



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**Sistema prototipo para adquisición de  
imágenes oculares en lámpara de hendidura  
mediante tecnología móvil en estándar DICOM.**

**Autor**

**David Gustavo Moreno Moran**

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Programa de Bioingeniería



# **Sistema prototipo para adquisición de imágenes oculares en lámpara de hendidura mediante tecnología móvil en estándar DICOM.**

**David Gustavo Moreno Moran**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Bioingeniero**

Director (a):

Bioing, MSc en Gestión CTel David Alexander Urrego Higueta

Línea de Investigación:

Informática médica y procesamiento digital de imágenes.

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Bioingeniería  
Medellín, Colombia

*Dedicatoria*

*Dedico la realización de este proyecto de grado a mi abuela Gloria, quien fue la persona que me acompañó en todo este proceso educativo, siempre confiando en mis capacidades de obtener el título de Bioingeniero.*

*A mi mamá Magaly, por ser la persona que me inculco la educación como una prioridad, siempre manteniendo sus exigencias para hacer de mi una persona al servicio de los demás.*

## **Agradecimientos**

Al Magister en Gestión de Ciencia, Tecnología e Innovación David Alexander Urrego Higueta, por las asesorías y acompañamiento en todo el proceso de la realización del proyecto de grado.

A la estudiante de bioingeniería Dayan Yelena Guerra Flórez, por su colaboración y apoyo en los distintos procesos del proyecto, especialmente en el diseño grafico de la App móvil.

A la optómetra y especialista en epidemiología Sandra Liliana Ardila Díaz, por permitirme la realización de las pruebas con los estudiantes de su clase clínica de refracción y baja visión.

A la Universidad Antonio Nariño, por prestar sus instalaciones y equipos para la aplicación de las pruebas de usabilidad.

## Resumen

Actualmente se ha notado un crecimiento en las complicaciones relativas a la salud ocular, por este motivo es importante mejorar los procesos relacionados a la educación e investigación de optómetras, dado lo anterior se ha desarrollado un sistema para la adquisición de imágenes oculares en formato DICOM, para el equipo básico de consultas optométricas, la lámpara de hendidura, de tal manera que permita la creación de bases de datos de imagenología ocular y la incursión del uso de herramientas de visión por computadora para el procesamiento y análisis de estas, el sistema desarrollado se diseñó y usó con colaboración de la Facultad de Optometría de la Universidad Antonio Nariño sede Medellín, así se obtuvo un sistema capaz de adquirir imágenes usando los distintos tipos de iluminación del equipo, con el uso de tecnología celular, desarrollando una aplicación para el registro de optómetras, pacientes e imágenes oculares, la cual trabaja de la mano con un software diseñado e implementado para transformar, filtrar y segmentar las imágenes, donde se obtuvo 45 registros oculares en formato DICOM, con esto los optómetras involucrados en el estudio mostraron aceptación y expectativas por las funcionalidades dadas por el sistema, encontrando en él la posibilidad de mejorar los procesos investigativos y educativos relacionados con su programa.

**Palabras clave: DICOM, Lámpara de hendidura, Optometría, Imágenes oculares, Aplicación móvil.**

## **Abstract**

Currently the complications related with ocular health have been increasing, by this reason It is important to improve the process of research and education of the optometrist, to supply this, a system in the acquisition of ocular images in DICOM format, for the basic device of optometry consultations, slitlamp, has been created, in such a way that allow the creation of a databases of ocular imagenology and the incursion of the use of computer vision tools for the process and analysis of them, the system developed was designed and used with the collaboration of the optometry faculty of Antonio Nariño University located in Medellin, by this way a system capable of acquire images using the different kinds of illumination of the device was obtained, with the use of mobile technology, developing an application for the register of optometrist, patients and ocular images, which work together with a software designed and implemented to transform, filter and segment, where 45 ocular images in DICOM format were gotten, whit these the optometrist involved in this study showed acceptance and expectations about de functionalities given by the system, finding in it the possibility of improving the research and education process related with their program.

**Keywords: DICOM, Slitlamp, Optometry, Ocular images, mobile application**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Objetivos</b> .....	<b>4</b>
1.1 Objetivo general .....	4
1.2 Objetivos específicos.....	4
<b>2. Marco Teórico</b> .....	<b>5</b>
2.1 Optometría.....	5
2.2 Lámpara de Hendidura.....	5
2.3 Imágenes Médicas .....	6
2.4 DICOM.....	6
2.5 Aplicaciones móviles de uso médico.....	6
2.6 APP inventor.....	7
2.7 OpenCV .....	7
<b>3. Metodología.</b> .....	<b>8</b>
<b>4. Resultados y análisis</b> .....	<b>13</b>
4.1 Requerimientos para el desarrollo de un sistema de adquisición de imágenes con lámpara de hendidura. ....	13
4.1.1 Equipos de adquisición de imágenes oculares .....	13
4.1.2 Selección de características para diseño de prototipo.....	16
4.1.3 Condiciones de diseño de prototipo .....	18

4.1.4	Esquemáticos del prototipo .....	19
4.1.5	Características del equipo para adquisición de imágenes oculares.....	22
4.2	Diseño de prototipo para la obtención de imágenes oculares en lámpara de hendidura.....	25
4.2.1	Construcción prototipo.....	25
4.2.2	Requerimientos para una aplicación móvil para el manejo de las imágenes	27
4.2.3	Diseño Mockups de aplicación móvil.....	28
4.2.4	Programación de la aplicación móvil .....	29
4.2.5	Aplicación para el manejo, tratamiento y conversión de imágenes a DICOM	38
4.3	Protocolos de utilización y pruebas para evaluación del dispositivo .....	49
4.3.1	Diseño de consentimiento informado .....	49
4.3.2	Protocolo de pruebas.....	51
4.3.3	Implementación prueba piloto.....	52
4.3.4	Encuesta usuarios del sistema .....	61
4.3.5	Ficha técnica equipo de adquisición de imágenes oculares.....	70
<b>5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>74</b>
<b>6.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>76</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Consentimiento informado.....</b>	<b>77</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Protocolo de pruebas .....</b>	<b>81</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Guía de instalación y registro de App DIMOP .....</b>	<b>83</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo: Resultado de las encuestas .....</b>	<b>88</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>109</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Lámpara de Hendidura (LUX CIENTIFICO, 2015). .....	2
<b>Figura 2.</b> Lámpara de hendidura de adquisición .....	14
<b>Figura 3.</b> Ventana de interfaz gráfica .....	14
<b>Figura 4.</b> EIDON wide field.....	15
<b>Figura 5.</b> Imagen fundus de amplio campo .....	15
<b>Figura 6.</b> Móvil con lente microscópico. ....	15
<b>Figura 7.</b> Imagen adquirida en la App .....	15
<b>Figura 8.</b> Sistema de adquisición de imágenes mediante OCT .....	15
<b>Figura 9.</b> Imagen volumetrica reconstruida .....	16
<b>Figura 10.</b> Ventana con imágenes fundus .....	16
<b>Figura 11.</b> Ventana para procesamiento de imagen .....	16
<b>Figura 12.</b> Acople modelo para el acople celular lámpara de hendidura .....	20
<b>Figura 13.</b> Esquemático con abertura redonda.....	21
<b>Figura 14.</b> Esquemático con abertura cuadrada y cabecera horizontal.....	22
<b>Figura 15.</b> Esquemático con abertura cuadrada y cabecera vertical.....	22
<b>Figura 16.</b> Acople seleccionado para prototipo.....	24
<b>Figura 17.</b> Pieza principal del acople 3D.....	25
<b>Figura 18.</b> Pieza cabecera del acople 3D. ....	26
<b>Figura 19.</b> Soporte para sostener el celular. ....	26
<b>Figura 20.</b> Acople 3D impreso y colocación del celular. ....	27
<b>Figura 21.</b> Mockups relativas al inicio del sistema .....	29
<b>Figura 22.</b> Mockups de funcionamiento (Registro paciente).....	29
<b>Figura 23.</b> Flujoograma seguido en la aplicación móvil .....	31
<b>Figura 24.</b> Pantallas de la aplicación referentes al registro .....	32
<b>Figura 25.</b> Registro en hoja de cálculo del optómetra.....	32

---

<b>Figura 26.</b> Pantallas de Acceso y registro de pacientes.....	33
<b>Figura 27.</b> Primeras pantallas de toma de imágenes .....	34
<b>Figura 28.</b> Segundas pantallas de toma de imágenes .....	35
<b>Figura 29.</b> Carpeta de drive de imágenes y hoja de calculo .....	36
<b>Figura 30.</b> Ventanas de registro de nueva foto .....	37
<b>Figura 31.</b> Flujograma para la función de conversión única imagen .....	40
<b>Figura 32.</b> Interfaz gráfica de inicio, funcionalidad de conversión de una imagen. ....	41
<b>Figura 33.</b> Ventana emergente para búsqueda de imagen .....	41
<b>Figura 34.</b> Archivo DICOM creado .....	42
<b>Figura 35.</b> Flujograma para la función conversión de múltiples imágenes.....	42
<b>Figura 36.</b> Pasos por seguir dentro de la interfaz para conversión de múltiples imágenes .....	43
<b>Figura 37.</b> Resultado de seguir los pasos 1 y 2 en la interfaz.....	44
<b>Figura 38.</b> Resultado de la conversión de múltiples imágenes. ....	44
<b>Figura 39.</b> Lugares de la interfaz para hacer la visualización de las imágenes DICOM. ....	45
<b>Figura 40.</b> Ventana de visualización cargada con las imágenes de Brenda Nicol .....	46
<b>Figura 41.</b> Imagen DICOM 2 para la paciente Brenda Nicol .....	47
<b>Figura 42.</b> Herramientas de procesamiento .....	47
<b>Figura 43.</b> Herramientas de procesamiento, modificación de tamaño. ....	48
<b>Figura 44.</b> Flujograma para el protocolo de pruebas.....	51
<b>Figura 45.</b> Optómetras participantes en el proceso de pruebas.....	53
<b>Figura 46.</b> Colocación del acople en la lámpara de hendidura .....	54
<b>Figura 47.</b> Sistema completo (lámpara-acople-celular).....	55
<b>Figura 48.</b> Optómetra en el proceso de toma de fotos .....	56
<b>Figura 49.</b> Imágenes oculares en la base de datos.....	56
<b>Figura 50.</b> Pacientes participantes en el proceso de pruebas.....	57
<b>Figura 51.</b> Paso a paso para procesamiento de archivos .....	58
<b>Figura 52.</b> Carpetas creadas y sujeto en visualización .....	58
<b>Figura 53.</b> Optómetra usando las herramientas de filtrado y segmentado.....	59
<b>Figura 54.</b> Imagen con detalles cristalino y cámara anterior .....	60
<b>Figura 55.</b> Criptas del iris en mayor detalle .....	60
<b>Figura 56.</b> Ojo claro separado en los 3 canales .....	61
<b>Figura 57.</b> Distinción entre optómetras docentes y estudiantes.....	62

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Descripción de las acciones para la formulación y proposición de los requerimientos. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Descripción de las acciones para el diseño del sistema prototipo. ....	10
<b>Tabla 3.</b> Descripción de las acciones para el desarrollo de protocolos y pruebas en el servicio de optometría.....	11
<b>Tabla 4.</b> Algunos equipos y sistemas para la adquisición de imágenes oculares.....	14
<b>Tabla 5.</b> Calificación de características deseables.....	17
<b>Tabla 6.</b> Calificación de las condiciones de diseño para el sistema prototipo.....	18
<b>Tabla 7.</b> Calificación de los esquemáticos realizados .....	23
<b>Tabla 8.</b> Descripción de características del acople escogido.....	24
<b>Tabla 9.</b> Características del software de procesamiento.....	39
<b>Tabla 10.</b> Descripción del consentimiento informado utilizado.....	50
<b>Tabla 11.</b> Explicación de las etapas a seguir en el protocolo de pruebas.....	52
<b>Tabla 12.</b> Preguntas para etapa de interacción con el acople celular.....	63
<b>Tabla 13.</b> Preguntas para etapa de registro de pacientes y aplicación móvil .....	65
<b>Tabla 14.</b> Preguntas para etapa de software de procesamiento de imágenes .....	67
<b>Tabla 15.</b> Preguntas generales sobre el sistema completo.....	69
<b>Tabla 16.</b> Ficha técnica del sistema desarrollado .....	71



# Introducción

En los últimos años, se ha evidenciado un aumento en problemas oculares y se estima que para el año 2050 el 50 % de la población será miope, lo cual puede limitar la realización de tareas cotidianas y directamente infligir en la calidad de vida de las personas (Maria Alejandra Moreno, 2018). Los optómetras son profesionales competentes en el diagnóstico e investigación de problemas oculares, no obstante, la formación de optómetras se da solamente en 7 universidades del país, con presencia en Bogotá, Medellín, Neiva, Barranquilla, Pereira y Bucaramanga; además, se resalta que la Universidad Antonio Nariño (UAN) es la única institución de educación superior con el programa de optometría en la ciudad de Medellín, acompañada de sedes en Bogotá y Neiva (Fundación Universitaria del Área Andina, 2017; Universidad Antonio Nariño, n.d.; “Universidad del Sinú Seccional Cartagena,” 2012; Universidad el Bosque, 2014; Universidad la Salle, 2013; Universidad Metropolitana, 2013; Universidad Santo Tomas, 2013).

La Universidad Antonio Nariño y sus clínicas de optometría poseen diversos equipos para la prestación de servicios en salud visual, el más importante es la lámpara de hendidura (Figura 1), el cual es un instrumento básico en las revisiones oculares; sin embargo, se observa que la mayoría de dispositivos comerciales no cuentan con un sistema de adquisición de imágenes, el cual es de suma importancia para el proceso de docencia; servicio que presta la clínica y donde se forman en la actualidad más de 200 estudiantes en el programa de optometría. No contar con este sistema dificulta el fortalecimiento de actividades futuras en los procesos clínicos como lo son la teleoptometría y teleoftalmología (Lish et al., 2018).

En el mercado existen lámparas de hendidura con capacidad de adquirir imágenes muy bien elaboradas; sin embargo, su adquisición resulta costosa (Nizvi, Nizvi, Road, &

Highway, 2005), esto teniendo en cuenta que la institución UAN cuenta con 9 lámparas de hendidura convencionales siendo más difícil la actualización y desecho de estas. Adicional a esto los optómetras de la UAN, enfrentan la problemática de no poder agregar imágenes a sus historiales de consulta, esto debido a la imposibilidad de obtener las imágenes correspondientes, seguido de la falta de formatos validos para: adición, almacenamiento y consulta de estas. Por otro lado la falta de realización de estos formatos genera un atraso en la institución UAN como empresa prestadora de salud, pues, en un futuro se espera el traslado de todas las historias clínicas a formatos digitales de forma tal que se tenga una historia clínica electrónica única, regulada por el Ministerio Salud y Protección Social (Archibo Semana, 2019; Tique Aguilar, 2019).



**Figura 1.** Lámpara de Hendidura (LUX CIENTIFICO, 2015).

Para suplir lo anteriormente descrito se propone el desarrollo de un sistema prototipo que realice la adquisición de imágenes en la lámpara de hendidura con apoyo de tecnología móvil, dado que este tipo de tecnología facilita la adaptación de un celular a varias máquinas de consulta optométrica, siendo una solución de bajo costo que permite actualizar las lámparas de hendidura.

Dentro del sistema prototipo se propone: un acople entre celular-lámpara de hendidura en donde sea posible la obtención de imágenes oculares de pacientes a través de una *App*

especial para el optómetra, luego a través de procesos de software con el lenguaje de programación Python, específicamente con sus librerías de manejo archivos DICOM Pydicom y de visión por computadora OpenCV, realizar tareas como: filtrado, transformación, segmentación, esto para permitir el almacenamiento de las imágenes en formato DICOM. Este sistema prototipo planta una base importante para el desarrollo futuro de actividades como: bases de datos con imágenes oculares, servicio de historias clínicas médicas, diagnósticos y seguimiento de pacientes.

# **1. Objetivos**

## **1.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema para adquisición de imágenes oculares en lámparas de hendidura basado en aplicaciones de tecnología móvil y estándar de imágenes médicas DICOM.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Formular los requerimientos para el desarrollo de un sistema de adquisición para imágenes oculares en lámpara de hendidura.
2. Diseñar un sistema prototipo para la obtención y procesamiento de las imágenes oculares en lámparas de hendidura a formato DICOM.
3. Desarrollar protocolos de utilización y pruebas, con miras a evaluar el desempeño del prototipo diseñado.

## **2.Marco Teórico**

Dados los avances tecnológicos de la época, las diversas áreas laborales adquieren instrumentos cuyo uso tiende a mejorar sus servicios; el área de la salud se proyecta a ofrecer diagnósticos mediante el uso de las innovaciones científicas y tecnológicas; en el caso específico de la optometría y oftalmología, la lámpara de hendidura realiza funciones de reconocimiento visual en segmentos del ojo; agregar a este dispositivo una aplicación móvil, permite procesar las imágenes oculares a través software de visión por computadora de tal manera que estas sean llevadas a formatos estándares en el área médica. Seguidamente, se ofrece conceptos fundamentales con miras a dilucidar mayor comprensión del tema.

### **2.1 Optometría**

Corresponde a la ciencia sanitaria no médica encargada de estudiar el sistema visual y sus alteraciones no patológicas. En la optometría se evalúan problemas relacionados con ausencias visuales, así como problemas a la hora de procesar información proveniente de nuestros ojos, de igual manera esta se encarga de solucionar algunas de estas dificultades siguiendo métodos como, graduación de la vista, selección de lentes o gafas o realización terapias y ejercicios visuales (Oftalvist, 2018).

### **2.2 Lámpara de Hendidura**

Es un instrumento indispensable en cada consultorio de optometría y oftalmología. Se inventó con la finalidad de visualizar los segmentos anteriores del ojo (Jagsi et al., 2017). Una lámpara de hendidura consiste en un biomicroscopio agrupado con una fuente de luz

de alta intensidad la cual se ajusta mediante una hendidura. (Apostolopoulos & Sznitman, 2017).

## 2.3 Imágenes Médicas

Para estas imágenes diferentes principios y métodos son explotados para la medición de atributos físicos específicos relativos al cuerpo humano (Mauri et al., 2018) , estos pueden ser , tejidos blandos, huesos, órganos, u otros, esto permite entender en mayor medida la complejidad presentada por algunas enfermedades (Nii, Ammah, & Owusu, 2019).

## 2.4 DICOM

El estándar DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) corresponde a un estándar de imágenes médicas aceptado a nivel mundial; está compuesto por una imagen médica y un archivo encabezado, el cual contiene ciertos objetos de información como: parámetros, clases de servicios, almacenamiento y paciente (Arumugham, Rajagopalan, Rayappan, & Amirtharajan, 2018; Fieschi, 2018)

## 2.5 Aplicaciones móviles de uso médico

Actualmente se está promoviendo el uso de aplicaciones médicas a través del censado con *smartphones*, en la infraestructura tecnológica y médica. sensores como: acelerómetro, micrófono y cámara, han influenciado gran variedad de dispositivos médicos. Una *App* simple puede ser descargada por cualquiera, en cualquier lugar y puede tener un buen desempeño en la obtención de diagnósticos (Mariakakis, Wang, Goel, & Patel, 2019).

## 2.6 APP inventor

App inventor es un software desarrollado por el Instituto tecnológico de Massachusetts, este es un entorno visual de programación, que permite la construcción de aplicaciones completamente funcionales para *smarthphones* y *tablets*. (Massachusetts Institute of Technology, 2012).

## 2.7 OpenCV

Es un software de visión de computadora y *machine-learning* de código abierto, este provee una infraestructura para aplicaciones de visión de computadora y aceleración del uso de máquinas en productos comerciales, cuenta con algoritmos capaces de detectar reconocimientos faciales, identificaciones de objetos, clasificación de acciones humanas en video, seguimiento de movimientos de objetos, clasificación de imágenes similares de una base de datos de imágenes, seguimiento de movimiento de los ojos (OpenCv Team, 2019).

### **3. Metodología.**

Para el desarrollo de este proyecto los objetivos se plantean como las etapas a seguir y cuyas acciones se describen a continuación. En esta etapa se hace una formulación de los requerimientos, donde se proponen las condiciones necesarias para una correcta implementación del sistema, para esto se busca seguir las acciones descritas en la (Tabla 1. Descripción de las acciones para la formulación y proposición de los requerimientos. El primer paso consiste en referenciar los equipos de adquisición de imágenes en aplicaciones médicas oculares, esto permite detallar elementos esenciales de un sistema de adquisición con el fin de identificar los aspectos necesarios para un correcto dispositivo de adquisición de imágenes, de tal suerte que permita orientarse al diseño del sistema propuesto. Se continúa con la definición de las condiciones de diseño, aquí se selecciona el software, hardware, análisis de condiciones de escalonamiento, entre otros. En este punto también se hace un esquema del equipo a diseñar, para ello se utilizarán diseños manuales que permitan ilustrar primeros prototipos, finalmente se definirán las características del equipo a diseñar, seleccionando un solo esquema con un conjunto de características y un dimensionamiento del costo final del producto.

**Tabla 1.** Descripción de las acciones para la formulación y proposición de los requerimientos.

<b>Acción</b>	<b>Descripción</b>
Referenciar los equipos de adquisición de imágenes oculares	Búsqueda en bases de datos semiestructuradas y estructuradas, para así encontrar diversos elementos y equipos utilizados en la adquisición de imágenes oculares
Selección de las características deseables	Se hará una lista de las características presentes en los equipos, valorando en una escala de 1 a 5 , su deseabilidad. Esto con el fin de determinar las características del equipo.
Definir las condiciones de diseño	Aquí se hará una valoración de los elementos necesarios (hardware, software, materiales, espacios de trabajo, alcance) que permitan realizar el diseño con las condiciones y recursos actuales.
Esquemático del soporte a diseñar	Etapa creativa, se tendrá varios dibujos de diseños a seleccionar, siempre teniendo en cuenta el cumplimiento del objetivo y delimitando los elementos necesarios para su diseño.
Definir las características del equipo a diseñar	Se hará una valoración de conveniencia de los esquemáticos, en una escala de 1 a 5, esto con el fin de: determinar el esquemático final, sus características finales y las condiciones de un primer acople prototipo.

Fuente: Elaboración propia, 2019

El segundo paso a seguir corresponde al diseño del sistema para la obtención y procesamiento a formato DICOM , las acciones necesarias para el cumplimiento de esta etapa se pueden ver en la (Tabla 2) que inicia con un diseño el diseño propuesto en entorno CAD basado en el esquemático elegido previamente, esto con la finalidad de tener una imagen más clara de cómo se verá el dispositivo en la realidad, además se mostrará todo el hardware presente en el equipo. Posteriormente se procede a la elaboración de una lista de requerimientos necesarios en el apartado de software, aspectos como funcionalidades que se realizará dentro del programa, opciones para el usuario, conectividad entre otras. Luego se procede con el diseño de cada uno de los “*Mockups*” visibles en la aplicación, estos serán diseñados teniendo en cuenta los requerimientos

presentados en el literal anterior. Una vez se tengan estas condiciones se procederá a la creación de la aplicación en el software App Inventor. Como paso final, se propone la aplicación de algoritmos de visión de computadora para llevar las imágenes registradas a la forma estandarizada DICOM.

**Tabla 2.** Descripción de las acciones para el diseño del sistema prototipo.

<b>Acción</b>	<b>Descripción</b>
CAD del esquemático previamente dibujado.	En un software de diseño CAD, se presentará un ensamble del prototipo deseado, elementos como: lámpara de hendidura, celular y soporte serán incluidos. Cada elemento será realizado como una pieza individual, para que sea sencillo observar como se debe realizar el ensamblaje de todo el sistema a desarrollar. Se tendrá precisión en la elaboración del soporte para el celular, ya que esta pieza será fabricada.
Levantamiento de los requerimientos de la APP móvil.	Determinación de los requerimientos necesarios en el software presente en la APP, aspectos como: tareas a desarrollar, acceso a la aplicación, almacenamiento de la información, serán incluidos.
Diseño de Mockups presentes en la APP.	En este punto se define la cantidad de ventanas con las cuales contara la aplicación, igualmente se hace un bosquejo de cómo lucen estas.
Programación y desarrollo de la APP.	Se elabora el código de la APP según los diseños propuestos. El código elaborado en este apartado solo es el correspondiente al dispositivo móvil.
Aplicación de algoritmos de visión para transformación a formato DICOM	Se tomarán las imágenes adquiridas por el celular y se llevarán al formato DICOM a través de herramienta externas como OpenCV y Pydicom, aplicando algoritmos de: filtrado, segmentación y transformación.

Fuente: Elaboración propia, 2019

La etapa final de este proyecto corresponde al desarrollo de protocolos para usabilidad y evaluación de desempeño del prototipo desarrollado, las acciones correspondientes a esta etapa se presentan en la (Tabla 3). Como punto de partida se desarrollará un documento,

el cual informe a los usuarios del equipo sus características y además, de cuenta de que los usuarios están dispuestos a participar en la evaluación del equipo, posteriormente se procederá al desarrollo de un protocolo para evaluación del equipo ante diferentes pruebas esto con la finalidad de validar el funcionamiento del sistema desarrollado, dentro del protocolo se resaltan etapas como: evaluación del acople ( Adquirir imágenes de buena calidad ajustando el acople entre la lámpara de hendidura y el celular), testeo de la App (se pondrá la App móvil al servicio de estudiantes y profesores de optometría, esto para que la App tenga un contacto medico real, de tal manera que sea posible la detección de fallos ), comprobación del flujo de la información (correcto envió de imagen entre celular y plataforma Python) valoración de algoritmos (conocer resultados arrojados por los algoritmos aplicados). Luego se evaluará el desempeño del equipo según el protocolo diseñado, de igual forma, se valorará el desempeño según encuestas realizadas a aquellas personas que dieron uso del equipo, teniendo en cuenta parámetros como: uso, utilidad, entre otros. Finalmente, con todos los resultados recolectados, se elaborará una ficha técnica y manual de usuario.

**Tabla 3.** Descripción de las acciones para el desarrollo de protocolos y pruebas en el servicio de optometría.

Acción	Descripción
Diseño de consentimiento informado	En este punto, se elabora el consentimiento informado, en donde los optómetras de la UAN digan estar de acuerdo con la utilización del equipo ya diseñado.
Elaboración de protocolo de pruebas	Diseño paso a paso del protocolo de pruebas a presentar, esto con el propósito de obtener características que den información relevante sobre el desempeño del equipo.
Implementación de prueba piloto	Se sigue el protocolo diseñado previamente, recolectando información, donde sea posible concluir como es el desempeño del equipo y como se debe proceder ante posibles fallos.
Encuesta sobre satisfacciones generadas.	Encuestas sobre impresiones generadas, para así conocer la utilidad y favorabilidad del uso del equipo.

