



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA REALIZAR EXÁMENES DE  
RETINOSCOPIA EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL  
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE LA RETINA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: PROPUESTA TECNOLÓGICA**  
**Para optar al Grado Académico de:**  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTORES: LUIS MIGUEL ALLAUCA CANDO**  
**BLADIMIR ENRIQUE ROCHA TENORIO**  
**TUTOR: ING. HENRY ERNESTO VALLEJO VIZHUETE**

Riobamba – Ecuador

2017

©2017, Luis Miguel Allauca Cando, Bladimir Enrique Rocha Tenorio

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de Titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA REALIZAR EXÁMENES DE RETINOSCOPIA EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE LA RETINA”, de responsabilidad de los Señores Luis Miguel Allauca Cando y Bladimir Enrique Rocha Tenorio, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Washington Luna E. <b>DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	_____	_____
Ing. Henry Vallejo V. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. Fernando Mejía P. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

“Nosotros **LUIS MIGUEL ALLAUCA CANDO** y **BLADIMIR ENRIQUE ROCHA TENORIO**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

**Luis Miguel Allauca Cando**

**Bladimir Enrique Rocha Tenorio**

## **DEDICATORIA**

Es mi mayor orgullo dedicar el presente trabajo de titulación a mi madre del cielo la Virgen Dolorosa por las bendiciones recibidas, a cada una de las personas que estuvieron a mi lado desde que inicie con un sueño que hoy se convierte en realidad, de manera especial a mi mamá María Socorro Allauca Cando quien ha sabido cumplir con el papel de padre y madre siempre brindándome su amor y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, a mi hermano Carlos por ser un gran ejemplo de valentía y perseverancia, a mis hermosos sobrinos Mishell, Christopher y Axel por los momentos de alegría que me han sabido regalar y a la familia que escogí, mis amigos, por los momentos compartidos a lo largo de mi camino; este logro es para ustedes.

Luis Allauca

De manera muy especial a mis padres Jorge y María por enseñarme sus valores de respeto, humildad, sencillez y por brindarme su apoyo incondicional para la culminación de esta meta. A mis hermanos Paul, Tatiana, a Rocío y a mi tío Edwin que con sus palabras de aliento me animaban a continuar, gracias a su apoyo en todo sentido, juntos hemos logrado superar los obstáculos que se nos presentaban, por este motivo, este triunfo se los dedico a ustedes por ser mi todo y mi razón de superación. Y a mis amigos que han estado conmigo a lo largo de mi carrera, juntos hemos avanzado en el cumplimiento de este objetivo.

Bladimir Rocha

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos dar las gracias a Dios por permitirnos alcanzar nuestra meta y haber puesto en nuestro camino a personas que en todo momento nos apoyaron incondicionalmente, a nuestros padres quienes son la razón de este triunfo ya que nos apoyaron en toda nuestra vida universitaria.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión para servicio de la sociedad y el país.

Agradecemos al Ing., Henry Vallejo y al Ing., Fernando Mejía, Director y miembro del trabajo de titulación respectivamente por permitirnos recurrir a su capacidad y experiencia para encaminar con éxito el presente trabajo.

**LUIS Y BLADIMIR**

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
TABLA DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	xviii
RESUMEN .....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 El ojo humano.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Anatomía del ojo humano.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.1 La retina .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Defectos en la visión .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Ametropías visuales.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.1 Miopía.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.2 Hipermetropía.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.3 Astigmatismo .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5 Retinoscopía.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.1 Conceptos básicos de la retinoscopía .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.1.1 Reflejo retiniano.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5.1.2 Tipo de sombras .....</b>	<b>12</b>
<b>1.5.1.3 Distancia de trabajo.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.1.4 Lente retinoscópico .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.2 Equipo empleado en retinoscopía .....</b>	<b>13</b>

1.5.2.1	<i>Retinoscopio</i> .....	14
1.5.2.2	<i>Caja de prueba</i> .....	15
1.5.2.3	<i>Punto de fijación</i> .....	16
<b>1.5.3</b>	<b><i>Realización de la retinoscopía</i></b> .....	<b>16</b>
1.5.3.1	<i>Retinoscopía de un ojo con miopía</i> .....	17
1.5.3.2	<i>Retinoscopía de un ojo con hipermetropía</i> .....	17
1.5.3.3	<i>Retinoscopía de un ojo con astigmatismo</i> .....	18
<b>1.6</b>	<b>Inteligencia artificial</b> .....	<b>18</b>
<b>1.6.1</b>	<b><i>Introducción a la inteligencia artificial (IA)</i></b> .....	<b>18</b>
<b>1.7</b>	<b>Visión artificial</b> .....	<b>19</b>
1.7.1	<i>Definición de visión artificial</i> .....	19
1.7.2	<i>Objetivo de la visión artificial</i> .....	19
1.7.3	<i>Componentes de un sistema de visión artificial (SVA)</i> .....	20
1.7.4	<i>Adquisición de la imagen</i> .....	21
1.7.4.1	<i>Cámaras</i> .....	21
1.7.4.2	<i>Factores para la selección de la cámara</i> .....	21
1.7.5	<i>Procesamiento de imágenes</i> .....	22
1.7.5.1	<i>Objetivo del procesamiento de imágenes</i> .....	23
1.7.5.2	<i>Etapas del procesamiento de imágenes</i> .....	23
1.7.6	<i>Transformaciones morfológicas</i> .....	24
1.7.6.1	<i>Dilatación binaria</i> .....	24
1.7.6.2	<i>Erosión binaria</i> .....	24
1.7.6.3	<i>Apertura</i> .....	25
1.7.6.4	<i>Cierre</i> .....	25
1.7.7	<i>Segmentación</i> .....	25
1.7.7.1	<i>Método de umbralización</i> .....	26
1.7.8	<i>Correlación</i> .....	26
<b>1.8</b>	<b>Tarjetas de desarrollo Arduino</b> .....	<b>28</b>
<b>1.8.1</b>	<b><i>Comunicaciones de las tarjetas Arduino</i></b> .....	<b>29</b>
1.8.1.1	<i>UART</i> .....	29
1.8.1.2	<i>I2C</i> .....	29
<b>1.9</b>	<b>Interfaz Hombre Máquina (HMI)</b> .....	<b>30</b>
<b>1.10</b>	<b>Software empleado en el sistema</b> .....	<b>31</b>
1.10.1	<i>Solidworks</i> .....	31
1.10.2	<i>Arduino IDE</i> .....	32
1.10.3	<i>LabVIEW</i> .....	33
1.10.4	<i>Microsoft Access</i> .....	34

<b>1.10.5</b>	<b><i>Nextion Editor</i></b> .....	<b>35</b>
<b>1.11</b>	<b>Dispositivos y componentes del sistema</b> .....	<b>36</b>
<b>1.11.1</b>	<b><i>Sensores</i></b> .....	<b>36</b>
1.11.1.1	<i>Sensor de luz digital BH-1750</i> .....	36
<b>1.11.2</b>	<b><i>Módulos</i></b> .....	<b>37</b>
1.11.2.1	<i>Módulo convertidor de voltaje STEP DOWN LM2596</i> .....	37
1.11.2.2	<i>Módulo de sonido WTV020M01</i> .....	38
1.11.2.3	<i>Módulo láser KY-008</i> .....	39
<b>1.11.3</b>	<b><i>Fuente de alimentación ATX</i></b> .....	<b>39</b>
1.11.3.1	<i>Características generales de la fuente ATX</i> .....	40
<b>1.11.4</b>	<b><i>Actuadores</i></b> .....	<b>41</b>
1.11.4.1	<i>Servomotores</i> .....	41
 <b>CAPITULO II</b>		
<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>42</b>
<b>2.1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>42</b>
<b>2.2</b>	<b>Diseño e Implementación del Sistema Automatizado de Retinoscopía</b> .....	<b>43</b>
<b>2.3</b>	<b>Descripción del Proceso</b> .....	<b>43</b>
<b>2.4</b>	<b>Selección de Elementos del Sistema</b> .....	<b>44</b>
<b>2.5</b>	<b>Diseño e Implementación del Sistema Mecánico</b> .....	<b>46</b>
<b>2.5.1</b>	<b><i>Descripción de los mecanismos</i></b> .....	<b>47</b>
2.5.1.1	<i>Diseño mecanismo de proyección del haz de luz</i> .....	48
2.5.1.2	<i>Diseño mecanismo cambio de lentes</i> .....	48
<b>2.5.2</b>	<b><i>Implementación de los mecanismos</i></b> .....	<b>51</b>
<b>2.5.3</b>	<b><i>Pruebas de los mecanismos</i></b> .....	<b>53</b>
<b>2.6</b>	<b>Diseño e implementación del Sistema Electrónico</b> .....	<b>53</b>
<b>2.6.1</b>	<b><i>Selección de componentes que integran el sistema electrónico</i></b> .....	<b>54</b>
2.6.1.1	<i>Sensor de luz digital BH-1750</i> .....	54
2.6.1.2	<i>Módulo de sonido WTV020M01</i> .....	54
2.6.1.3	<i>Módulo emisor laser KY-008</i> .....	54
2.6.1.4	<i>Módulo LM2596 convertidor de voltaje dc-dc</i> .....	55
2.6.1.5	<i>Pantalla HMI Nextion 3,2"</i> .....	55
2.6.1.6	<i>Fuente ATX</i> .....	56
<b>2.6.2</b>	<b><i>Elección de la tarjeta de desarrollo Arduino</i></b> .....	<b>56</b>
2.6.2.1	<i>Tarjeta Arduino Uno</i> .....	56
2.6.2.2	<i>Tarjeta Arduino Nano</i> .....	57
<b>2.6.3</b>	<b><i>Lista de elementos para la placa electrónica</i></b> .....	<b>58</b>

<b>2.6.4</b>	<b><i>Esquemas de conexión</i></b> .....	<b>59</b>
2.6.4.1	<i>Conexión de los convertidores de voltaje</i> .....	61
2.6.4.2	<i>Conexión del sensor BH-1750</i> .....	61
2.6.4.3	<i>Conexión del módulo WTV020M01</i> .....	62
2.6.4.4	<i>Conexión del foco del retinoscopio</i> .....	62
2.6.4.5	<i>Conexión relés para el control de la mesa</i> .....	63
2.6.4.6	<i>Conexión del módulo láser KY-008</i> .....	63
2.6.4.7	<i>Conexión pantalla táctil HMI Nextion</i> .....	64
2.6.4.8	<i>Conexión de los actuadores servomotores</i> .....	64
<b>2.6.5</b>	<b><i>Diseño de la placa PCB</i></b> .....	<b>65</b>
<b>2.6.6</b>	<b><i>Implementación de la placa electrónica</i></b> .....	<b>66</b>
<b>2.6.7</b>	<b><i>Prueba de la placa electrónica</i></b> .....	<b>67</b>
<b>2.7</b>	<b><i>Programación del controlador Arduino</i></b> .....	<b>68</b>
<b>2.7.1</b>	<b><i>Descripción de las librerías Arduino</i></b> .....	<b>69</b>
2.7.1.1	<i>Librerías para el control de componentes</i> .....	69
2.7.1.2	<i>Librerías para la comunicación</i> .....	69
<b>2.7.2</b>	<b><i>Identificación de entradas y salidas</i></b> .....	<b>70</b>
2.7.2.1	<i>Arduino Uno (Maestro)</i> .....	70
2.7.2.2	<i>Arduino Nano (Esclavo)</i> .....	70
<b>2.7.3</b>	<b><i>Diagrama de flujo del programa del Arduino Maestro</i></b> .....	<b>71</b>
<b>2.7.4</b>	<b><i>Diagrama de flujo del programa del Arduino Nano</i></b> .....	<b>75</b>
<b>2.8</b>	<b><i>Programación del Algoritmo de Procesamiento y Comparación de Imágenes</i></b> ..	<b>77</b>
<b>2.8.1</b>	<b><i>Diseño del software del sistema de retinoscopía</i></b> .....	<b>78</b>
<b>2.8.2</b>	<b><i>Creación de la base de datos</i></b> .....	<b>79</b>
<b>2.8.3</b>	<b><i>Ingreso de los datos de usuario</i></b> .....	<b>81</b>
<b>2.8.4</b>	<b><i>Captura y procesamiento de la imagen de la retina</i></b> .....	<b>81</b>
2.8.4.1	<i>Algoritmo de procesamiento de imágenes</i> .....	81
<b>2.8.5</b>	<b><i>Comparación de imágenes</i></b> .....	<b>83</b>
2.8.5.1	<i>Coefficiente de correlación</i> .....	83
2.8.5.2	<i>Algoritmo de comparación de imágenes</i> .....	85
<b>2.8.6</b>	<b><i>Comunicación con el controlador Arduino</i></b> .....	<b>87</b>
<b>2.8.7</b>	<b><i>Generación del reporte con los resultados del sistema</i></b> .....	<b>88</b>
<b>2.9</b>	<b><i>Diseño y programación del HMI</i></b> .....	<b>88</b>
<b>2.9.1</b>	<b><i>HMI del sistema de visión</i></b> .....	<b>88</b>
2.9.1.1	<i>Diagrama de flujo HMI sistema de visión</i> .....	88
2.9.1.2	<i>Pantallas del HMI del sistema de visión</i> .....	89
<b>2.9.2</b>	<b><i>HMI pantalla Nextion</i></b> .....	<b>90</b>

2.9.2.1	<i>Diagrama de flujo HMI pantalla Nextion.....</i>	90
2.9.2.2	<i>Pantallas de la pantalla HMI Nextion.....</i>	91

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS.....</b>	<b>95</b>
<b>3.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>95</b>
<b>3.2</b>	<b>Procedimiento para la realización del examen automatizado de retinoscopia...95</b>	
<b>3.3</b>	<b>Pruebas de funcionamiento.....</b>	<b>95</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Sistema Mecánico.....</i></b>	<b>95</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Consumo de corriente del sistema electrónico.....</i></b>	<b>97</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Procesamiento de imágenes.....</i></b>	<b>98</b>
<b>3.3.4</b>	<b><i>Análisis y comparación de los resultados obtenidos del sistema.....</i></b>	<b>104</b>
<b>3.3.5</b>	<b><i>Análisis de costos del sistema automatizado.....</i></b>	<b>106</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>109</b>

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Valores dióptricos según la distancia de trabajo .....	13
Tabla 2-1: Índice de resumen: tamaño de muestra 100.....	27
Tabla 3-1: Intervalos para estimar correlación .....	27
Tabla 4-1: Comparación entre tarjetas de desarrollo Arduino .....	28
Tabla 5-1: Características del sensor BH-1750.....	36
Tabla 6-1: Características Módulo LM2596 .....	38
Tabla 7-1: Características del módulo WTV020M01 .....	38
Tabla 8-1: Características Técnicas Módulo KY-008.....	39
Tabla 1-2: Selección elementos del sistema .....	44
Tabla 2-2: Lentes oftálmicas utilizadas .....	48
Tabla 3-2: Componentes de la placa PCB .....	58
Tabla 4-2: Librerías para el control de componentes.....	69
Tabla 5-2: Librerías de comunicación .....	69
Tabla 6-2: Entradas digitales del controlador Arduino Uno .....	70
Tabla 7-2: Salidas digitales del controlador Arduino Uno.....	70
Tabla 8-2: Entradas digitales del controlador Arduino Nano .....	70
Tabla 9-2: Salidas digitales del controlador Arduino Nano .....	70
Tabla 1-3: Tabla comparativa mecanismos cambio de lentes .....	96
Tabla 2-3: Potencia absorbida del sistema electrónico .....	97
Tabla 1-3: Resultado de datos de ojos sanos .....	100
Tabla 2-3: Resultado de datos de ojo con miopía.....	101
Tabla 3-3: Resultado de datos de ojo con hipermetropía .....	101
Tabla 4-3: Resultado de datos de ojo con astigmatismo .....	101
Tabla 5-3: Tiempo de comparación según la ametropía .....	102
Tabla 6-3: Variación de tiempo entre ametropías .....	103
Tabla 7-3: Tiempo examen manual .....	104
Tabla 8-3: Tiempo examen automatizado .....	105
Tabla 9-3: Costos implementación del sistema .....	106

