojos.

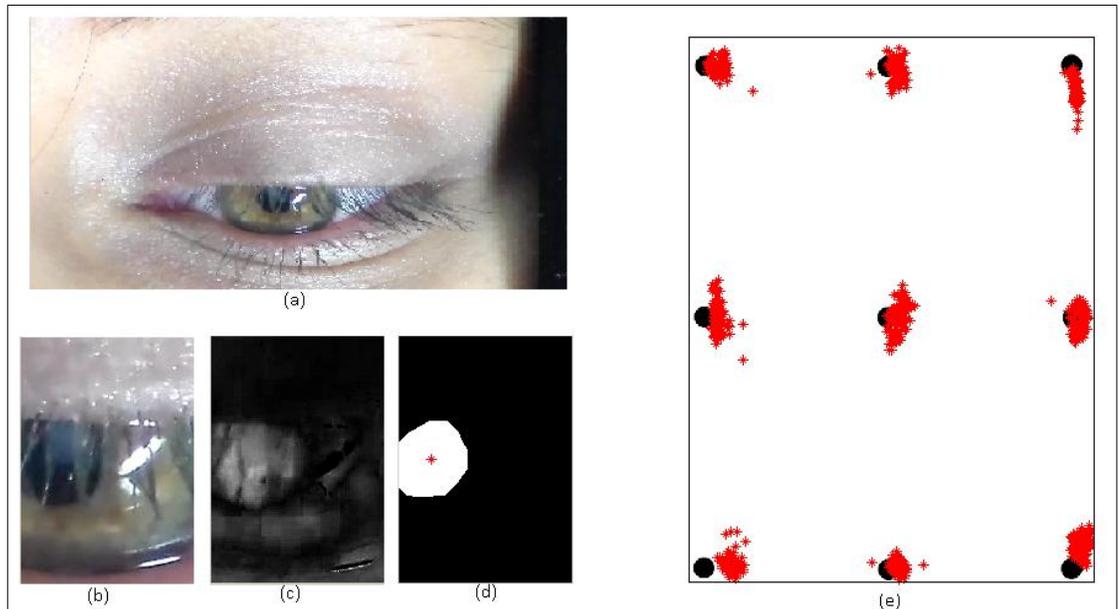


Figura 65. Resultado Tez Clara Ojos Claros

65.a Imagen Original - 65.b Recorte - 65.c Saturación - 65.d Detección - 65.e Resultado Autores

- Caso 2. Tez Clara Ojos Café Ojeras

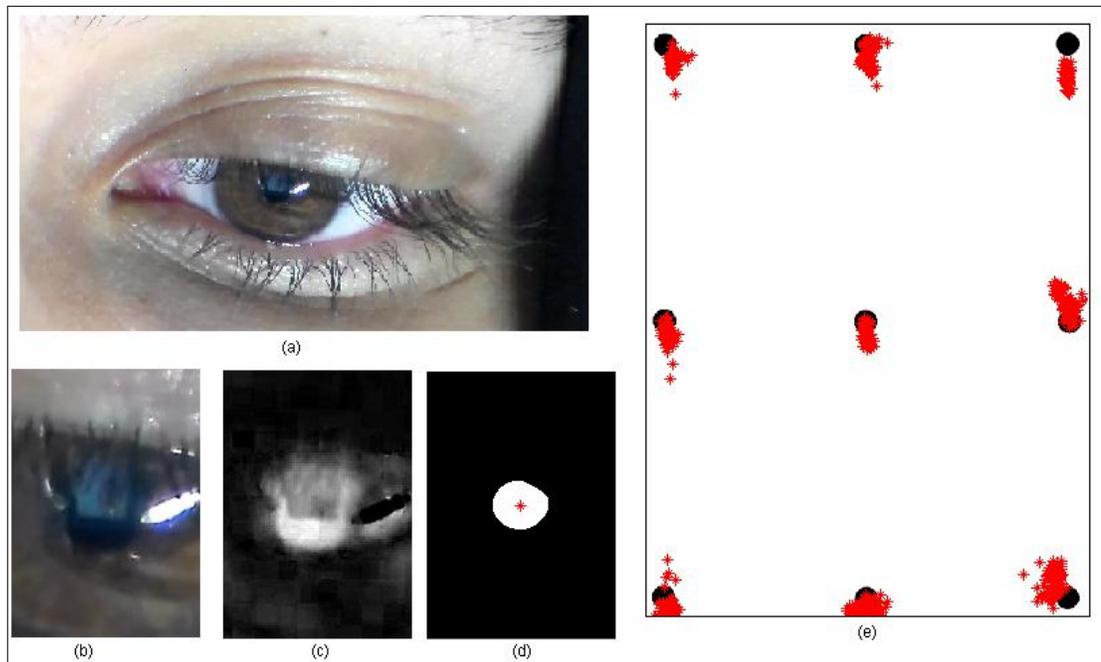


Figura 66. Resultado Tez Clara Ojos Café

66.a Imagen Original - 66.b Recorte - 66.c Saturación - 66.d Detección - 66.e Resultado Autores