Elaboración de ficha técnica o manual del equipo desarrollado.	Elaboración de un documento el cual explique las principales características del equipo, tales como: forma de uso, cuidados, contraindicaciones.
--	--

Fuente: Elaboración propia, 2019

## 4. Resultados y análisis

### 4.1 Requerimientos para el desarrollo de un sistema de adquisición de imágenes con lámpara de hendidura.

#### 4.1.1 Equipos de adquisición de imágenes oculares

Como comienzo en la realización del proyecto se desarrolló una búsqueda bibliográfica de diversos equipos, sistemas y aplicaciones utilizados para la adquisición de imágenes oculares, recolectando información de bases de datos semiestructuradas y estructuradas. Destacando 5 principales equipos los cuales se muestran en la (

Finalmente es de importancia observar lo generado por el equipo número cuatro, llevando las imágenes oculares a formatos volumétricos 3D, detallando en mayor medida las mínimas imágenes presentes en los ojos; sin embargo, una de las dificultades presentes acá es el alto costo por el uso de tecnologías más avanzadas.

**Tabla 4.** Algunos equipos y sistemas para la adquisición de imágenes oculares en la esta se mencionan las principales características con las que cuenta el sistema, equipo y App de interés.

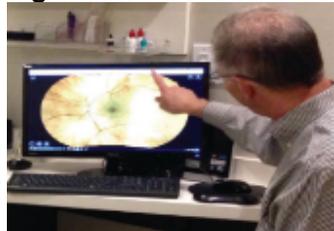
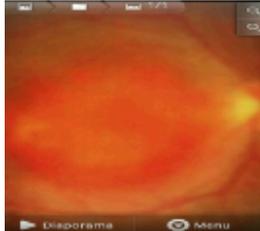
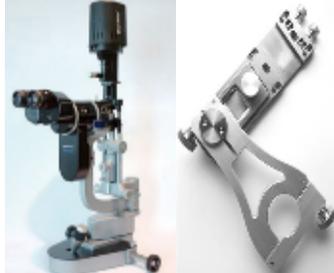
Según la información recolectada se encontró que para todos los sistemas es importante el almacenamiento de las imágenes oculares, para que así sean posibles los trabajos posteriores con éstas, además cada uno de los sistemas cuenta con un software para procesamiento y análisis, permitiendo mejorar los diagnósticos de los pacientes en consulta; entre las tareas comunes encontradas están: hacer zoom en las imágenes tomadas, hacer separación de los colores de la imagen y guardar la imagen modificada como reporte para un diagnóstico. Cada sistema descrito posee una característica diferenciable no existente en los otros equipos, por ejemplo: en el primer equipo es destacable la capacidad de conexión a internet de tal manera que se hace posible el análisis y diagnóstico remoto según la imagen ocular registrada; en el equipo número dos

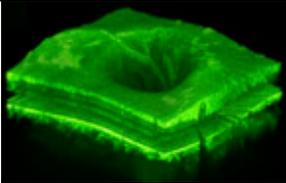
como su nombre lo indica su diferencia está en registrar las fotos en alta resolución con buenas densidades de colores y lo más importante la toma de imágenes en un campo aumentado siendo posible la vista de mayores lugares de secciones oculares. Algo muy prometedor se encuentra en el desarrollo de sistemas de adquisición de imágenes con influencia de la tecnología móvil, tal y como vemos en los equipos tres y cinco, en el equipo tres algo remarcable es el bajo costo de producción, este menciona lo importante de tener bases de datos previas para generar entrenamientos, que permitan diagnosticar algunas enfermedades oculares con algoritmos de aprendizaje; por su parte, el equipo cinco se centra en promover un flujo correcto de información organizando adecuadamente imágenes y sacando provecho de todas la funcionalidades presentes en el sistema operativo móvil.

Finalmente es de importancia observar lo generado por el equipo número cuatro, llevando las imágenes oculares a formatos volumétricos 3D, detallando en mayor medida las mínimas imágenes presentes en los ojos; sin embargo, una de las dificultades presentes acá es el alto costo por el uso de tecnologías más avanzadas.

**Tabla 4.** Algunos equipos y sistemas para la adquisición de imágenes oculares

Equipo	Características	Imágenes
<p>1) <i>Robotic slit-lamp</i> (Lámpara de hendidura robótica)</p>	<p>1) Compuesto por un servidor en un punto remoto y un cliente en el centro medico, conectados mediante internet.</p> <p>2) Uso de una cámara digital para la adquisición de imágenes.</p> <p>3) Pantalla para visualización.</p> <p>4) Herramientas de interacción en una interfaz grafica de usuario (Charukamnoetkanok, Ekkachai, Klanarongran, Leelasawassuk, &amp; Komeswarakul, 2009).</p> <p>En la Figura 2 y la Figura 3 se muestran la lámpara de hendidura con una cámara en su parte superior y la ventana de visualización respectivamente.</p>	 <p><b>Figura 2.</b> Lámpara de hendidura de adquisición</p>  <p><b>Figura 3.</b> Ventana de interfaz gráfica</p>

<p>2) EIDON <i>wide-field, true color scanner</i> (EIDON escáner de campo amplio y colores verdaderos).</p>	<p>1) Imágenes en amplio campo y alta resolución proyectadas en una pantalla.</p> <p>2) Capacidad de hacer zoom en imágenes.</p> <p>3) Permite documentar en tiempo real diagnósticos (Siegel, n.d.)</p> <p>En la Figura 4 se muestra el equipo de adquisición para las imágenes fundus, y en la Figura 5 la visualización de una imagen de amplio campo en una pantalla.</p>	 <p><b>Figura 4.</b> EIDON wide field.</p>  <p><b>Figura 5.</b> Imagen fundus de amplio campo</p>
<p>3) Sistema de diagnostico basado en móviles.</p>	<p>1) Sistema de diagnostico con tecnología móvil, a bajo costo y portable.</p> <p>2) Lentes microscópicas para el registro de imágenes oculares.</p> <p>3) Aplicación móvil Android para el acceso y detección de enfermedades en la retina.</p> <p>4) Sistema verificado y entrenado con bases de datos oftalmológicas conocidas y aceptadas (Bourouis, Feham, Hossain, &amp; Zhang, 2014).</p> <p>En la <b>Error! Reference source not found.</b> se muestra lo relativo a hardware (celular y lente) y en la <b>Error! Reference source not found.</b> el software de uso para visualización y diagnostico.</p>	 <p><b>Figura 6.</b> Móvil con lente microscópico.</p>  <p><b>Figura 7.</b> Imagen adquirida en la App</p>
<p>4) Lámpara de hendidura equipada con OCT para reconstrucción volumétrica.</p>	<p>1) Equipada con una unidad de haz OCT (Tomografía óptica por coherencia) alto costo.</p> <p>2) Produce imágenes volumétricas, imágenes seccionales cruzadas de tejido biológico, todas estas con alta resolución y calidad.</p> <p>3) Cuenta con una cámara de video para registros adicionales.</p>	 <p><b>Figura 8.</b> Sistema de adquisición de imágenes mediante OCT</p>

	<p>4) Software para procesamiento, visualización y reconstrucción de imágenes volumétricas (Apostolopoulos &amp; Sznitman, 2017).</p> <p>En la <b>Error! Reference source not found.</b> se muestra la lámpara de hendidura y la unidad OCT para la tomografía óptica, ya en la <b>Error! Reference source not found.</b> se observa el resultado de imagen reconstruida.</p>	 <p><b>Figura 9.</b> Imagen volumétrica reconstruida</p>
<p>5) Remidio, fundus on phone <i>smartphone</i> app. (Remidio fundus en una aplicación celular)</p>	<p>1) Registro de datos de pacientes para trazabilidad, guardado de pacientes en carpetas separadas.</p> <p>2) Capacidad de registro de imágenes y videos, con cámara de celular, acceso a todas las herramientas de cámara del sistema operativo.</p> <p>3) Metadatos del paciente mostrados en la imagen, posibilidad de procesamientos básicos (separación de colores).</p> <p>4) Permite la creación de un reporte PDF según las imágenes observadas.</p> <p>En la <b>Error! Reference source not found.</b> y <b>Error! Reference source not found.</b> se muestra dos <i>mockups</i> de la aplicación Remidio, la primera de estas la organización de imágenes fundus y la segunda el trabajo básico de procesamiento.</p>	 <p><b>Figura 10.</b> Ventana con imágenes fundus</p>  <p><b>Figura 11.</b> Ventana para procesamiento de imagen</p>

#### 4.1.2 Selección de características para diseño de prototipo

Con base en las características discutidas en el literal anterior se presentan unas cualidades deseables para el equipo a desarrollar, éstas se valoraron una a una, utilizando una escala Likert entre 1 y 5, siendo 1 innecesaria, 2 poco deseada, 3 indiferente, 4 deseada y 5 necesaria. En la (Tabla 5) se muestran las principales características deseables según lo consultado en el literal anterior, además la última característica deseable escrita es la diferenciable en la realización de este proyecto puesto que en los sistemas de adquisición consultados no se encontró sistemas que lleven imágenes oculares a un formato estandarizado.

Acorde a la (Tabla 5) seis características son deseables (calificación mayor o igual a 4) de esta manera el enfoque del desarrollo de este sistema prototipo está en unir estas características, pero es de importancia resaltar la unión de las características 12 y 13 de tal manera que el diseño presentado tenga una operación conjunta de tecnologías móviles y equipos especializados en el área de optometría; otro aspecto encontrado en la calificación de las características fue la no necesidad de tecnologías avanzadas puesto que el enfoque de este proyecto se centra en adquirir imágenes, por tal motivo las características 3,4,7,8,10 y 13 presentan un bajo peso de deseabilidad. Adicionalmente la característica 14 (propuesta por el proyecto) también resulta ser de deseabilidad para ampliar y mejorar el flujo de información.

**Tabla 5.** Calificación de características deseables.

Característica deseable		Calificación escala Likert				
		1	2	3	4	5
1	Almacenamiento de las imágenes.					
2	Software propio del sistema (herramientas básicas de procesamiento).					
3	Generación de imágenes en campo amplio, modelo panorámico.					
4	Reporte instantáneo de la consulta en proceso.					
5	Conexión a internet.					
6	Bases de datos de imágenes y datos esenciales del paciente y de la consulta.					
7	Algoritmos de detección automática de patologías.					
8	Capacidad de generar imágenes volumétricas 3D					
9	Registro de múltiples imágenes del paciente					
10	Portabilidad del sistema.					

11	Capacidad para registrar videos					
12	Uso de equipos especializados en optometría					
13	Utilización de tecnología móvil					
14	Almacenamiento de las imágenes en formato estándar médico (DICOM)					

### 4.1.3 Condiciones de diseño de prototipo

Igual que en el literal anterior en este punto para cada una de las características identificadas se discute sobre los elementos necesarios para su implementación, donde se valoran las condiciones necesarias para esto con base en una escala Likert de 1 a 5, donde 1 implica alta dificultad de implementación y 5 facilidad de implementación.

En la (Tabla 6) se presenta la calificación y condiciones presentes para el desarrollo del sistema prototipo, se destaca la participación conjunta de la Universidad Antonio Nariño, Facultad de Optometría.

**Tabla 6.** Calificación de las condiciones de diseño para el sistema prototipo.

Elemento para implementación		Calificación escala Likert				
		1	2	3	4	5
1	Equipo especializado en consultas de optometría (lámpara de hendidura).					
2	Dispositivo móvil para adquisición de imágenes.					
3	Impresora 3D para impresión de acople entre dispositivo móvil y lámpara de hendidura, dimensiones de impresión (24x24x5) cm.					
4	Software para programación de aplicativo móvil.					
5	Herramientas para programación de software de procesamiento y transformación de imágenes.					

6	Conexión a internet					
7	Ambiente clínico de optometría para evaluación del prototipo.					
<b>Promedio de calificación</b>					3.86	

El resultado promedio de 3.8 obtenido al calcular la calificación de todas las condiciones para el diseño destaca en el elemento 4 y 5 el uso de herramientas y lenguajes libres para la programación de la *App* y software; el elemento 4 tiene una calificación de 3 pues no se cuenta con los elementos necesarios para desarrollar un aplicativo móvil para celulares de marca Apple. La impresora 3D es un elemento de difícil implementación debido a las dimensiones de impresión necesitadas y la cantidad necesaria de material para imprimir, los elementos con calificación de 5 son aquellos en lo que respecta a la Universidad Antonio Nariño, puesto que la Universidad cuenta con las lámparas de hendidura para la prueba del prototipo y profesionales del área aportantes en el mejoramiento del sistema prototipo desarrollado; la conexión a internet en la Universidad presenta un aspecto negativo debido a que algunas veces ocurren desconexión en el servicio.

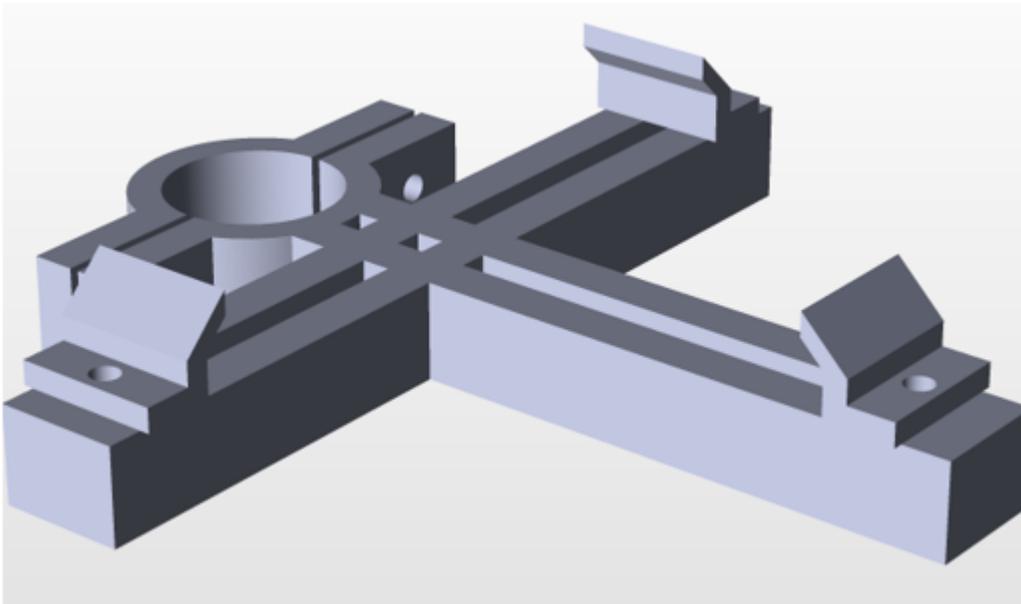
#### 4.1.4 Esquemáticos del prototipo

Con base en las características identificadas se encuentra la necesidad de realizar un acople que permita el trabajo del celular y lámpara de hendidura a la hora de obtener imágenes mediante la cámara trasera del celular.

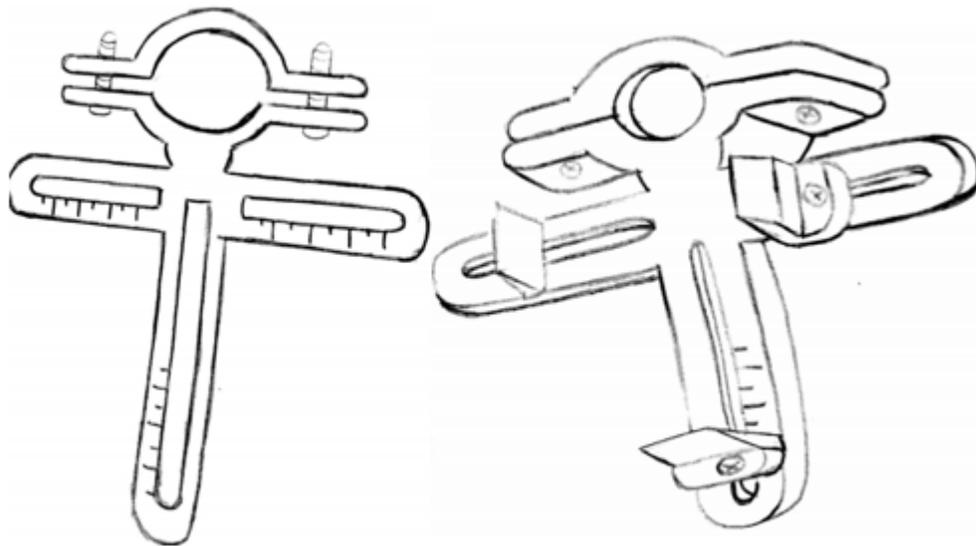
Para construir el acople, primero se hizo una búsqueda de modelos disponibles en la web a fin de modificar su esquema de tal manera que el diseño final tenga características de mejor aceptación. En el repositorio web GRABCAD el cual cuenta con varios diseños CAD de uso libre, encontrando el diseño mostrado en la Figura 12, teniendo en cuenta este modelo se realizaron varios esquemáticos manuales.

El primero de los esquemáticos (esquemático con abertura redonda) se muestra en la Figura 13, en éste se hace una mejora en los bordes del modelo previamente encontrado,

dándole una forma más profesional y evitando en lo posible ángulos rectos que dificulten la impresión 3D, además aquí se adicionan una serie de marcas (líneas) en la barra vertical y horizontal, esto con la finalidad de proporcionar guías que faciliten la acomodación del celular en el acople, igualmente en la imagen de la izquierda se nota que hay unión mediante tornillos en la cabecera ésta será graduable según la lámpara de hendidura a usar, de igual forma estos tornillos están ubicados los sostenedores que se observan en la imagen de la derecha, estos se graduarán según el tamaño del celular a usar, de tal manera que el acople tenga universalidad en el uso de lámparas y celulares.

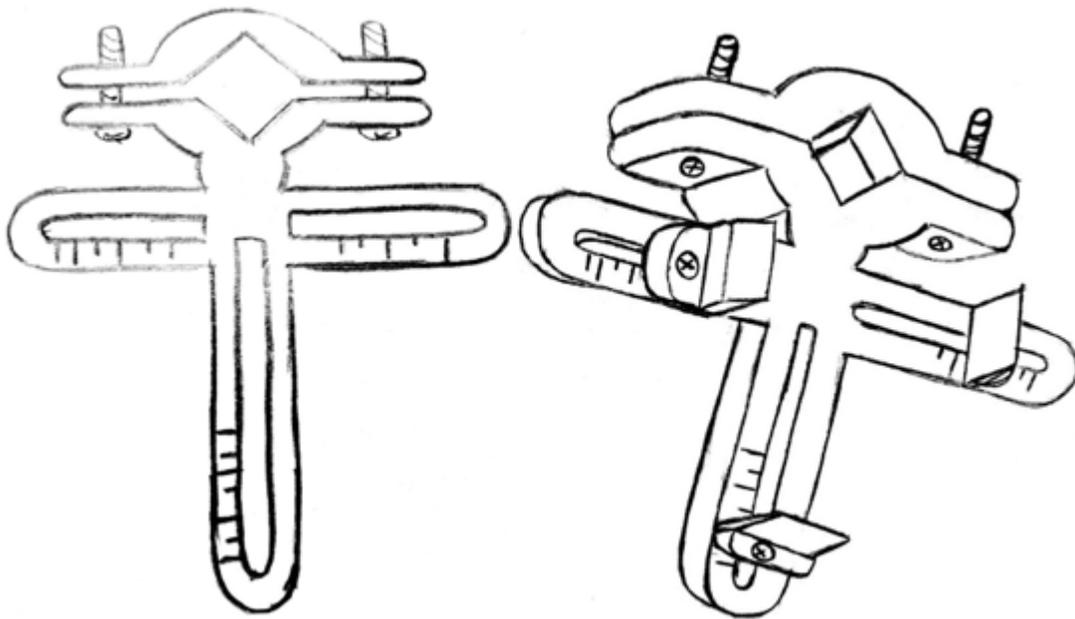


**Figura 12.** Acople modelo para el acople celular lámpara de hendidura



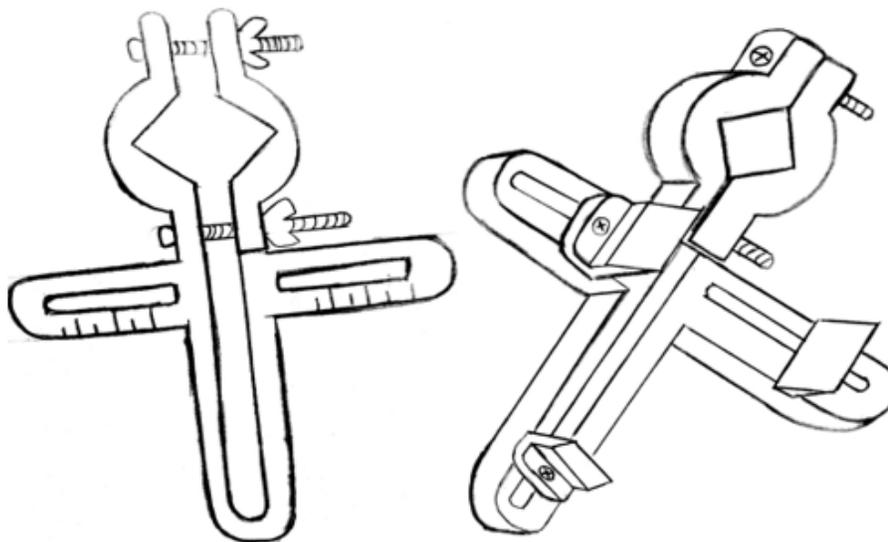
**Figura 13.** Esquemático con abertura redonda

El segundo de los esquemáticos se presenta en la Figura 14, corresponde a una mejora del esquemático previamente dibujado cambiando la abertura en la cabecera para el acople con la lámpara en forma cuadrada superando así la universalidad del acople, puesto que con una abertura circular se disminuyen las capacidades de acople según el diámetro circular de la cabecera, las demás características se mantienen iguales.



**Figura 14.** Esquemático con abertura cuadrada y cabecera horizontal

El tercer esquemático mostrado en la Figura 15, a diferencia de las otras dos cuentan con una cabecera para ajuste con la lámpara de hendidura de manera vertical, las demás características se mantienen iguales, (guías en barras horizontales verticales, soportes para ubicación del celular, y tornillos para la graduación tanto de la cabecera como de los soportes).

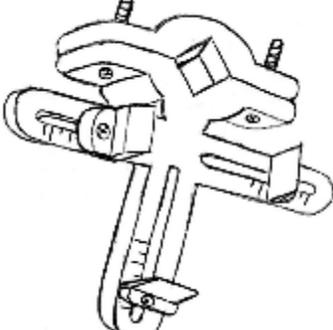
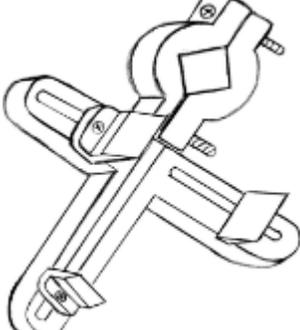


**Figura 15.** Esquemático con abertura cuadrada y cabecera vertical.

#### 4.1.5 Características del equipo para adquisición de imágenes oculares

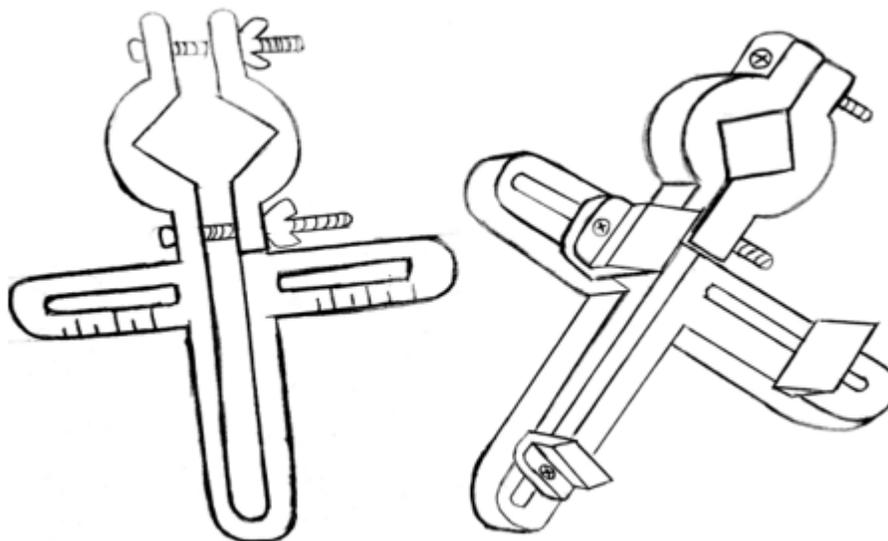
En esta actividad se califican los esquemáticos previamente mostrados en las figuras Figura 13 Figura 14 y Figura 15, igualmente utiliza una escala Likert de 1 a 5, donde 1 representa poco valorado y 5 muy valorado, este resultado lo podemos ver reflejado en la (Tabla 7). Para la calificación se tuvo en cuenta opiniones de docentes del área de optometría, docentes relativos al área de impresión 3D y estudiantes de optometría todos estos de la Universidad Antonio Nariño.

**Tabla 7.** Calificación de los esquemáticos realizados

Esquemático		
		
Ver (Figura 13)	Ver (Figura 14)	Ver (Figura 15)
Calificación: 2.0	Calificación: 3.0	Calificación: 4.5

El esquemático de la izquierda con cabecera redonda resultó tener una baja calificación, puesto que según opinión de los optómetras al tener una abertura redonda disminuiría la posibilidad de acople en las diferentes lámparas de hendidura. Por su parte el acople de la mitad a pesar de suplir la anterior dificultad su calificación no fue tan elevada ya que al tener su cabecero de ajuste horizontal podría generar un espacio muy grande entre los monóculos de la lámpara de hendidura, desplazando considerablemente la dioptría. El acople de la derecha resultó tener la más alta calificación puesto que da poca modificación en la dioptría en la lámpara de hendidura e igualmente su abertura al ser cuadrada permite la acomodación a varios tamaños de monóculo.

Con las tres calificaciones de características, condiciones de diseño y esquemáticos se define un acople prototipo final, con las características deseadas según las condiciones de diseño presentes, en la Figura 16, se ilustra el acople de escogencia para prototipo, además en la (Tabla 8) se presenta una breve descripción de las características benéficas ofrecidas cuando el equipo sea llevado a funcionamiento.