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: El ojo humano.....	6
Figura 2-1: Partes del ojo .....	7
Figura 3-1: La retina.....	8
Figura 4-1: Ojo con miopía .....	9
Figura 5-1: Ojo con hipermetropía.....	10
Figura 6-1: Ojo con astigmatismo .....	10
Figura 7-1: Examen de retinoscopía .....	11
Figura 8-1: Reflejos retinianos.....	12
Figura 9-1: Tipos de sombras en retinoscopía .....	12
Figura 10-1: Retinoscopio de franja .....	14
Figura 11-1: Proyección del haz de luz.....	15
Figura 12-1: Caja de lentes de prueba.....	15
Figura 13-1: Sombras ojo miope .....	17
Figura 14-1: Sombras ojo hipermetrope .....	17
Figura 15-1: Sombra ojo astigmatismo mixto .....	18
Figura 16-1: Aplicación visión artificial en medicina .....	20
Figura 17-1: Diagrama de bloques SVA.....	20
Figura 18-1: Cámara web HD .....	22
Figura 19-1: a) Imagen Original b) Dilatación Binaria .....	24
Figura 20-1: a) Imagen Original b) Erosión Binaria .....	24
Figura 21-1: a) Imagen Original b) Apertura .....	25
Figura 22-1: a) Imagen Original b) Cierre.....	25
Figura 23-1: a) 256 niveles de gris b) Umbral bajo.....	26
Figura 24-1: Modelos de tarjetas Arduino .....	28
Figura 25-1: Comunicación UART .....	29
Figura 26-1: Comunicación I2C.....	30
Figura 27-1: HMI tipo software desarrollado en LabVIEW .....	30
Figura 28-1: Pantalla Nextion .....	31
Figura 29-1: Entorno de SolidWorks 2016.....	32
Figura 30-1: Arduino IDE .....	32
Figura 31-1: Logo LabVIEW 2014 .....	33
Figura 32-1: Entorno de LabVIEW.....	34
Figura 33-1: Pantalla principal Microsoft Access.....	35
Figura 34-1: Entorno de programación Nextion Editor.....	35

<b>Figura 35-1: Sensor BH-1750 .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 36-1: Módulo LM2596 .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 37-1: Módulo WTV020M01 .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 38-1: Módulo KY-008 .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 39-1: Fuente de alimentación ATX.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 40-1: Código de colores fuente ATX.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 41-1: Partes de un servomotor .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 42-1: Micro Servo .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 1-2: Ópticas Cotopaxi.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 2-2: Mesa del sistema de retinoscopía .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 3-2: Mecanismo proyección haz de luz.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 4-2: Ruleta de soporte de lentes .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 5-2: Base derecha de la ruleta .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 6-2: Base izquierda de la ruleta.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 7-2: Sistema mecánico cambio de lentes.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 8-2: Impresión de las piezas .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 9-2: Pieza impresa en 3D .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 10-2: Ensamble de la ruleta de lentes .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 11-2: Base de la ruleta .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 12-2: Sistema mecánico cambio de lentes y proyección de luz.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 13-2: Sensor digital BH-1750 .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 14-2: Módulo de sonido .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 15-2: Módulo Láser.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 16-2: Módulo regulador voltaje .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 17-2: Pantalla 3,2” Nextion .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 18-2: Fuente WS-ATX.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 19-2: Tarjeta Arduino Uno .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 20-2: Tarjeta Arduino Nano.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 21-2: Esquema de conexión sistema electrónico .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 22-2: Conexión de las fuentes de voltaje.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 23-2: Conexión del sensor de luz BH-1750.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 24-2: Conexión del módulo de sonido con amplificador .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 25-2: Conexión del foco del retinoscopio.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 26-2: Conexión de los relés para el control de la mesa .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 27-2: Conexión del módulo láser.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 28-2: Conexión de la pantalla HMI Nextion .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 29-2: Conexión de los servomotores .....</b>	<b>64</b>

<b>Figura 30-2: PCB de la placa electrónica .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 31-2: Vista 3D del PCB .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 32-2: Pistas de cobre de la placa electrónica .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 33-2: Placa electrónica implementada.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 34-2: Instalación de la placa electrónica.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 35-2: Selección de la tarjeta Arduino .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 36-2: Diagrama SVA hardware del sistema .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 37-2: Tabla con imágenes de ametropías .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 38-2: Configuración del archivo de vínculo de datos .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 39-2: Conexión con la base de datos .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 40-2: Ingreso de datos usuario .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 41-2: Apertura y configuración de la cámara .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 42-2: Comando Vision Assistant .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 43-2: (a) Imagen original (b) Escala de grises .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 44-2: Comando IMAQ ImageToArray.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 45-2: Comunicación entre LabVIEW y Controlador .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 46-2: Generación del reporte .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 47-2: Pantalla inicial HMI LabVIEW .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 48-2: Pantalla instrucciones, control del proceso HMI LabVIEW.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 49-2: Pantalla de presentación .....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 50-2: Pantalla principal .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 51-2: Pantalla de instrucciones .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 52-2: Pantalla estado de la luz.....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 53-2: Pantalla acerca de.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 54-2: Pantalla control de la mesa .....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 55-2: Pantalla estado del examen.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 56-2: Pantalla control de la mesa .....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 1-3: Prueba del mecanismo cambio de lentes.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 2-3: Medición de consumo.....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 3-3: Imagen ojo aplicada umbralización .....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 4-3: Imagen ojo filtro de la mediana.....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 5-3: Ojo procesado miopía .....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 6-3: Ojo procesado hipermetropía.....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 7-3: Ojo procesado astigmatismo.....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 8-3: Medición del tiempo de ejecución de la etapa de comparación.....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 9-3: Comparación de un ojo con miopía .....</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Sistema de proyección del retinoscopio .....	14
Gráfico 2-1: Proceso del examen de retinoscopia .....	16
Gráfico 3-1: Esquema general visión artificial.....	19
Gráfico 4-1: Esquema general del procesamiento de imágenes .....	23
Gráfico 5-1: Etapas del procesamiento de imágenes .....	23
Gráfico 1-2: Etapas del diseño e implementación del sistema.....	42
Gráfico 2-2: Descripción del proceso .....	43
Gráfico 3-2: Etapas del diseño e implementación del sistema mecánico .....	47
Gráfico 4-2: Etapas para el diseño e implementación del sistema electrónico.....	53
Gráfico 5-2: Etapas para la programación del controlador.....	68
Gráfico 6-2: Diagrama de flujo control inicio y setup del Arduino Uno .....	73
Gráfico 7-2: Diagrama de flujo del control principal del Arduino Uno.....	74
Gráfico 8-2: Diagrama de flujo del control inicio y setup del Arduino Nano .....	76
Gráfico 9-2: Diagrama de flujo del control principal del Arduino Nano.....	77
Gráfico 10-2: Esquema general del software del sistema .....	79
Gráfico 11-2: Algoritmo de procesamiento de la imagen .....	82
Gráfico 12-2: Algoritmo de comparación de imágenes .....	85
Gráfico 13-2: Algoritmo de comparación en base a correlación.....	86
Gráfico 14-2: Diagrama HMI sistema de visión.....	89
Gráfico 15-2: Diagrama de flujo de la pantalla táctil .....	90
Gráfico 1-3: Tiempo de comparación según la ametropía .....	102
Gráfico 2-3: Tiempo manual vs automático .....	105

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1: Ecuación para calcular el valor dióptrico de RL .....	13
Ecuación 2-2: Ecuación para calcular la media aritmética de la matriz x.....	84
Ecuación 3-2: Ecuación para calcular la media aritmética de la matriz y.....	84
Ecuación 4-2: Ecuación para calcular la covarianza entre x e y.....	84
Ecuación 5-2: Ecuación para calcular la desviación típica de la matriz x. ....	84
Ecuación 6-2: Ecuación para calcular la desviación típica de la matriz y. ....	84
Ecuación 7-2: Ecuación para calcular el coeficiente de correlación entre x e y.....	85
Ecuación 1-3: Ecuación para calcular el tiempo de ejecución del algoritmo de comparación. ....	100
Ecuación 2-3: Ecuación para calcular el porcentaje de variación entre ametropía. ....	103
Ecuación 3-3: Ecuación para calcular la variación de tiempo empleado entre manual y automático. ....	106

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Sensor de luz digital BH1750

**Anexo B:** Convertidor de voltaje DC-DC Step Down LM2596

**Anexo C:** Módulo de sonido WTV020M01

**Anexo D:** Módulo laser KY-008

**Anexo E:** Planos de la mesa del sistema de retinoscopía

**Anexo F:** Planos mecanismo proyección de luz

**Anexo G:** Planos mecanismo cambio de lentes

**Anexo H:** Planos de conexión sistema electrónico

**Anexo I:** Programa de la tarjeta Arduino UNO

**Anexo J:** Programa de la tarjeta Arduino NANO

**Anexo K:** Programa desarrollado en LabVIEW

**Anexo L:** Manual de usuario

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>AD4:</b>	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
<b>ATX:</b>	Advanced Technology eXtended
<b>CCD:</b>	Charge Couple Device.
<b>D:</b>	Dioptria
<b>DAQ:</b>	Data Acquisition
<b>DC:</b>	Direct Current
<b>DT:</b>	Distancia de Trabajo
<b>FAT32:</b>	File Allocation Table 32 bits
<b>HD:</b>	High Definition
<b>HMI:</b>	Human Machine Interface
<b>IA:</b>	Inteligencia Artificial
<b>I2C:</b>	Inter-Integrated Circuit
<b>IDE:</b>	Integrated Development Environment
<b>LabVIEW:</b>	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbech
<b>mA:</b>	miliAmperios
<b>MDF:</b>	Medium Density Fibreboard
<b>MHz:</b>	Megahercios
<b>MP3:</b>	Motion Picture Experts Group
<b>NI:</b>	National Instrument
<b>PCB:</b>	Printed Circuit Board
<b>PLA:</b>	Ácido Poliláctico
<b>PWM:</b>	Pulse Width Modulation
<b>RGB:</b>	Red Green Blue
<b>RL:</b>	Lente Retinoscópico
<b>SCL:</b>	Serial Clock
<b>SDA:</b>	Serial Data
<b>STL:</b>	Standard Triangle Language
<b>SVA:</b>	Sistema Visión Artificial
<b>TTL:</b>	Transistor-Transistor Logic
<b>UART:</b>	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
<b>UDL:</b>	Universal Data Link
<b>USB:</b>	Universal Serial Bus
<b>V:</b>	Voltios
<b>VI:</b>	Virtual Instruments

**VISA:** Virtual Instrument Software Architecture  
**W:** Watts  
**WAV:** Windows Audio Video

## RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema automatizado para realizar exámenes de retinoscopía empleando visión artificial para el procesamiento de imágenes de la retina. Se empleó la técnica de observación y experimentación, para identificar las condiciones necesarias que intervienen en la realización del examen de retinoscopía, se estableció un diseño del sistema mecánico, electrónico y de visión artificial para la selección e instalación de los componentes requeridos para la automatización. Se instaló una cámara de video para obtener las imágenes de la retina que son visualizadas en el computador. Para el funcionamiento del sistema automatizado se desarrolló un algoritmo de procesamiento y comparación de imágenes programadas en el software LabVIEW; a través de una conexión con el puerto serial se envía datos desde el computador hacia la tarjeta de desarrollo Arduino Uno, la cual controla los actuadores que son servomotores que direccionan la posición de los lentes y efectúan el movimiento del haz de luz del retinoscopio. Para el cambio automático de lentes se implementó un sistema mecánico adecuado con el propósito de obtener una imagen fija de la retina; se creó una interfaz hombre máquina (HMI), que permite al operador visualizar el proceso del examen en tiempo real. Con la implementación del sistema se determinó el tiempo promedio de la comparación de imágenes, resultando que: ojos sin ametropía se comparan en 162,28 ms, con miopía en 166,02 ms, con hipermetropía en 170,7 ms y con astigmatismo en 174,75 ms, logrando reducir el tiempo promedio empleado para realizar el examen de retinoscopía de 250 a 150 segundos equivalente al 40%. Se concluyó que el tiempo de comparación de las imágenes incrementa en 2,44% mientras mayor sea el daño refractivo. Se recomienda seguir las instrucciones de los autores para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <SISTEMA AUTOMATIZADO>, <EXÁMENES DE RETINOSCOPIA>, <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)>, <ARDUINO (SOFTWARE-HARDWARE)>, <PROCESAMIENTO DE IMÁGENES>, <COEFICIENTE DE CORRELACIÓN>.

## ABSTRACT

An automated system was designed and implemented to perform retinoscopy examinations using artificial vision for the processing of retinal images. The technique of observation and experimentation was used to identify the necessary conditions involved in the retinoscopy examination. A mechanical, electronic and artificial vision design was established for the selection and installation of the necessary components for the automation. A video camera was installed to obtain images of the retina that are displayed on the computer. For the operation of the automated system an algorithm of processing and comparison of images programmed in the LabVIEW software was developed; through a connection to the serial port, data is sent from the computer to the Arduino Uno development board, which controls actuators that are servomotors that direct the position of the lenses and effect the movement of the light beam of the retinoscope. For the automatic change of lenses, a suitable mechanical system was implemented in order to obtain a fixed image of the retina; a human machine interface (HMI) was created, which allows the operator to view the examination process in real time. With the implementation of the system the average time of image comparison was determined, with the result that: eyes without ametropia were compared in 162,28 ms, myopia in 166,02 ms, with farsightedness in 170,7 ms and with astigmatism in 174,75 ms, reducing the time taken to perform the retinoscope examination of 250 to 150 seconds equivalent to 40%. It was concluded that the time of comparison of the images increase in 2,44% while the sea was the refractive damage. It is recommended to follow the instructions of the authors to ensure the correct functioning of the system.

**KEYWORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <AUTOMATED SYSTEM>, <RETINOSCOPE EXAMINATIONS>, <HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)>, <ARDUINO (SOFTWARE-HARDWARE)>, <IMAGE PROCESSING>, <CORRELATION COEFFICIENT>.