- Caso 3. Tez Morena Ojos Oscuros

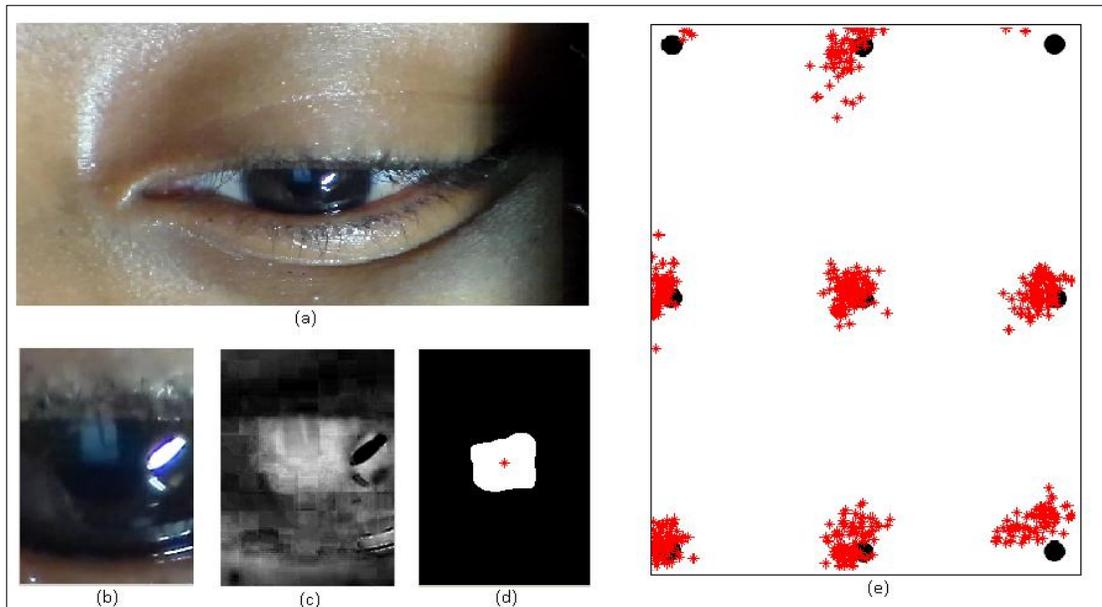


Figura 67. Resultado Tez Morena Ojos Oscuros  
 67.a Imagen Original - 67.b Recorte - 67.c Saturación - 67.d Detección - 67.e Resultado Autores