**Figura 16.** Acople seleccionado para prototipo

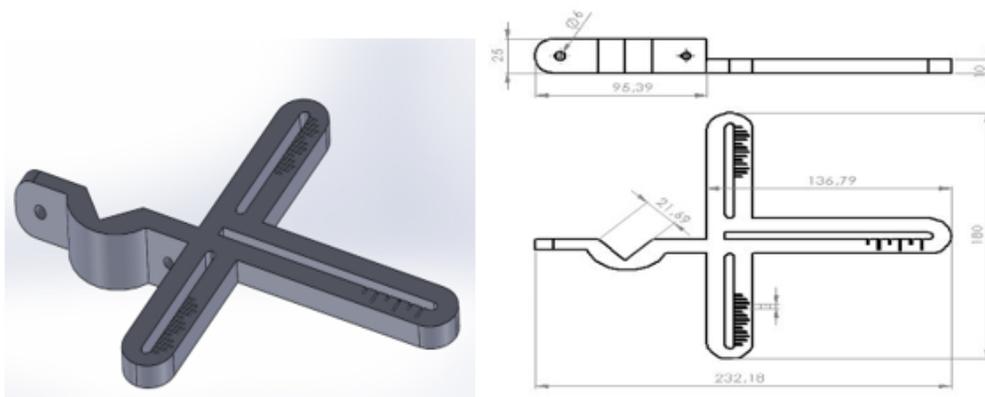
**Tabla 8.** Descripción de características del acople escogido.

<b>Característica</b>	<b>Beneficio</b>
Acople celular universal	Se puede adaptar a gran cantidad de dispositivos móviles gracias a su tamaño y la capacidad de ajuste en los soportes verticales y horizontales.
Acople lámpara de hendidura Universal	Ajustable a diferentes lámparas de hendidura, con diámetros monoculares diferentes, esto gracias a la abertura cuadrada presente en su cabecera de ajuste.
Guías para colocación	Presenta guías tanto en las barras horizontales y verticales como en la cabecera, para que luego del primer ajuste el usuario sepa donde es la ubicación correcta para la generación de fotos adecuadas.
Universalidad en dispositivos	Permite apartar a otros sistemas como cámaras deportivas, que son utilizadas en otras aplicaciones, adicionando características, como alta resolución, aumento de fps, entre otras.

## 4.2 Diseño de prototipo para la obtención de imágenes oculares en lámpara de hendidura

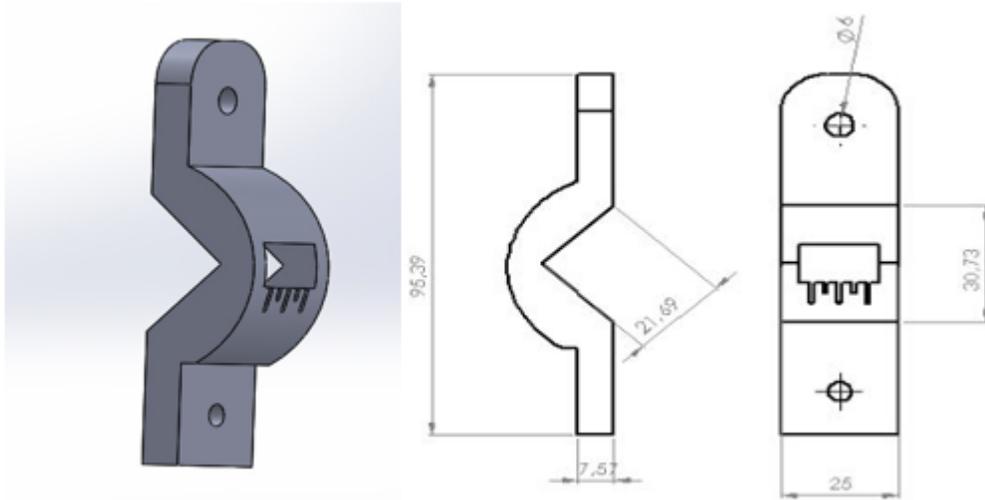
### 4.2.1 Construcción prototipo

Luego de escoger el esquemático de la Figura 15, este es llevado a un programa de diseño CAD, para esto se hace uso del programa SOLIDWORKS, dibujando una a una las piezas que contiene nuestro acople prototipo. En la Figura 17 se observa la pieza principal del acople, esto puesto que es la pieza grande y donde se instala el dispositivo móvil, además en esta figura se muestran las dimensiones de impresión, tomadas con base a las medidas de *Smartphone* de tamaño grande presente en el mercado (Iphone 7 plus, Xiaomi Redmi Note 7, entre otros) las medidas destacables son el largo de los dos brazos vertical y horizontal los cuales son 232,18 mm y 180mm respectivamente.



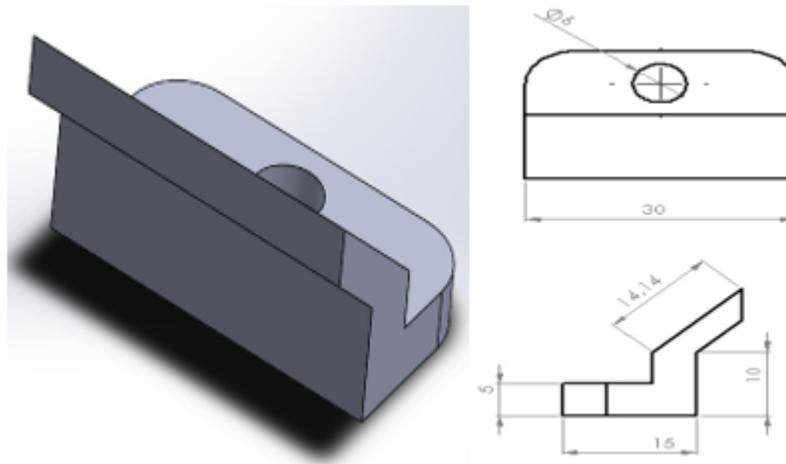
**Figura 17.** Pieza principal del acople 3D.

En la Figura 18 se muestra el diseño propuesto para la cabecera, como también las medidas de impresión; esta parte debe unirse con la pieza principal de la Figura 17, para generar el ajuste adecuado entre el acople y el monóculo de la lámpara de hendidura.



**Figura 18.** Pieza cabecera del acople 3D.

Posteriormente se hace el diseño de los soportes que unen a la pieza principal para sostener el celular en el acople, este diseño se observa en la Figura 19; tres de estas piezas serán impresas con la finalidad de dar un soporte vertical y horizontal graduable según la marca de celular utilizado.



**Figura 19.** Soporte para sostener el celular.

Luego del diseño CAD de estas tres piezas, se llevan a impresión 3D. El material usado para la impresión se conoce como PLA (ácido poli láctico) de color naranja, pues este material es de carácter degradable y de fácil moldeado en las impresiones 3D; en la Figura 20 se muestra el acople ya impreso y organizado con tornillos ajustables con medidas que

corresponden a: tornillos de  $\frac{1}{4}$  de pulgada x 1 y  $\frac{1}{2}$  pulgadas y tuercas mariposas también de  $\frac{1}{4}$  de pulgada que facilitan el adecuado ajuste. En la figura a la derecha se muestra la colocación del acople junto con el celular.



Figura 20. Acople 3D impreso y colocación del celular.

#### 4.2.2 Requerimientos para una aplicación móvil para el manejo de las imágenes

Ahora se evalúan las características mínimas para el desarrollo de la aplicación móvil, con base en la discusión hecha sobre la (Tabla 5), dentro de las características deseables, se resalta que la aplicación móvil debe contar con capacidad para: almacenar imágenes, guardar datos de la consulta y conectividad a internet para el correcto flujo de la información y llenado de base de datos. Se destacan las funcionalidades presentadas en la aplicación Remedio, descrita en la (Tabla 4) sección correspondiente a la **Error! Reference source not found.** Aquí las características más comunes son pantallas relativas a:

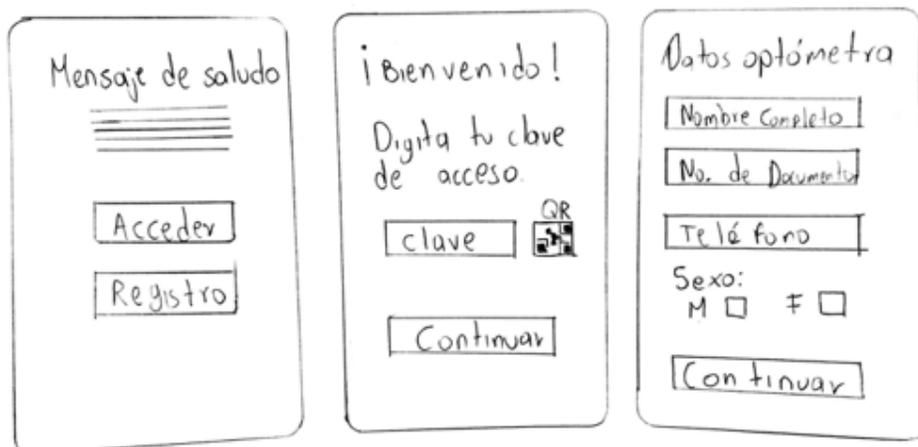
- Registro
- Acceso
- Registro de pacientes

- Toma de imágenes
- Visualización de imágenes.

### 4.2.3 Diseño Mockups de aplicación móvil

Teniendo en cuenta las características más comunes que debe tener una aplicación móvil para el registro de consultas y tomando como base las funcionalidades de la aplicación Remedio, se hace un diseño de Mockups, referentes al desarrollo de una aplicación, incluimos 7 Mockups las cuales se ven en las siguientes figuras.

Las primeras 3 Mockups corresponde a las pantallas de inicio y registro , en la Figura 21 se muestra la representación de ellas, la primera de estas (imagen de la izquierda) cuenta con un mensaje de saludo para dar un aspecto amigable al inicio, de igual forma se cuenta con 2 botones (*Acceso* y *Registro*) el primero de estos redirige a la pantalla 3 (imagen de la mitad), pero, es de resaltar que el optómetra debe realizar un registro previo para esto se debe presionar en la pantalla 1 el botón *Registro*, de esta manera se abrirá la pantalla 3 (imagen de la derecha) ahí el profesional diligencia los datos presentados en la imagen y cuando presione el botón continuar, esta información será guardada para ya tener acceso a las demás funciones del sistema y así pasar a la pantalla 2, aquí el optómetra que quiera acceder a las diferentes funcionalidades, podrá hacerlo digitando su número de cédula en el recuadro *Clave* o leyendo un código *QR*, en donde está registrado el número de cedula del mismo, cuando se presione el botón *Continuar*, ya se tendrá acceso a las funcionalidades de la APP.



**Figura 21.** Mockups relativas al inicio del sistema

Las Mockups correspondientes a las funcionalidades del sistema se muestran a continuación, en donde luego de tener un acceso correcto se muestra la imagen de la izquierda mostrada en la Figura 22, aquí el sistema le da la bienvenida al optómetra registrado, e igualmente le deja un mensaje amigable, el usuario tendrá la posibilidad de presionar el botón *Generar Consulta* para abrir la imagen de la derecha, aquí el usuario deberá diligenciar los datos de consulta del paciente.



**Figura 22.** Mockups de funcionamiento (Registro paciente)

Luego de introducir la información y que esta sea correcta, se podrá presionar el botón *Tomar Foto* para acceder a la cámara del celular y así registrar la imagen ocular, cuando esta sea tomada, se visualizará tal y como se muestra en la imagen de la izquierda, luego de esto el optómetra tiene la posibilidad de presionar el botón *Enviar Foto* para enviar dicha imagen a la web.

#### 4.2.4 Programación de la aplicación móvil

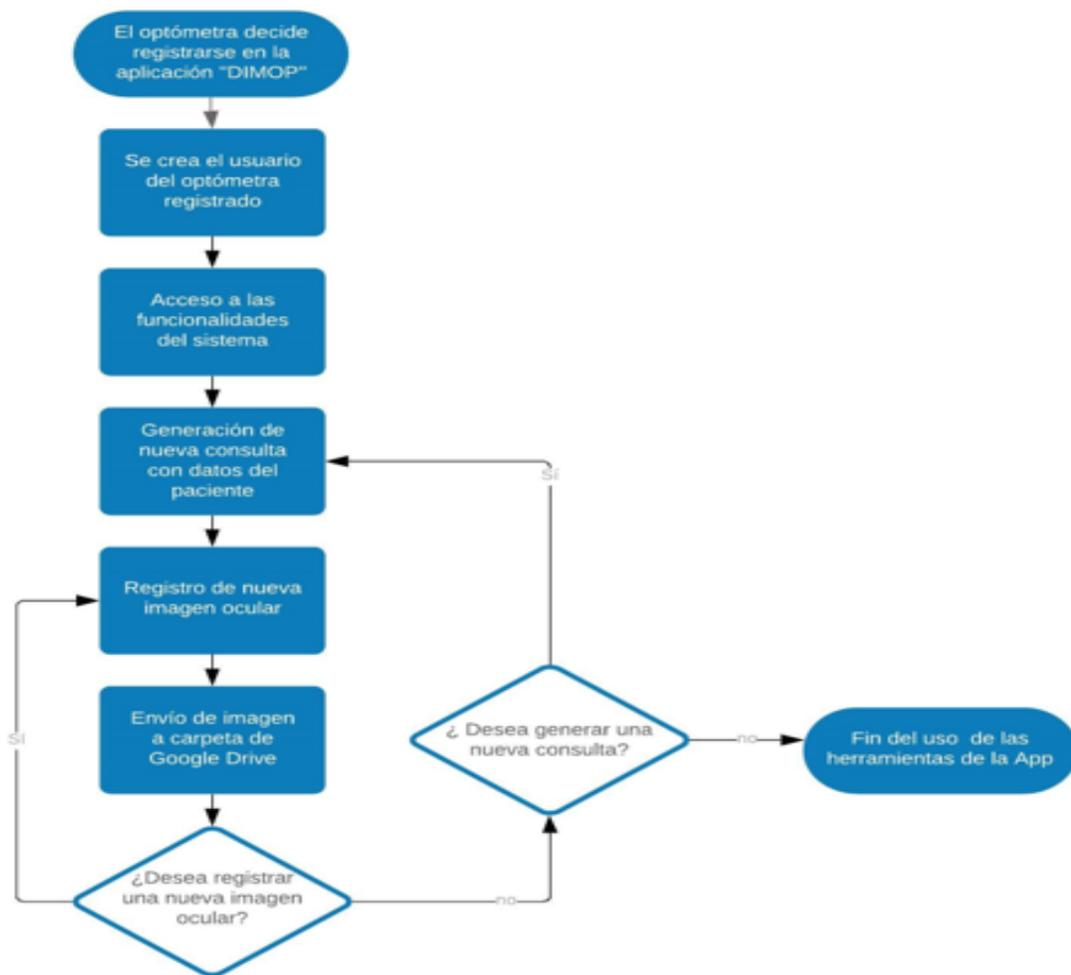
La aplicación móvil es la encargada de realizar la adquisición de las imágenes en la lámpara de hendidura a través de la función cámara, es necesario hacer una aplicación móvil que permita un mejor flujo de la información de tal manera que además de quedar registradas las imágenes oculares se tenga almacenado datos de la consulta, como por ejemplo: medico de referencia, nombre del paciente, edad del paciente, ojo registrado.

Para que la adquisición de imágenes funcione adecuadamente la aplicación sigue el flujo de tareas mostrado en la Figura 23 a la aplicación móvil se le asignó un nombre para que así los usuarios se dirijan a ella con un nombre de fácil recordación, el nombre asignado es "DIMOP". Se va a ir describiendo paso a paso los recuadros presentados en el flujograma, su aspecto, función y lógica breve utilizada.

- **Pantallas de inicio y registro.**

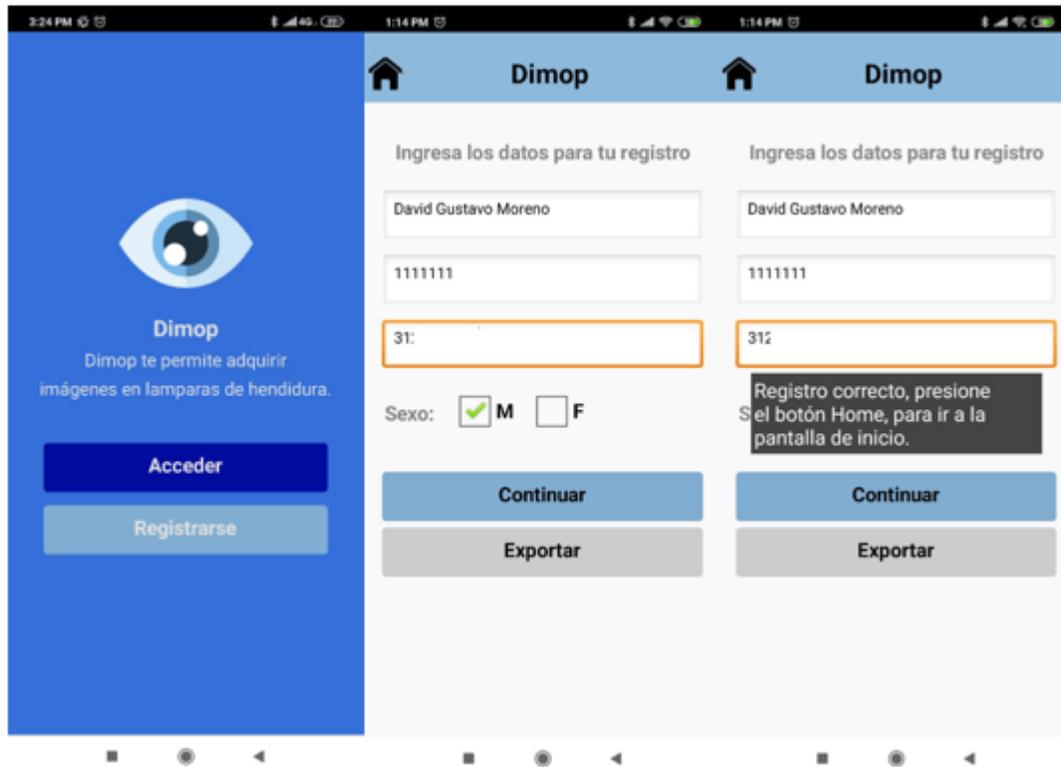
Primeramente, DIMOP ofrece al usuario una pantalla de bienvenida en donde el optómetra tendrá la opción de acceder o registrarse, en la Figura 24 se muestra el aspecto real que tiene esta pantalla, para lograr la apariencia vista en la figura, vasto con usar diferentes arreglos de recuadros para generar los espacios, entre mensajes e imagen en forma de ojo.

Luego cuando el optómetra decida hacer su registro, se abrirá la pantalla mostrada en la imagen del centro de la Figura 24, en esta imagen se usan campos de texto para digitar los datos de: Nombre, No. De documento, Teléfono, para la selección de sexo se usa casillas de verificación para así solamente presionar M (masculino) o F (femenino) cuando se presione el botón continuar aparece una ventana emergente indicando el registro correcto (imagen de la derecha).



**Figura 23.** Flujograma seguido en la aplicación móvil

El botón Home el cual se aconseja presionar, corresponde a la figura en forma de casa ubicada en la esquina izquierda, es de resaltar que para hacer el registro la primera vez es necesario tener acceso a internet, además cuando el registro es correcto los datos diligenciados se guardan en la memoria interna del celular para permitir posteriormente acceder al sistema, adicionalmente estos datos son enviados a una hoja de cálculo contenida en una carpeta de google drive, para así tener registro de los óptometras registrados en la aplicación móvil tal y como se ve en la Figura 25. Para realizar esta tarea fue necesario realizar un breve programa con la plataforma de Google "Google Apps Script" para permitir la comunicación entre la aplicación móvil y la plataforma de Google Drive, esto se logró siguiendo el tutorial propuesto por en el blog METRIC RAT (AppInventor- Post Data to google Sheet) (METRIC RAT, 2017).



**Figura 24.** Pantallas de la aplicación referentes al registro

	A	B	C	D
1	Nombre completo	Clave acceso	ID	Teléfono
2	David Gustavo Moreno	1111111	1111111	312

**Figura 25.** Registro en hoja de cálculo del óptico

Luego de hacer un registro correcto se procede a describir la funcionalidad de la App para acceder al sistema, generar consultas y registrar fotos.

- **Pantallas de acceso y registro de paciente**

En la Figura 26 se muestran las imágenes de las pantallas referentes al título, la imagen de la izquierda corresponde a la ventana generada luego de presionar el botón acceder de la Figura 24, aquí el óptico podrá acceder a las funcionalidades de la App ya sea por la digitación de su número de cédula como por la lectura del código QR generado por el número de la misma. Luego al presionar el botón continuar se despliega la imagen del centro en donde el óptico tiene el acceso de generar nuevas consultas.



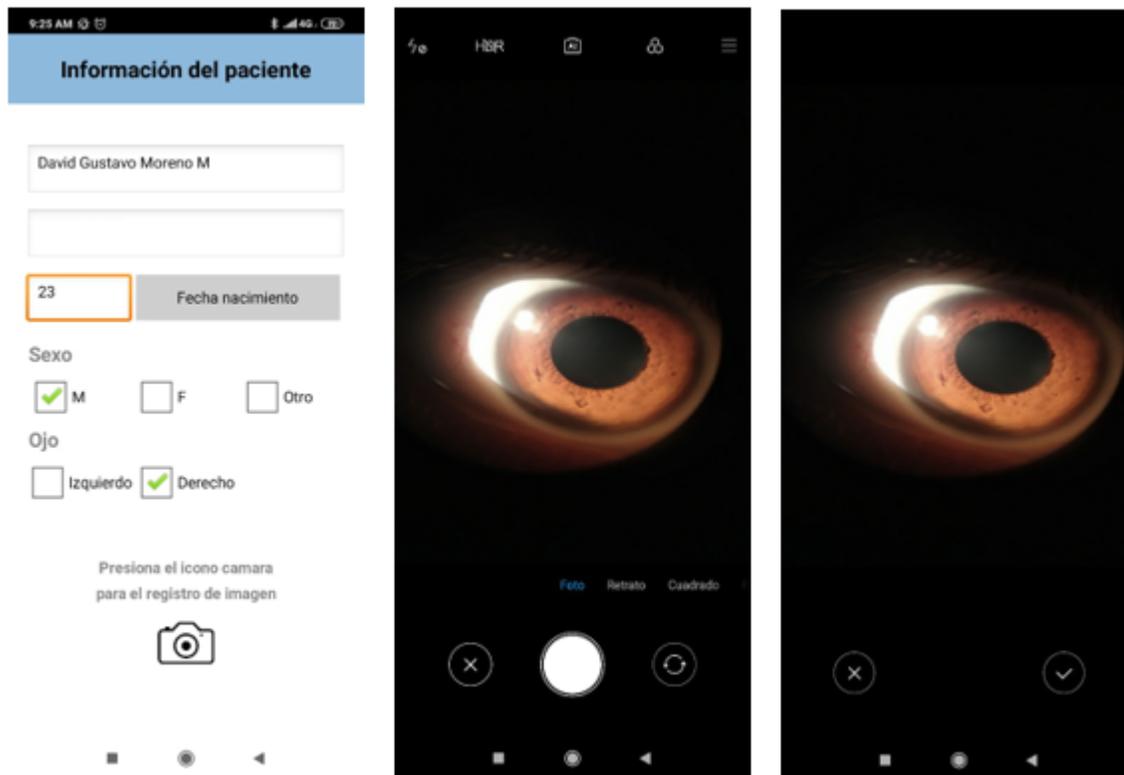
**Figura 26.** Pantallas de Acceso y registro de pacientes

Cuando se accede a la opción generar nuevas consultas, se despliega un formulario correspondiente a los datos de consulta del paciente en paso, la estructura de programación de esta pantalla es similar a la utilizada para el registro de los optómetras, pero, aquí es de resaltar que se adiciona la casilla de verificación de ojo registrado, esto para que el optómetra indique de cual ojo está adquiriendo la imagen, además se nota una casilla adicional en el sexo, esto dado que según el estándar DICOM se acepta como genero sexual "Otro", luego cuando estén todos los recuadros completos es posible presionar el botón guardar para así continuar con las funcionalidades de registro de imágenes relativas a la cámara.

- **Pantallas de registro de imágenes con la cámara del móvil**

Tan pronto el optómetra presione el botón guardar en la imagen derecha de la Figura 26 esa ventana presentara una actualización, la cual se muestra en la

Figura 27 imagen de la izquierda, esto indicando la posibilidad de acceder a las funciones de toma de fotos

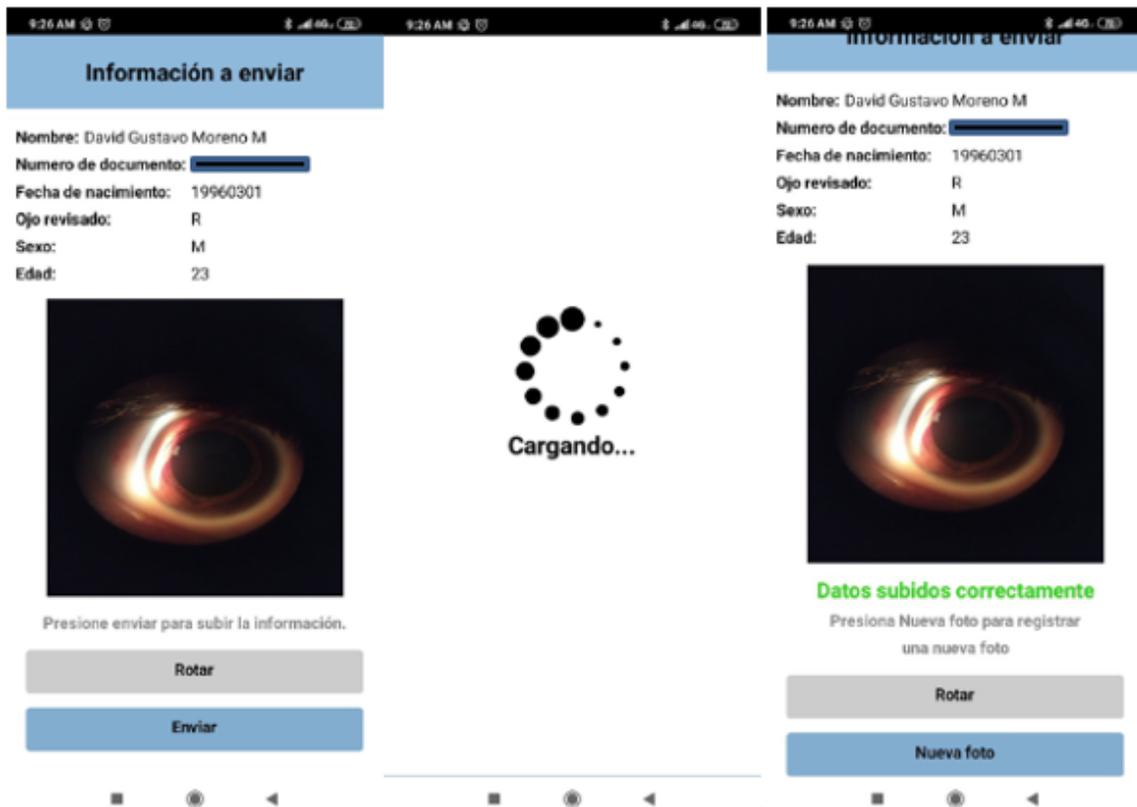


**Figura 27.** Primeras pantallas de toma de imágenes

Cuando se presione el botón en forma de cámara se abrirá la aplicación nativa para la toma de fotos propio del sistema operativo del celular en uso (imagen del centro), aquí es importante mencionar que se tendrá acceso a todas las funcionalidades presentes en esa aplicación tal y como lo son los modos de fotografía, el zoom, cambio de colores y otras funciones que varían según el modelo de celular usado. Luego de que se tome la respectiva foto el usuario de la aplicación tiene la opción de aceptar la foto o rechazarla para el registro de una imagen de mayor calidad tal y como se muestra en la imagen de la derecha.