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

Según la nota descriptiva N°282 de la Organización Mundial de la Salud (agosto de 2014), se estima que en el mundo hay aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegas y 246 millones presentan baja visión. La principal causa de discapacidad visual a nivel mundial se debe a los errores de refracción (miopía, hipermetropía o astigmatismo) no corregidos, representando el 43%. (Organización Mundial de la Salud, 2014)

En Ecuador mediante el Registro Nacional de Discapacidades realizado por el Ministerio de Salud Pública (abril de 2015), se conoce que existen un total de 416177 personas con algún tipo de discapacidad, de las cuales 48695 personas presentan una discapacidad de tipo visual. En la provincia de Chimborazo 1402 personas presentan discapacidad visual, siendo Riobamba con 705 casos la ciudad con mayor número de personas con discapacidad visual en la provincia. (Ministerio de Salud Pública, 2015)

En lo referente a la evolución de la visión artificial, desde que se inventó la fotografía se ha intentado extraer características físicas de las imágenes. La Fotogrametría dio sus primeros pasos desde imágenes capturadas en globos. La astronomía avanzó enormemente con el análisis de imágenes recibidas por los telescopios. El análisis de radiografías transformó la medicina. Se podrían citar muchos más ejemplos que durante décadas han transformado la percepción de la ciencia con el procesamiento de las imágenes, algunas veces por separado y otras de forma multidisciplinar.

Por tanto, la Visión Artificial o también llamada Visión por Computador, pretende capturar la información visual del entorno físico para extraer características relevantes visuales, utilizando procedimientos automáticos.

Con el incremento de potencia de los microprocesadores, las aplicaciones que pueden resolverse con éxito utilizando sistemas de visión están creciendo rápidamente. La utilización de la visión artificial en la industria abarca un amplio espectro de aplicaciones como el control de procesos, control de calidad y aplicaciones no industriales dentro de estas por ejemplo el control de tráfico, guiado de robots, medicina, etc.

Las tesis realizadas en nuestro país en el campo de la visión artificial se centran en aplicaciones industriales como son el control de procesos, acceso y calidad. Los trabajos de titulación que muestran algún antecedente que sirva de utilidad para la realización del trabajo son:

“Diseño e implementación de un prototipo para el control de acceso mediante el reconocimiento de imágenes del iris empleando la herramienta de desarrollo labview” realizada por Heredia Arroyo, Diego Ramírez y Erick Stalin, estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional. Obtuvieron como resultado que para obtener el patrón del iris la herramienta más adecuada es LabVIEW. (Heredia Arroyo, y otros, 2007)

A pesar de los antecedentes presentados, en nuestro país no se encuentran antecedentes de trabajos de titulación que apliquen visión artificial en el área médica, específicamente en el campo de oftalmología en lo referente a exámenes de retinoscopia. Sin embargo, mediante la investigación realizada se pudo tener conocimiento de los siguientes antecedentes a nivel internacional.

Kolár R, Jan J, Laemmer R y Jirik R, realizaron un: “Enfoque semiautomático para la detección y evaluación de las zonas auto-fluorescentes en imágenes de la retina”, resultados que luego fueron evaluados con oftalmólogos expertos. (Kolár, y otros, 2007)

Con los antecedentes presentados, el presente trabajo de titulación busca desarrollar un prototipo de un sistema automatizado que realice exámenes de retinoscopia empleando visión artificial, para así determinar un posible diagnóstico de un defecto visual mediante el procesamiento de imágenes de la retina del ojo.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El desarrollo del sistema automatizado de exámenes de retinoscopia determinará un posible diagnóstico de miopía, hipermetropía y astigmatismo en un tiempo menor comparado con el examen manual?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las variables que pueden afectar al sistema al momento de adquirir la imagen de la retina del ojo?

¿Cuál será la mejor forma para realizar el cambio automático de lentes de la caja de prueba?

¿Qué limitación tendrá el sistema implementado al momento de realizar el examen de retinoscopia?

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El presente trabajo de titulación implementa un sistema automatizado empleando visión artificial, que pueda ser usado como una herramienta de ayuda para conocer posibles defectos visuales ocasionados por errores refractivos. Para lo cual se trabaja con los siguientes componentes considerados los más importantes dentro del sistema a implementar.

Una cámara que es un dispositivo encargado de capturar las imágenes necesarias para que el sistema pueda procesarlas y compararlas. Un retinoscopio, el cual sirve para proyectar un haz de luz hacia el ojo del usuario. Las lentes de la caja de prueba empleadas para la corrección de las posibles ametropías visuales.

La realización de este trabajo conlleva beneficios, ya que al ser un sistema autónomo capaz de dar un posible diagnóstico de ametropías visuales; podrá ayudar a las personas a estar conscientes de posibles problemas en su visión, mismos que son desconocidos por diversos motivos. Con esto se podrá prevenir que la enfermedad que presente siga avanzando y con el tiempo llegue a un punto que sea irreversible.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

Con la implementación del prototipo de un sistema automatizado que realiza exámenes de retinoscopía mediante el empleo de visión artificial, en la medicina en su área de optometría se presenta como una herramienta de ayuda para el médico al momento de dar un diagnóstico de ametropías visuales, y en casos donde no exista el especialista generar conciencia en las personas sobre las afecciones visuales que presentan mediante los resultados del sistema.

El sistema implementa una cámara que posee una buena resolución, misma que actúa como sensor y ayuda a la captura de imágenes de la retina del ojo a través de un retinoscopio. Las acciones realizadas de forma manual en el examen, son automatizadas mediante un sistema mecánico que permite realizar la proyección del haz de luz del retinoscopio y el cambio de lentes de prueba.

Las imágenes capturadas son enviadas al computador mediante un cable de comunicación, donde serán procesadas y comparadas con ayuda del software LabVIEW, mediante el empleo de un algoritmo de procesamiento y comparación previamente programado.

Para controlar la evolución del proceso se usa una tarjeta de desarrollo Arduino, misma que trabaja en base a la información recibida por los sensores y el computador mediante comunicación serial, que es procesada mediante el programa interno desarrollado, y que permite comandar las acciones de los actuadores (servomotores, foco del retinoscopio).

Se realiza un óptimo control del nivel de luz en el que se desarrolla el sistema usando un sensor digital de intensidad lumínica para garantizar un resultado óptimo. El sistema cuenta con dos interfaces gráficas HMI, la primera desarrollada en el software LabVIEW que permite el control, la supervisión y el monitoreo del examen; y la segunda desarrollada en una pantalla táctil que permite el control de la mesa, así como la supervisión de la variable luz.

Para terminar, se destaca que el trabajo de titulación cumple con los requerimientos en cuanto al control de variables que necesita el examen de retinoscopía, garantizando la eficiencia de su implementación.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema automatizado para realizar exámenes de retinoscopía empleando visión artificial para el procesamiento de imágenes de la retina.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Seleccionar los elementos que componen el sistema acorde a su diseño.
- Diseñar los sistemas: mecánicos y electrónicos de control, para la automatización en cada una de las etapas.
- Programar un algoritmo de procesamiento y comparación de imágenes de la retina.
- Implementar los sistemas de control y automatización.
- Diseñar la interfaz gráfica con los resultados obtenidos del sistema.
- Comprobar el funcionamiento del sistema y analizar los resultados mediante un periodo de prueba.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este capítulo se desarrolla una breve descripción del ojo humano y los defectos que presenta debido a un error refractivo. Se estudia el procedimiento empleado para realizar exámenes de retinoscopía, y las principales características de los resultados obtenidos acorde a la ametropía visual que puedan ser utilizados para trabajar en las áreas de visión artificial y procesamiento de imágenes.

Además, se presenta información puntual de los componentes necesarios para poder diseñar e implementar un prototipo de un sistema automatizado capaz de realizar exámenes de retinoscopía empleando visión artificial, así como del software empleado para desarrollar el presente trabajo de titulación.

#### 1.1 El ojo humano

Los ojos son el elemento fundamental y la base del sentido de la vista en conjunto con el cerebro. El sentido de la vista nos permite reconocer el lugar en el que estamos y los que nos rodea. De ahí la importancia del cuidado y tratamiento que se debe tener con este órgano del cuerpo humano, al momento que presente alguna anomalía en su funcionamiento.

*“Podemos considerar el ojo humano como un sistema óptico auto adaptativo que permite captar la luz procedente del exterior y proyectarla en una superficie sensible a la luz”.*  
(FISICALAB, 2016)



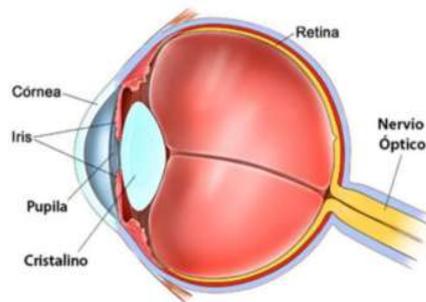
**Figura 1-1:** El ojo humano

Fuente: <https://goo.gl/CDYZI9>

Para poder explicar en qué consiste el prototipo del sistema automatizado para realizar exámenes de retinoscopía, es necesario un conocimiento breve de la anatomía del ojo y los defectos que puede presentar debido a errores de refracción.

## 1.2 Anatomía del ojo humano

El ojo humano tiene como función básica: la transformación de energía lumínica en señales eléctricas, enviadas al cerebro mediante el nervio óptico. Contiene varias partes con funciones definidas, como se muestra en la figura 2-1.



**Figura 2-1:** Partes del ojo

Fuente: <https://goo.gl/NyvFS1>

En general, podemos decir que las funciones de las distintas partes por las que está conformado el ojo son:

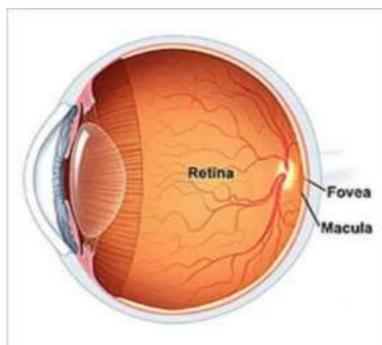
- **El iris:** Es la parte responsable del color de los ojos, cuya función es la de regular la entrada de luz mediante el incremento o disminución de su tamaño dependiendo la intensidad de la luz.
- **La pupila:** Se dilata o contrae de acuerdo a la cantidad de luz existente.
- **El cristalino:** Es el encargado del enfoque del haz de luz en la retina.
- **La córnea:** Parte del ojo que protege al cristalino e iris permitiendo el paso de luz.
- **La retina:** Su función es la de dar información sobre la nitidez y el color.

- **Nervio óptico:** Conduce los impulsos nerviosos, enviados como un mensaje en forma de señales eléctricas al cerebro donde esta información es transformada en sensación visual.

A continuación, se estudia a la retina que es la parte del ojo que refleja una sombra que puede ser observada en la pupila, misma que es analizada en los exámenes de retinoscopía.

### **1.2.1 La retina**

La retina es la pantalla donde se forman las imágenes. Esta se extiende sobre la superficie interna de la parte posterior del globo ocular. Su estructura es muy compleja ya que se trata de una prolongación del sistema nervioso central, en su centro se sitúa la macula, y en el centro de esta, la fovea que es la zona de mayor agudeza visual del ojo, figura 3-1. (Puell, 2012)



**Figura 3-1:** La retina

Fuente: <https://goo.gl/jBGC4q>

En la retinoscopía se observa el movimiento del reflejo en la retina producido por la proyección de un haz de luz en el ojo. Con el estudio de este reflejo se puede conocer el posible defecto visual que presenta el ojo debido a un error de refracción en su vista.

### **1.3 Defectos en la visión**

Cada ojo tiene cierta potencia óptica llamada poder de refracción. En condiciones normales, el ojo permite que las imágenes se formen sobre la retina, por tanto, se habla de un ojo emélope etimológicamente significa: ojo dentro de la medida. Los defectos de la visión producidas por

anomalías del poder refractivo se conocen como ametropías (ojo fuera de la medida), que hacen que la imagen no se proyecte con nitidez sobre la retina. (Michel, 2017)

#### 1.4 Ametropías visuales

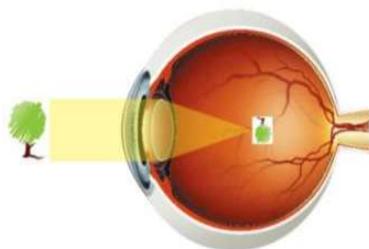
Las ametropías visuales se dividen en dos categorías principales: ametropías esféricas (miopía, hipermetropía) y astigmatismo. Estos son los problemas visuales más comunes que se pueden presentar debido a un error refractivo (ametropía). Dependiendo del problema provoca una visión borrosa o distorsionada misma que puede ser corregida con el uso de lentes correctivos, de contacto y cirugía refractiva en alguno de los casos.

El error refractivo se refiere a un trastorno en el que el ojo tiene una forma irregular que hace que la luz no se concentre correctamente en la retina. (docshop, 2014)

##### 1.4.1 Miopía

La miopía es un error refractivo, esto quiere decir que el ojo no refracta la luz adecuadamente para ver las imágenes lejanas con claridad. En esta condición los objetos cercanos se ven claramente, pero los distantes se ven borrosos. Una miopía alta generalmente se estabiliza entre los 20 y 30 años de edad. (Boyd, 2013)

En la figura 4-1 se muestra un ojo con miopía en la cual se observa que la imagen se refracta en frente de la retina lo cual provoca que la persona vea los objetos distantes borrosos.



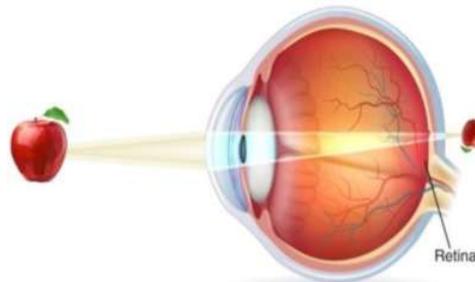
**Figura 4-1:** Ojo con miopía

Fuente: <https://goo.gl/5NJ3As>

Por lo general la miopía se debe a causas de factores genéticos. Algunas miopías permanecen estables, otras en cambio empeoran y luego se estabilizan. Este error de refracción se corrige con lentes negativas. (Molenberg, 2017)

### 1.4.2 Hipermetropía

La hipermetropía es la visión borrosa de los objetos que están próximos, pero nítida cuando miramos cualquier objeto en la distancia. En la figura 5-1 se muestra un ojo con hipermetropía en la cual se observa que la imagen se refracta detrás de la retina lo cual provoca que las personas vean los objetos cercanos borrosos. (CooperVision, 2015)



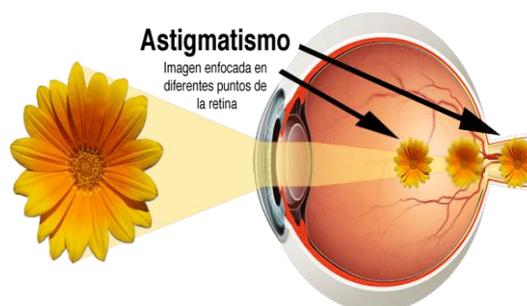
**Figura 5-1:** Ojo con hipermetropía

Fuente: <https://goo.gl/MRmqhy>

Por lo general la hipermetropía se debe a causas de factores genéticos. La mayoría de niños nacen hipermétropes, pero tiende a corregirse con el paso del tiempo. Los dolores de cabeza son frecuentes en la hipermetropía debida al esfuerzo muscular compensatorio. Este error de refracción se corrige con lentes positivas. (Molenberg, 2017)

### 1.4.3 Astigmatismo

El astigmatismo es un tipo de error refractivo, que causa una visión borrosa o distorsionada a distancias cercanas y lejanas. En la figura 6-1 se muestra un ojo con astigmatismo en la cual se observa que la imagen se refracta delante o detrás de la retina lo cual provoca que se vean los objetos cercanos o lejanos borrosos. (Boyd, 2013)



**Figura 6-1:** Ojo con astigmatismo

Fuente: <https://goo.gl/VrL67v>

La causa más frecuente es la genética (hereditaria). En ocasiones el astigmatismo aparece tras una cirugía ocular. El síntoma más importante del astigmatismo es la percepción de imágenes distorsionadas y dolores de cabeza frontales. (Molenberg, 2017)

## 1.5 Retinoscopía

Existen varios métodos y técnicas para determinar errores refractivos en la vista. Uno de ellos es la retinoscopía. *“La retinoscopía es considerada por muchos autores como la técnica más importante de refracción objetiva. Esta técnica, también es conocida como esquiascopía (del griego scía: sombra, scopía: mirar, examinar) consiste en proyectar un haz de luz sobre el ojo a examinar y observar la luz que, es reflejada en su retina, emerge de la pupila.”* (Furlan, y otros, 2009)

En la figura 7-1, se muestra el desarrollo del examen de retinoscopía efectuado por un médico oftalmólogo, con ayuda del retinoscopio proyecta una franja de luz en el ojo generando reflejos en la retina, mismos que son estudiados para su neutralización.