- Caso 4. Tez Trigueña Ojos Café

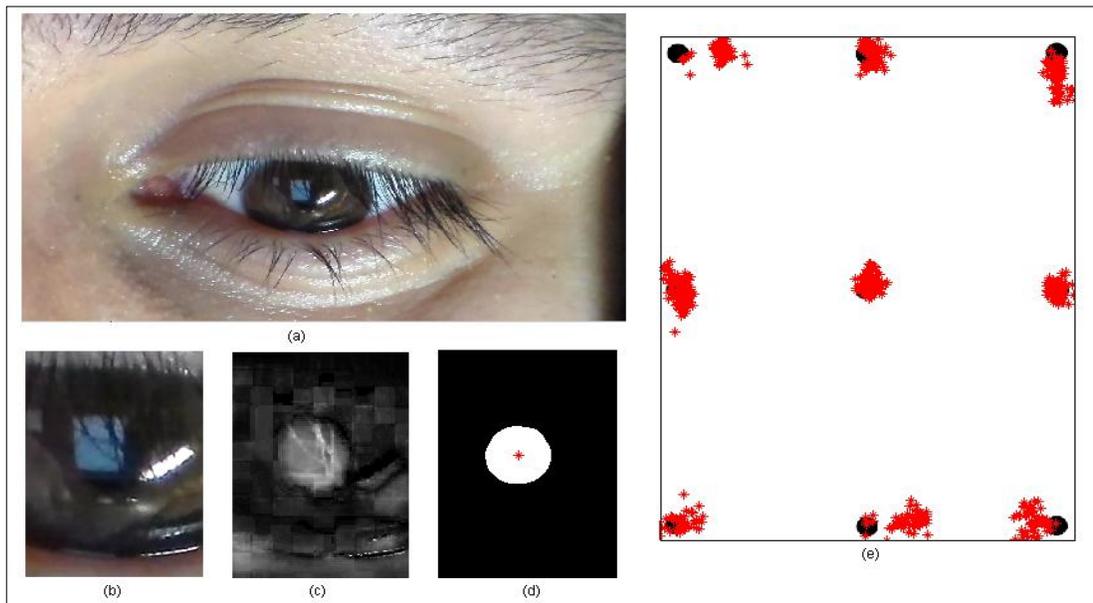


Figura 68. Resultado Tez Trigueña Ojos Cafés  
 68.a Imagen Original - 68.b Recorte - 68.c Saturación - 68.d Detección - 68.e Resultado Autores

- Caso 5. Tez Morena Ojos Claros

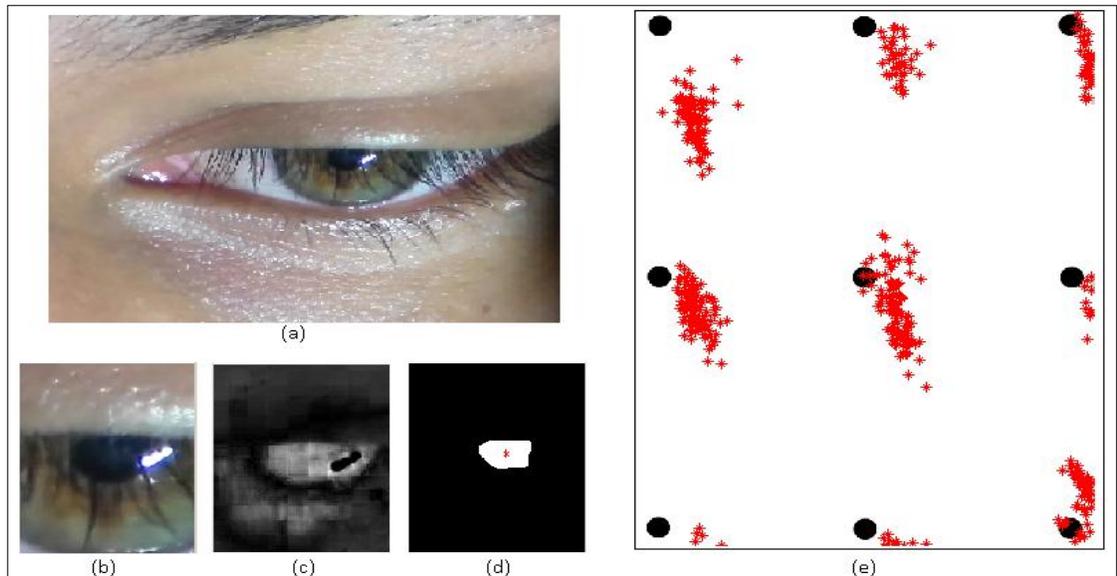


Figura 69. Resultado Tez Morena Ojos Claros

69.a Imagen Original - 69.b Recorte - 69.c Saturación - 69.d Detección - 69.e Resultado Autores

- Caso 6. Lentes

La prueba realizada en un individuo con gafas funcionó adecuadamente debido a que el lente homogeniza los colores del ojo, no se recomienda su uso debido a que podría presentar fallas debido a los reflejos de las luces presentes en la sala de prueba (figura 70).