Luego de aceptar una foto registrada se abren nuevas ventanas para la comunicación con una carpeta de drive en donde se almacenan todas las fotos registradas, esto se puede ver en la Figura 28, la imagen de la izquierda permite observar la foto registrada junto con los datos del paciente en paso, el botón *Rotar* permite hacer rotaciones en 90 grados de las imágenes y el botón *Enviar* hace que la imagen se envíe a una carpeta de Google Drive, cuando se presiona aparece la ventana del centro indicando una espera mientras

se sube la respectiva foto y los datos del paciente, cuando termine este proceso se muestra la pantalla de la derecha la cual indica una correcta subida de los datos a la plataforma.



**Figura 28.** Segundas pantallas de toma de imágenes

Cuando finalice el proceso anterior la imagen primero se guarda en la memoria interna del celular para tener salvada la información esta se guarda con un nombre propio definido a la programación de tal manera que sea posible la organización de las imágenes por orden de llegada y que en futuros procesos sea de fácil distinción este nombre asociado, el nombre de guardado de la foto consta de la unión de: Fecha de toma + hora de toma con unidades de milisegundos + ID + número de ID + número de foto tomada + ojo registrado(R/L) + .jpg, el número de foto tomada corresponde para distinguir cuando se tomen múltiples imágenes del paciente, la primera imagen corresponde al número 100 e ira aumentando uno a uno conforme se tengan nuevos registros del mismo paciente, cuando el paciente sea uno nuevo este valor volverá a 100, el ojo registrado corresponde

a si la toma fue realizada en el ojo de derecho o izquierdo añadiendo una “R” para el derecho y una “L” para el izquierdo, en este caso específico el nombre quedó de la siguiente manera : 20191010 + 092609739 +ID+ ----- + 100 + R + .jpg , esto podemos observarlo en la Figura 29, la cual corresponde a la carpeta de drive actualizada con la nueva foto enviada, en la parte inferior de la misma se muestra la actualización con en la hoja de cálculo con el nuevo paciente.



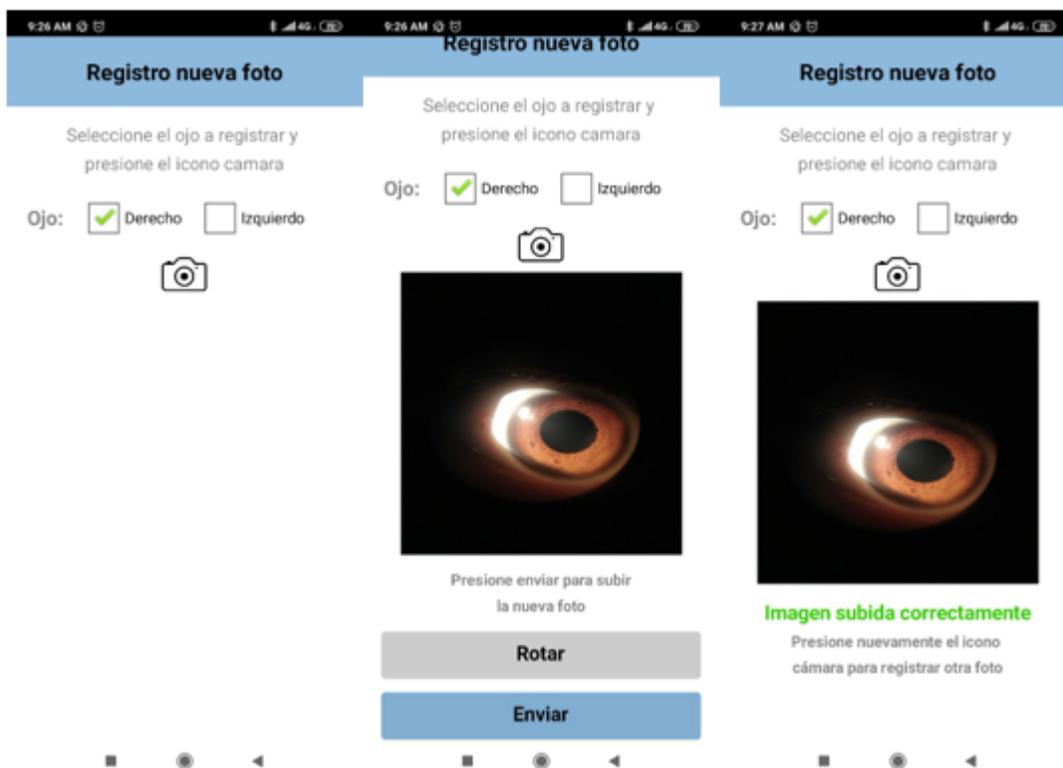
**Figura 29.** Carpeta de drive de imágenes y hoja de calculo

Para el envío de datos en la hoja de cálculo, se utilizó el mismo procedimiento usado para el registro de los optómetras, para el caso del envío de las imágenes a una carpeta de Google Drive, se siguió otro de los tutoriales del blog METRIC RAT en donde lo que se hace es una codificación de la imagen a 64 bits convirtiéndola a un formato de texto esto lo hacemos con una extensión para conversión a base64 en el software App Inventor y se desarrolla otro programa en la plataforma Google Apps Script para recibir este texto en base64 y hacer la respectiva decodificación para convertir el texto a imagen y almacenarla en la carpeta de Google Drive seleccionada (METRIC RAT, 2018).

Después de subir exitosamente la primera foto, el usuario tiene la capacidad de tomar múltiples imágenes asociadas al mismo paciente para esto se presiona el botón “Nueva

foto” de la imagen de la izquierda de la Figura 28, ahí se despliegan las opciones mostradas en la Figura 30.

En la imagen de la izquierda el seleccionara la ubicación del ojo a registrar, luego nuevamente accederá a las funciones de cámara tal y como lo hizo en la descripción hecha en la Figura 28, luego de aceptar la foto tomada el siguiente paso corresponde en enviar la foto a la carpeta de Google Drive siguiendo el mismo proceso descrito luego de la explicación de la Figura 28, actualizando nada más la carpeta de las fotos puesto que los datos del paciente se registran una única vez.



**Figura 30.** Ventanas de registro de nueva foto

Finalmente el optómetra decide finalizar la toma de imágenes del paciente deberá presionar el botón retroceso propio del software Android el cual se ubica en la parte inferior, aquí el volver a la pantalla de generación de consulta mostrado en la Figura 26 y seguirá el mismo proceso descrito hasta aquí, tal y como se muestra en el flujograma de la Figura 23.

#### **4.2.5 Aplicación para el manejo, tratamiento y conversión de imágenes a DICOM**

Dado que ninguna de las aplicaciones permite hacer la conversión de las imágenes al formato DICOM, se creó un software adicional que permita la transformación y almacenamiento en el formato “.dcm” propio de imágenes DICOM, además el software desarrollado de manera interactivo permite la visualización de la imagen DICOM junto con datos esenciales para el registro de una imagen DICOM, la aplicación de filtros, la segmentación según el histograma y almacenamiento de la imagen procesada, en la (Tabla 9) se describe brevemente cada una de las funciones que realiza el software de procesamiento. Para el desarrollo del software se utilizó el lenguaje de programación libre Python, aprovechando las diferentes librerías desarrolladas para él para así tener un producto final que cumpla con los requerimientos propuestos, las librerías destacables para el desarrollo de este proyecto son OpenCV para el procesamiento de las imágenes con herramientas de visión por computadora, Pydicom para permitir el trabajo y conversión de archivos DICOM y PyQt5 para llevar todos los procesos a una ventana de interfaz gráfica interactiva.

**Tabla 9.** Características del software de procesamiento

<b>Características del software de procesamiento</b>	
Transformación de una imagen a formato DICOM	Capacidad de convertir una imagen JPG al formato DICOM, diligenciando un formulario con la información básica de una consulta medica, en este caso de optometría.
Transformación de múltiples imágenes a formato DICOM	Recepción de todas las fotos asociadas a cada paciente junto con sus datos de consulta, haciendo una combinación para conseguir el formato DICOM.
Organización del flujo de información	Organización en carpetas diferentes según el paciente, cada uno tendrá una carpeta que contiene los archivos DICOM asociados a sus imágenes y consulta.
Visualización de archivos DICOM	Carga de archivos DICOM permitiendo observar la imagen alojada en él, junto con los datos de la consulta, posibilita además el paso entre las múltiples imágenes registradas para cada paciente.
Filtrado de los canales RGB	Separar la información de las imágenes en formato DICOM en los canales rojo, verde y azul, permitiendo la visualización por separado.
Grafica del histograma del canal seleccionado.	En la parte derecha de la visualización de cada canal se observa el histograma, que indica la repetición de las diferentes tonalidades de color.
Segmentación de la tonalidad de los colores según el histograma	Moviendo unas barras interactivas es posible segmentar la información de interés, dejando solamente un rango cerrado con las tonalidades definidas.
Almacenamiento de la imagen modificada	Almacenamiento en formato JPG de la imagen en el canal seleccionado y con la segmentación de tonalidades escogidas.

Ya para el desarrollo del software se utilizó la arquitectura MVC (modelo-vista-controlador) para así separar las lógicas correspondientes a la interfaz grafica y manejo y procesamiento de datos, en el modelo se encuentran toda la lógica para cumplir con las

funcionalidades requeridas en la (Tabla 9), la vista corresponde a la interfaz grafica desarrollada para así conseguir que el flujo de trabajo sea interactivo, finalmente el controlador se encarga de comunicar al modelo y vista para trabajar de manera conjunta según las peticiones del usuario.

- **Transformación de una imagen a formato DICOM**

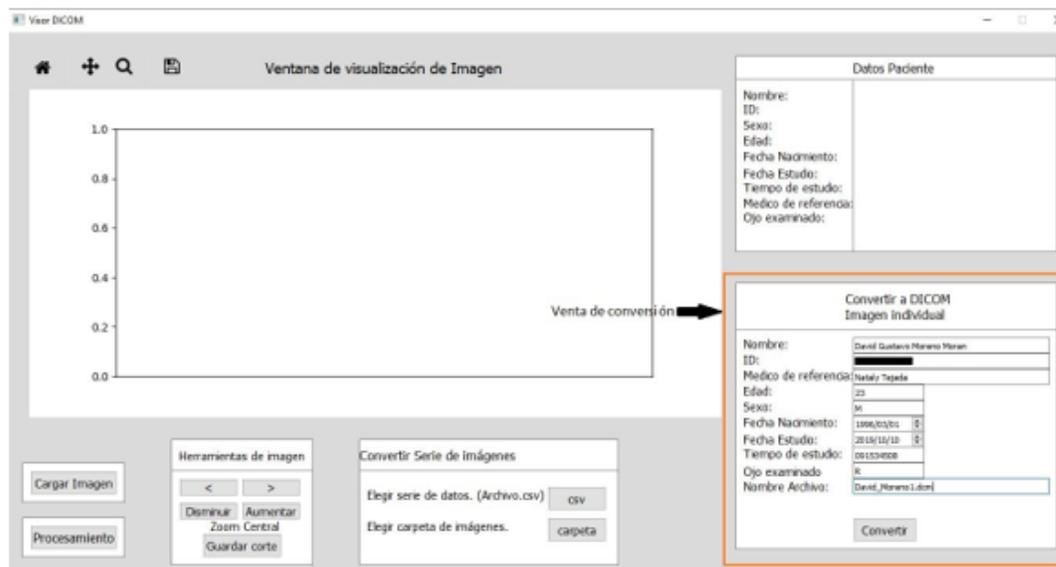
Esta corresponde a la primera de las funcionalidades del software de procesamiento, en flujograma de la Figura 31 se describe el paso a paso para llevar a cabo esta



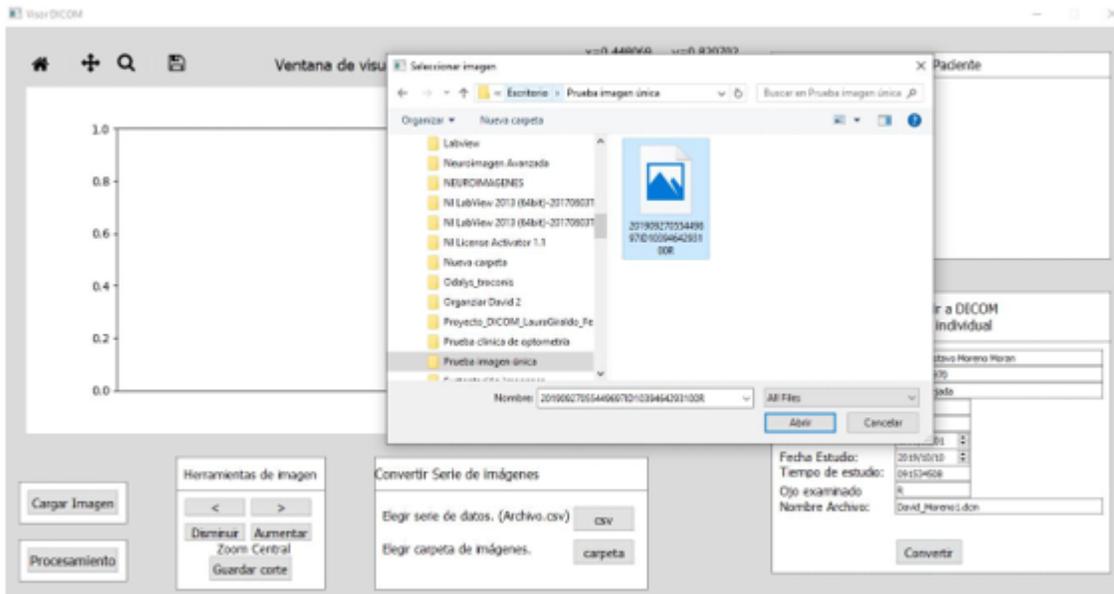
funcionalidad. **Figura 31**

**Figura 31.** Flujograma para la función de conversión única imagen

En la Figura 32 se muestra la interfaz de inicio del software para el procesamiento, en el recuadro rojo se marca el lugar asociado a la conversión de una sola imagen, en este se diligencian los datos relativos a la consulta médica, el campo de texto *Nombre de archivo* corresponde a como al nombre de cómo será guardado nuestro archivo DICOM, cuando esté completado se presiona el botón *Convertir*, aquí el software redirige a una ventana de búsqueda de archivo donde buscaremos la imagen a convertir (ver Figura 33).

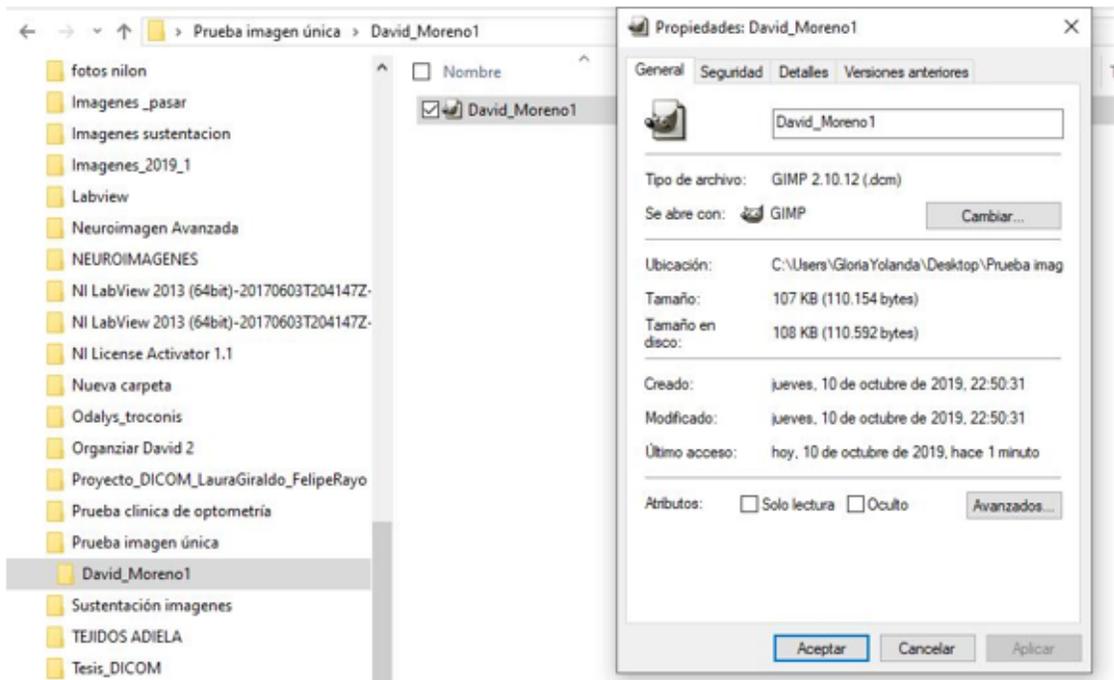


**Figura 32.** Interfaz gráfica de inicio, funcionalidad de conversión de una imagen.



**Figura 33.** Ventana emergente para búsqueda de imagen

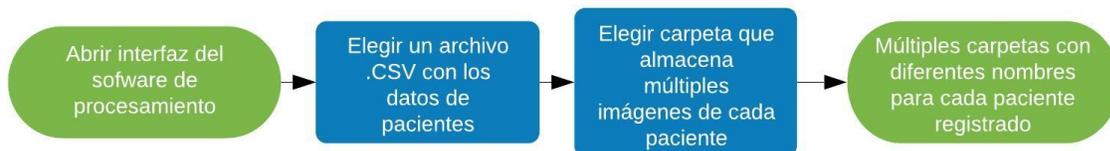
Luego de seleccionar la imagen el software realizara la respectiva conversión, en la carpeta donde estaba guardada la imagen se crea una carpeta con el nombre de archivo que definimos previamente, dentro de esta carpeta se almacena el archivo DICOM en formato “.dcm” esto se puede observar en la Figura 34.



**Figura 34.** Archivo DICOM creado

- **Transformación de múltiples imágenes a formato DICOM**

La segunda de las funciones se piensa con la finalidad de continuar el flujo de trabajo dado por la aplicación móvil DIMOP, el flujograma a seguir se muestra en la Figura 35.

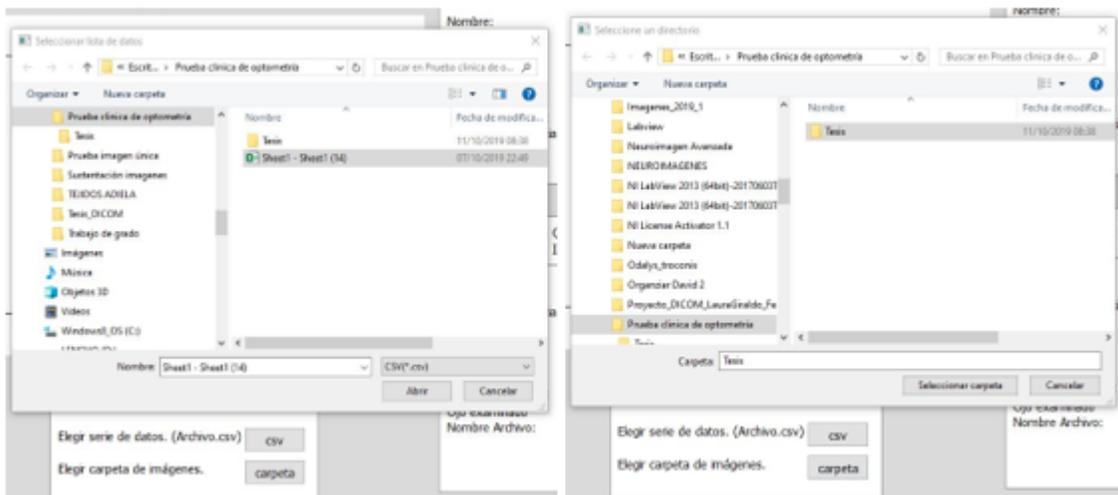


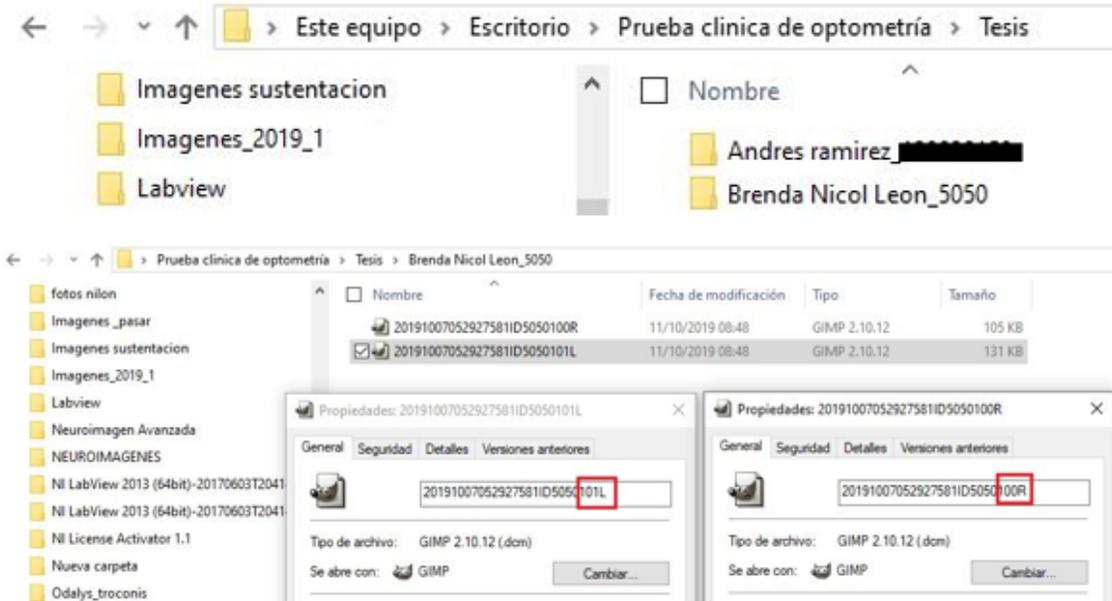
**Figura 35.** Flujograma para la función conversión de múltiples imágenes

Cuando estemos dentro de la interfaz (ver Figura 36) utilizaremos los recuadros marcados en rojo, los cuales están numerados según el orden de utilización, primeramente lo que se hará es seleccionar la lista de datos “.csv” arrojada por la carpeta de Google Drive de registro de pacientes.



**Figura 36.** Pasos por seguir dentro de la interfaz para conversión de múltiples imágenes. En donde la aplicación DIMOP envía la información (ver Figura 37 imagen izquierda) luego presionamos el botón seleccionar *Carpeta* para seleccionar la carpeta que aloja las múltiples imágenes de los múltiples pacientes registrados (ver Figura 37 imagen derecha) luego de hacer estas dos selecciones el software hace el trabajo de conversión a DICOM tomando cada una de las imágenes presentes en la carpeta y según un algoritmo de programación, se asigna los datos CSV correspondientes a cada paciente. Este proceso también se muestra en la sección previa a la Figura 51, en donde se hace un paso a paso de conversión a imágenes DICOM con una cantidad múltiple de imágenes.



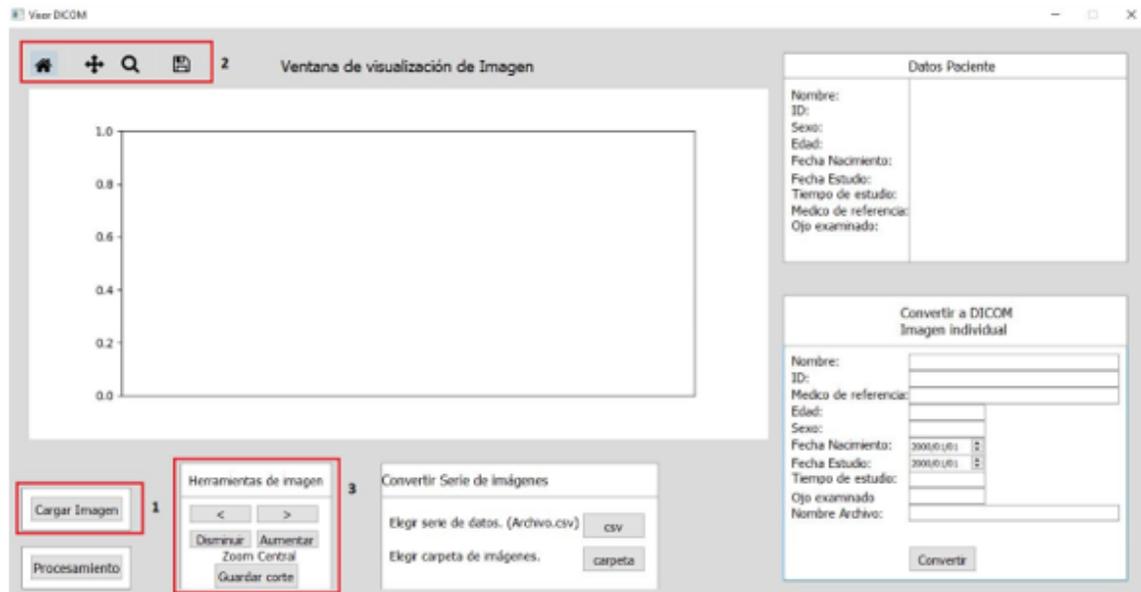
**Figura 37.** Resultado de seguir los pasos 1 y 2 en la interfaz**Figura 38.** Resultado de la conversión de múltiples imágenes.

Inmediatamente se acabe de seleccionar la carpeta que contiene las imágenes el software hace el trabajo de conversión a imágenes DICOM, cuando termine el proceso, el software también se encarga de organizar la información en diferente carpetas para cada paciente y dentro de cada carpeta están los múltiples archivos DICOM (ver Figura 38) para esta explicación usamos las imágenes de los pacientes Andres Ramírez y Brenda Nicol (ver imagen superior), dentro de la carpeta Brenda Nicol se encuentra dos archivos DICOM uno correspondientes a dos registros, estos como se muestran en el recuadro rojo corresponde a un registro del ojo derecho (100R) y ojo izquierdo (101L) (ver imagen inferior).