**Figura 7-1:** Examen de retinoscopía

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

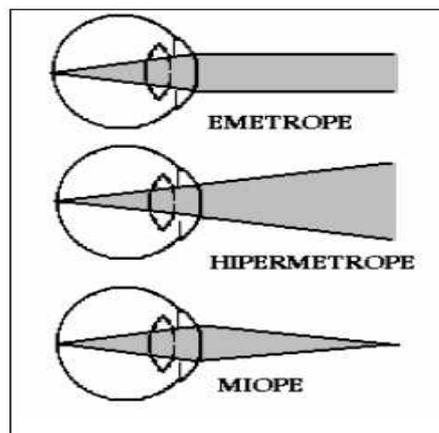
### 1.5.1 Conceptos básicos de la retinoscopía

Para el desarrollo del prototipo del sistema, se describen los conceptos básicos y las principales características que se analizan en el examen de retinoscopía, mismos que serán empleados al momento automatizar el proceso que se realiza de forma manual.

### 1.5.1.1 Reflejo retiniano

En la retinoscopia, la luz del retinoscopio se dirige hacia el ojo y la imagen del filamento se forma en la retina. El reflejo luminoso procedente de la retina y que puede ser observada en la pupila de ojo se denomina reflejo retiniano. Por fuera de la pupila vemos la luz emitida por el retinoscopio, la relación entre estos dos reflejos nos permite determinar el estado refractivo del ojo explorado. (Escuela de tecnología médica, 2012)

En la figura 8-1, se muestra el reflejo retiniano de un ojo emétrope donde los rayos reflejados son paralelos, en un ojo con miopía son convergentes y en un ojo con hipermetropía serán divergentes. (Herranz, 2004)



**Figura 8-1:** Reflejos retinianos

Fuente: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/optometria/retinoscopia.pdf>

### 1.5.1.2 Tipo de sombras

Se denominan sombras de tipo directas cuando el movimiento del haz de luz del retinoscopio y el reflejo retiniano tiene la misma dirección. En el caso contrario, son sombras inversas cuando presentan direcciones opuestas, como se muestra en la figura 9-1.



**Figura 9-1:** Tipos de sombras en retinoscopia

Fuente: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/optometria/retinoscopia.pdf>

### 1.5.1.3 Distancia de trabajo

La distancia desde la cual se proyecta el haz de luz del retinoscopio expresada en centímetros se denomina distancia de trabajo (DT). Para conocer el estado refractivo real del ojo, es necesario compensar esta distancia mediante la adición de una lente positiva conocida como lente de trabajo o RL (lente retinoscópico).

### 1.5.1.4 Lente retinoscópico

Es un lente positivo cuyo valor dióptrico es calculado por la ecuación 1-1:

**Ecuación 1-1:** Ecuación para calcular el valor dióptrico de RL

$$\text{Valor dióptrico} = \frac{1}{DT}$$

El valor es equivalente al inverso de la distancia de trabajo expresada en metros. Se emplea para compensar la distancia de trabajo y así poder reducir los efectos adversos que se producen y conseguir un procedimiento más rápido. En la tabla 1-1 se muestran los valores calculados acorde a la distancia de trabajo.

**Tabla 1-1:** Valores dióptricos según la distancia de trabajo

Distancia de trabajo [cm]	Valor dióptrico a compensar [D]
66	1.50
50	2.00
40	2.50
33	3.00
25	4.00
20	5.00
10	10.00

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** <https://es.slideshare.net/OPTO2012/clase-9-bases-ref>

### 1.5.2 Equipo empleado en retinoscopia

Para desarrollar la automatización del examen se estudia los equipos que se emplean y su funcionalidad, con esto se podrá tener una idea clara al momento seleccionar los componentes y realizar el diseño del prototipo del sistema.

### 1.5.2.1 Retinoscopio

El retinoscopio es un instrumento optométrico manual bastante simple empleado por los oftalmólogos, para emitir una franja luminosa con la que se ilumina la retina del ojo explorado durante la retinoscopia. La iluminación es suministrada por una bombilla de filamento recto la cual atraviesa una lente condensadora y forma una franja al proyectarse. (Specsavers, 2016)

Existen dos tipos de retinoscopios, de acuerdo a la forma del haz de luz que proyectan siendo estos:

- **Retinoscopio de franja:** Proporciona un haz de luz en forma de franja luminosa, siendo los más utilizados, y por tal motivo el que emplearemos en el sistema, figura 10-1.
- **Retinoscopio de punto:** La proyección de la luz es en forma de cono.



**Figura 10-1:** Retinoscopio de franja

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

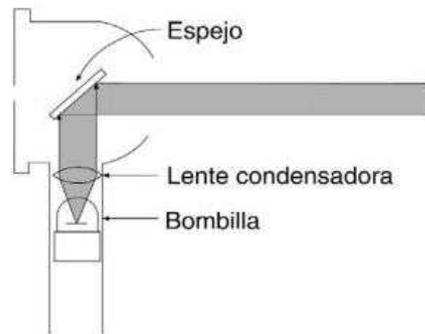
El retinoscopio está constituido por 5 componentes, mismos que en conjunto conforman el sistema de proyección, como se muestra en el grafico 1-1:

Fuente de luz	Lente condensadora	Espejo	Mando de enfoque	Fuente eléctrica
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bombilla con filamento lineal, proyecta una franja de luz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Enfoca los rayos de luz de la bombilla sobre el espejo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proyecta en angulo recto la luz proveniente de la lente condensadora</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Varia la distancia entre la bombilla y la lente condensadora</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baterias recargable o sustituible conectada a una fuente eléctrica</li></ul>

**Gráfico 1-1:** Sistema de proyección del retinoscopio

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En la figura 11-1, se observa cómo el retinoscopio proyecta el haz de luz gracias a su sistema a su sistema de proyección.



**Figura 11-1:** Proyección del haz de luz

**Fuente:** (Solans, y otros, 2015) Capítulo 4; pág. 82

### 1.5.2.2 Caja de prueba

Se trata de una caja con rendijas donde se encuentran los diferentes cristales: esféricos, cilíndricos y prismáticos, figura 12-1. Los cristales esféricos son más numerosos y se dividen en cóncavos (negativos) y convexos (positivos); las potencias de los cristales se miden en dioptrías representadas por la letra D y representan el error refractivo.

Los cristales esféricos empiezan en la 0,25D y aumenta en fracciones de 0,25D hasta las 4D, a partir de ahí se incrementa en 0,5D hasta las 8D, para luego crecer de 1D en 1D hasta la 20D. (Solans, y otros, 2015)



**Figura 12-1:** Caja de lentes de prueba

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir, 2017

### 1.5.2.3 Punto de fijación

Es un punto lumínico de fijación que se ubica a una distancia de entre 3 y 6 metros, sirve para mantener fija la vista en un punto de fijación de lejos durante el procedimiento. Estimulando de esta manera la acomodación, facilitando el análisis de las sombras reflejadas.

### 1.5.3 Realización de la retinoscopia

El procedimiento para la realización del examen de retinoscopia se resume de una forma general en el grafico 2-1:



**Gráfico 2-1:** Proceso del examen de retinoscopia

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

La retinoscopia puede realizarse con la gafa de pruebas y lentes de la caja de pruebas, también se pueden emplear las reglas de retinoscopia que tienen las lentes alineadas en potencia creciente consiguiendo menor el tiempo del desarrollo del procedimiento.

Para realizar el examen es necesario mantener una iluminación baja o penumbra, siendo el estado de la luz un factor importante para poder facilitar la observación de las sombras. Antes de iniciar el examen primero se realiza la acomodación de la persona, una vez ubicada se procede a la fijación de su vista en un punto, mientras mantiene sus dos ojos abiertos, quedando lista para empezar con el examen. (Herranz, 2004)

El examinador con ayuda del retinoscopio procede a la proyección de un haz de luz que se mueve de manera horizontal y vertical en el ojo. Mientras analiza los reflejos mediante la observación del movimiento de los mismos. Acorde al tipo de movimiento el examinador procede a su neutralización mediante la adición de lentes positivas o negativas, según sea el caso. La magnitud del lente es el error de refracción. (AAPOS, 2013)

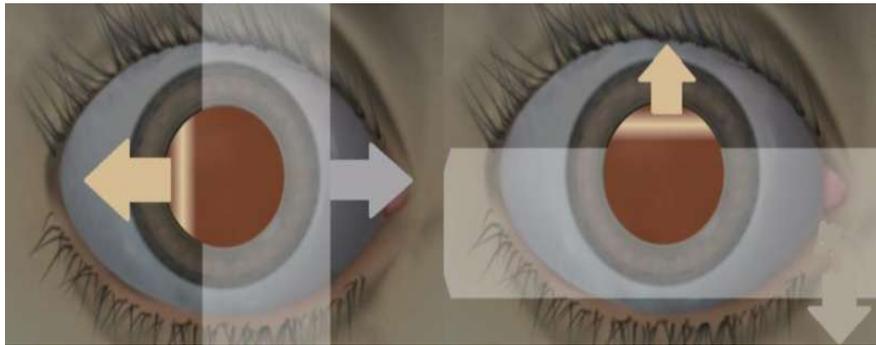
El retinoscopio puede ser empleado con efecto de espejo plano o espejo cóncavo. Con la posición de efecto plano, a continuación, se muestran imágenes tomadas del simulador de retinoscopia desarrollado por el Dr. Diego Torres y Dr. Fernando Labella, para familiarizarse

con el aspecto de las sombras y reflejos que provoca el haz de luz del retinoscopio en el ojo en diferentes situaciones de refracción.

El movimiento de las sombras da un indicio de la posible ametropía existente como lo es la miopía, hipermetropía y astigmatismo.

#### 1.5.3.1 Retinoscopía de un ojo con miopía

Las sombras inversas presentes al momento de proyectar el haz de luz de forma vertical y horizontal, son características de un ojo miope. Como se muestra en la figura 13-1, ojo con miopía de 2.5 D:

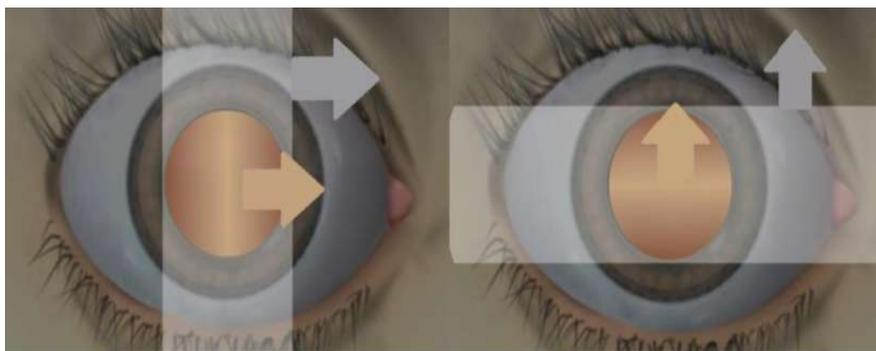


**Figura 13-1:** Sombras ojo miope

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

#### 1.5.3.2 Retinoscopia de un ojo con hipermetropía

En la figura 14-1 se observa un ojo con hipermetropía de 0.75 D, la presencia de sombras directas en la proyección horizontal y vertical del haz de luz, es la característica de un ojo con esta ametropía.



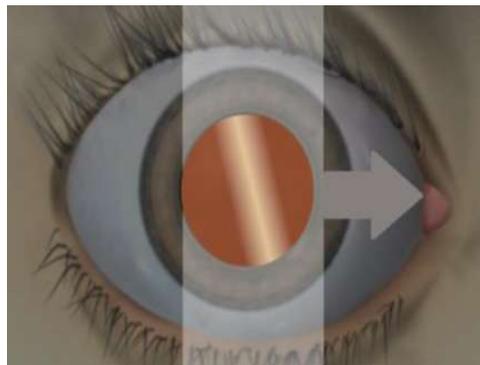
**Figura 14-1:** Sombras ojo hipermetrope

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 1.5.3.3 Retinoscopía de un ojo con astigmatismo

La característica del astigmatismo es la de reconocer dos reflejos distintos en ambos ejes (horizontal y vertical) al proyectar la luz del retinoscopio. Esto se debe a que en ocasiones el astigmatismo se mezcla con miopía e hipermetropía, produciendo algunos tipos de astigmatismo siendo necesaria el análisis de un especialista oftalmólogo para dar un correcto diagnóstico.

Cuando el astigmatismo no es paralelo al movimiento vertical u horizontal, se presenta un movimiento del reflejo no paralelo a la franja de luz proyectada, esta orientación corresponde al eje de astigmatismo. En la figura 15-1 se muestra el reflejo de un tipo de astigmatismo mixto con un eje de  $110^\circ$ .



**Figura 15-1:** Sombra ojo astigmatismo mixto

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## 1.6 Inteligencia artificial

### 1.6.1 Introducción a la inteligencia artificial (IA)

La inteligencia artificial IA es la rama de la ciencia encargada del estudio de la inteligencia en elementos artificiales. Desde el punto de vista de la ingeniería, propone la creación de elementos que posean un comportamiento inteligente. Se dice que un sistema artificial posee inteligencia cuando es capaz de llevar a cabo tareas que, si fuesen realizadas por un humano, se diría que es inteligente. (Pazos, y otros, 2007)

La IA abarca varios campos como: la visión artificial en el que se utilizan técnicas adecuadas para la obtención procesamiento y análisis de cualquier tipo de información obtenida a través de

imágenes digitales. Apoyada con otras ciencias la IA consolida sistemas que actúan de forma racional, adaptándose a un ambiente específico.

## 1.7 Visión artificial

Según (Marr, 1982), “*Visión es un proceso que produce, a partir de imágenes del mundo exterior, una descripción útil para el observador y no tiene información irrelevante*”. El poder interpretar la información mediante el procesamiento de imágenes, ha ocasionado con el transcurso del tiempo y el desarrollo de la tecnología la aparición de nuevas áreas de estudio, como lo es la visión artificial.