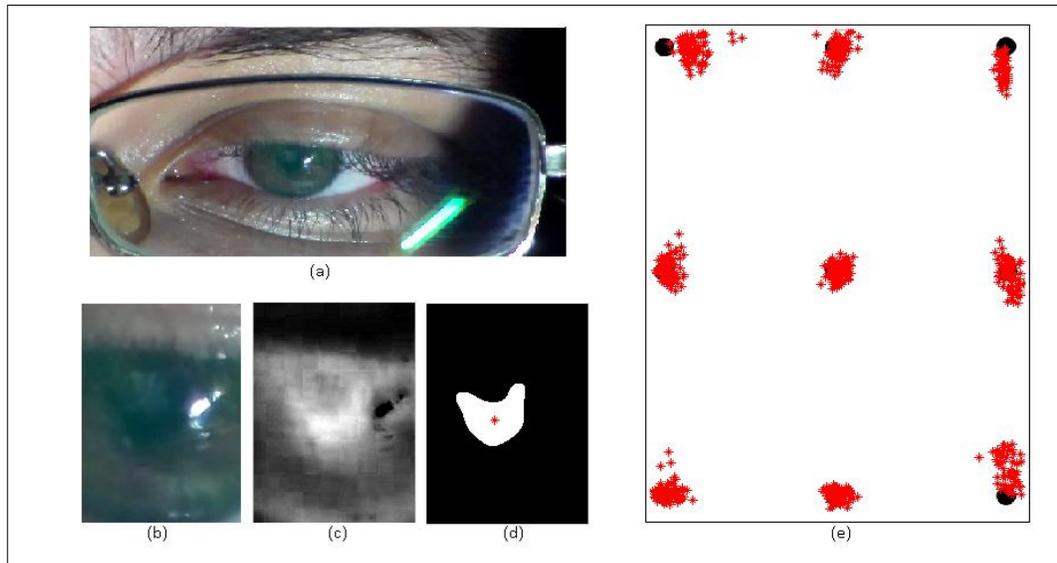


Figura 70. Resultado Lentes

70.a Imagen Original - 70.b Recorte - 70.c Saturación - 70.d Detección - 70.e Resultado Autores

- Caso 7. Maquillaje

Durante las pruebas realizadas se observó que los sujetos de prueba que presentaban maquillaje en alguna parte de sus ojos como parpados y/o pestañas presentaban conflictos en la detección debido a que el maquillaje aumenta la saturación de los colores alrededor del mismo haciendo que en ocasiones el seguimiento del ojo se centre en esas zonas entorpeciendo los datos finales (figuras 71 y 72). Esto ocurre debido a que independientemente del color, el nivel de saturación de la pupila y las zonas maquilladas se encuentran en un radio promedio cercano (ver sección 4.2.2)

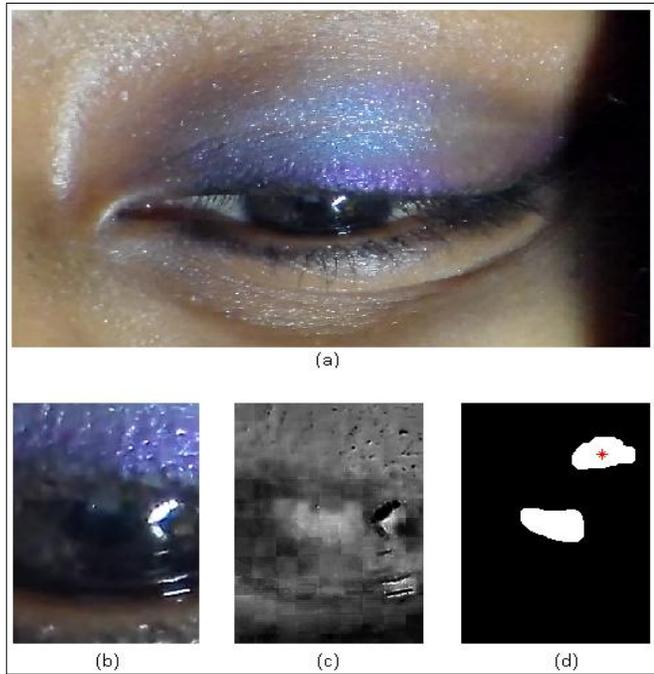


Figura 71. Problemas Maquillaje 1  
71.a Imagen Original - 71.b Saturación - 71.c Falsa detección  
Autores