- **Visualización de archivos DICOM.**

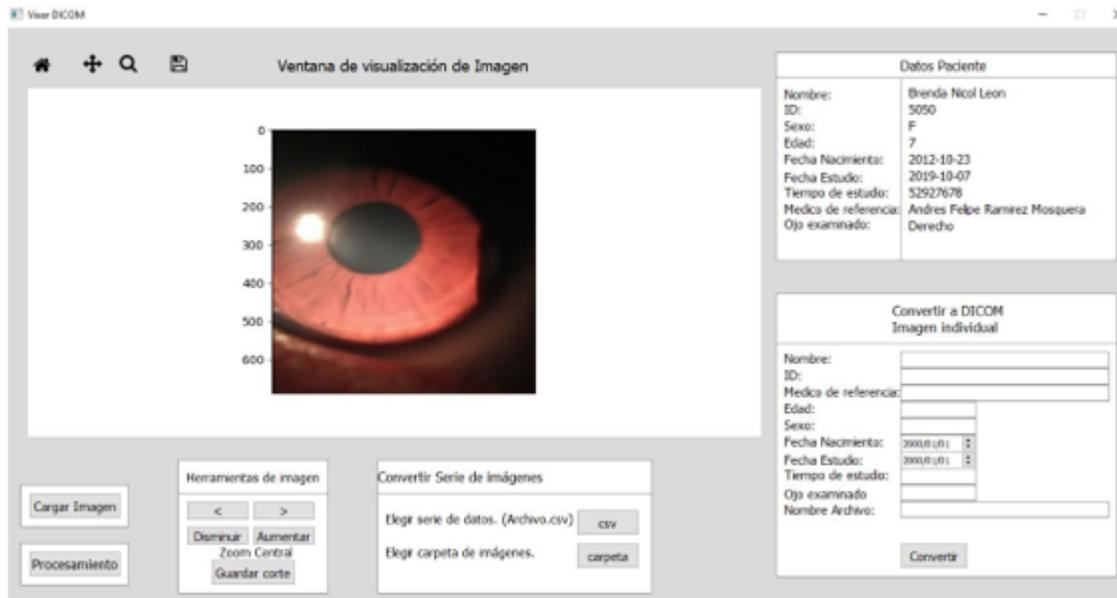
El software viene equipado con la funcionalidad de ver archivos DICOM, en este caso visualizaremos los archivos DICOM previamente creados para Brenda Nicol, primero se describe los lugares de la interfaz asociados a la visualización, en la Figura 39 los recuadros marcados en rojo corresponden las botones y herramientas que utilizaremos en este paso, el número 1 es el que nos permite cargar el archivo DICOM de nuestra preferencia, el 2 nos permite herramientas básicas de trabajo como lo son el zoom de

áreas específicas, movernos entre esas áreas, volver a la imagen original y guardar si lo deseamos lo visualizado en el recuadro blanco, el 3 corresponde a herramienta de trabajo con las imágenes los dos primeros botones son los que permiten moverse entre las múltiples imágenes registradas para cada paciente, también hay la posibilidad de hacer zoom central y de guardar dicha imagen modificada según el zoom central.



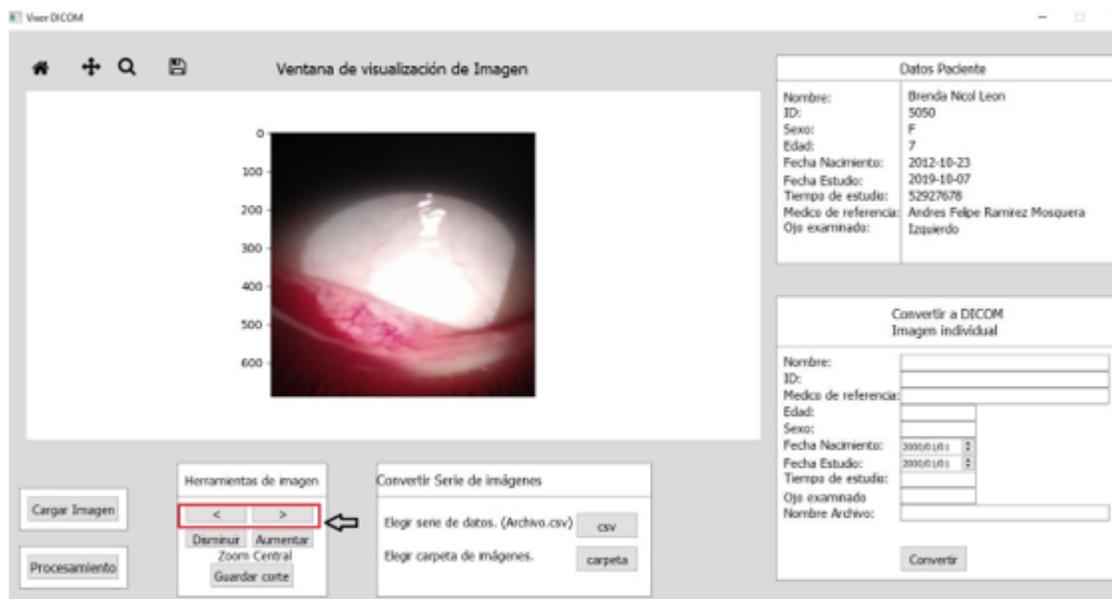
**Figura 39.** Lugares de la interfaz para hacer la visualización de las imágenes DICOM

Luego presionar el botón 1 *Cargar Imagen* buscaremos la carpeta deseada para la visualización en este caso visualizaremos las imágenes previamente convertidas en los pasos anteriores para Brenda Nicol.



**Figura 40.** Ventana de visualización cargada con las imágenes de Brenda Nicol

En la Figura 40, se observa una de las imágenes de la paciente en curso en el sector de la esquina derecha, se muestran los datos de consulta y en la ventana de visualización la imagen ocular de iris de la niña paciente.

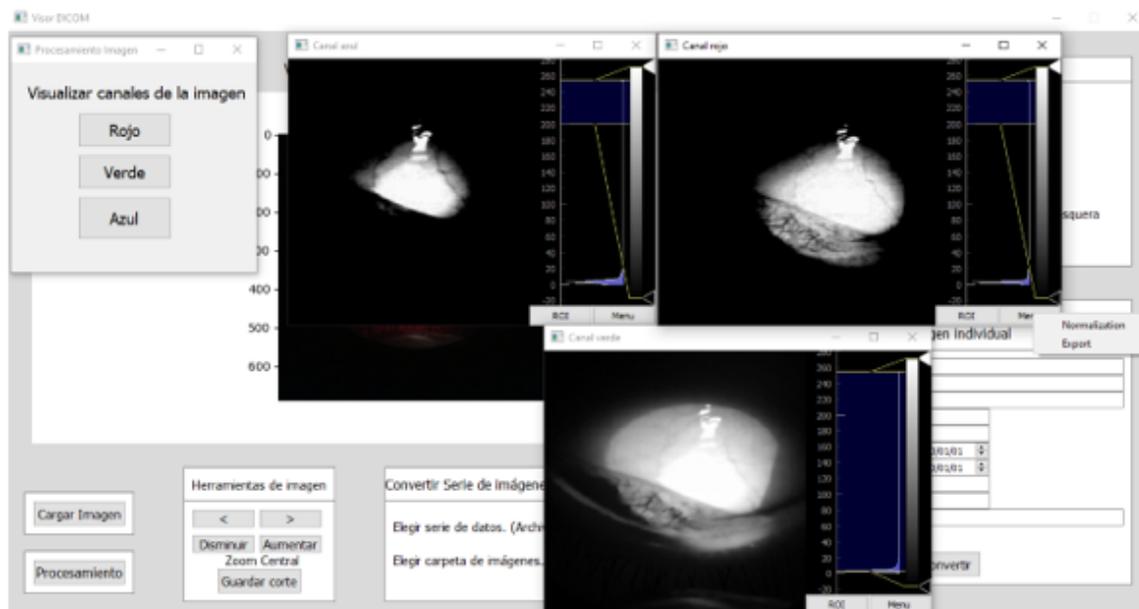


**Figura 41.** Imagen DICOM 2 para la paciente Brenda Nicol

Luego usando las herramientas de paso de imagen podemos observar otra toma realizada, este corresponde a una alergia presentada en el ojo izquierdo (ver Figura 41).

- **Procesamiento básico de la imagen cargada**

Adicional a las herramientas ya mencionadas el software con ayuda de funciones de visión por computadora proporcionadas por la librería OpenCV, permite filtrar y segmentar la imagen precargada, esto con la finalidad de visualizar menos información y detectar mejor los detalles en las imágenes oculares. Para acceder a estas herramientas se presiona el botón procesamiento y ahí se abrirá una ventana emergente para seleccionar el canal de interés tal y como se muestra en la Figura 42 nuevamente seguimos trabajando con las imágenes de la paciente descrita en los procesos anteriores.

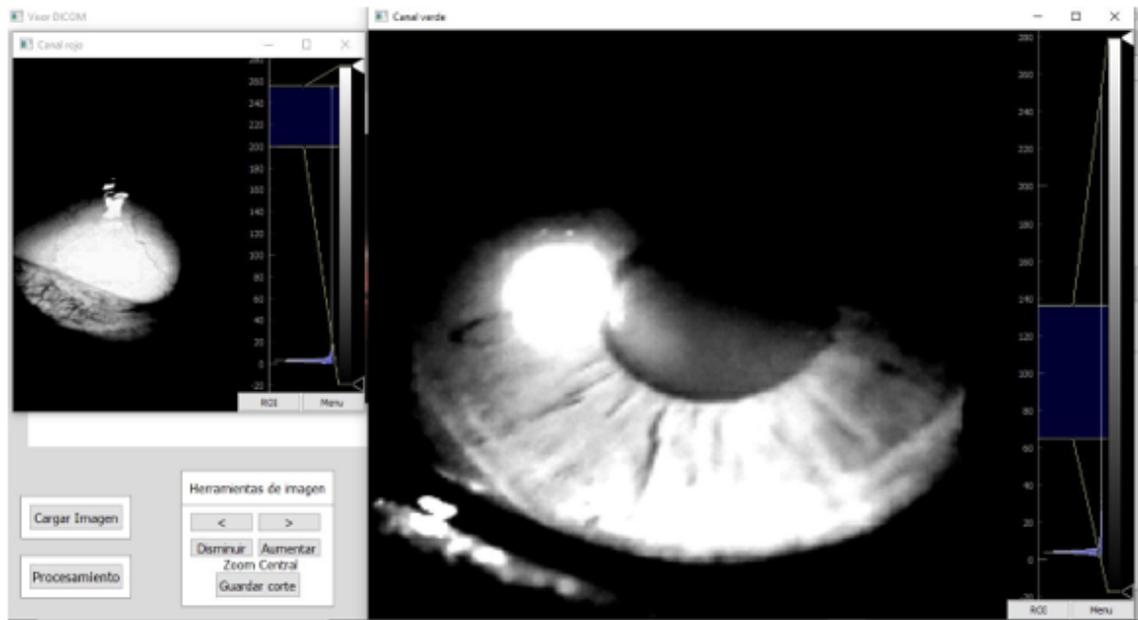


**Figura 42.** Herramientas de procesamiento

Luego de seleccionar cada canal de interés como se observa en la Figura 42 en donde se han cargado todos los canales, estos se despliegan interactivamente en la pantalla de nuestro computador, cada canal tiene una ventana de trabajo propia e interactiva en donde podrá aprovechar las funcionalidades del mouse para hacer tareas como: mover la imagen, zoom, agrandar o disminuir la ventana, entre otros. En cada canal se muestran

las barras interactivas para segmentar el histograma para este ejemplo se ha segmentado los canales azul y rojo en el mismo rango (200-260) por su parte el canal verde permanece con el rango sin modificar, aquí podemos notar que la información presentada en cada canal es diferente, por ejemplo en el canal azul no es posible ver la área ocular donde se dice existe una alergia, pero ahí se nota en mejor medida el contraste entre la vascularización y el globo ocular, por último si se desea se puede acceder en cada canal en la esquina izquierda a un menú el cual permite guardar la imagen según los trabajos ya realizados (función exportar).

En la Figura 43, se muestra otro ejemplo de las opciones interactivas que nos ofrece el software en este caso se cargan las imágenes uno y dos de la paciente, segmentando a diferentes rangos de tonalidades y a diferente tamaños por ende, dadas las características del software se pueden cargar simultáneamente las múltiples imágenes DICOM del paciente y modificar el tamaño según el interés deseado en cada imagen.



**Figura 43.** Herramientas de procesamiento, modificación de tamaño.

## **4.3 Protocolos de utilización y pruebas para evaluación del dispositivo**

Luego de tener toda la etapa de desarrollo lista se sometió el dispositivo a distintas pruebas para así verificar su funcionamiento, a continuación, se muestra el paso a paso para probar el sistema. Se aclara que el proceso de pruebas los llamados optómetras corresponden a estudiantes y docentes del área de optometría.

### **4.3.1 Diseño de consentimiento informado**

El consentimiento informado es el documento por medio del cual se lleva a cabo el proceso de explicación verbal y escrita por parte del investigador responsable hacia el participante o paciente voluntario, donde por medio de la firma de ambos involucrados se deja en constancia de todos los aspectos que implica el compromiso, por consiguiente, toda información debe quedar explícita sin omisión alguna (Universidad de la frontera, n.d.).

Para el desarrollo del presente trabajo, un grupo de pacientes aleatorio fue seleccionado para la obtención de imágenes oculares empleando el dispositivo diseñado como acople entre la lámpara de hendidura y el teléfono celular, para la adquisición de las imágenes, adicionalmente, los participantes suministraron sus datos personales para la construcción de un modelo de base de datos que incluye información personal. Por esta razón se hizo necesario la implementación de un consentimiento informado, en donde se dejó constancia de que la investigación se realizó de manera ética y asegurando la protección tanto del paciente como de su información personal.

En la (Tabla 10) se hace una breve descripción de las partes conformadas del consentimiento informado utilizado en este proyecto; en el anexo A se muestra el documento final creado para constatar la participación voluntario en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 10.** Descripción del consentimiento informado utilizado.

<b>Información de la investigación</b>	
Propósito del documento	Se proporciona una breve explicación del papel que desempeña el documento suministrado.
Identificación del estudiante	Se introduce la información referente al responsable del proceso, incluyendo datos de contacto
Locación del estudio	Se informa el sitio en donde se llevará a cabo el estudio y pruebas pertinentes.
<b>Información para el paciente</b>	
Propósito y pertinencia de la tesis de grado	Se clarifica el objetivo del estudio realizado y la propuesta de valor del mismo.
<b>Procedimiento</b>	
Prueba de generación de datos	Se explican los pasos a seguir por parte del responsable de la investigación en caso de ser paciente de prueba
Prueba de usabilidad	Se exponen los pasos a seguir en caso de ser participante en el uso de la aplicación y dispositivo de acople.
Tratamiento de datos e imágenes registradas	Se clarifican las posibilidades de divulgación de la información con fines académicos y otras implicaciones de participar en el estudio.
<b>Acta de consentimiento informado</b>	
Aceptación de la participación	Se redacta en primera persona un texto en donde se avala que el participante ha sido informado del objetivo y del procedimiento de las pruebas a realizar, dejando constancia tanto con su documento de identidad como su firma voluntaria, al igual que la firma del estudiante responsable.

### 4.3.2 Protocolo de pruebas

Se determinó un protocolo adecuado para llevar un paso a paso de las pruebas de evaluación en el sistema prototipo desarrollado, en el flujograma de la Figura 44 los recuadros azules corresponden a las principales etapas a seguir.



**Figura 44.** Flujograma para el protocolo de pruebas

Ya en la tabla (Tabla 11) se da una explicación breve del protocolo de pruebas; en el anexo B se muestra el protocolo de pruebas mostrado a los participantes del proyecto para que estos tengan conocimiento en mayor medida del proyecto realizado.

**Tabla 11.** Explicación de las etapas a seguir en el protocolo de pruebas

<b>Descripción del paso a paso de el protocolo de pruebas</b>	
Instalación y registro en la aplicación móvil	El optómetra realizara la instalación de la aplicación por el método propuesto, luego el diligenciara una serie de datos pedidos por la App para tener acceso al sistema.
Colocación del acople en la lámpara de hendidura	Se hace la instalación del acople en la lámpara de hendidura, junto con el celular seleccionado.
Registro de pacientes	Se diligencia un formulario para cada paciente con los datos solicitados por la app, luego se irán registrando las imágenes oculares que el optómetra considere pertinentes, este proceso se repetirá paciente a paciente.
Descarga de los registros para usarlos en el software de procesamiento	El estudiante propietario de la tesis descarga, los datos e imágenes almacenados en sus carpetas de Google Drive y los pasa al software de procesamiento para hacer la respectiva transformación, filtrado y segmentación. En este proceso los optómetras participan indirectamente observando las funcionalidades presentes en el software.
Encuestas de satisfacción a estudiantes y optómetras	Diligenciamiento de un formulario de google que contiene diferentes preguntas que dan fe de las expectativas causadas en el desarrollo de cada etapa en la que participaron los optómetras, Luego de finalizar las encuestas se procede a analizar estos datos estadísticos.

### 4.3.3 Implementación prueba piloto

- **Instalación y registro de la aplicación móvil**

Siguiendo el protocolo de pruebas definido en el literal anterior, la primera tarea realizada correspondiendo a la instalación y registro de los optómetros en la aplicación móvil para la adquisición de imágenes DIMOP, a ellos se les envió un link de descarga de la aplicación DIMOP, junto con una guía de instalación y registro, el anexo C corresponde a la guía

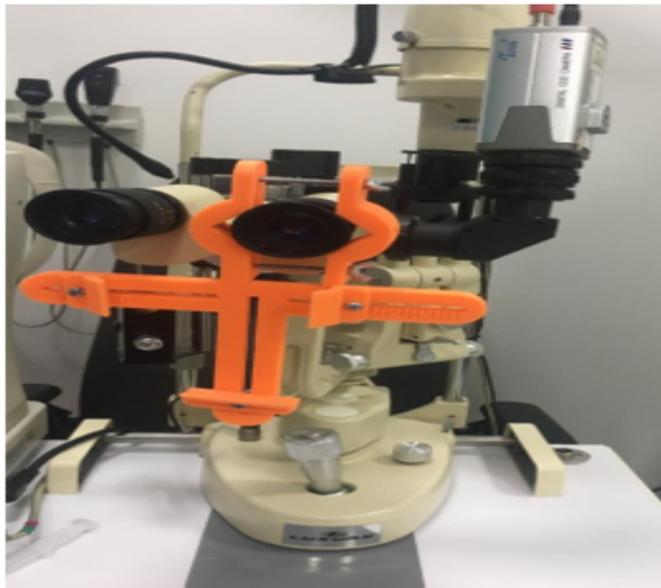
enviada. En la hoja de cálculo de Google Drive, se pudo observar que 8 optómetras participaron en el proceso de pruebas para la evaluación esto se puede observar en la Figura 45 donde aparecen el nombre de los optómetras, los demás datos al ser confidenciales se esconde, el flujo correcto es el que se observa en la Figura 25, en esta lista 6 de los registrados corresponden a estudiantes de noveno semestre de optometría en la Universidad Antonio Nariño, los 2 restantes son docentes.

	A	B	C	D
1	Nombre completo	Clave acceso	ID	Teléfono
2	Nataly Marcela Tejada Delgado			
3	Danis Lopez			
4	Mauricio Hurtado Hinestroza			
5	Andres Felipe Ramirez Mosquera			
6	Ever Mauricio Escobar Gutierrez			
7	Laura Londoño David			
8	Natalia Vidal Cobo			
9	Sandra Ardila			

**Figura 45.** Optómetras participantes en el proceso de pruebas

- **Colocación del acople en la lámpara de hendidura**

Luego del registro los optómetras registrado procedieron a hacer la colocación del acople en la lámpara de hendidura, se usó dos lámparas de hendidura con diámetros monoculares diferentes, en la imagen de la izquierda de la Figura 46, se puede observar cómo fue la colocación en la lámpara de hendidura con diámetro monocular más grande, nótese que el acople desarrollado necesita aumentar las dimensiones en la abertura de su cabecera, sin embargo en la lámpara de hendidura con monóculo de menor diámetro, el ajuste se dió adecuadamente por este motivo la dificultad para el montaje de este fue menor.



**Figura 46.** Colocación del acople en la lámpara de hendidura

Lo siguiente de la colocación, es ajustar los focos de la cámara del celular y la lámpara de hendidura con la finalidad de obtener una buena calidad de imagen, el sistema completo (lámpara de hendidura-acople-celular) se observa en la Figura 47, aquí notamos que el acople se da adecuadamente obteniendo una buena calidad en las tomas de las imágenes, es de resaltar que esta foto fue tomada luego de haber adquirido experiencia en la colocación del acople igualmente el celular usado (Xiaomi Redmi Note 7 )para la toma de imágenes es de buenas de características de hardware por tanto la calidad de las fotos aumenta considerablemente.



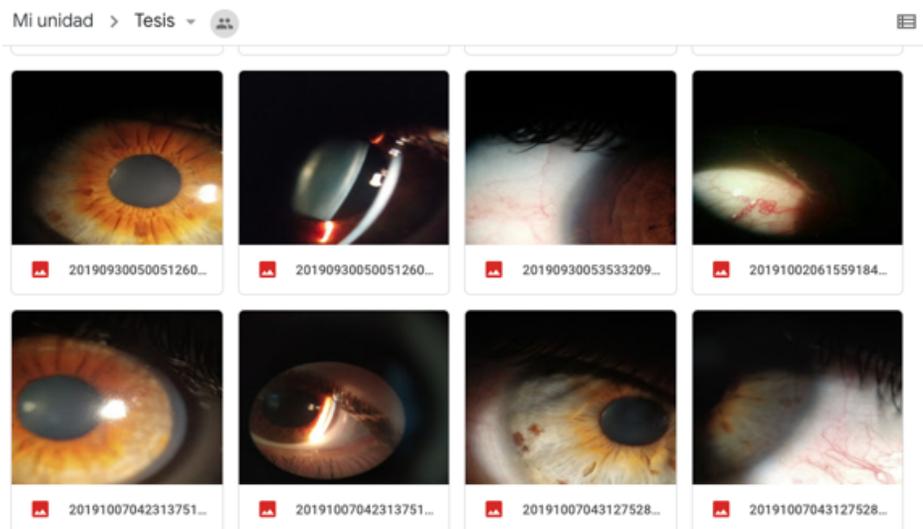
**Figura 47.** Sistema completo (lámpara-acople-celular)

- **Registro de pacientes**

Aquí se tomó una muestra de 20 pacientes a los cuales se les hizo registro de fotos oculares, la cantidad de fotos necesaria fue decisión del optómetra. Primero se hizo el registro de los pacientes, en la ventana de la aplicación DIMOP referente a esta función, luego se enviaron una a una las fotos a la carpeta de Google Drive, en la Figura 48 se ilustra el proceso de registro de fotos en una de las pacientes prueba, al final del proceso referente a esta prueba se obtuvieron 45 imágenes oculares, dentro de las imágenes obtenidas los optómetras decidieron utilizar diferentes tipos de iluminación con la finalidad de observar otras características oculares, e igualmente enfocaron con la lámpara diferentes áreas del ojo tales como (iris, parpados, cornea, vasos sanguíneos, alergias, entre otras). en la Figura 49 se muestran algunas de las imágenes obtenidas en estas pruebas, en ellas se puede observar que su nombre este definido acorde a la programación dada en la aplicación DIMOP.



**Figura 48.** Optómetra en el proceso de toma de fotos



**Figura 49.** Imágenes oculares en la base de datos

En la Figura 50 podemos observar la hoja de cálculo de los pacientes registrados que decidieron voluntariamente participar en el proceso de registro de pruebas, en esta muestra de personas se encontró pacientes de edades entre los rangos de los (7 a 64 años), los datos presentes en esta hoja de cálculo corresponden a datos de consulta esenciales para el proceso posterior de transformación a imagen DICOM, los campos de texto ID en esta figura esta ocultos debido a la confidencialidad en los datos.

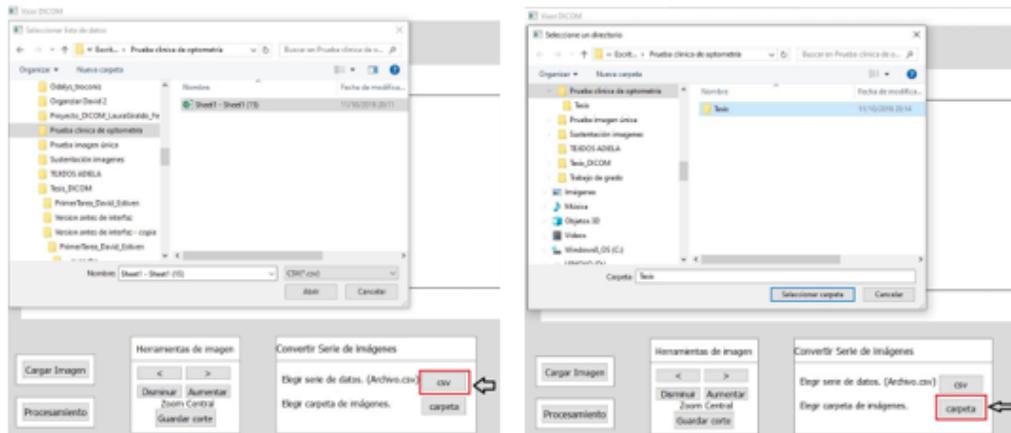
Study_date	Study_time	Physicians_name	Patients_name	Patients_ID	Date_of_Birth	Patients_sex	Patients_age
20190927	45418396	Nataly Marcela Tejada Delgado	Wendy Bermudez Roman		19950420	F	24
20190930	23518701	Andres Felipe Ramirez Mosquera	Mauricio Hurtado		19950129	M	24
20190930	24936169	Mauricio Hurtado Hinestroza	Ever Escobar		19970427	M	22
20190930	30111400	Andres Felipe Ramirez Mosquera	David Moreno Moran		19960301	M	23
20190930	32258687	Laura Londoño	Andres Ramirez		19990121	M	20
20190930	32849855	Ever Mauricio Escobar Gutierrez	Stiven Loaiza		19920804	M	26
20190930	40945485	Danis Lopez	Laura Londoño		19961220	F	22
20190930	43215199	Laura Londoño	David Madrigal		19940527	M	25
20190930	43729392	Danis Lopez	Natalia Vidal		19971008	F	21
20190930	45353509	Laura Londoño	Sandra Ardila		19760211	F	43
20190930	50051337	Laura Londoño	Carolina Ospina		19920228	F	27
20190930	51223300	Natalia Vidal Cobo	Danis Lopez Vergara		19920729	F	27
20191002	61634306	Nataly Marcela Tejada Delgado	Luz Marina Giraldo Basto		19541130	F	64
20191007	42313881	Ever Mauricio Escobar Gutierrez	Maria Fernanda Alvarez		19950525	F	24
20191007	43127632	Ever Mauricio Escobar Gutierrez	Hernan Salinas		19870417	M	32
20191007	51420669	Andres Felipe Ramirez Mosquera	Yurany Jaramillo		19891224	F	29
20191007	52927678	Andres Felipe Ramirez Mosquera	Brenda Nicol Leon		20121023	F	7
20191007	55643512	Ever Mauricio Escobar Gutierrez	Jorge Gonzales		19810716	M	38
20191007	60705595	Sandra Ardila	Dayan Guerra Floréz		19960723	F	23

**Figura 50.** Pacientes participantes en el proceso de pruebas

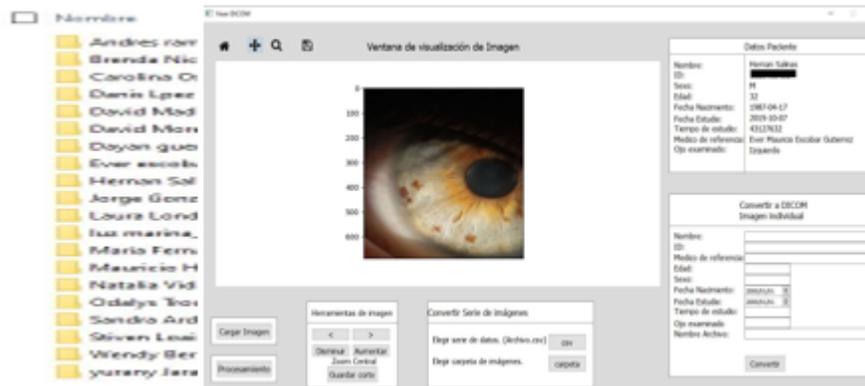
- **Descarga de registros para usarlo en el software de procesamiento**

Ahora con los datos e imágenes previas se realizará lo referente a los procesos de transformación a formato DICOM e igualmente con algunas de las imágenes se hará un procesamiento básico de filtrado y segmentación.