### 1.7.1 Definición de visión artificial

La visión artificial es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar y analizar imágenes del mundo real con el fin de producir información que pueda ser tratada por una máquina. (Contaval, 2016)

Se puede entender como la emulación del comportamiento de la visión humana, en el que un sensor generalmente una cámara capta la información visual en forma de imágenes, para poder ser procesadas en el ordenador y extraer sus principales características, finalmente con el análisis de esta información se puede obtener una descripción de la información observada.

En el gráfico 3-1, se puede observar un esquema general de visión artificial, también conocida como visión por computadora o visión computacional.



**Gráfico 3-1:** Esquema general visión artificial

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

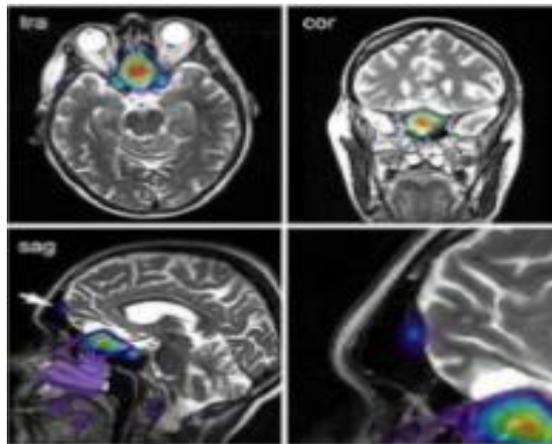
### 1.7.2 Objetivo de la visión artificial

El principal objetivo de la visión artificial es extraer las características principales de una imagen para poder realizar su descripción y posterior interpretación por la computadora. Desde su aparición ha tenido múltiples aplicaciones en: la robótica móvil, el desarrollo de vehículos

autónomos, la interpretación de imágenes aéreas y de satélite, la manufactura, análisis de imágenes para astronomía, entre otras. (González Marcos, y otros, 2006)

Con relación a nuestro trabajo se puede mencionar:

- Análisis e interpretación de imágenes médicas: La visión se aplica para la interpretación de diferentes imágenes médicas como rayos x, tomografías, ultrasonido, resonancia magnética y endoscopia, figura 16-1.

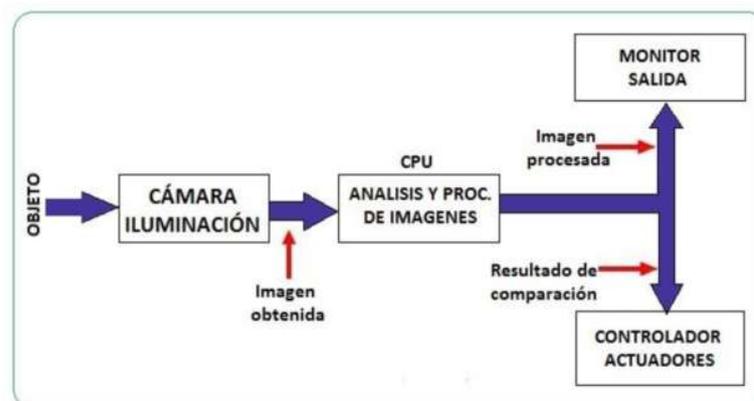


**Figura 16-1:** Aplicación visión artificial en medicina

Fuente: <https://www.slideshare.net/DianaVelezTolentino/vision-artificial-69621844>

### 1.7.3 Componentes de un sistema de visión artificial (SVA)

Con la aplicación de visión artificial se puede automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores, por este motivo es necesario conocer los elementos hardware mínimos para poder implementar un sistema de visión artificial (SVA).



**Figura 17-1:** Diagrama de bloques SVA

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En la figura 17-1, se observa el diagrama de los componentes del sistema. Donde la cámara actúa como un sensor óptico, para obtener la imagen del objeto. Esta imagen es digitalizada y enviada al computador donde es almacenada para su procesamiento. En el monitor de video se puede visualizar las imágenes captadas y el resultado del procesamiento, que es enviado a un controlador para poner en funcionamiento a los actuadores.

#### ***1.7.4 Adquisición de la imagen***

Dentro de la visión artificial la adquisición de imágenes desempeña un papel fundamental al momento de obtener buenos resultados del proceso de reconocimiento. Se trata de conseguir que la imagen sea lo más adecuada posible para poder continuar con el proceso, el equipo empleado para realizar la adquisición de las imágenes son las cámaras. (González Marcos, y otros, 2006)

##### ***1.7.4.1 Cámaras***

La cámara es un dispositivo utilizado para captar la información luminosa de la escena y convertirla en una señal analógica o digital. Las cámaras que más se utilizan en la actualidad son las de tecnología de estado sólido (CCD). (Departamento de Electrónica UAH, 2013)

- Cámaras analógicas: Su salida se produce en forma de video analógico, misma que es digitalizada por una tarjeta que cumpla este propósito. Las cámaras analógicas son baratas y fáciles de interconectar con otro hardware.
- Cámaras digitales: Pueden adquirir imágenes a más altas resoluciones y niveles de grises muy buenos, presentan una serie de ventajas sobre las analógicas debido a que una cámara analógica es más susceptible al ruido.

##### ***1.7.4.2 Factores para la selección de la cámara***

Para la adquisición de imágenes es indispensable elegir una cámara con las características necesarias para obtener una buena transformación de la luz en una señal digital. La selección depende de múltiples factores, entre los más importantes tenemos:

- Cámara digital o analógica: La cámara digital presenta ventajas en relación a la analógica en cuanto a la velocidad y calidad de la imagen que presenta. La cámara

digital al transmitir información directamente en digital, presenta mejor calidad ante el ruido.

- Tipo de salida de video: Existen tres tipos de salidas de video: video compuesto, salida de video digital y salida RGB para las cámaras de color.
- Características del CCD: Es una de las partes más importantes de la cámara, y se constituye en una característica fundamental al momento de seleccionarla. Un CCD es una disposición de millones de dispositivos sensores semiconductores que al ser interconectados generan carga. Un pixel es un bloque constituyente de un sensor CCD.
- Resolución: Mientras la resolución de la cámara sea mayor se podrá distinguir de mejor manera los detalles de los objetos. Al incrementar la resolución también lo hace su precio y tiempo de procesamiento.



**Figura 18-1:** Cámara web HD

Fuente: <https://goo.gl/77Nn67v>

Por otra parte, la iluminación es una parte esencial del sistema, debido a que es necesario resaltar las características más importantes de los objetos a analizar. Esto a su vez ayuda a que las cámaras obtengan una buena captura de la imagen que luego pasa a ser procesada. (Lozano, y otros, 2015)

### ***1.7.5 Procesamiento de imágenes***

El procesamiento de imágenes es un área ligada a la visión artificial, ya que esta última hace uso del procesamiento para completar su proceso. Aunque ambos campos tienen mucho en común, el objetivo final es diferente.

### 1.7.5.1 Objetivo del procesamiento de imágenes

El mejorar la calidad de las imágenes captadas para poder ser utilizadas e interpretadas es el objetivo que se busca con el procesamiento de imágenes. El mejorar las imágenes conlleva la remoción de problemas y el incremento en calidad de ciertas propiedades como son el contraste, color, brillo entre otros.

En el gráfico 4-1, se muestra un esquema generalizado del procesamiento de una imagen, donde la entrada y salida es una imagen con la diferencia que a la salida se presenta a la imagen resaltando sus principales características.



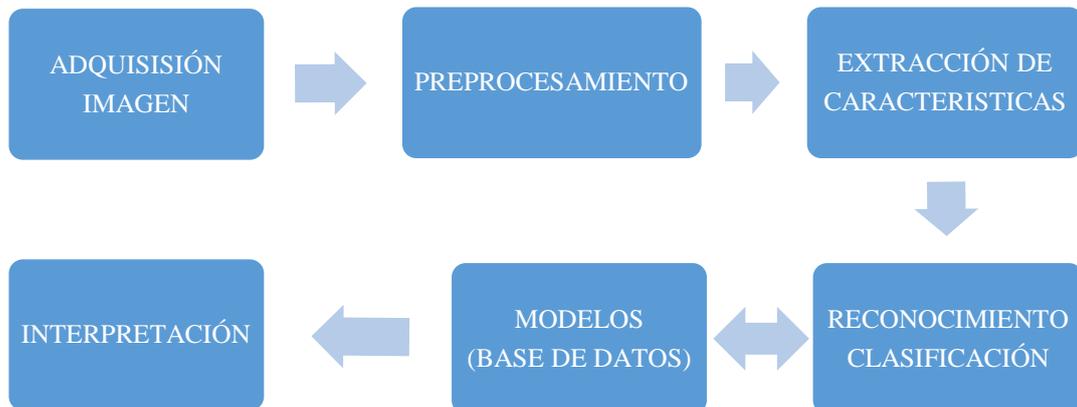
**Gráfico 4-1:** Esquema general del procesamiento de imágenes

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 1.7.5.2 Etapas del procesamiento de imágenes

La visión artificial lleva asociada conceptos de hardware y software para poder entender el ambiente que se quiera procesar, por lo que este tipo de aplicaciones se desarrollan con varios recursos. Con la aplicación de visión artificial se puede automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.

Por este motivo es necesario conocer las distintas etapas que conlleva realizar un procesamiento de imágenes en visión artificial. En el gráfico 5-1 se muestra las etapas que conlleva la realización de este proceso.



**Gráfico 5-1:** Etapas del procesamiento de imágenes

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 1.7.6 Transformaciones morfológicas

Son algunas operaciones simples basadas en la forma de la imagen que se aplican a imágenes binarias. Permite separar unos objetos de otros, obtener contornos, hacer simples a imágenes complejas y eliminar ruidos.

#### 1.7.6.1 Dilatación binaria

Es llamada también crecimiento, llenado, expansión; produce un efecto de engrosamiento en los bordes del objeto, como se muestra en la figura 19-1.

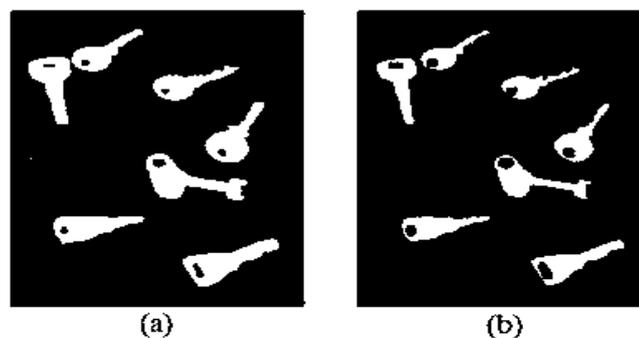


**Figura 19-1:** a) Imagen Original b) Dilatación Binaria

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

#### 1.7.6.2 Erosión binaria

Reduce los contornos de los objetos y se usa para separar los pequeños detalles de los grandes. Como se muestra en la figura 20-1.

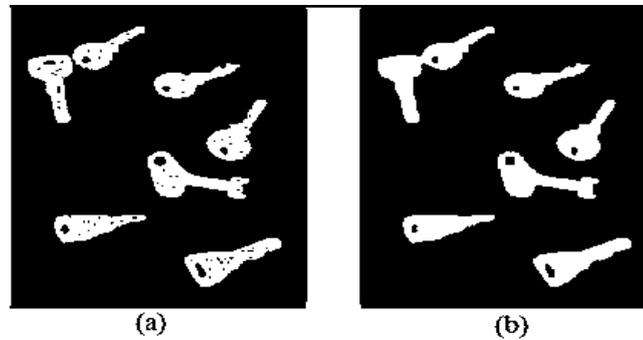


**Figura 20-1:** a) Imagen Original b) Erosión Binaria

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 1.7.6.3 Apertura

Consiste en usar una erosión seguido de una dilatación, esto quiere decir que primero se elimina los ruidos pequeños y luego se afina la imagen obteniendo un resultado sin mucho ruido, como se muestra en la figura 21-1.

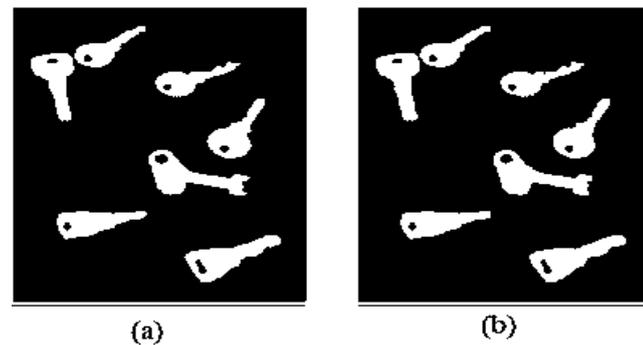


**Figura 21-1:** a) Imagen Original b) Apertura

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 1.7.6.4 Cierre

En el cierre se realiza una dilatación seguido de una erosión; con esto se consigue una imagen totalmente libre de ruido, figura 22-1.



**Figura 22-1:** a) Imagen Original b) Cierre

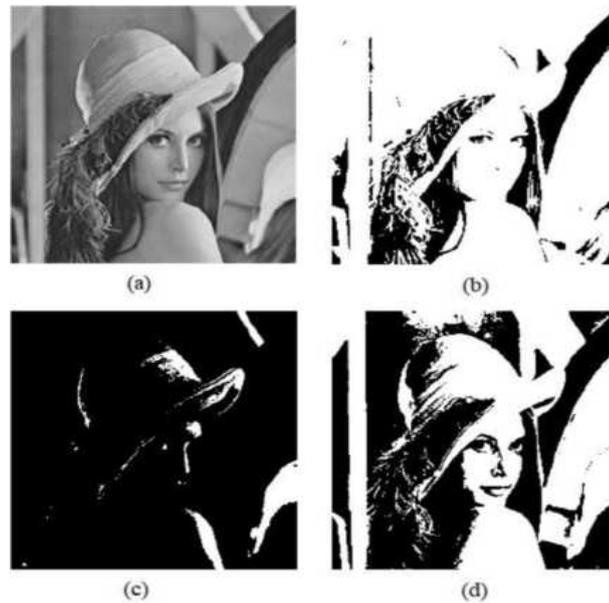
Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 1.7.7 Segmentación

Es un proceso que divide una escena en partes constituyentes u objetos, los objetos se extraen de la imagen para su posterior reconocimiento y análisis.

### 1.7.7.1 Método de umbralización

Es el método más simple de segmentación el cual separa las regiones de una imagen correspondiente a los objetos que queremos analizar. Esta separación se basa en la variación de la intensidad entre los píxeles de los objetos y los píxeles del fondo. En la figura 23-1 se puede ver ejemplos de imágenes con distintos valores de umbral. (Sites Google, 2016)



**Figura 23-1:** a) 256 niveles de gris b) Umbral bajo  
c) Umbral alto d) Umbral intermedio

Fuente: <https://goo.gl/6MThv5>

### 1.7.8 Correlación

Cuando se realiza un análisis de la información de un conjunto de datos, cuyo origen puede ser una base de datos, una de las herramientas más potentes para poder extraer conclusiones es realizar correlaciones. La correlación es una técnica de análisis de información con una base estadística, consiste en analizar la relación entre, al menos dos variables.