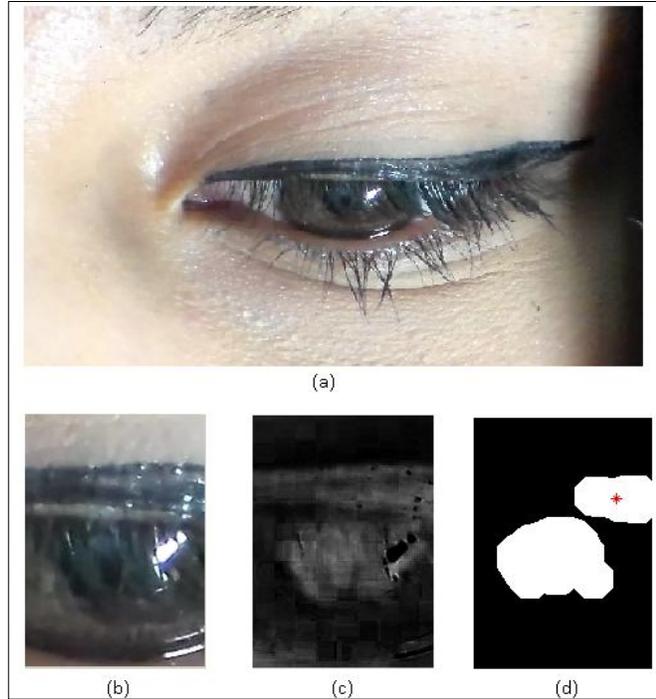


Figura 72. Problemas Maquillaje 2  
72.a Imagen Original - 72.b Saturación - 72.c Falsa detección  
Autores

- Caso 8. Sujeto Caso: Nevus de Ota

El nevus de ota (mancha ocular) no representa un inconveniente para la detección debido a que en la etapa de pre-procesamiento (sección 5.3.2) se realiza un recorte de la imagen haciendo que la esclerótica (zona blanca del globo ocular) no entre en el encuadre de análisis (ver figura 73).



Figura 73. Nevus de Ota  
Autores

Para tener certeza de que las manchas oculares no son un problema, se amplió la zona de encuadre para observar el funcionamiento el algoritmo de Eye Tracking. Como se ve en la figura 74, la saturación del nevus de ota es mucho menor a la de la pupila y por ende no representa un problema para la detección.

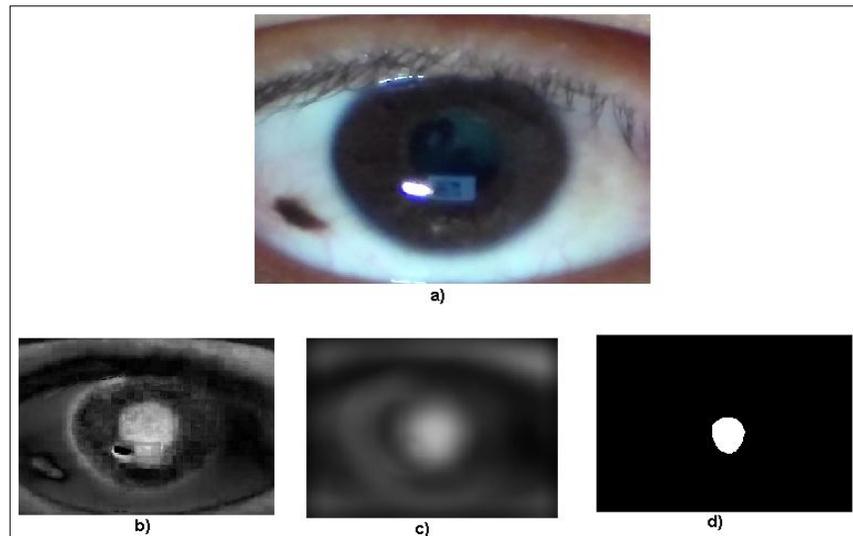


Figura 74. Procesamiento Nevus de Ota  
74.a Imagen Original - 74.b Saturación - 74.c Filtro de media - 74.d Detección Acertada  
Autores

### Caso 9. Sujeto Caso: Tez Clara Ojos Claros Pestañas Claras

En la búsqueda de diferentes fisionomías para poner a prueba el desempeño del software, se encontró un sujeto con características que dificultan la detección de la pupila.