Se descargan los archivos de Google Drive, la carpeta donde se almacenaron todas las imágenes oculares y la hoja de cálculo con los datos de cada uno de los pacientes, esta descarga se hace de tipo que la salida z del archivo sea en formato “.csv”, con esta información es posible trabajar en el software de procesamiento, lo descrito anteriormente se muestra en la Figura 51 , cuando se acaba de seleccionar la carpeta son creadas 20 carpetas, correspondientes a los 20 sujetos dentro de las cuales estarán los archivos DICOM, (ver Figura 52 ) en esta misma figura se muestra la carga de uno de los pacientes creados durante en el software.

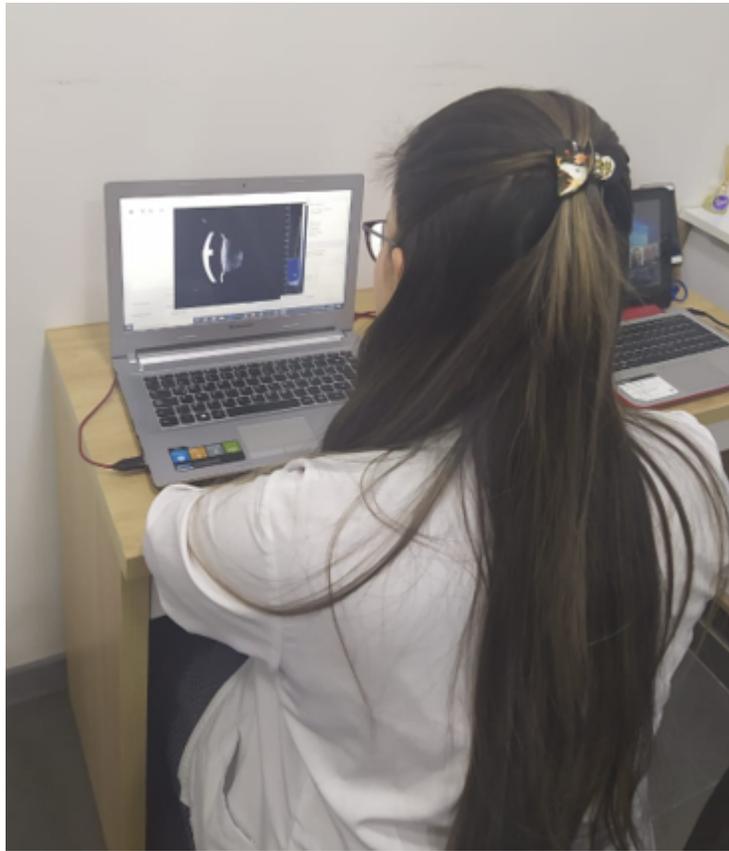


**Figura 51.** Paso a paso para procesamiento de archivos



**Figura 52.** Carpetas creadas y sujeto en visualización

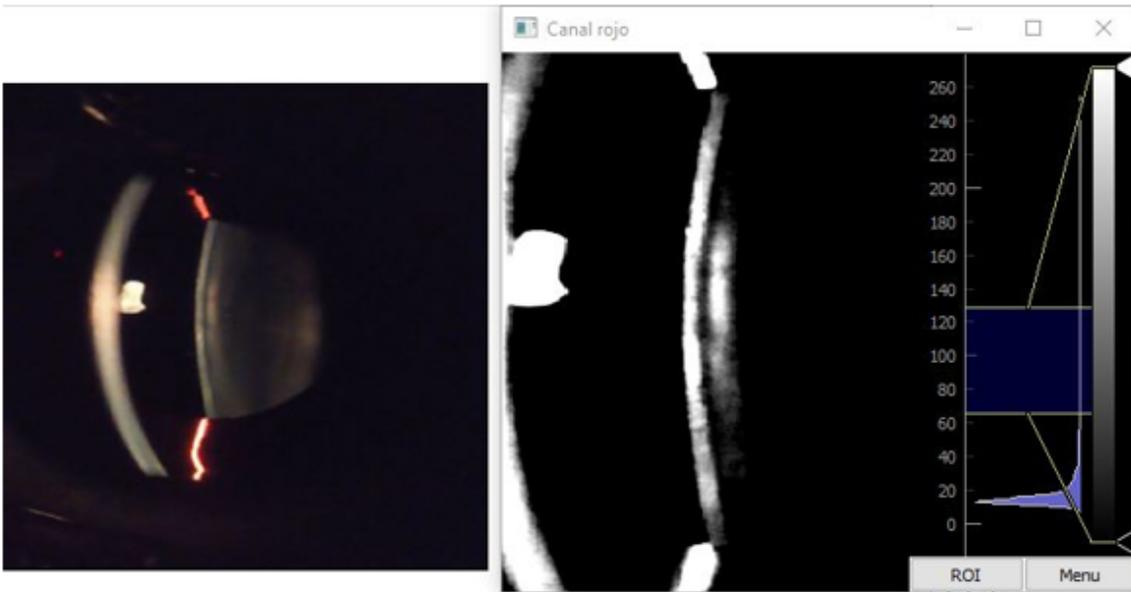
La siguiente prueba corresponde al trabajo con las herramientas de filtrado y segmentación ofrecidas en el software, en esta prueba el optómetra (docente) estará en contacto directo con el software, tratando de buscar canales y rangos de tonalidades que permitan visualizar mejor ciertas áreas oculares. En la Figura 53 se muestra a una de las docentes utilizando las distintas herramientas de filtrado y segmentado.



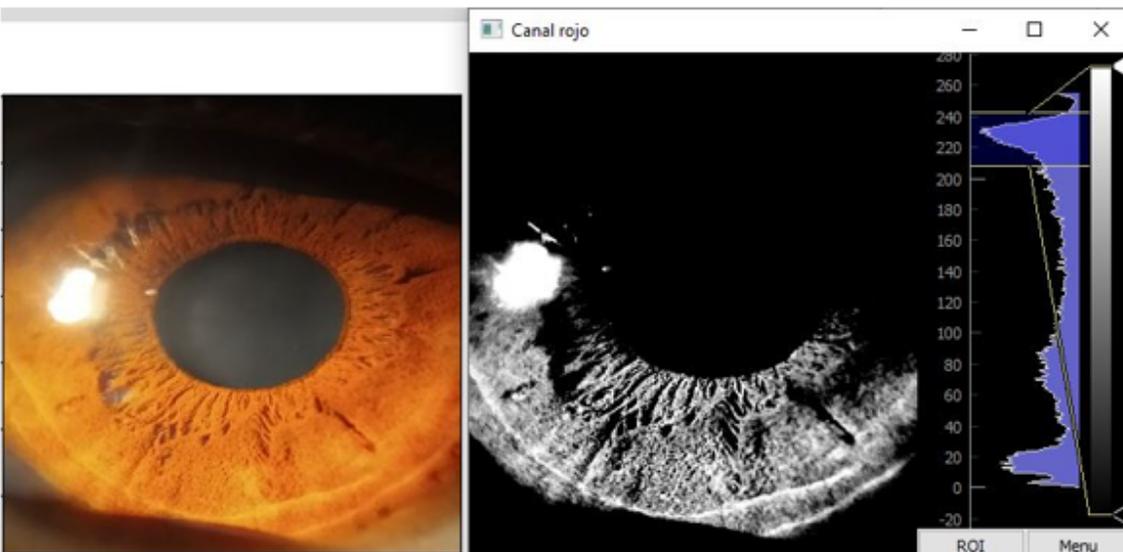
**Figura 53.** Optómetra usando las herramientas de filtrado y segmentado.

Para la prueba realizada en la Figura 53, la optómetra filtró para ver el canal rojo y segmento, de tal manera que se pueda ver en detalladamente los bordes de la cara anterior del cristalino, epitelio y la profundidad de la cámara anterior, este resultado se muestra en la Figura 54.

Otro de los procesos de segmentación, se hizo con la finalidad de observar las criptas del iris (ver Figura 55 ), en esta imagen fue tomada con muy buena calidad, por este motivo se logra ver mejor la distribución del histograma del color rojo.



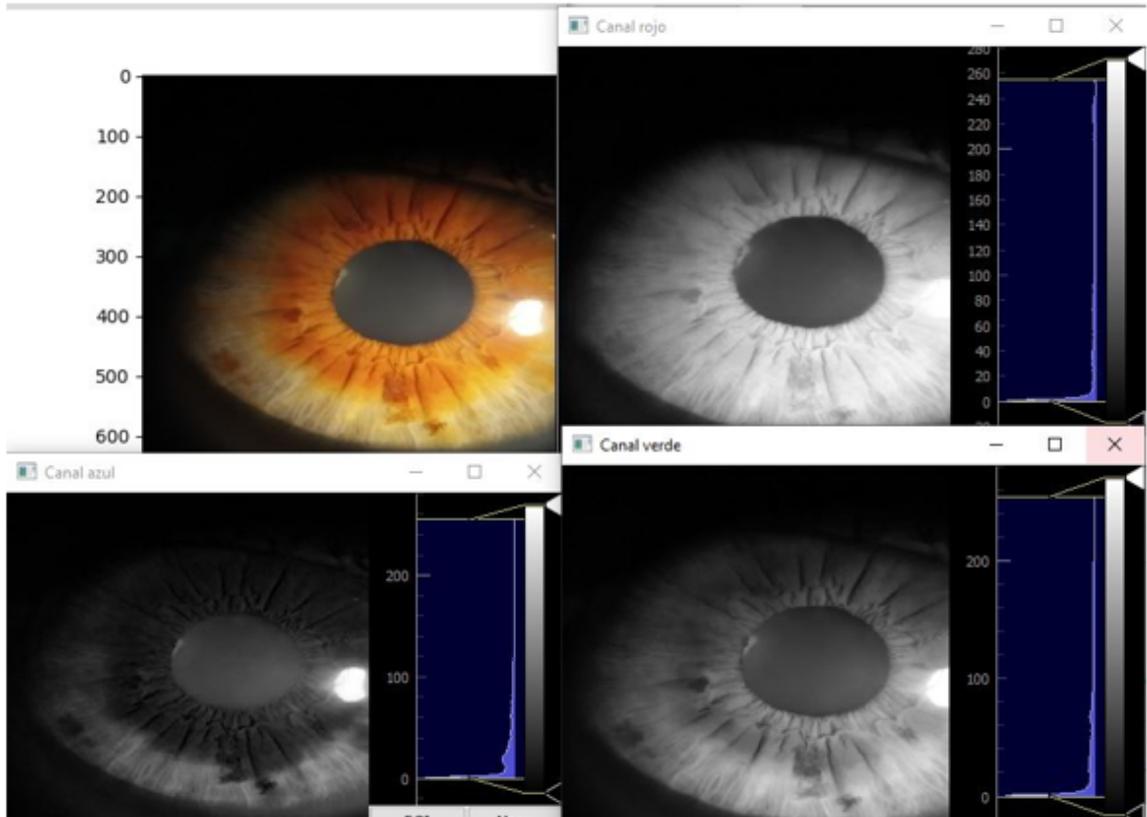
**Figura 54.** Imagen con detalles cristalino y cámara anterior



**Figura 55.** Criptas del iris en mayor detalle

Por último, en la Figura 56, se muestra un ojo de color claro, visualizando sus tres canales simultáneamente sin realizar segmentaciones, notando que la información contenida en cada canal es significativamente diferente.

Como se mencionó anteriormente se lograron conseguir el registro de 45 imágenes ya las pruebas de filtrado y segmentación se pueden hacer a todos estos registros y pueden plantar buenas bases, para los procesos investigativos y formativos de la UAN.



**Figura 56.** Ojo claro separado en los 3 canales

Es de resaltar que las primeras fotos tienen una menor calidad en la toma porque los optómetras estaban en un proceso de aprendizaje en el sistema de adquisición, por otra parte, se noto que la experiencia del optómetra es de vital importancia en el registro de las imágenes por este motivo las fotos registradas por las docentes tienen una mejor calidad.

#### 4.3.4 Encuesta usuarios del sistema

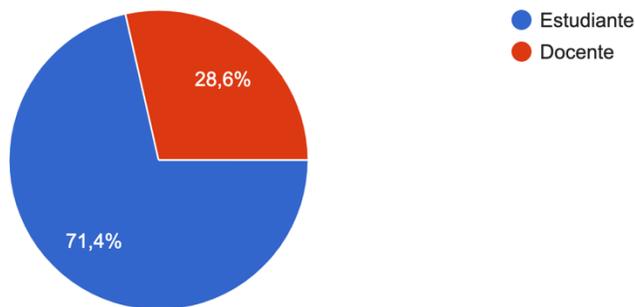
La encuesta cuenta con 5 secciones, en la primera se pregunta a los participantes el tipo de profesión que lleva (Estudiante o Docente de optometría) puesto que en cierta manera los docentes tuvieron una mayor familiarización con las diferentes funcionalidades ofrecidas por el sistema prototipo de adquisición, otras 3 secciones correspondientes a

preguntas de selección múltiples referentes a cada una de las etapas del desarrollo del sistema prototipo (Interacción acople celular-lámpara, Registro de pacientes y aplicación móvil, Software de procesamiento) la última sección corresponde a preguntas de carácter abierta sobre las expectativas generales obtenidas.

De los 8 optómetras que participaron en el proceso 7 respondieron la encuesta, en el diagrama a de la Figura 57, se muestra la distribución porcentual de las respuestas generadas.

### ¿Qué relación tiene usted con la Universidad Antonio Nariño?

7 respuestas



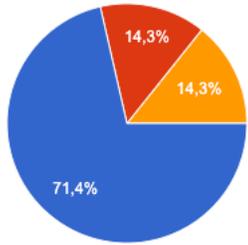
**Figura 57.** Distinción entre optómetras docentes y estudiantes.

Para las siguientes secciones de preguntas, en las tablas posteriores se hace una descripción de las preguntas realizadas, junto con la explicación del porque es necesario el cuestionamiento, además se resumen resultados breves obtenidos según la encuesta.

En la (Tabla 12 ) se presenta el resumen referente a la etapa de interacción acople celular se nota que en todas las preguntas realizadas existió un balance positivo sin embargo se notó por ejemplo que los optómetras presentaron dificultades en la instalación del acople esto debido a que la primera instalación del acople suele ser tediosa, sin embargo esta dificultad se puede suplir con el uso de las marcas guías presentes, para así en posteriores colocaciones referenciarse según la marca del celular en cuestión, además una de las lámparas al tener un diámetro monocular amplio y con silicona se tornó un poco difícil la instalación, por ende se puede decir que con el tiempo esta dificultad según la practica

puede irse supliendo, esta dificultad también influyo en la primera pregunta “favorabilidad” ya que según los optómetras esto puede influir en el aumento del tiempo de consulta, la respuesta a calidad de fotos se resalta ya que, si el acople fue bien colocada la calidad de fotos con los diferentes formas de iluminación es buena, finalmente los optómetras decidieron recomendar el acople haciendo observaciones de mejorar el color, forma y diseño de este.

**Tabla 12.** Preguntas para etapa de interacción con el acople celular

Interacción acople celular										
Pregunta	Explicación	Resultados								
¿Qué tan favorable le pareció el acople propuesto, para la toma de imágenes? (1=no favorable, 2=poco favorable, 3=medianamente favorable, 4=favorable, 5=muy favorable ).	Determinar si el acople planta beneficios en el mejoramiento de las actividades de optometría	Promedio favorabilidad = 3.7								
¿Qué dificultad presentó para usted la instalación del acople entre la lámpara y el celular? (1=mucha dificultad, 2=mediana dificultad, 3=poca dificultad, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	Conocer cuán difícil presento para los optómetras lograr la instalación del acople de tal manera que se obtengan una buena calidad de fotos.	Promedio de dificultad = 3.3								
¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomó la instalación del acople?	Cuantificar el promedio tiempo que tomo la instalación del acople. <ul style="list-style-type: none"> <li>● 1 a 5 minutos</li> <li>● 5 a 10 minutos</li> <li>● Más de 10 minutos</li> </ul>	 <table border="1"> <caption>Distribución del tiempo de instalación del acople</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 a 5 minutos</td> <td>71,4%</td> </tr> <tr> <td>5 a 10 minutos</td> <td>14,3%</td> </tr> <tr> <td>Más de 10 minutos</td> <td>14,3%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	1 a 5 minutos	71,4%	5 a 10 minutos	14,3%	Más de 10 minutos	14,3%
Categoría	Porcentaje									
1 a 5 minutos	71,4%									
5 a 10 minutos	14,3%									
Más de 10 minutos	14,3%									

¿Cuál es su calificación ante la calidad de fotos obtenidas cuando se usa el acople? (1=mala calidad, 2=baja calidad, 3=calidad media, 4=buena calidad, 5=excelente calidad)	Determinar si los optómetras quedaron satisfechos con la calidad de fotos obtenidas con la utilización del acople	Promedio calificación = 4.1
¿Recomendaría el uso del acople en consultas de optometría?	Conocer el nivel de aceptación del acople mediante recomendaciones en el uso.	Respuesta "Si" = 100%

En la (Tabla 13) se presenta el resumen para la etapa relacionada con la aplicación móvil, por ser este un proceso de software las respuestas también dieron un balance positivo, a pesar de no estar la aplicación en la tienda Play Store los optómetras le dieron una buena calificación al método propuesto, el diseño de la app también fue de aceptación teniendo en cuenta que, el software App Inventor cuenta con limitaciones en la parte de diseño gráfico, respecto a las funcionalidades presentadas se puede decir que si fueron suficientes puesto que, tan sólo una persona respondió "Pocas" a las funcionalidades presentes, el protocolo para toma de imágenes tiene una calificación buena, pero no excelente por lo que amplía un poco el tiempo de consulta, finalmente la aplicación se recomendó haciendo la observación algunos de crearla igualmente para el sistema operativo iOS de Apple.

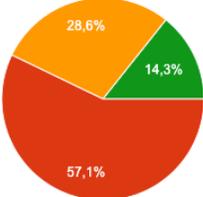
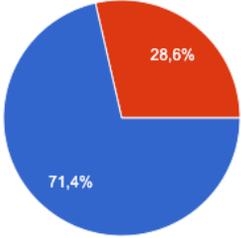
**Tabla 13.** Preguntas para etapa de registro de pacientes y aplicación móvil

<b>Registro de pacientes y aplicación móvil</b>								
<b>Pregunta</b>	<b>Explicación</b>	<b>Resultados</b>						
¿Qué tan difícil le pareció la instalación por el método propuesto?(1=muy difícil, 2=medianamente difícil, 3=poco difícil, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	Puesto que la aplicación no se lanza a la tienda Play Store, determinar si el método de instalación entregado presenta dificultades.	Promedio de dificultad de instalación = 4						
¿Qué calificación le daría al diseño de la interfaz gráfica desarrollada en la aplicación DIMOP? (1=diseño no amigable, 2=diseño poco amigable, 3=diseño medianamente amigable, 4=diseño amigable, 5=diseño muy amigable).	Conocer la opinión de los optómetras respecto al diseño grafico propuesto.	Promedio diseño interfaz = 4.3						
¿Considera que el número de funcionalidades presentadas por la aplicación son ?	Determinar si la cantidad de funciones es la adecuado para según esto hacer modificaciones en las <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">●</span> Adecuadas</li> <li><span style="color: red;">●</span> Pocas</li> <li><span style="color: orange;">●</span> Excesivas</li> </ul> funciones ofrecidas en la App.	<table border="1"> <caption>Distribución de respuestas sobre el número de funcionalidades</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Adecuadas</td> <td>85,7%</td> </tr> <tr> <td>Pocas</td> <td>14,3%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Adecuadas	85,7%	Pocas	14,3%
Categoría	Porcentaje							
Adecuadas	85,7%							
Pocas	14,3%							
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado,4=	Evaluar según la opinión de los optómetras si el protocolo propuesto, puede ser adecuado para llevar la aplicación a las consultas día a día.	Promedio protocolo = 4						

protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)		
¿Recomendaría el uso de la aplicación en sus consultas de optometría?	Conocer el nivel de aceptación de la aplicación móvil realizando recomendaciones.	Respuesta "Si" = 100%

En la (Tabla 14) se presenta el resumen de la etapa referente al manejo del software de procesamiento, este software al estar en un proceso de prueba y ser diferente en los procesos educativos dados para el optómetra, fue para ellos, sobre todo para los docentes dadas las posibilidades que este puede generar en el proceso educativo e investigativo, es de carácter importante que los optómetras, ya reconocen la definición de una imagen en formato DICOM y todos estuvieron de acuerdo que es de utilidad en el campo clínico de optometría, respecto a la utilidad como se menciona antes, las mejores expectativas se las llevaron los docentes, puesto que ellos tuvieron mayor contacto con el software y además dada la experiencia obtenida encontraron mejor expectativa, en mejorar las características dadas por el software, en la pregunta sobre la función de mayor utilidad se notó que, la función más útil para los estudiantes fue, visualizar la imagen con los datos clínicos puesto, que esto no cambia en gran medida sus procesos de consulta, por su parte los docentes encontraron mejor aceptación, por las herramientas más avanzadas como fueron el filtrado y la segmentación por tonalidades, finalmente ante la pregunta sobre la dificultad en el uso del software la respuesta fue positiva ya que en el desarrollo de este proyecto se propuso una interfaz interactiva, mejorando así la amigabilidad del software.

**Tabla 14.** Preguntas para etapa de software de procesamiento de imágenes

Software del procesamiento de imágenes										
Pregunta	Explicación	Resultados								
¿Considera necesario el trabajo con imágenes DICOM en procesos de optometría?	Conocer si los optómetras están de acuerdo con trabajar con este formato estandarizado	Respuesta "Si" = 100%								
¿Qué tan útil le pareció el software para procesos de diagnóstico con imágenes oculares? (1=nada útil, 2= poco útil, 3= medianamente útil, 4= útil, 5= muy útil)	Determinar utilidad según las opiniones del optómetra	Promedio total = 3.9 Promedio Docente = 4.5. Promedio Estudiante = 3.6								
¿Cuál de las funciones desarrolladas por el software le pareció de mayor utilidad?	Determinar cuál de las funciones pareció más interesante y útil en la profesión de optometría  <ul style="list-style-type: none"> <li>● Conversión a imagen DICOM</li> <li>● Visualización de imagen junto con los datos de la consulta</li> <li>● Separación de la imagen en los canales RGB (Rojo, verde, azul)</li> <li>● Segmentación de la escala de colores con la barra del histograma</li> </ul>	 <table border="1"> <caption>Distribución de respuestas para la función más útil</caption> <thead> <tr> <th>Función</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Visualización de imagen junto con los datos de la consulta</td> <td>57,1%</td> </tr> <tr> <td>Separación de la imagen en los canales RGB</td> <td>28,6%</td> </tr> <tr> <td>Segmentación de la escala de colores</td> <td>14,3%</td> </tr> </tbody> </table>	Función	Porcentaje	Visualización de imagen junto con los datos de la consulta	57,1%	Separación de la imagen en los canales RGB	28,6%	Segmentación de la escala de colores	14,3%
Función	Porcentaje									
Visualización de imagen junto con los datos de la consulta	57,1%									
Separación de la imagen en los canales RGB	28,6%									
Segmentación de la escala de colores	14,3%									
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado, 4= protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)	Con la observación y manejo del software, conocer la dificultad en el manejo del software.	 <table border="1"> <caption>Distribución de respuestas para la calificación del protocolo</caption> <thead> <tr> <th>Calificación</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Protocolo medianamente adecuado</td> <td>71,4%</td> </tr> <tr> <td>Protocolo adecuado</td> <td>28,6%</td> </tr> </tbody> </table>	Calificación	Porcentaje	Protocolo medianamente adecuado	71,4%	Protocolo adecuado	28,6%		
Calificación	Porcentaje									
Protocolo medianamente adecuado	71,4%									
Protocolo adecuado	28,6%									

Las preguntas abiertas se hicieron a modo de obtener retroalimentación sobre el sistema prototipo, esta información se resume en la (Tabla 15), en la primera de estas se notan opiniones divididas, de acuerdo a los comentarios verbales y con los resultados mostrados, se concluye que el software de procesamiento presenta ser el más novedoso e interesante, luego en las preguntas abiertas, se resumió los comentarios hechos por los encuestados, uniendo anotaciones similares. Los comentarios recibidos son en general positivos, puesto que son más los beneficios que las dificultades encontradas, el sistema presentó varios beneficios, como se puede observar en la (Tabla 15) , además de las 3 dificultades observadas, una fue solucionada (Entendimiento del propósito del sistema), otra se sabe cómo afrontar (Instalación de la App) y la restante (Manipulación del acople) sería la de mayor detenimiento y se puede solventar con una capacitación o video instructivo para este fin. Como recomendaciones se destaca la continuación del proyecto, añadiendo características como: mejoramiento en la base de datos y funciones de análisis clínico, también está la recomendación del mejoramiento del acople y del desarrollo de la aplicación para la plataforma iOS de Apple, finalmente como observaciones adicionales, los optómetras tuvieron aceptabilidad por el proyecto, resaltando aspectos como: cuantificar el tiempo de uso del sistema en una consulta, permitir el diagnóstico automático y enseñar aspectos de software entre pares.