Para analizar la relación entre variables se utilizan los llamados coeficientes de correlación. Un paper publicado por Liliana Pacheco y Juan Carlos Correa, de la Universidad Santo Tomas en Colombia, muestra la comparación de intervalos de confianza para el coeficiente de correlación.

La estimación del coeficiente de correlación por medio de intervalos de es importante y para ello se disponen de diversos métodos. Se aclara que el índice está limitado a 2 porque el rango parametral va desde -1 hasta 1, es decir, una longitud equivalente a dos unidades. El rango de

este índice corresponde a 2.1052, si el nivel real se acerca a 100% y/o a la longitud máxima, entonces I será cercano a 2.1052; o si la longitud del intervalo es cercana a cero el I=0.

En la tabla 2-1 se muestra los resultados a partir del índice propuesto, donde se resalta el mejor método para la estimación del coeficiente de correlación.

**Tabla 2-1:** Índice de resumen: tamaño de muestra 100

n=100									
$\rho$	Bootstrap	ArcTanh	LR	Jayaratnam	Z1	Z2	Z3	Z4	P.G.
0	1,6075	1,6138	1,6134	1,6136	<b>1,6143</b>	<b>1,6143</b>	1,6131	1,6131	1,5853
0,1	<b>1,6171</b>	1,6163	1,6158	1,6161	1,6151	1,6151	1,6156	1,6156	1,6107
0,2	1,6185	1,6229	<b>1,6240</b>	1,6227	1,6217	1,6217	1,6204	1,6222	1,5956
0,3	1,6303	1,6318	<b>1,6325</b>	1,6317	1,6289	1,6289	1,6293	1,6293	1,6324
0,4	<b>1,6685</b>	1,6668	1,6669	1,6666	1,6673	1,6672	1,6677	1,6677	1,6621
0,5	1,7048	1,7137	1,7115	1,7135	1,7141	1,7141	1,7145	1,7145	<b>1,7164</b>
0,6	1,7433	1,7503	<b>1,7511</b>	1,7501	1,7469	1,7469	1,7472	1,7472	1,7482
0,7	1,7830	1,7977	1,7944	1,7976	1,7981	1,7980	1,7982	1,7982	<b>1,8071</b>
0,8	1,8286	1,8325	1,8383	1,8343	1,8327	1,8327	1,8329	1,8329	<b>1,8616</b>
0,9	1,9006	1,9076	1,9074	1,9075	1,9057	1,9057	1,9058	1,9058	<b>1,9146</b>

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Fuente: <http://revistas.usta.edu.co/index.php/estadistica/article/viewFile/1100/1335>

En base a su investigación obtuvieron los siguientes resultados: el mejor método para construir los intervalos es el del pivote generalizado con una muestra de 100 datos, lo cual indica que para una correlación de 0.7 hasta 0.9 se tiene una relación fuerte entre las variables comparadas y de 0.9 hasta 1 se tiene una correlación muy fuerte.

En la tabla 3-1, se muestran los resultados de los intervalos para la estimación de correlación.

**Tabla 3-1:** Intervalos para estimar correlación

$r = 1$	Correlación perfecta
$0.8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Correlación alta
$0.4 < r < 0.6$	Correlación moderada
$0.2 < r < 0.4$	Correlación baja
$0 < r < 0.2$	Correlación muy baja
$r = 0$	Correlación nula

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Fuente: <https://goo.gl/Yq13rE>

## 1.8 Tarjetas de desarrollo Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto que cuenta con hardware y software fácil de usar. Cuenta con un entorno de programación IDE desde el cual se pueden escribir las aplicaciones, ejecutarlas y cargarlas directamente a la tarjeta. (xataka, 2015)

En la tabla 4-1, se presenta una comparación de las características y costos entre las tarjetas Arduino más comunes en el mercado, figura 24-1, para poder seleccionar las más adecuadas según los requerimientos de nuestro sistema.

**Tabla 4-1:** Comparación entre tarjetas de desarrollo Arduino

Descripción	Arduino Nano	Arduino Uno	Arduino Mega 2560
Costo en dólares	\$ 15	\$ 25	\$ 45
Procesador	Atmega328P	Atmega328P	Atmega2560
Voltaje de operación	5 V / 7-9 V	5 V / 7-12 V	5 V / 7-12 V
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Entradas / salidas analógicas	8/0	6/0	16/0
Pines digitales / pwm	14/6	14/6	54/15
EEPROM [kb]	1	1	4
SRAM [kb]	2	2	8
FLASH [kb]	32	32	256
USB	Mini	Regular	Regular
UART	1	1	4

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>



**Figura 24-1:** Modelos de tarjetas Arduino

**Fuente:** <https://goo.gl/QuBjAE>

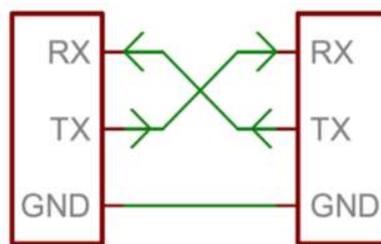
### 1.8.1 Comunicaciones de las tarjetas Arduino

Las tarjetas de desarrollo Arduino realizan sus comunicaciones mediante protocolos, mismos que ayudan a la transmisión y recepción de datos que luego serán interpretados. Estos son:

#### 1.8.1.1 UART

Es uno de los protocolos serie más utilizados. La comunicación es asíncrona, es decir que no necesita sincronización con una señal de reloj para transmitir sus datos. Usa dos líneas de comunicación: una línea de datos simple para recibir datos (RX) y otra para transmitir (TX). (Aprendiendo Arduino, 2014)

La intercomunicación entre dos dispositivos mediante comunicación serie, se da al cruzar las líneas de datos entre sí, es decir, la línea RX del primer dispositivo va al TX del segundo y viceversa, como se muestra en la figura 25-1.



**Figura 25-1:** Comunicación UART

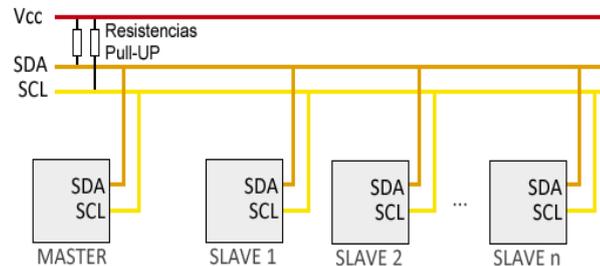
Fuente: <https://goo.gl/VZyDjs>

Para lograr esta comunicación es necesario que en ambos dispositivos las características como: velocidad de transmisión, bits de datos, bits de parada y paridad sean iguales. La velocidad de transmisión serial se mide en baudios, unidad que indica el número de bits por segundo que se transfieren. El estándar para comunicar entre sí a dos placas Arduino es 9600 baudios, mientras que para una comunicación entre Arduino y el computador es recomendable 115200 baudios.

#### 1.8.1.2 I2C

Es un protocolo de comunicación síncrono, es decir, necesita una señal de reloj para poder establecer la intercomunicación entre dispositivos con I2C. Se utiliza solo 2 cables, uno para la señal de reloj (SCL) y otro para el dato (SDA). En este tipo de comunicación existe un maestro y esclavos, ambos envían datos por el mismo cable. Para identificar al esclavo conectado se emplea un direccionamiento único para cada uno de ellos. (Aprendiendo Arduino, 2014)

En la figura 26-1, se muestra el esquema de una comunicación I2C en la que el maestro y los esclavos se encuentran conectados a una misma línea de datos. La velocidad de esta comunicación puede ser modificada mediante el cambio del valor de las resistencias.



**Figura 26-1:** Comunicación I2C

Fuente: <https://goo.gl/eT4FgC>

## 1.9 Interfaz Hombre Máquina (HMI)

El HMI es una interfaz que permite la interacción entre el operador y la máquina, mediante la representación gráfica del proceso que está siendo controlado. En la actualidad especialmente en el campo industrial la mayoría de sus procesos son supervisados con un HMI, para poder dar seguimiento de las etapas, mediante el control y monitoreo de alarmas.

En la actualidad existe una amplia gama de interfaces hombre máquina, siendo de dos tipos:

- Sistemas de software que son los desarrollados en el computador.
- Sistemas hardware como dispositivos móviles, pantallas táctiles, entre otros.



**Figura 27-1:** HMI tipo software desarrollado en LabVIEW

Fuente: <https://goo.gl/8m4vgS>

La figura 27-1, muestra una HMI tipo software desarrollada en el computador con el software LabVIEW para el control de un proceso.

Las pantallas táctiles de la marca Nextion, figura 28-1, son una solución para proporcionar una interfaz de control y visualización entre un humano, la máquina y un proceso. Presenta la ventaja de utilizar un puerto serie para su comunicación, permitiendo la interacción con controladores como la tarjeta Arduino.

Existe una amplia disponibilidad en modelos y tamaños. Dependiendo de la aplicación se puede utilizar pantallas básicas o avanzadas, estas últimas poseen incorporado un reloj de tiempo real.



**Figura 28-1:** Pantalla Nextion

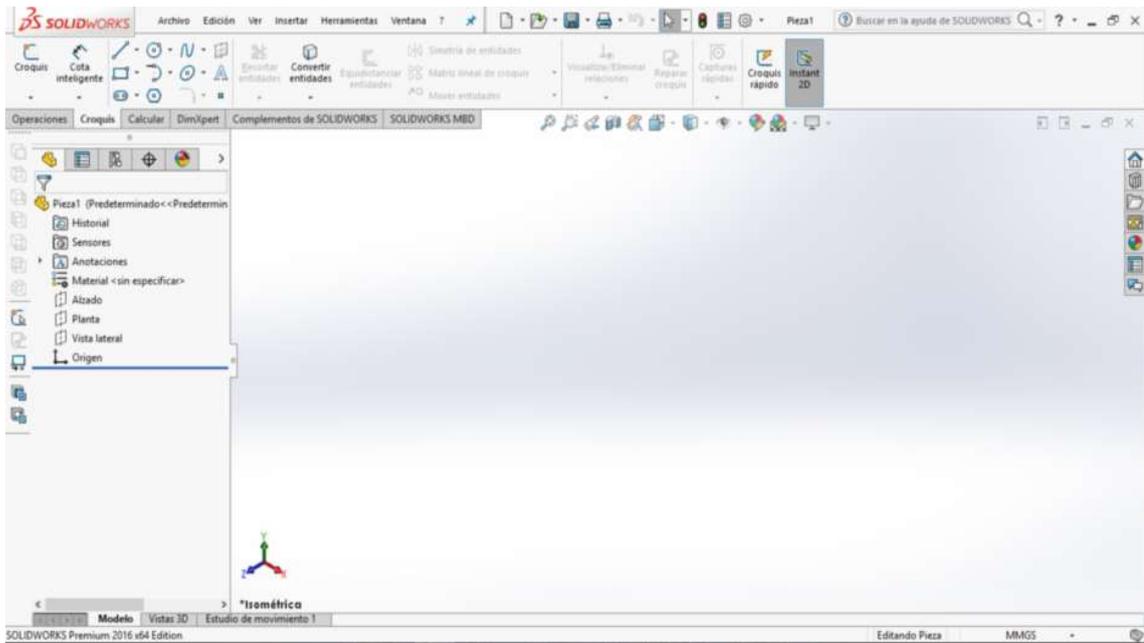
Fuente: <https://goo.gl/Abmykp>

## 1.10 Software empleado en el sistema

A continuación, se presenta los softwares empleados para la realización del sistema automatizado de retinoscopía. Se describe el entorno y la forma de programación de cada uno de ellos.

### 1.10.1 Solidworks

Se utiliza el software Solidworks para el diseño de los mecanismos del sistema, ya que es un entorno potente utilizado en distintas áreas de ingeniería que permite el diseño, modelado y la simulación de los prototipos diseñados. En la figura 29-1 se muestra el entorno de SolidWorks 2016 en el que se diseñan los mecanismos.



**Figura 29-1:** Entorno de SolidWorks 2016

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 1.10.2 Arduino IDE

Arduino IDE es el entorno de programación de las tarjetas de desarrollo Arduino, compatible con los sistemas operativos Windows, Mac y Linux. El software se encuentra publicado como herramienta de código abierto, puede ser descargado desde la página oficial de ARDUINO al momento se encuentra disponible la versión 1.8.5, figura 30-1.



**Figura 30-1:** Arduino IDE

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

El lenguaje de programación de Arduino está basado en C++, su estructura es simple y se compone de al menos dos partes en las que se encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones. Permite el manejo de funciones para facilitar el desarrollo de las operaciones y reducir la extensión del programa. Cuenta además con un sin número de librerías desarrolladas con el fin de permitir la interacción con el hardware.

### ***1.10.3 LabVIEW***

En la actualidad las técnicas de procesamiento y análisis de imágenes han evolucionado a tal punto de realizar una evaluación del entorno en tiempo real. El sistema operativo de mayor uso ha sido Windows el cual soporta distintas variedades de software destinados al procesamiento de imágenes. (Lozano, y otros, 2015)

Los programas de visión artificial profesionales están formados por el entorno visual de pruebas, procesado y estudio, lenguajes de programación y librerías de desarrollo. Además, tienen un entorno donde se puede capturar la imagen y procesarla con distintos algoritmos y determinar que funciones se van a utilizar. (González Marcos, y otros, 2006)

Creado por National Instruments, LabVIEW es un lenguaje de programación que proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de ingeniería basados en sistemas de medición como: monitoreo de procesos, aplicaciones de control, procesamiento de señales, manipulación de imágenes, automatización, interfaces de usuario mediante una consola interna basada en software, entre otras. (Universidad de Cantabria, 2016)



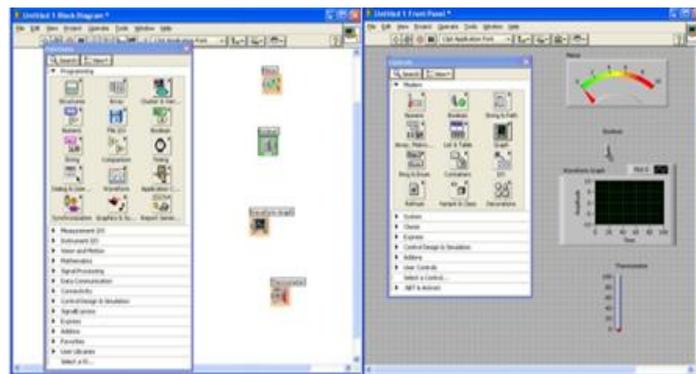
**Figura 31-1:** Logo LabVIEW 2014

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Presenta compatibilidad con herramientas de desarrollo similares, permitiendo trabajar con programas como Matlab. La integración de hardware como tarjetas de medición, adquisición y

procesamiento de datos, hacen de LabVIEW una herramienta potente para el desarrollo de aplicaciones. (SlidePlayer, 2014)

LabVIEW emplea un lenguaje gráfico de programación, mediante iconos que representan funcionalidades, unidos entre ellos mediante cables que representan los flujos de datos. Los programas se crean en archivos llamados Instrumentos Virtuales con extensión VI. La programación de LabVIEW consta de: un panel frontal donde se diseña la interfaz de usuario y se ubican los controles e indicadores; y un diagrama de bloques donde se encuentran las funciones y código. En la figura 32-1, se muestra el entorno de LabVIEW.