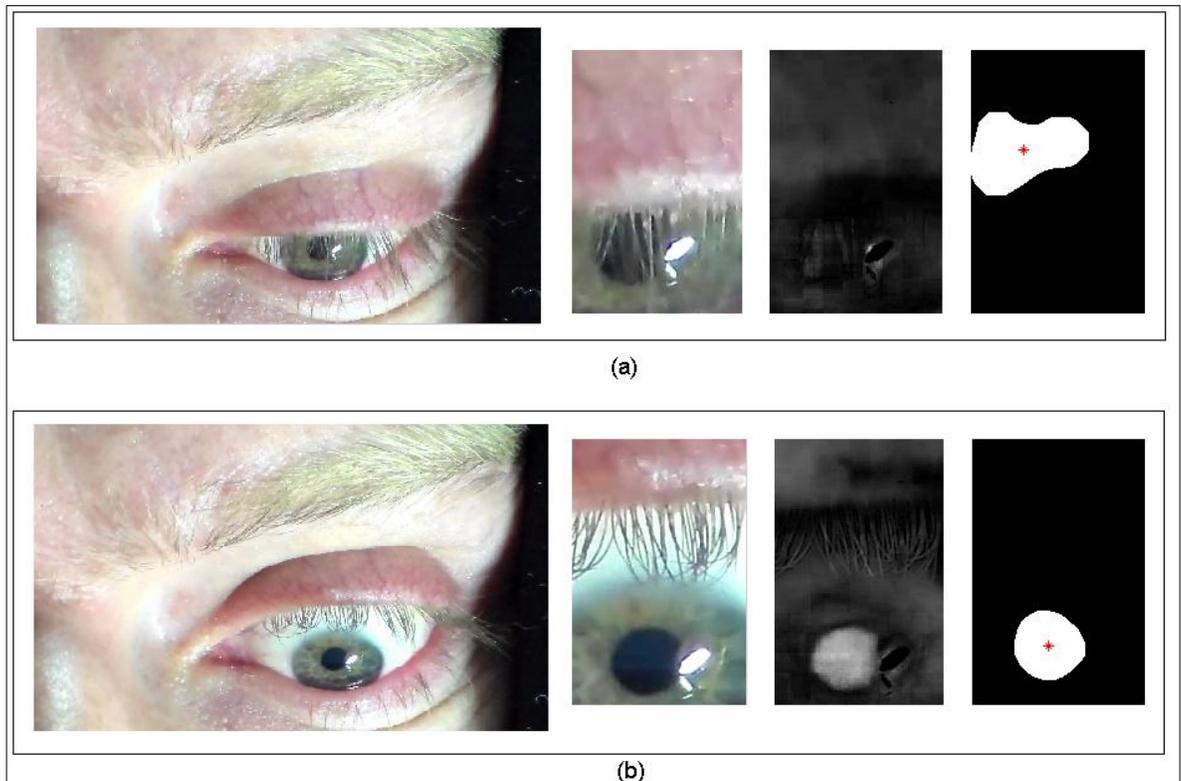


Figura 75. Tez Clara Ojos Claros Pestañas Claras  
75.a Falsa detección - 75.b Detección Acertada  
Autores

En la figura 75.a se observa que cuando las pestañas son abundantes, de color claro y bloquean la pupila el nivel de saturación de esta se reduce drásticamente haciendo que no se pueda diferenciar del resto del globo ocular. Sin la presencia de pestañas claras sobre la pupila la detección se realiza sin problemas como se muestra en la figura 75.b.

En la tabla 4 se muestra un resumen de las pruebas realizadas con sus diferentes resultados y restricciones o recomendaciones.

Tabla 4. Resumen de Resultados

<b>Característica</b>	<b>Funcionamiento</b>	<b>Restricción o recomendación</b>
Tez Clara Ojos Claros	Bueno.	Ninguna.
Tez Clara Ojos Café Ojeras	Bueno.	Ninguna.
Tez Morena Ojos Oscuros	Bueno.	Ninguna.
Tez Trigueña Ojos Café	Bueno.	Ninguna.
Tez Morena Ojos Claros	Bueno.	Ninguna.
Lentes	Bueno.	Evitar que los reflejos de la luz en los lentes se interpongan en la pupila o estén muy cerca a ésta.
Maquillaje	Malo.	Retirar maquillaje del ojo escogido para evaluar.
Tez Clara Ojos Claros Pestañas Claras	Malo.	Abrir un poco más los ojos para evitar que las pestañas se superpongan en la pupila.
Nevus de Ota	Bueno.	Ninguna.