**Tabla 15.** Preguntas generales sobre el sistema completo

Opinión general de todo el sistema desarrollado								
Pregunta	Explicación	Resultados						
¿Cuál de las etapas desarrolladas en la tesis le pareció más interesante?	<p>Determinar cual es la etapa de mayor interés en los optómetros.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Acople lámpara-celular</li> <li>● Aplicación móvil para la adquisición DIMOP</li> <li>● Software para transformación y procesamiento</li> </ul>	<table border="1"> <caption>Distribución de interés en las etapas desarrolladas</caption> <thead> <tr> <th>Etapa</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Software para transformación y procesamiento</td> <td>57,1%</td> </tr> <tr> <td>Aplicación móvil para la adquisición DIMOP</td> <td>42,9%</td> </tr> </tbody> </table>	Etapa	Porcentaje	Software para transformación y procesamiento	57,1%	Aplicación móvil para la adquisición DIMOP	42,9%
Etapa	Porcentaje							
Software para transformación y procesamiento	57,1%							
Aplicación móvil para la adquisición DIMOP	42,9%							
¿Cuales fueron los beneficios que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?	<p>Conocer los aspectos benéficos que trae la utilización del sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Precisión en la captación de imágenes oculares.</li> <li>✓ Recolección de base de datos relativas a las consultas (datos e imágenes).</li> <li>✓ Facilidad para visualizar y describir patologías.</li> <li>✓ Fortalecimiento de procesos investigativos a bajo costo.</li> <li>✓ Rapidez en el procesamiento de la imagen.</li> <li>✓ Seguimiento de detalles oculares a través del tiempo.</li> </ul>						
¿Cuales fueron las dificultades que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?	<p>Aspectos para mejorar para futuras actualizaciones del software</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalación de la App.</li> <li>✓ Manipulación del acople para obtener imagen aceptable.</li> <li>✓ Entendimiento del propósito del sistema (celular-acople-lámpara).</li> </ul>						
¿Qué recomendaciones tiene para el proyecto? ¿Qué le	<p>Recolectar información y opiniones de los profesionales de</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Permitir instalación en iOS</li> <li>✓ Mejorar el acople.</li> <li>✓ Continuar investigación, haciendo</li> </ul>						

añadiría? ¿Qué le quitaría?	optometría para adecuar el software al campo clínico.	comparativas con equipos de alto costo. ✓ Mejorar la base de datos para hacer segmentación en búsquedas. ✓ Añadir características como análisis por partes del ojo (Lagrima, cornea)
¿Qué observaciones adicionales quiere aportar para el mejoramiento del sistema de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura?	Comentarios adicionales sobre las expectativas generadas	✓ Gusto por el proyecto y sistema desarrollado. ✓ Permitir la detección de diagnósticos automáticos con las imágenes presentadas. ✓ Detallar el tiempo que el sistema añadiría a una consulta ✓ Dar a conocer mas aspectos de las posibilidades ofrecidas en la creación de software.

#### 4.3.5 Ficha técnica equipo de adquisición de imágenes oculares

Como finalización del sistema prototipo para adquisición de imágenes en lámpara de hendidura mediante tecnología móvil en estándar DICOM, se realizó una ficha técnica que hace una breve descripción del sistema desarrollado, resume las principales características y facilidades que ofrece, monta datos y dimensiones del hardware creado y finalmente menciona softwares adicionales para que el sistema funcione adecuadamente en la (Tabla 16) se muestra en mejor medida esta descripción.

**Tabla 16.** Ficha técnica del sistema desarrollado

<b>Sistema prototipo para adquisición de imágenes oculares en lámpara de hendidura mediante tecnología móvil en estándar DICOM.</b>	
<p>El sistema ofrece la posibilidad de adquirir imágenes en lámpara de hendidura, permitiendo la interconectividad con un software móvil, que recolecta información referente a consultas de optometría (datos de óptico, paciente y ojo registrado) organizando la información en bases de datos de consultas y de imágenes, también permite la conexión a un software de escritorio propio de él para la realización de tareas como : transformación de imágenes a formato DICOM, filtrado de los canales RGB de la imagen en curso y segmentación de rangos de tonalidad por el histograma.</p>	
<b>Especificaciones Técnicas</b>	
<b>Hardware</b>	<b>Software</b>
<p><b>1) Lámpara de hendidura</b> Equipo convencional para consultas de optometría.</p> <p><b>2) Celular</b> Celular con sistema operativo android para el registro de fotos.</p> <p><b>3) Acople lámpara-celular</b> Elemento que permite la fijación</p>	<p><b>1) Aplicación móvil DIMOP</b> Permite el registro de los optómetras para acceder a funciones como: generación de consulta de pacientes y envío de imágenes oculares a una carpeta de Google Drive.</p> <p><b>2) Software para procesamiento de imágenes.</b> Recoge los datos de consulta y las múltiples imágenes</p>

del celular a la lámpara de hendidura	para convertirlas a formato DICOM y hacer procesamientos sencillos de filtrado y segmentación.
<b>Facilidades ofrecidas</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Organización de los datos de los optómetras registrados en la unidad clínica.</li> <li>2) Acople celular-lámpara usable en varios modelos de celulares y lámparas.</li> <li>3) Organización de los datos de consulta de los pacientes en curso.</li> <li>4) Registro de múltiples imágenes de los pacientes.</li> <li>5) Organización de las fotos oculares en una base de datos de imágenes.</li> <li>6) Capacidad de convertir múltiples imágenes a formato DICOM.</li> <li>7) Filtrado de canales RGB,</li> <li>8) Segmentación por el histograma de tonalidad de color de cada canal.</li> <li>9) Almacenamiento de las imágenes filtradas y segmentadas.</li> </ol>	
<b>Configuración</b>	<b>Dimensiones del acople para celular-lámpara</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Utilice el acople celular-lámpara.</li> <li>2) Ajuste los sostenedores del acople hasta obtener una imagen adecuada</li> <li>3) Verifique las marcas guía para futuras colocaciones.</li> <li>4) Regístrese en la aplicación móvil DIMOP</li> <li>5) Acceda a las funciones con su número de cédula y genere consultas de sus pacientes</li> <li>6) Registre la cantidad de imágenes que considere necesarias.</li> <li>7) Descargue día a día la base de datos de consulta y la base de</li> </ol>	23.3 cm Largo x 18.0 cm Ancho x 4.5 cm Grosor
	<b>Peso del acople celular-lámpara</b>
	110g
	<b>Espacio ocupado en memoria de celular (APP DIMOP)</b>
	12.97 MB
	<b>Espacio ocupado en memoria por software de procesamiento</b>
	376 KB
<b>Software adicional necesario</b>	
Anaconda	
QT Designer	

---

<p>datos de imágenes.</p> <p>8) Pase las bases de datos anteriores al software de procesamiento</p> <p>9) Si lo desea visualice y procese las imágenes a su gusto</p>	<p><b>Metrología</b></p> <p>Lo requerido para una lámpara de hendidura.</p>
---	---

## 5. Conclusiones

Los requerimientos necesarios para la creación de un sistema de adquisición de imágenes oculares para la lámpara de hendidura con tecnología móvil, con base a los equipos comerciales, que permitan la implementación de un prototipo de bajo costo que pueda utilizarse en investigación y formación, con la posibilidad de almacenar los datos de consulta e imágenes oculares, al igual que un software propio para mejorar los análisis clínicos. Usar como ayuda los celulares, resulta ser una alternativa de bajo costo para suplir las necesidades de registros de optometría, además la utilización del estándar DICOM corresponde a uno requerimientos de valor y diferenciación en el sistema desarrollado.

Dada las condiciones de diseño definidas, se logró la implementación de un prototipo de bajo costo, el sistema permite obtener una buena calidad de imágenes usando los diferentes métodos de iluminación en la lámpara de hendidura, estas imágenes permiten la creación de una base de datos de representaciones oculares, adicionalmente el trabajo en el estándar DICOM mejora el proceso clínico de los pacientes al contar con imágenes e información de consulta.

La utilización del software para el procesamiento de las imágenes oculares, generó en los docentes y estudiantes nuevas expectativas en la práctica clínica, donde mediante el filtrado y segmentación de las imágenes se pueden realizar investigaciones, enseñanzas e incluso comparar diagnosticó de equipos especializados en el área ocular, bajo ciertas condiciones específicas.

En las pruebas aplicadas se verificó el correcto funcionamiento del prototipo, proporcionando perspectivas en la comunidad de optómetras de la Universidad Antonio

Nariño, para la continuación del proyecto y el mejoramiento de las etapas presentes en el sistema (acople, aplicación móvil y software de procesamiento).

El trabajo colaborativo entre el programa de Bioingeniería de la Universidad de Antioquia y la Facultad de optometría de la Universidad Antonio Nariño, permitió contribuir al desarrollo conjunto de conocimiento, de esta manera los optómetras encontraron una solución a la falta de un sistema que adquiriera imágenes en la lámpara de hendidura y el estudiante, además de conocer ciertos términos de optometría, se detectó un posible campo de acción en la creación de bases de datos de imágenes oculares con poblaciones colombianas, para así contribuir en el diagnóstico automatizado de las enfermedades en crecimiento relativas a la salud ocular.

## 6.Recomendaciones

Continuar los registros con la aplicación DIMOP, para contar con una base de datos robusta, de imágenes oculares en poblaciones colombianas, de esta forma se promueve futuros procesos de entrenamiento de maquinas con datos propios del país.

Incluir en el currículo de la carrera optometría una asignatura relativa al uso de softwares de procesamiento de imágenes, así los optómetras tendrán una herramienta adicional para adentrarse en el campo investigativo y autodiagnóstico.

Realizar trabajo investigativo en el software de procesamiento desarrollado, específicamente en los apartados de filtrado por los canales rgb y segmentación, esto para conocer cuales canales aportan más información según los tipos de análisis deseados, por ejemplo, determinar si en el canal verde en un rango específico de tonalidad de colores se encuentra mas visible una patología.

Fortalecer el intercambio de conocimiento entre el programa de bioingeniería y universidades con facultades afines, generando un proceso de ganancia mutua, en donde el bioingeniero aprende a detectar problemas reales que se dan en dichas facultades y estas por su parte solucionarlos.

# A. Anexo: Consentimiento informado

Consentimiento informado

Fecha: \_\_\_\_\_

Consentimiento informado para la toma de datos correspondientes a la tesis de grado: "Sistema prototipo para adquisición de imágenes oculares en lámpara de hendidura mediante tecnología móvil en estándar DICOM"

## Información del participante

Datos del sujeto	
Prueba	
Nombres	

*\*Pruebas: Prueba de usabilidad, Generación de datos.*

Este documento es una autorización para la adquisición y toma de datos de la tesis de grado descrita en el título, lea el documento y solicite al estudiante la información que no sea de su total comprensión.

La información adquirida durante el desarrollo de la tesis será resguardada por el estudiante, pues será utilizada con fines académicos. Por su seguridad, en este documento el estudiante firmará para asegurar la confidencialidad de la información.

### Identificación del estudiante en formación.

- David Gustavo Moreno Moran, Estudiante de Bioingeniería.

**Sitio donde se llevará a cabo el estudio**

- Las pruebas de usabilidad y generación de datos se realizarán en los consultorios de la universidad Antonio Nariño sede Medellín.
- Dentro de la prueba de usabilidad se realizarán encuestas las cuales podrán ser diligenciadas de manera virtual.

**Información para el participante**

**Propósito de la tesis de grado:** El estudio tiene como finalidad el desarrollo de un sistema prototipo para la adquisición de imágenes oculares en lámparas de hendidura, esto como ayuda en la adición de imágenes a las historias clínicas de los pacientes que están en consulta, además de llevar estas imágenes a un formato estándar para manejo de imágenes medicas (DICOM) para así comenzar con la creación de bases de datos con imágenes oculares de pacientes que concurren a los consultorios de la Universidad Antonio Nariño de la ciudad de Medellín.

**Pertinencia y razón de ser del proyecto:** La universidad Antonio Nariño no cuenta con un sistema capaz de adquirir, clasificar y organizar imágenes oculares en la lámpara de hendidura, lo que desencadena dificultades en el desarrollo de la universidad en procesos investigativos, educativos y de acreditación. Por este motivo se pretende instaurar un prototipo de sistema de adquisición para que la universidad comience a registrar y generar datos que enriquezcan los procesos llevados a cabo en la institución.

**Procedimiento:**

Recuerde que el estudiante debe informarle en qué prueba se encuentra participando, a continuación, se destacan eventos importantes en el desarrollo de las pruebas.

- 1) En el caso de estar en la prueba de generación de datos usted como paciente será registrado con sus datos personales y seguirá el procedimiento mostrado en las viñetas de la prueba de usabilidad.

- 2) En el caso de encontrarse en la prueba de usabilidad, primeramente, se tomarán sus datos personales (Nombre, cédula, teléfono) esto para generar un registro de acceso a la aplicación.
  - Dentro de la aplicación usted tendrá la posibilidad de generar consultas de sus pacientes, registrando los datos personales de este (Nombre, cédula, edad, fecha de nacimiento, sexo y ojo registrado).
  - Una vez registrados los datos del paciente usted tiene la posibilidad de registrar imágenes oculares mediante la lámpara de hendidura.
  - Toda la información registrada anteriormente se enviará a una carpeta de google drive del estudiante David Gustavo Moreno Morán.
  - El estudiante David Gustavo Moreno Morán realizará el manejo de todos los datos encontrados en la carpeta para migrarlos a un programa el cual realiza la conversión de las imágenes a formato DICOM.
- 3) Cuando el estudiante de optometría finalice el proceso de usabilidad le será entregada una encuesta para conocer el nivel de satisfacción de los diferentes procesos diseñados en el sistema prototipo. Esta encuesta será generada de manera virtual destacando lo siguiente:
  - Satisfacción en el uso de acople y lámpara de hendidura.
  - Manejo de la aplicación móvil para el flujo de información.
  - Opinión sobre el proceso de conversión y procesamiento de imágenes.

#### **Tratamiento de los datos personales y de las imágenes oculares registradas.**

- 1) El participante puede autorizar o rechazar el tratamiento de los datos después de comprender el procedimiento a seguir, el cual será explicado detalladamente por el estudiante a cargo.
- 2) El análisis de los datos estará sujetos a publicación y utilización con fines académicos y científicos.
- 3) La participación en el estudio por parte de la persona inicia una vez éste autorice a través del consentimiento informado su participación y finaliza cuando los

investigadores terminen de registrar los datos o cuando la persona decida revocar su participación en la prueba.

### **ACEPTACIÓN DE LA PARTICIPACIÓN**

Yo \_\_\_\_\_, mayor de edad identificado con CC No. \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_, de manera libre, espontánea y en amplio uso de mis habilidades cognitivas, manifiesto que he recibido información clara y precisa acerca del procedimiento que se va a realizar dentro de la tesis de grado “Sistema prototipo para adquisición de imágenes oculares en lámpara de hendidura mediante tecnología móvil en estándar DICOM”. He entendido las condiciones del mismo. Declaro que me encuentro satisfecho con la información obtenida.

Manifiesto que no he recibido presiones verbales, escritas y/o gestuales para participar en el estudio; que dicha decisión la tomo en pleno uso de mis facultades mentales, sin estar bajo efectos de medicamentos, sustancias psicoactivas o bebidas alcohólicas, consciente y libremente.

Me reservo expresamente el derecho a revocar mi consentimiento (cambiar mi decisión) en cualquier momento, antes y durante el procedimiento.

De igual manera manifiesto que he recibido copia del presente documento con toda la información del estudio.

\_\_\_\_\_  
Firma del voluntario.

\_\_\_\_\_  
Firma del estudiante propietario.

CC:

CC:

Ciudad:

Ciudad:

## **B. Anexo: Protocolo de pruebas**

### **Protocolo de pruebas en Sistema prototipo para adquisición de imágenes oculares en lámpara de hendidura mediante tecnología móvil en estándar DICOM.**

Este documento contiene el protocolo para desarrollar la evaluación del sistema para la adquisición de imágenes en la lámpara de hendidura, aquí se destacan 5 etapas separables que son: Instalación de la aplicación móvil, interacción acople celular-lámpara, uso de la aplicación para el registro de pacientes, descarga de los registros en el software de procesamiento y encuestas de satisfacción.

A continuación, se describe con detalle el paso a paso a seguir.

#### **Etapas 1: Instalación de la aplicación móvil.**

- 1) Los optómetras y estudiantes de optometría realizan la instalación del aplicativo móvil "DIMOP" el cual permitirá el registro de ellos como optómetras junto con el registro de sus pacientes, el estudiante propietario de la tesis explica con detalle la instalación de la App y además entrega una guía paso a paso para realizar la instalación individual.
- 2) Se realiza el registro de los usuarios que harán las veces de optómetras o consultores, junto a esto se realiza una configuración para permitir los permisos de la App, para que esta pueda realizar sus funciones.

#### **Etapas 2: Interacción acople celular-lámpara**

- 1) Los usuarios consultores recibirán el acople desarrollado y efectuarán la instalación en la lámpara de hendidura, de tal manera que puedan hacer un registro adecuado de fotos.
- 2) La adecuación del acople lo harán usando la cámara principal de sus celulares hasta lograr una imagen aceptable.

#### **Etapas 3: Registro de pacientes.**

- 1) Se accede a la aplicación DIMOP con su respectiva contraseña (número de cédula) algunos de los optómetras accederán mediante códigos QR.

- 2) En la aplicación móvil se realiza el registro de los datos de los pacientes a los cuales se tomará registros oculares.
- 3) Se realizan tomas las tomas necesarias que el optómetra considere permitentes a cada uno de los ojos, toda esta información se envía a una carpeta de google drive del estudiante propietario de la tesis.
- 4) Cuando terminen las tomas en cada ojo, se regresa al paso 2 de esta etapa para registrar a un nuevo paciente.

#### **Etapa 4: Descarga de los registros en el software de procesamiento.**

- 1) Cuando se tenga una muestra de 20 sujetos registrados, el estudiante propietario realiza la descarga de todas las imágenes de los sujetos, junto con los datos de registro de los optómetras y pacientes.
- 2) Se accede al software de transformación y procesamiento para organizar el flujo de información asignando a cada imagen sus respectivos datos de consulta para llevarla al formato de estándar médico DICOM.
- 3) Revisión de las imágenes transformadas en el visor del software, para verificar el correcto flujo de información.
- 4) Con 3 imágenes de sujetos escogidos al azar, se hace un procesamiento sencillo (separación en los canales rgb y segmentación con manejo del histograma de colores), esto con la finalidad de conocer la funcionalidad del software de procesamiento.
- 5) Se guarda una imagen en el canal verde, segmentada según un rango del histograma en formato jpg, para tener un registro del trabajo desarrollado.

Es importante destacar que esta etapa corresponde al manejo propio del estudiante y los usuarios consultores solamente serán observadores de lo realizado, para posteriormente dar una opinión del sistema final.

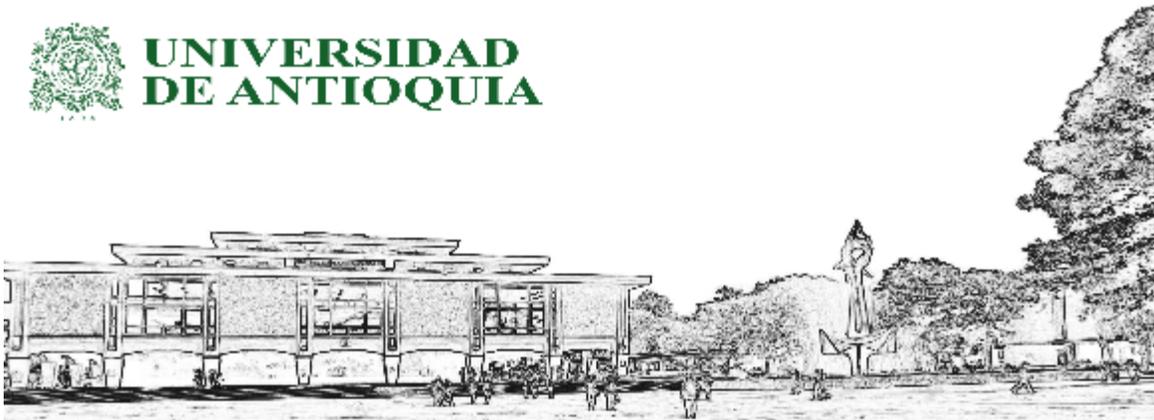
#### **Etapa 5: Encuestas de satisfacción.**

- 1) A las personas participantes del proyecto se enviará un enlace de encuesta creada por documentos de google en donde expresarán en una escala de 1 a 5 el desempeño de cada una de las etapas, en donde 1 corresponde a bajo desempeño y 5 a excelente desempeño.
- 2) Existirán preguntas abiertas en donde los participantes mostrarán su opinión respecto a la aplicación desarrollada y las posibles cosas a mejorar que ellos consideren.
- 3) Finalmente se hará un análisis de los datos obtenidos.

## C. Anexo: Guía de instalación y registro de App DIMOP



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**



**Instalación aplicación para adquisición de imágenes  
DIMOP**

David Gustavo Moreno Moran

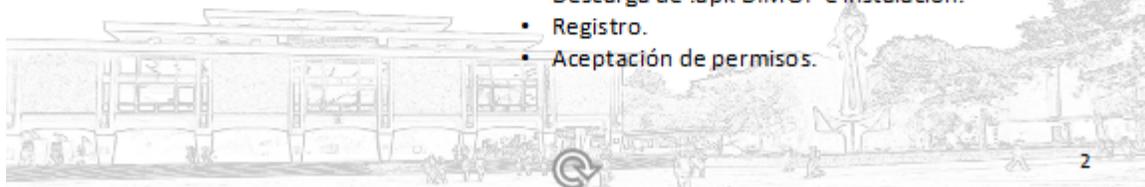
Tesis de grado para obtener el título de Biingeniero

## Descripción

- A continuación se describen los pasos para la correcta instalación de la aplicación DIMOP, junto con la guía paso a paso para la generación de permisos en la app y la forma de uso.
- En este correo se adjunta la aplicación .apk para la instalación.
- Los pasos destacables de esta guía son:



- Instalación de paquetes previos.
- Descarga de .apk DIMOP e instalación.
- Registro.
- Aceptación de permisos.



2

## Descarga de .apk DIMOP e instalación

Esta corresponde a la etapa mas importante del proceso siga los pasos atentamente, pasos 2-5 se observan en diapositivas siguientes

- 1) Adjunto a este correo se encuentra el link de descarga de la aplicación, presionamos el link que aparece subrayado en azul.
- 2) Permita la instalación de la app por el instalador de paquetes como se muestra en la siguiente diapositiva.
- 3) Acceda a ajustes para solicitar permisos.
- 4) Permita la instalación de fuentes desconocidas.
- 5) Instalé la aplicación DIMOP.
- 6) Acceda a la aplicación.



3

## Descarga de .apk DIMOP e instalación

**Paso 2**



**Paso 3**



Por motivos de seguridad, tu teléfono no puede instalar aplicaciones desconocidas de esta fuente.

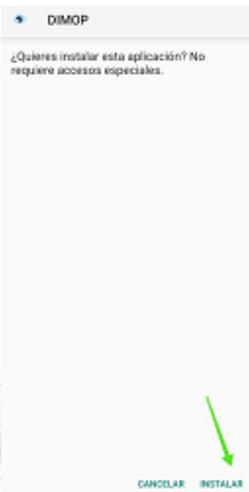
CANCELAR AJUSTES

**Paso 4**



## Descarga de .apk DIMOP e instalación

**Paso 5**



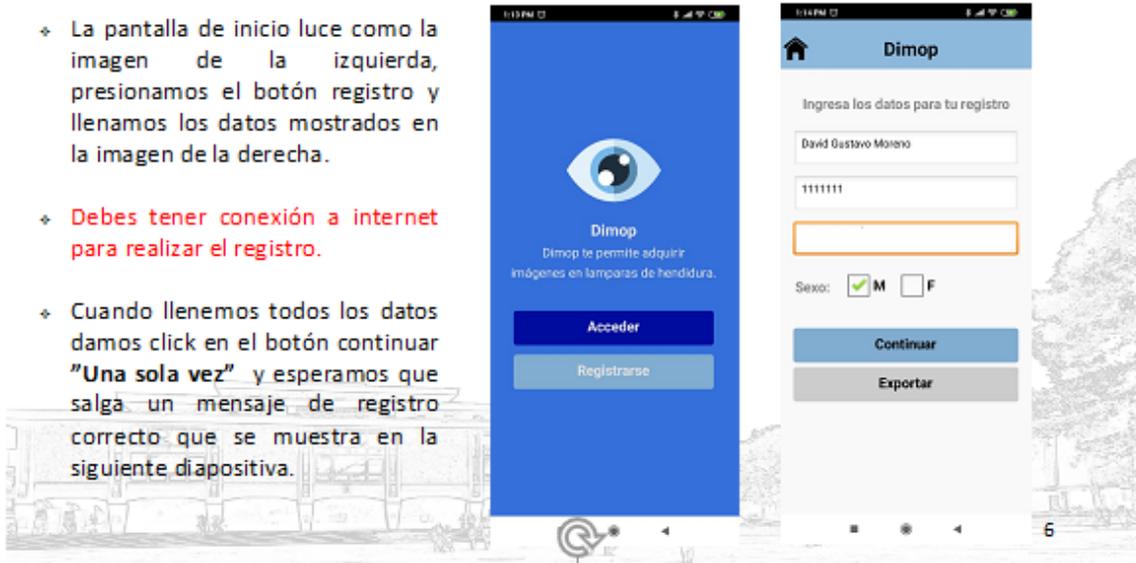
**Paso 6**



5

## Registro de optómetra

- ✦ La pantalla de inicio luce como la imagen de la izquierda, presionamos el botón registro y llenamos los datos mostrados en la imagen de la derecha.
- ✦ **Debes tener conexión a internet para realizar el registro.**
- ✦ Cuando llenemos todos los datos damos click en el botón continuar **"Una sola vez"** y esperamos que salga un mensaje de registro correcto que se muestra en la siguiente diapositiva.



## Registro de optómetra

- ✦ Espera hasta que salga el siguiente mensaje.
- ✦ El botón Home en forma de casa permite volver a la pantalla de inicio, este se muestra en el recuadro verde.
- ✦ **Antes de dar click en el botón Home se procesa a la solicitud de permisos.**

## Aceptación de permisos

- ✦ Presione el botón exportar y escriba en la ventana prueba.
- ✦ Si se abre un cuadro de dialogo presiona OK.
- ✦ Permite el permiso para acceder al contenido



## Registro de optómetra

Si seguiste los pasos correctamente ya puedes ir a la ventana de inicio con el botón Home, y accedes a la aplicación, con la clave de acceso la cual es tu número de cedula, presiona continuar y DIMOP te saludara como se muestra en la imagen.



## Registro correcto

Si tu registro se dio de manera correcta DIMOP Te saludara y estará todo listo para que realices la prueba de evaluación.