**Figura 32-1:** Entorno de LabVIEW

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

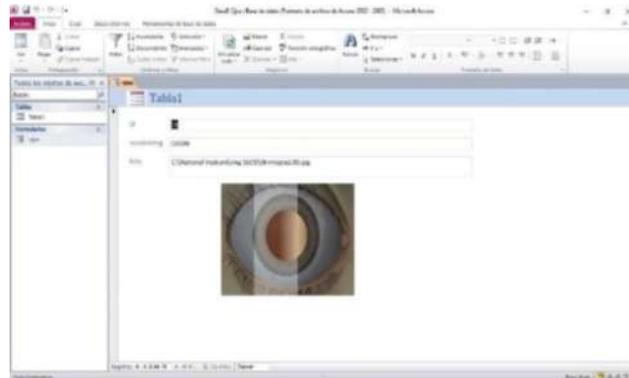
Para el desarrollo de aplicaciones de visión en el entorno de desarrollo LabVIEW es necesario instalar los distintos complementos desarrollados para el software como: NI DAQmx, NI VISA, Software NI Vision Acquisition, Módulo NI Vision Development, LabVIEW Database Connectivity Toolkit, Labview Report Generation Toolkit, entre otros, que ayudarán en la realización del sistema.

#### **1.10.4 Microsoft Access**

Es un software que forma parte de Microsoft Office, permite crear y gestionar una base de datos. Siendo capaz de trabajar en sí misma o bien con conexión hacia otros lenguajes de programación como: Visual Studio, LabVIEW, entre otros. Permite el desarrollo de aplicaciones formadas por formularios de Windows y código Visual Basic para Aplicaciones VBA.

En procesamiento de imágenes enfocado a la comparación, se requiere un software que ayude con la gestión de las imágenes a ser comparadas mediante la creación de una base de datos en la que se encuentren almacenadas. Access ofrece la posibilidad de crear ficheros udl que pueden

ser consultados por programas desarrollados en LabVIEW. La figura 33-1 muestra la pantalla principal de Microsoft Access.



**Figura 33-1:** Pantalla principal Microsoft Access

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 1.10.5 Nextion Editor

Nextion Editor es el software de programación propio de las pantallas táctiles HMI Nextion, actualmente se encuentra en su versión 047 y puede ser descargada de la página oficial de HETPRO. Su entorno de programación es sencillo y posee una semejanza con el entorno de Visual Basic, figura 34-1.

El editor tiene componentes masivos tales como botones, texto, barra de progreso, slider, panel de instrumentos, entre otros, para enriquecer el diseño del interfaz. Además, ofrece la posibilidad de simular la interfaz diseñada previo a la carga del programa en la pantalla mediante una tarjeta de memoria. (HETPRO, 2015)



**Figura 34-1:** Entorno de programación Nextion Editor

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## 1.11 Dispositivos y componentes del sistema

### 1.11.1 Sensores

El sensor es el elemento encargado dentro de un sistema de control, de la medición de las magnitudes físicas como: intensidad lumínica, caudal, presión, fuerza, color, entre otras; magnitudes que son convertidas en señales eléctricas para que sean interpretadas por dispositivos de control.

#### 1.11.1.1 Sensor de luz digital BH-1750

En la actualidad gracias al desarrollo de la tecnología, existen en el mercado una variedad de sensores del tipo digital que ayudan en la determinación de la intensidad lumínica. El costo de los mismo incrementa debido a que estos sensores vienen encapsulados reduciendo su tamaño y su respuesta es directamente interpretada por el controlador. En la figura 35-1, se muestra un sensor digital de luz BH-1750, y sus características se encuentran en la tabla 5-1.



**Figura 35-1:** Sensor BH-1750

Fuente: <https://goo.gl/gqKqON>

**Tabla 5-1:** Características del sensor BH-1750

Descripción	Características
Tipo de sensor	Digital
Voltaje de operación	3-5 V
Corriente	7 mA
Interfaz	I2C
Rango de medición	1-65535 lux
Rechazo a ruido	50-60 Hz

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Fuente: <https://goo.gl/HvXHoJ>

Este sensor entrega una salida digital en formato I2C, debido a que posee un conversor interno de 16 bits. Su desempeño es mejor ya que entrega la intensidad luminosa en unidades Lux (Lx). La ficha técnica se encuentra en la DataSheet del ANEXO A.

### **1.11.2 Módulos**

La necesidad de reducir el tamaño de los componentes electrónicos, ha hecho que cada vez se desarrollen elementos de menor tamaño logrando encapsular todos en un solo modulo que es capaz de realizar múltiples funciones como: convertir voltaje, reproducir sonido, lectura y transmisión de datos, entre otros.

#### **1.11.2.1 Módulo convertidor de voltaje STEP DOWN LM2596**

Este regulador permite la regulación a un voltaje constante dc a partir de una fuente de mayor voltaje, tiene incorporado el integrado LM2596. Su eficiencia es mejor en comparación que la de un regulador lineal, al ser una fuente conmutada aprovecha de mejor manera la energía en lugar de desperdiciarla en forma de calor.

Esta ventaja además de su costo y tamaño ayudaron a la elección de este módulo para la regulación del voltaje que alimenta a la placa electrónica, sensores y actuadores del sistema.



**Figura 36-1:** Módulo LM2596

Fuente: <https://goo.gl/YT4k5Y>

La figura 36-1 muestra el módulo LM2596, las características del módulo se encuentran detalladas en la tabla 6-1 y el DataSheet en el Anexo B.

**Tabla 6-1:** Características Módulo LM2596

Descripción	Características
Regulador	LM2596
Voltaje de entrada	4.5 - 40 V
Voltaje de salida	1.5 - 35 V (Ajustable)
Dimensiones	43x20x14 mm
Frecuencia de switching	150 kHz

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** <http://www.uconnectme.com/producto/fuente-dc-dc-step-down-con-lm2596/>

#### 1.11.2.2 Módulo de sonido WTV020M01

Es un componente de bajo costo, compatible con la tarjeta de desarrollo Arduino. Su tamaño es compacto como se puede observar en la figura 37-1, facilitando su implementación.



**Figura 37-1:** Módulo WTV020M01

**Fuente:** <https://goo.gl/J1Y14N>

Las características del módulo se presentan en la tabla 7-1 tomadas del DataSheet que se encuentra en el Anexo C, además como consideraciones adicionales cabe decir que el módulo requiere una tarjeta de memoria microSD de hasta 1 GB de capacidad, misma que debe estar en formato FAT32 y debe contener los archivos de audio en formato AD4 o WAV, numeradas desde el archivo 0000.ad4 u 0000.wav.

**Tabla 7-1:** Características del módulo WTV020M01

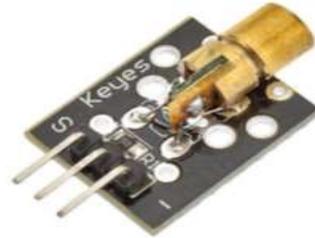
Descripción	Características
Voltaje de trabajo	2.7-3.5 V
Consumo de corriente	3 uA
Soporte de memoria	Máximo tarjeta SD 1GB
Tasa de muestreo	6kHz – 36 KHZ
Convertor analógico digital	16 bits

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Widgets/WTV020SD.pdf>

### 1.11.2.3 Módulo láser KY-008

Este módulo emite un haz de láser, al ser compatible con Arduino se lo puede conectar al pin de 5V directamente sin la necesidad de una fuente adicional. En la figura 38-1 se puede apreciar el módulo laser.



**Figura 38-1:** Módulo KY-008

Fuente: <https://goo.gl/4HrhfW>

Las características técnicas del módulo se presentan en la tabla 8-1, el DataSheet se lo puede encontrar en el Anexo D.

**Tabla 8-1:** Características Técnicas Módulo KY-008

Descripción	Características
Voltaje de funcionamiento	5 V
Longitud de onda	650 nm
Potencia	5 mW
Color	Rojo
Material	PCB
Dimensiones	2.3x1.5x0.9 cm
Peso	2 g

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Fuente: <http://milyunpartes.com/actuadores/27-arduino-ky-008-emisor-laser.html>

### 1.11.3 Fuente de alimentación ATX

La fuente ATX es un dispositivo que se integra en el gabinete de la computadora, figura 39-1, se encarga de transformar la corriente alterna de la línea eléctrica en corriente directa; misma que es utilizada por los elementos electrónicos y eléctricos de la computadora.

Su funcionalidad es la de suministrar la cantidad de corriente y voltaje que los dispositivos requieren, así como protegerlos de problemas en el suministro eléctrico.



**Figura 39-1:** Fuente de alimentación ATX

Fuente: <https://goo.gl/q9mFdK>

### 1.11.3.1 Características generales de la fuente ATX

La fuente ATX presenta las siguientes características:

- Es de encendido digital, ya que cuenta con un pulsador que al activarse regresa a su estado inicial.
- Algunos modelos integran un interruptor trasero para evitar el consumo innecesario de energía eléctrica durante el estado de reposo.
- Tienen salidas a 3.3V, 5V, 12V y -12V mismos que siguen un código de colores normalizado como se muestra en la figura 34-1.
- Al ser una fuente conmutada es bastante eficiente energéticamente.

Color	Signal	Pin	Pin	Signal	Color
Orange	+3.3 V	1	13	+3.3 V	Orange
Orange	+3.3 V	2	14	+3.3 V sense	Brown
Black	Ground	3	15	-12 V	Blue
Red	+5 V	4	16	Ground	Black
Black	Ground	5	17	Power on	Green
Red	+5 V	6	18	Ground	Black
Black	Ground	7	19	Ground	Black
Grey	Power good	8	20	Reserved	N/C
Purple	+5 V standby	9	21	+5 V	Red
Yellow	+12 V	10	22	+5 V	Red
Yellow	+12 V	11	23	+5 V	Red
Orange	+3.3 V	12	24	Ground	Black

+3.3V		+3.3V
+3.3V		-12V
COM		COM
+5V		PS_ON#
COM		COM
+5V		COM
COM		COM
WR_ON		NC
+5VSB		+5V
+12V		+5V
+12V		+5V
+3.3V		COM
COM		+12V
COM		+12V

**Figura 40-1:** Código de colores fuente ATX

Fuente: <https://www.prometec.net/wp-content/uploads/2015/01/pinout.jpg>

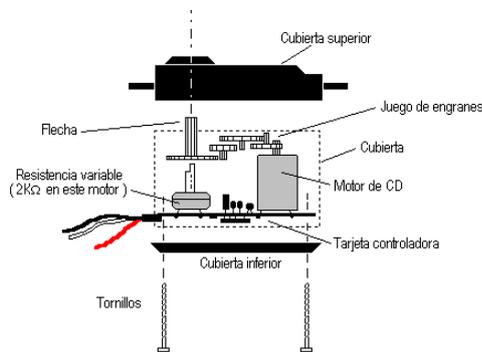
La alimentación del sistema va a ser suministrada directamente de la fuente ATX de 750 W con la que cuenta el computador instalado. Se procedió a alimentar de esta forma el sistema debido a

que los resultados de consumo de corriente del sistema, expuestos en el capítulo 3 determinaron que no existe una gran demanda de corriente por lo que se puede realizar una conexión directa sin que el funcionamiento del computador sea alterado.

#### 1.11.4 Actuadores

##### 1.11.4.1 Servomotores

Un servomotor es un tipo especial de motor con características especiales de control de posición. Consisten en un motor eléctrico, un juego de engranes y una tarjeta de control, todo confinado dentro de una carcasa de plástico, figura 41-1. Su característica principal es que no están hechos para rotaciones continuas, ya que son dispositivos principalmente de posicionamiento.



**Figura 41-1:** Partes de un servomotor

Fuente: <https://goo.gl/uGVCnr>

Los servos y micro servos son muy utilizados en robótica ya que su funcionamiento y control de ángulo son precisos. A diferencia de los motores comunes que poseen dos cables, los servomotores tienen tres cables que tienen casi siempre los mismos colores: positivo (rojo), Ground (negro o marrón), señal de control (amarillo, blanco o naranja). (García González, 2016)



**Figura 42-1:** Micro Servo

Fuente: <https://goo.gl/UPFPt5>

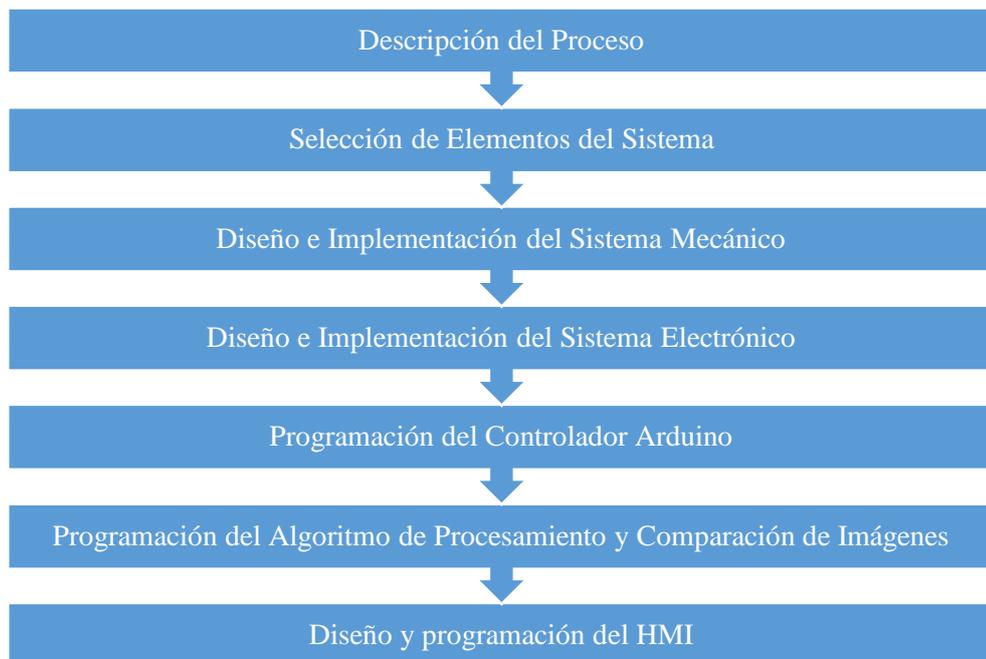
## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Introducción

En este capítulo una vez analizada la parte teórica, se presenta la descripción del proceso, la selección de los elementos del sistema, el diseño y la implementación de los sistemas mecánicos y electrónicos de control para la automatización de las etapas, la programación del algoritmo de procesamiento y comparación de imágenes, y la interfaz gráfica con los resultados del sistema.

Se aplica una metodología experimental, a partir de métodos mixtos, para obtener resultados cuantitativos y cualitativos. En el gráfico 1-2, se muestra las etapas, para alcanzar estos objetivos.



**Gráfico 1-2:** Etapas del diseño e implementación del sistema

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Se emplea la técnica de observación y experimentación, para recolectar información del examen de retinoscopía; para la elaboración de cuadros y gráficos se utiliza la técnica de análisis de contenido.

## 2.2 Diseño e Implementación del Sistema Automatizado de Retinoscopia

El diseño y la implementación del sistema automatizado para realizar exámenes de retinoscopia empleando visión artificial, se realizó en la ciudad de Latacunga en las instalaciones de Ópticas Cotopaxi ubicada en las calles Dos de mayo 644 y Pasaje Evangelina Herrera, figura 1-2.