## 5.7.2 Recomendaciones

1. Las condiciones lumínicas del recinto donde se aplicará la prueba deben ser estables durante las grabaciones luego se recomienda cortar el paso de luz ambiental con cortinas o similares.
2. La iluminación de la cara del paciente debe centrarse preferiblemente en el ojo que será grabado y se recomienda usar una lámpara de luz blanca para este procedimiento, evitando enfocarla directamente en el ojo para no causar incomodidad durante la prueba.
3. Establecer una distancia del paciente al monitor entre 40 y 45 cm para obtener comodidad y garantizar que los movimientos oculares sean significativos
4. El acercamiento (zoom) con la cámara debe abarcar el globo ocular en su totalidad (primer plano del ojo) siempre tratando de evitar obstáculos como cejas, lunares o similares que se encuentren fuera de este.
5. El ajuste de la base es muy importante ya que controla en gran parte cambios de posición de la cabeza de la persona que podrían ser interpretados como movimiento ocular.
6. Al tomar el video de calibración la persona debe mantener la misma posición para empezar la prueba CREF, de lo contrario tendría que reiniciar el proceso para evitar errores.
7. Cuando empieza la toma de video de la prueba CREF aparece una imagen con punto en el centro durante 5 segundos que se debe mirar fijamente y abriendo los ojos de forma tal que los parpados no interfieran con la pupila (sólo durante la primera imagen)
8. Cuando se vaya a realizar la prueba se debe tener en cuenta que:
  - El paciente no puede tener maquillaje
  - No se recomienda el uso de gafas, sólo en caso de que sean totalmente necesarias.
  - Si el paciente posee pestañas claras, se le debe pedir que realice la prueba abriendo el ojo un poco más de tal forma que las pestañas no interfieran con la pupila.

### 5.7.3 Diagnóstico de Prueba

Según las recomendaciones sugeridas por Paul Ekman [9], es posible inferir aspectos psicológicos de un evaluado con los datos resultantes de la prueba CREF. Con el fichero Reporte CREF se obtiene un listado de los aciertos y desaciertos en el reconocimiento de emociones faciales y con el fichero Análisis CREF el recorrido que este realizó al exponérsele las imágenes. Sabiendo esto se realizó un diagnóstico de prueba sobre una expresión en particular y el recorrido realizado sobre esta para mostrar que tipo de resultados pueden obtenerse al integrar los datos de recorrido visual con el análisis psicológico.

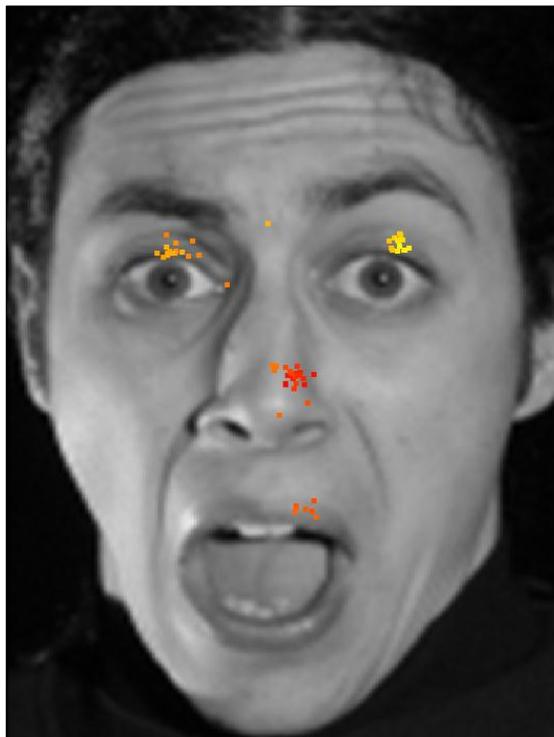


Figura 76. Recorrido Visual Miedo  
Autores

En la figura 76 se observa el recorrido visual de un evaluado ante la exposición de la emoción de miedo. El recorrido que el evaluado siguió sobre la imagen es el esperado para reconocer esta expresión ya que se miró a las cejas y la boca. Según el reporte CREF, el paciente confundió esta expresión con sorpresa. Esto se debe a que la sorpresa y el miedo según Ekman son parecidas fisiológicamente [9].