## D. Anexo: Resultado de las encuestas

### Encuesta Sujeto 1.

<b>Marca temporal</b>	2019/10/09 9:35:59 a. m. GMT-5
<b>Sección 1</b>	
¿Qué relación tiene usted con la Universidad Antonio Nariño?	Estudiante
<b>Sección 2</b>	
¿Qué tan favorable le pareció el acople propuesto, para la toma de imágenes? (1=no favorable, 2=poco favorable, 3=medianamente favorable, 4=favorable, 5=muy favorable ).	3
¿Qué dificultad presentó para usted la instalación del acople entre la lámpara y el celular?(1=mucha dificultad, 2=mediana dificultad, 3=poca dificultad, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	2
¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomó la instalación del acople ?	1 a 5 minutos
¿Cuál es su calificación ante la calidad de fotos obtenidas cuando se usa el acople? (1=mala calidad, 2=baja calidad, 3=calidad media, 4=buena calidad, 5=excelente calidad)	2
¿Recomendaría el uso del acople en consultas de optometría?	Sí

<b>Sección 3</b>	
¿Qué tan difícil le pareció la instalación por el método propuesto?(1=muy difícil, 2=medianamente difícil, 3=poco difícil, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	2
¿Qué calificación le daría al diseño de la interfaz gráfica desarrollada en la aplicación DIMOP? (1=diseño no amigable, 2=diseño poco amigable, 3=diseño medianamente amigable, 4=diseño amigable, 5=diseño muy amigable).	2
¿Considera que el número de funcionalidades presentadas por la aplicación son ?	Pocas
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado,4= protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)	3
¿Recomendaría el uso de la aplicación en sus consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 4</b>	
¿Considera necesario el trabajo con imágenes DICOM en procesos de optometría?	Sí
¿Qué tan útil le pareció el software para procesos de diagnóstico con imágenes oculares? (1=nada útil, 2= poco útil, 3= medianamente útil, 4= útil, 5= muy útil)	3
¿Cuál de las funciones desarrolladas por el software le pareció de mayor utilidad?	Visualización de imagen junto con los datos de la consulta
¿Según su observación, cuál sería su calificación ante la dificultad en el uso del software de procesamiento?	Moderado
<b>Sección 5</b>	

¿Cuál de las etapas desarrolladas en la tesis le pareció más interesante?	Aplicación móvil para la adquisición DIMOP
¿Cuales fueron los beneficios que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?	
¿Cuales fueron las dificultades que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?	
¿Qué recomendaciones tiene para el proyecto? ¿Qué le añadiría? ¿Qué le quitaría?	
¿Qué observaciones adicionales quiere aportar para el mejoramiento del sistema de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura?	

**Encuesta Sujeto 2.**

<b>Marca temporal</b>	2019/10/09 9:47:08 a. m. GMT-5
<b>Sección 1</b>	
¿Qué relación tiene usted con la Universidad Antonio Nariño?	Estudiante
<b>Sección 2</b>	
¿Qué tan favorable le pareció el acople propuesto, para la toma de imágenes? (1=no favorable, 2=poco favorable, 3=medianamente favorable, 4=favorable, 5=muy favorable ).	4
¿Qué dificultad presentó para usted la instalación del acople entre la lámpara y el celular?(1=mucha dificultad, 2=mediana dificultad, 3=poca dificultad, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	2
¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomó la instalación del acople ?	1 a 5 minutos
¿Cuál es su calificación ante la calidad de fotos obtenidas cuando se usa el acople? (1=mala calidad, 2=baja calidad, 3=calidad media, 4=buena calidad, 5=excelente calidad)	4
¿Recomendaría el uso del acople en consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 3</b>	
¿Qué tan difícil le pareció la instalación por el método propuesto?(1=muy difícil, 2=medianamente difícil, 3=poco difícil, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	2
¿Qué calificación le daría al diseño de la interfaz gráfica desarrollada en la aplicación DIMOP? (1=diseño no amigable, 2=diseño poco amigable, 3=diseño medianamente amigable, 4=diseño amigable, 5=diseño muy amigable).	5

¿Considera que el número de funcionalidades presentadas por la aplicación son ?	Adecuadas
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado,4= protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)	4
¿Recomendaría el uso de la aplicación en sus consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 4</b>	
¿Considera necesario el trabajo con imágenes DICOM en procesos de optometría?	Sí
¿Qué tan útil le pareció el software para procesos de diagnóstico con imágenes oculares? (1=nada útil, 2= poco útil, 3= medianamente útil, 4= útil, 5= muy útil)	3
¿Cuál de las funciones desarrolladas por el software le pareció de mayor utilidad?	Separación de la imagen en los canales RGB (Rojo, verde, azul)
¿Según su observación, cuál sería su calificación ante la dificultad en el uso del software de procesamiento?	Fácil
<b>Sección 5</b>	
¿Cuál de las etapas desarrolladas en la tesis le pareció más interesante?	Aplicación móvil para la adquisición DIMOP
¿Cuales fueron los beneficios que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?	

---

Una forma mucho mas precisa de captar una buena imagen del globo ocular en consulta.
¿Cuales fueron las dificultades que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?
Fue efectiva la descarga e instalacion de la app, sin embargo no me abria a la hora de usarla.
¿Qué recomendaciones tiene para el proyecto? ¿ Qué le añadiría? ¿Qué le quitaría?
Anadiria un poco mas de cobertura en cuanto a sistemas operativos "que no solo sea android"
¿Qué observaciones adicionales quiere aportar para el mejoramiento del sistema de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura?
En general me gusto mucho el sistema, sin embargo creo que se usaria en casos donde el optometra cuente con un poco de tiempo extra, por todo el tema de acople.

**Encuesta Sujeto 3.**

<b>Marca temporal</b>	2019/10/09 9:47:12 a. m. GMT-5
<b>Sección 1</b>	
¿Qué relación tiene usted con la Universidad Antonio Nariño?	Estudiante
<b>Sección 2</b>	
¿Qué tan favorable le pareció el acople propuesto, para la toma de imágenes? (1=no favorable, 2=poco favorable, 3=medianamente favorable, 4=favorable, 5=muy favorable ).	2
¿Qué dificultad presentó para usted la instalación del acople entre la lámpara y el celular?(1=mucha dificultad, 2=mediana dificultad, 3=poca dificultad, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	3
¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomó la instalación del acople ?	1 a 5 minutos
¿Cuál es su calificación ante la calidad de fotos obtenidas cuando se usa el acople? (1=mala calidad, 2=baja calidad, 3=calidad media, 4=buena calidad, 5=excelente calidad)	5
¿Recomendaría el uso del acople en consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 3</b>	
¿Qué tan difícil le pareció la instalación por el método propuesto?(1=muy difícil, 2=medianamente difícil, 3=poco difícil, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	5
¿Qué calificación le daría al diseño de la interfaz gráfica desarrollada en la aplicación DIMOP? (1=diseño no amigable, 2=diseño poco amigable, 3=diseño medianamente amigable, 4=diseño amigable, 5=diseño muy amigable).	5

¿Considera que el número de funcionalidades presentadas por la aplicación son?	Adecuadas
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado, 4= protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)	5
¿Recomendaría el uso de la aplicación en sus consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 4</b>	
¿Considera necesario el trabajo con imágenes DICOM en procesos de optometría?	Sí
¿Qué tan útil le pareció el software para procesos de diagnóstico con imágenes oculares? (1=nada útil, 2= poco útil, 3= medianamente útil, 4= útil, 5= muy útil)	3
¿Cuál de las funciones desarrolladas por el software le pareció de mayor utilidad?	Visualización de imagen junto con los datos de la consulta
¿Según su observación, cuál sería su calificación ante la dificultad en el uso del software de procesamiento?	Fácil
<b>Sección 5</b>	
¿Cuál de las etapas desarrolladas en la tesis le pareció más interesante?	Aplicación móvil para la adquisición DIMOP
¿Cuales fueron los beneficios que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?	
Recolección de datos del paciente con la imagen del ojo examinado.	

---

¿Cuáles fueron las dificultades que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?
Manipulación de los tornillos del acople, centrado del acople, toma mucho tiempo de consulta ajustar el acople.
¿Qué recomendaciones tiene para el proyecto? ¿Qué le añadiría? ¿Qué le quitaría?
Que el acople fuera más sencillo de usar, que el software se pudiera usar a través de la app.
¿Qué observaciones adicionales quiere aportar para el mejoramiento del sistema de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura?
Encontré poca funcionalidad del histograma para el diagnóstico a nivel ocular, me gustaría tener bibliografía que demuestre cómo a través de este histograma se pueden detectar patologías oculares

**Encuesta Sujeto 4.**

<b>Marca temporal</b>	2019/10/09 9:47:12 a. m. GMT-5
<b>Sección 1</b>	
¿Qué relación tiene usted con la Universidad Antonio Nariño?	Estudiante
<b>Sección 2</b>	
¿Qué tan favorable le pareció el acople propuesto, para la toma de imágenes? (1=no favorable, 2=poco favorable, 3=medianamente favorable, 4=favorable, 5=muy favorable ).	5
¿Qué dificultad presentó para usted la instalación del acople entre la lámpara y el celular?(1=mucha dificultad, 2=mediana dificultad, 3=poca dificultad, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	5
¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomó la instalación del acople ?	1 a 5 minutos
¿Cuál es su calificación ante la calidad de fotos obtenidas cuando se usa el acople? (1=mala calidad, 2=baja calidad, 3=calidad media, 4=buena calidad, 5=excelente calidad)	5
¿Recomendaría el uso del acople en consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 3</b>	
¿Qué tan difícil le pareció la instalación por el método propuesto?(1=muy difícil, 2=medianamente difícil, 3=poco difícil, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	5
¿Qué calificación le daría al diseño de la interfaz gráfica desarrollada en la aplicación DIMOP? (1=diseño no amigable, 2=diseño poco amigable, 3=diseño medianamente amigable, 4=diseño amigable, 5=diseño muy amigable).	5

¿Considera que el número de funcionalidades presentadas por la aplicación son ?	Adecuadas
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado,4= protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)	4
¿Recomendaría el uso de la aplicación en sus consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 4</b>	
¿Considera necesario el trabajo con imágenes DICOM en procesos de optometría?	Sí
¿Qué tan útil le pareció el software para procesos de diagnóstico con imágenes oculares? (1=nada útil, 2= poco útil, 3= medianamente útil, 4= útil, 5= muy útil)	5
¿Cuál de las funciones desarrolladas por el software le pareció de mayor utilidad?	Visualización de imagen junto con los datos de la consulta
¿Según su observación, cuál sería su calificación ante la dificultad en el uso del software de procesamiento?	Fácil
<b>Sección 5</b>	
¿Cuál de las etapas desarrolladas en la tesis le pareció más interesante?	Software para transformación y procesamiento

¿Cuales fueron los beneficios que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?
Este sistema permite tener datos registrados del paciente junto a la fotografía de la alteración ocular encontrada en consulta.
¿Cuales fueron las dificultades que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?
Enfocar la imagen al utilizar el Acople.
¿Qué recomendaciones tiene para el proyecto? ¿Qué le añadiría? ¿Qué le quitaría?
Me parece que debería guardar los datos del examinador para no tener que registrarse cada vez que se quiera acceder, así sería más ágil la consulta y ahorraríamos un poco más de tiempo.
¿Qué observaciones adicionales quiere aportar para el mejoramiento del sistema de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura?
Me parece que el sistema está muy completo.

**Encuesta Sujeto 5.**

<b>Marca temporal</b>	2019/10/09 6:30:03 p. m. GMT-5
<b>Sección 1</b>	
¿Qué relación tiene usted con la Universidad Antonio Nariño?	Estudiante
<b>Sección 2</b>	
¿Qué tan favorable le pareció el acople propuesto, para la toma de imágenes? (1=no favorable, 2=poco favorable, 3=medianamente favorable, 4=favorable, 5=muy favorable ).	5
¿Qué dificultad presentó para usted la instalación del acople entre la lámpara y el celular?(1=mucha dificultad, 2=mediana dificultad, 3=poca dificultad, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	4
¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomó la instalación del acople ?	1 a 5 minutos
¿Cuál es su calificación ante la calidad de fotos obtenidas cuando se usa el acople? (1=mala calidad, 2=baja calidad, 3=calidad media, 4=buena calidad, 5=excelente calidad)	5
¿Recomendaría el uso del acople en consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 3</b>	
¿Qué tan difícil le pareció la instalación por el método propuesto?(1=muy difícil, 2=medianamente difícil, 3=poco difícil, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	4
¿Qué calificación le daría al diseño de la interfaz gráfica desarrollada en la aplicación DIMOP? (1=diseño no amigable, 2=diseño poco amigable, 3=diseño medianamente amigable, 4=diseño amigable, 5=diseño muy amigable).	5

¿Considera que el número de funcionalidades presentadas por la aplicación son ?	Adecuadas
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado,4= protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)	4
¿Recomendaría el uso de la aplicación en sus consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 4</b>	
¿Considera necesario el trabajo con imágenes DICOM en procesos de optometría?	Sí
¿Qué tan útil le pareció el software para procesos de diagnóstico con imágenes oculares? (1=nada útil, 2= poco útil, 3= medianamente útil, 4= útil, 5= muy útil)	4
¿Cuál de las funciones desarrolladas por el software le pareció de mayor utilidad?	Visualización de imagen junto con los datos de la consulta
¿Según su observación, cuál sería su calificación ante la dificultad en el uso del software de procesamiento?	Fácil
<b>Sección 5</b>	
¿Cuál de las etapas desarrolladas en la tesis le pareció más interesante?	Software para transformación y procesamiento

---

¿Cuales fueron los beneficios que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?
Facilidad para visualizar y describir patologías. Además de llevar un orden entre la imagen y los datos del paciente.
¿Cuales fueron las dificultades que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?
Agilidad para ubicar el soporte en la lámpara
¿Qué recomendaciones tiene para el proyecto? ¿Qué le añadiría? ¿Qué le quitaría?
Implementarlo en iPhone.
Que el acople fuera mas sencillo de usar, que el software se pudiera usar a través de la app.
¿Qué observaciones adicionales quiere aportar para el mejoramiento del sistema de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura?
Que el software arrojara posibles diagnóstico en relación con las imágenes presentadas.

**Encuesta Sujeto 6.**

<b>Marca temporal</b>	2019/10/10 6:35:59 p. m. GMT-5
<b>Sección 1</b>	
¿Qué relación tiene usted con la Universidad Antonio Nariño?	Docente
<b>Sección 2</b>	
¿Qué tan favorable le pareció el acople propuesto, para la toma de imágenes? (1=no favorable, 2=poco favorable, 3=medianamente favorable, 4=favorable, 5=muy favorable ).	4
¿Qué dificultad presentó para usted la instalación del acople entre la lámpara y el celular?(1=mucha dificultad, 2=mediana dificultad, 3=poca dificultad, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	3
¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomó la instalación del acople ?	5 a 10 minutos
¿Cuál es su calificación ante la calidad de fotos obtenidas cuando se usa el acople? (1=mala calidad, 2=baja calidad, 3=calidad media, 4=buena calidad, 5=excelente calidad)	4
¿Recomendaría el uso del acople en consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 3</b>	
¿Qué tan difícil le pareció la instalación por el método propuesto?(1=muy difícil, 2=medianamente difícil, 3=poco difícil, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	5
¿Qué calificación le daría al diseño de la interfaz gráfica desarrollada en la aplicación DIMOP? (1=diseño no amigable, 2=diseño poco amigable, 3=diseño medianamente amigable, 4=diseño amigable, 5=diseño muy amigable).	4

¿Considera que el número de funcionalidades presentadas por la aplicación son ?	Adecuadas
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado,4= protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)	4
¿Recomendaría el uso de la aplicación en sus consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 4</b>	
¿Considera necesario el trabajo con imágenes DICOM en procesos de optometría?	Sí
¿Qué tan útil le pareció el software para procesos de diagnóstico con imágenes oculares? (1=nada útil, 2= poco útil, 3= medianamente útil, 4= útil, 5= muy útil)	4
¿Cuál de las funciones desarrolladas por el software le pareció de mayor utilidad?	Separación de la imagen en los canales RGB (Rojo, verde, azul)
¿Según su observación, cuál sería su calificación ante la dificultad en el uso del software de procesamiento?	Fácil
<b>Sección 5</b>	
¿Cuál de las etapas desarrolladas en la tesis le pareció más interesante?	Software para transformación y procesamiento

¿Cuales fueron los beneficios que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?
Fácil manejo, permite que se faciliten procesos investigativos que pueden dar excelentes resultados con lo equipos de optometria mínimos que se tienen en consultorios debidamente habilitados sin necesidad de tener equipos de alta medición, lo que es de bajo costo; ademas permite hacer un muy buen seguimiento de patologías oculares y mejor manejo de las mismas al tener los registros fotográficos.
¿Cuales fueron las dificultades que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?
En un inicio colocar el dispositivo en la lampara, pero esto se dio mas porque la lampara de hendidura tiene los oculares de amplio diámetro, lo que genera un poco de dificultad enfocar la cámara del celular con el ocular de biomicroscopio.
¿Qué recomendaciones tiene para el proyecto? ¿Qué le añadiría? ¿Qué le quitaría?
La recomendación principal es continuar este tipo de investigación y que el software siga en funcionamiento para continuar con otros estudios incluso comparativos con equipos de alto costo que impliquen medición o seguimiento a patologías generando una escala especifica creada con una base de datos real.
¿Qué observaciones adicionales quiere aportar para el mejoramiento del sistema de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura?
Continuar realizando investigaciones que impliquen trabajo interdisciplinario, muy buen trabajo!

**Encuesta Sujeto 7.**

<b>Marca temporal</b>	2019/10/10 6:48:38 p. m. GMT-5
<b>Sección 1</b>	
¿Qué relación tiene usted con la Universidad Antonio Nariño?	Docente
<b>Sección 2</b>	
¿Qué tan favorable le pareció el acople propuesto, para la toma de imágenes? (1=no favorable, 2=poco favorable, 3=medianamente favorable, 4=favorable, 5=muy favorable ).	3
¿Qué dificultad presentó para usted la instalación del acople entre la lámpara y el celular?(1=mucha dificultad, 2=mediana dificultad, 3=poca dificultad, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	4
¿Aproximadamente cuánto tiempo le tomó la instalación del acople ?	Más de 10 minutos
¿Cuál es su calificación ante la calidad de fotos obtenidas cuando se usa el acople? (1=mala calidad, 2=baja calidad, 3=calidad media, 4=buena calidad, 5=excelente calidad)	4
¿Recomendaría el uso del acople en consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 3</b>	
¿Qué tan difícil le pareció la instalación por el método propuesto?(1=muy difícil, 2=medianamente difícil, 3=poco difícil, 4=sin dificultad, 5=fácil ).	5
¿Qué calificación le daría al diseño de la interfaz gráfica desarrollada en la aplicación DIMOP? (1=diseño no amigable, 2=diseño poco amigable, 3=diseño medianamente amigable, 4=diseño amigable, 5=diseño muy amigable).	4

¿Considera que el número de funcionalidades presentadas por la aplicación son ?	Adecuadas
¿Cuál sería su calificación ante el protocolo para el registro de las imágenes de pacientes en la aplicación DIMOP? (1=protocolo no adecuado, 2= protocolo poco adecuado, 3= protocolo medianamente adecuado,4= protocolo adecuado, 5= excelente protocolo)	4
¿Recomendaría el uso de la aplicación en sus consultas de optometría?	Sí
<b>Sección 4</b>	
¿Considera necesario el trabajo con imágenes DICOM en procesos de optometría?	Sí
¿Qué tan útil le pareció el software para procesos de diagnóstico con imágenes oculares? (1=nada útil, 2= poco útil, 3= medianamente útil, 4= útil, 5= muy útil)	5
¿Cuál de las funciones desarrolladas por el software le pareció de mayor utilidad?	Segmentación de la escala de colores con la barra del histograma
¿Según su observación, cuál sería su calificación ante la dificultad en el uso del software de procesamiento?	Moderado
<b>Sección 5</b>	
¿Cuál de las etapas desarrolladas en la tesis le pareció más interesante?	Software para transformación y procesamiento

<p>¿Cuales fueron los beneficios que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?</p>
<p>1. Rapidez en el procesamiento de la imagen 2. Excelente para discriminar detalles de la foto para así compararla con otras que se puedan tomar mas adelante del mismo paciente lo que nos dará un mayor análisis clínico</p>
<p>¿Cuales fueron las dificultades que encontró en el uso del sistema completo para la adquisición de imágenes?</p>
<p>Al principio en entender : 1. La utilidad al compararlo con el sistema de montaje de fotos de Google por ejemplo 2. En entender la parte operativa del software Pero , después de que el estudiante me explico con tiempo , fue muy alentador poder comprenderlo de mejor manera.</p>
<p>¿Qué recomendaciones tiene para el proyecto? ¿Qué le añadiría? ¿Qué le quitaría?</p>
<p>1. Como se lo exprese al estudiante , que las fotos se puedan buscar no solo por el ID o apellidos del paciente sino por el profesional que tomo las fotos 2. También seria ideal que la aplicación tuviera análisis por partes del ojo por ejemplo , que fuera un análisis para lagrime, otro para cornea etc.. eso haría mas clínica la aplicación . 3. Le daría otro color, u otra forma mas bonita al instrumento donde se coloca el celular .</p>
<p>¿Qué observaciones adicionales quiere aportar para el mejoramiento del sistema de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura?</p>
<p>Creo que es un excelente proyecto , y para poder dar más observaciones tendría que conocer más acerca de varios aspectos de creación de software, por ahora no cuento con esa herramienta.</p>

## Bibliografía

Apostolopoulos, S., & Sznitman, R. *Slitlamp Microscopes.* , (2017).

Archibo Semana. (2019, January). Proyecto de Ley busca crear la Historia Clínica Electrónica Única en Colombia. Retrieved May 3, 2019, from <https://www.semana.com/nacion/articulo/proyecto-de-ley-busca-crear-la-historia-clinica-electronica-unica-en-colombia/599826>

Arumugham, S., Rajagopalan, S., Rayappan, J. B. B., & Amirtharajan, R. (2018). Networked medical data sharing on secure medium – A web publishing mode for DICOM viewer with three layer authentication. *Journal of Biomedical Informatics*, 86(September 2017), 90–105. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2018.08.010>

Bourouis, A., Feham, M., Hossain, M. A., & Zhang, L. (2014). An intelligent mobile based decision support system for retinal disease diagnosis. *Decision Support Systems*, 59(1), 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2014.01.005>

Charukamnoetkanok, P., Ekkachai, K., Klanarongran, N., Leelasawassuk, T., & Komeswarakul, P. (2009). *Robotic Slit-lamp for Tele-Ophthalmology*. 2535–2539.

Fieschi, M. (2018). *Health Data Processing Systemic Approaches*.

Fundación Universitaria del Área Andina. (2017). Optometría Areandina. Retrieved March 5, 2019, from <https://www.areandina.edu.co/es/content/optometria-bogota>

Jagsi, R., Jiang, J., Momoh, A. O., Alderman, A., Giordano, S. H., Buchholz, T. A., ... Smith, B. D. (2017). *HHS Public Access*. 263(2), 219–227. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001177>.Complications

Lish, J., Martel, J., Das, A., Rad, P., Nouhi, B., & Choo, K.-K. R. (2018). Distributed machine learning cloud teleophthalmology IoT for predicting AMD disease progression. *Future Generation Computer Systems*, 93, 486–498. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.10.050>

LUX CIENTIFICO. (2015). Lámparas de hendidura: Lámpara de Hendidura SL-D4. Retrieved October 5, 2019, from <https://luxcientifico.mx/diagnostico/lamparas-de-hendidura->

---

1/lámpara-de-hendidura-sl-d4-detail.html

Maria Alejandra Moreno. (2018, April 8). Las enfermedades oculares más frecuentes en los colombianos | ELESPECTADOR.COM. *EI ESPECTADOR*, p. 2. Retrieved from <https://www.elespectador.com/vivir/las-enfermedades-oculares-mas-frecuentes-en-los-colombianos-articulo-748645>

Mariakakis, A., Wang, E., Goel, M., & Patel, S. (2019). Challenges in Realizing Smartphone-based Health Sensing. *To Appear in IEEE Pervasive Computing*, 1–10.

Massachusetts Institute of Technology. (2012). About Us | Explore MIT App Inventor. Retrieved April 27, 2019, from <https://appinventor.mit.edu/explore/about-us.html>

Mauri, G., Rundo, L., Besozzi, D., Tangherloni, A., Militello, C., Cazzaniga, P., & Nobile, M. S. (2018). MedGA: A novel evolutionary method for image enhancement in medical imaging systems. *Expert Systems with Applications*, 119, 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.013>

METRIC RAT. (2017). *AppInventor – Post Data to Google Sheet* | METRIC RAT. Retrieved from <http://metricrat.co.uk/appinventor-post-data-to-google-sheet/>

METRIC RAT. (2018). *HOWTO: Upload Image to Google Drive using base64 and Google Apps Script Web App*. Retrieved from <http://metricrat.co.uk/appinventor-howto-upload-image-to-google-drive-using-base64-and-google-apps-script-web-app/>

Nii, P., Ammah, T., & Owusu, E. (2019). *Robust medical image compression based on wavelet transform and vector quantization*.

Nizvi, S. A., Nizvi, S. A., Road, G., & Highway, S. (2005). *A low-cost , slit lamp-based video-photodocumentation system*. 18(56), 128–129.

Oftalvist. (2018). ¿Qué es la optometría? - Oftalvist. Retrieved April 25, 2019, from <https://www.oftalvist.es/es/especialidades/optometria>

OpenCv Team. (2019). About. Retrieved April 27, 2019, from <https://opencv.org/about/>

Siegel, D. (n.d.). *Five Things You 're Missing with Your Fundus Camera*.

- Tique Aguilar, A. (2019). Historia clínica única: una buena idea | Blogs El Tiempo. Retrieved May 3, 2019, from <http://blogs.eltiempo.com/sinexcusas/2019/04/22/historia-clinica-unica-una-buena-idea/>
- Universidad Antonio Nariño. (n.d.). Optometría UAN. Retrieved March 5, 2019, from <http://www.uan.edu.co/optometria>
- Universidad de la frontera. (n.d.). MODELOS TIPO. Retrieved October 11, 2019, from <http://cec.ufro.cl/index.php/modelos-tipo>
- Universidad del Sinú Seccional Cartagena. (2012). Retrieved October 5, 2019, from <https://www.unisinucartagena.edu.co/escuela-de-optometria-snies-101808/>
- Universidad el Bosque. (2014). Optometría Universidad El Bosque. Retrieved March 11, 2019, from <https://www.uelbosque.edu.co/medicina/carrera/optometria>
- Universidad la Salle. (2013). Optometria. Retrieved March 5, 2019, from <https://www.lasalle.edu.co/optometria>
- Universidad Metropolitana. (2013). Optometría Universidad Metropolitana. Retrieved March 11, 2019, from <http://www.unimetro.edu.co/optometria/>
- Universidad Santo Tomas. (2013). Optometria. Retrieved March 5, 2019, from <http://facultadoptometria.ustabuca.edu.co/>