## 6. CONCLUSIONES

- Mantener una iluminación constante sobre el evaluado resulta indispensable debido a que se podrían distorsionar los resultados finales, ya que al variar la intensidad lumínica durante una prueba los niveles de saturación del ojo cambian haciendo que el seguimiento ocular detecte áreas distintas a las de interés.
- El espacio de color HSV resulta muy útil a la hora de trabajar con diferentes tonalidades de iris ya que la componente de saturación no se ve afectada por los cambios de color. Además el uso de esta componente hace que la detección se realice más fácilmente pues destaca la pupila del resto del globo ocular (debido al tono negro saturado) y reduce el ruido producido por reflejos de luz y pestañas.
- Se creó un algoritmo de programación haciendo uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes en MATLAB que permite reconocer y seguir los movimientos oculares en una serie de fotogramas de video.
- El Eye Tracker diseñado permite su adaptación a gran variedad de aplicaciones de investigación científica y de mercados donde se requiera estudiar el seguimiento de la mirada de un individuo.
- La sincronización entre el video y la prueba CREF resulta de gran importancia debido a que cualquier retraso haría que aparecieran datos erróneos en cada imagen; para corregir esto se tuvieron en cuenta los distintos tiempos de ejecución medidos desde MATLAB evitando de esta forma el desfase por tiempo de cómputo.
- Se desarrolló un algoritmo para el análisis de los videos obtenidos de la prueba CREF para establecer qué secciones específicas de una foto o video observó un individuo en un determinado tiempo.
- Se realizó una interfaz de usuario dando mayor prioridad a la funcionalidad que al diseño con la herramienta GUIDE en MATLAB que facilita el análisis de los datos obtenidos en el test CREF y su almacenamiento en hojas de cálculo de Excel.

- Los pacientes con maquillaje, especialmente de color, en alguna parte de sus ojos y/o tenían pestañas claras pueden presentar problemas en la detección de la pupila para el seguimiento ocular, debido a que estas características cambian los niveles de la componente saturación de los colores alrededor del ojo haciendo que en ocasiones el seguimiento del mismo se centre en zonas no deseadas entorpeciendo los datos finales. Esto ocurre principalmente debido a que el nivel de saturación de la pupila y las zonas maquilladas o con presencia de pestañas claras se encuentran en un radio promedio cercano del cono HSV (valor de la componente saturación similar).

## 7. TRABAJOS FUTUROS

Las siguientes propuestas podrían realizarse basadas en este proyecto:

- Implementación del Software de Análisis CREF en OpenCV para mejorar la velocidad de procesamiento y poder aplicar la prueba en tiempo real.
- Modificar el software para aplicarlo a cualquier tipo de estímulo (imagen) ya que está estrictamente orientado a la prueba CREF de 28 imágenes. (Sugerido por Laboratorio de Neurociencias de la Facultad de Psicología de la UPB Seccional Bucaramanga).
- Desarrollar aplicaciones para neuromarketing usando el algoritmo de detección diseñado.
- Adaptación del software para dispositivos móviles.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Visualización de información Persona-Ordenador propuesta algorítmica para la ordenación espacial de grafos[ En línea] <<http://hera.ugr.es/tesisugr/18876390.pdf>>[Consultado en Enero de 2012].
- [2] NSU, Eye-Tracking en Interacción Persona-Ordenador [en línea] <<http://www.nosolousabilidad.com/articulos/eye-tracking.htm>> [Consultado Diciembre de 2012]
- [3] GONZALEZ Rafael, WOODS Richard, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2 Ed.
- [4] SHAMIK Sural, GANG Qian, SAKTI Pramanik. Segmentation and Histogram Generation using the HSV color space for image retrieval. Michigan State University, East Lansing.
- [5] JÄHNE Bernd, Digital image processing, Springer, 5th revised and extended edition. ISBN 3-540-67754-2.
- [6] Ayuda online procesamiento de imágenes en Matlab <<http://www.mathworks.com/help/images/index.html>>[En línea] [Consultado Mayo 2013]
- [7] INFRARED GAZE TRACKING in MATLAB <<http://matlabsproj.blogspot.com/2012/06/infrared-gaze-tracking-in-matlab.html>> [Consultado Mayo 2013]
- [8] TORRADO DUARTE, Omar Elías. Protocolo de investigación del reconocimiento de emociones faciales humanas 2011.
- [9] Ekman, P. 2003. ¿Qué dice ese gesto? Barcelona: RBA Libros, S.A.
- [10] TORRADA Omar, Prada Edward, Santos Alirio. Análisis psicométrico del Cuestionario de Reconocimiento de Emociones Faciales (CREF): indicadores en población colombiana.
- [11] ARCHARYA Tinku, RAY Ajoy K. Image Processing Principles and Applications.
- [12] The User Experience “ The Iceberg Analogy of Usability” [En línea] <<http://www.ibm.com/developerworks/web/library/w-berry/>> [Consultado Mayo 2013].
- [13] Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares [En línea] <[http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1137-66272009000600002&script=sci\\_arttext](http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1137-66272009000600002&script=sci_arttext)> [Consultado Diciembre de 2012]