**Figura 1-2:** Ópticas Cotopaxi

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## 2.3 Descripción del Proceso

Para llegar al diseño específico del sistema, se idealiza el funcionamiento del mismo de forma general. Llegando a implementar el sistema como un prototipo.



**Gráfico 2-2:** Descripción del proceso

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

El proceso inicia con el ingreso del usuario, se procede a adquirir la imagen de las sombras de su retina mediante una cámara, estas imágenes son procesadas para mejorar los detalles relevantes, que luego se emplean en la comparación con imágenes almacenadas en una base de datos, la interacción de sistemas mecánicos y electrónicos ayudan a conseguir los resultados del sistema.

## 2.4 Selección de Elementos del Sistema

A continuación, una vez analizado el proceso, se presenta la selección de los dispositivos requeridos para la implementación del sistema automatizado. Se aplicó el método inductivo para la recolección de información de las características y costos, buscando las mejores opciones para un óptimo funcionamiento. Así se describen estos dispositivos y una reseña de su selección en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Selección elementos del sistema

<b>Dispositivo</b>	<b>Descripción</b>
Mesa	La mesa se seleccionó debido a que ayuda a facilitar la acomodación del usuario. Posee un sistema eléctrico interno que permite controlar su movimiento.
Retinoscopio	El retinoscopio se selecciona debido a que es el dispositivo principal empleado en el examen de retinoscopía.
Lentes de prueba	La caja de lentes de prueba se selecciona debido a que presenta una amplia variedad de lentes empleadas para neutralizar el reflejo retiniano.
Computador	Se selecciona un computador marca Winstar con un procesador Intel Core i3 y una memoria RAM de 4GB, debido a las características que presenta, hace que tenga un rendimiento apropiado para el sistema de visión artificial, y la ejecución del software LabVIEW.
Cámara Web	Se selecciona la cámara web marca Genius F100, debido a que cuenta con un sensor de imagen de 1080p Full HD pixel CMOS que ayuda a tener una mejor adquisición de imágenes con una resolución de 12MP. El empleo de una cámara web con una menor resolución no facilita una buena obtención de las características de la imagen, aunque su precio sea menor a la escogida ya que se pueden encontrar cámaras web desde

	<p>\$15. El precio de la cámara en el mercado es de \$75, a pesar de la existencia de cámaras de mayor resolución y cuyos precios bordean los \$150, para la implementación de nuestro sistema se elige la cámara Genius F100 debido a que sus características son suficientes para el proceso de adquisición de imagen.</p>
Controlador	<p>Se selecciona las tarjetas de desarrollo Arduino UNO y NANO, para el control del sistema debido a que su procesador ATMEGA 328P tiene una buena capacidad de procesamiento de las instrucciones, además cuentan con una memoria de 32Kb, suficiente para poder cargar los programas en las tarjetas. Tienen los suficientes pines de conexión analógicos y digitales para conectar los elementos del sistema, de los cuales se emplean en Arduino UNO 10 pines digitales y 2 analógicos; y 5 pines digitales y 2 analógicos del Arduino NANO. Su precio en el mercado es de \$40 por las dos tarjetas de desarrollo, en comparación con el controlador Raspberry Pi el cual posee muchas funcionalidades y su precio es cercano a \$100. No se optó en seleccionar este controlador debido a que su empleo en el sistema conlleva un desperdicio de recursos además de un incremento en el costo final.</p>
Sensor de luz	<p>Para el censo de la iluminación del ambiente en el que funciona el sistema, se selecciona el sensor digital modelo BH-1750 debido a que posee un mejor rango de medición de 1-65535 lux. Además, cuenta con comunicación I2C y su medida se presenta directamente en luxes. Su costo es de \$17, precio que es justificado por las características que presenta en comparación con un sensor común de medición de luz como el LDR que se puede encontrar desde \$1, pero requiere una previa etapa de acondicionamiento para conocer su medida.</p>
Módulo láser	<p>Se selecciona el módulo laser modelo KY-008 para que el sistema cuente con un punto de fijación visual, facilitando el desarrollo del examen. Su compatibilidad con Arduino, la facilidad de conexión a la fuente de 5V del mismo y su precio de \$2,50 justifican su selección.</p>
Servomotores	<p>Se seleccionan como actuadores a servomotores que ayudan para lograr el movimiento del sistema mecánico. Se emplean 3 micro servos modelo Mg90s con dientes de plástico debido a que su costo es de \$9 en comparación con servo motores con diente de metal cuyo precio es de \$15. La diferencia se encuentra solo en precio ya que en funcionamiento no afecta su utilización. Su disponibilidad es amplia en</p>

	el mercado y su control se realiza mediante Arduino de una manera sencilla.
Pantalla Táctil HMI	La pantalla permite el control de la mesa y supervisión del estado y desarrollo del examen. Se selecciona la pantalla táctil Nextion debido a que su programación es realizada mediante un software libre propio de la pantalla. Posee un protocolo de comunicación serial ayudando a la interacción con Arduino, en el mercado existe una amplia gama de modelos y su precio es de \$40 para una pantalla de 3,2 pulgadas en relación a otras pantallas cuyo precio varía entre \$60 a \$100.
Módulo de sonido	Se selecciona este módulo para reproducir señales auditivas, que permitan dotar de indicadores al sistema. Su tamaño es compacto y precio de \$12 justifican su selección, debido a que en el mercado existen módulos de mayor precio entre \$20 y \$30 pero que cumplen con la funcionalidad del módulo que se selecciona.
Fuente alimentación	Se selecciona la fuente ATX integrada en el computador debido a que provee una potencia de 750 W, potencia necesaria para el funcionamiento del computador y los demás dispositivos electrónicos del sistema, sin que afecte su funcionamiento.

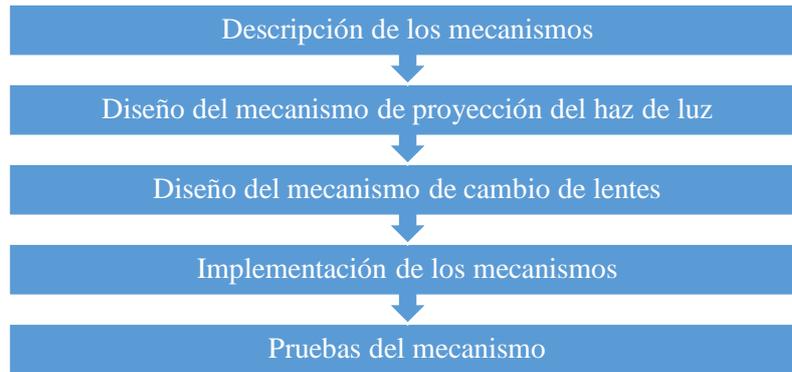
**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## 2.5 Diseño e Implementación del Sistema Mecánico

Se recurrió al método heurístico para realizar el diseño de los mecanismos, la disposición del sensor y los actuadores; el método se basa en el uso de reglas y conocimientos empíricos para explorar procedimientos que permitan hallar la solución. Con la ayuda de este método y la aplicación de las técnicas de diseño adquiridas en la carrera se logró el diseño de los mecanismos que van a ser implementados en el sistema.

En el gráfico 3-2, se muestra un diagrama de bloques con las etapas para el diseño de los mecanismos.



**Gráfico 3-2:** Etapas del diseño e implementación del sistema mecánico

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.5.1 Descripción de los mecanismos

Una vez analizado el proceso, mediante la observación del desarrollo del mismo en forma manual se procede a la descripción de los mecanismos que repliquen las acciones realizadas por el médico optometrista durante el desarrollo del examen de retinoscopia, y estas sean realizadas de forma autónoma en nuestro sistema con ayuda de actuadores servomotores. Siendo estos:

- Proyección del haz de luz hacia el ojo del usuario, mediante el retinoscopio.
- Cambio de lentes oftálmicas.

En el sistema el mecanismo de la mesa, figura 2-2, cumple una función importante para el correcto desarrollo del examen ya que ayuda a colocar en una posición cómoda al usuario mientras se realiza el proceso. Los planos de la mesa implementada en el sistema se encuentran detallados en el Anexo E.

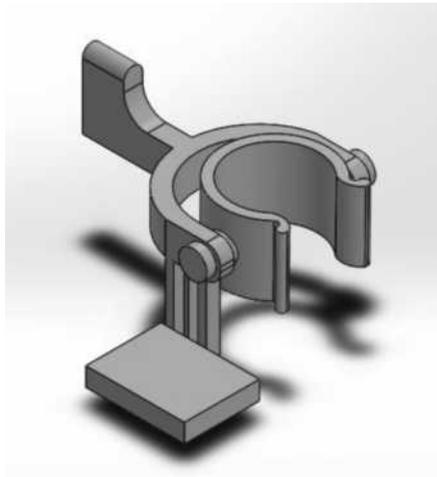


**Figura 2-2:** Mesa del sistema de retinoscopia

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.5.1.1 Diseño mecanismo de proyección del haz de luz

Para la proyección del haz de luz se diseñó un mecanismo que cuenta con dos actuadores micro servomotores que replican el movimiento realizado por la muñeca del médico con el retinoscopio para proyectar el haz de luz sobre el ojo del usuario. El primer micro servo desarrolla el movimiento vertical y el segundo el movimiento horizontal. En la figura 3-2 se puede apreciar el diseño a ser implementado, los planos se encuentran en el Anexo F.



**Figura 3-2:** Mecanismo proyección haz de luz

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.5.1.2 Diseño mecanismo cambio de lentes

Para diseñar este mecanismo se considera que en el sistema van a ser empleadas 17 lentes cilíndricas de valor dióptrico positivas y negativas empleadas para la neutralización de la sombra reflejada en la retina. En la tabla 2-2 se presentan las lentes escogidas para la implementación del mecanismo.

**Tabla 2-2:** Lentes oftálmicas utilizadas

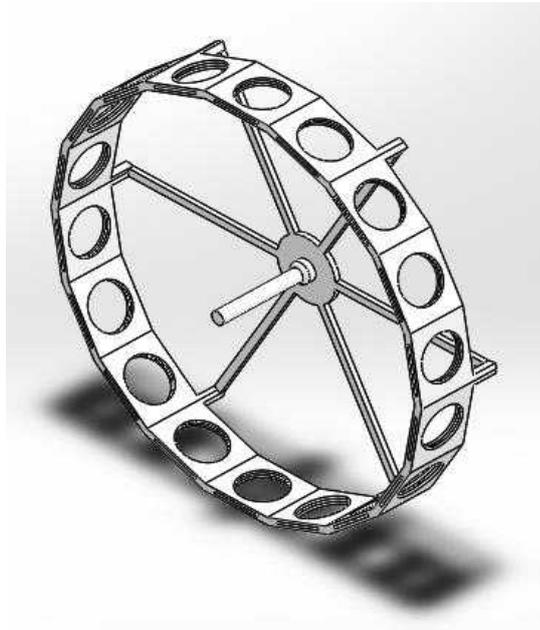
<b>Lentes positivas</b>	<b>Lentes negativas</b>
+ 0.75, + 1.25, + 1.75, + 2, + 2.5, + 3, + 4, + 5	- 0.5, - 1, - 1.25, - 1.75, - 2, - 2.5, - 3, - 4, - 5

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

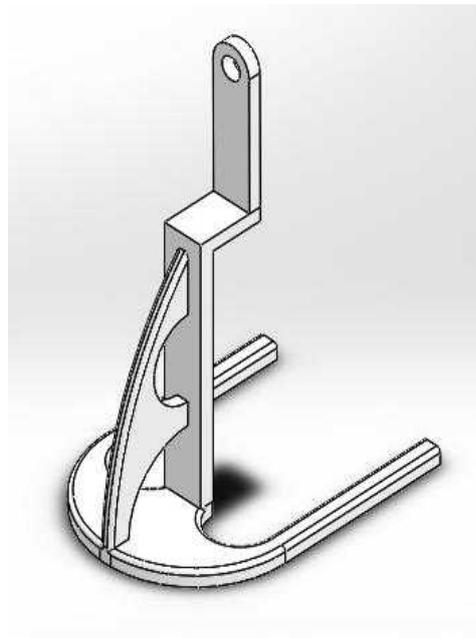
Enseguida se muestra el diseño que resultó adecuado para el sistema y cuya implementación no iba a tener mayor problema. El diseño se basa en una ruleta, figura 4-2, que cuenta con 18

divisiones en las que van a ser ubicadas las lentes escogidas. Cuenta con dos bases laterales: derecha, figura 5-2 e izquierda, figura 6-2, que sirven de apoyo al momento de implementarlo.



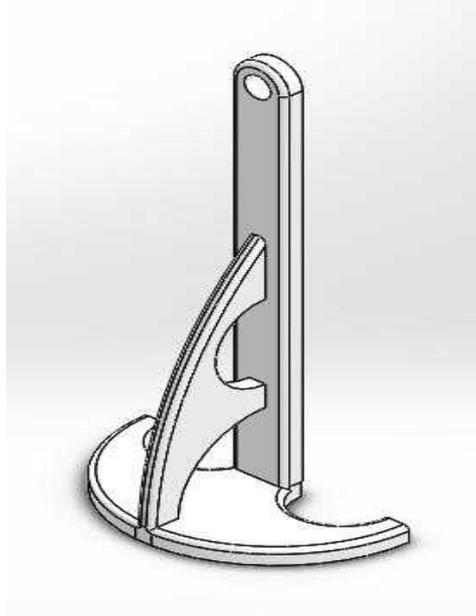
**Figura 4-2:** Ruleta de soporte de lentes

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017



**Figura 5-2:** Base derecha de la ruleta

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017



**Figura 6-2:** Base izquierda de la ruleta

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En conjunto el mecanismo consigue el cambio de lentes mediante la transmisión del movimiento de un servomotor ubicado en la base derecha y un sistema de engranes con relación 2:1, a través de una banda dentada. El movimiento del servomotor logra mediante su giro de 180 grados, pasar por todas las lentes del sistema, gracias al sistema de engranes. Como se muestra en la figura 7-2. Los planos de la ruleta se encuentran en el Anexo G.



**Figura 7-2:** Sistema mecánico cambio de lentes

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.5.2 Implementación de los mecanismos

Para implementar los mecanismos diseñados, se emplea la tecnología de impresión 3D para materializar el diseño de la ruleta, debido a que su forma hace complicado su implementación de una forma diferente. Se dividió la ruleta en 7 partes que fueran impresas mediante una impresora Delta K200 con una resolución de 0.01 mm y en material PLA como se observa en la figura 8-2, para conseguir un resultado óptimo, funcional y que sea resistente, figura 9-2.



**Figura 8-2:** Impresión de las piezas

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017



**Figura 9-2:** Pieza impresa en 3D

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Terminada la impresión de todas las piezas de la ruleta, se procede al ensamble de las mismas como se muestra en la figura 10-2, consiguiendo un resultado satisfactorio, quedando todo listo para la implementación total de los mecanismos. Las bases empleadas para su implementación fueron diseñadas en SolidWorks, pero con la diferencia que su implementación fue en material MDF cortado a laser y con ayuda de los planos de corte, figura 11-2.



**Figura 10-2:** Ensamble de la ruleta de lentes

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017



**Figura 11-2:** Base de la ruleta

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

A continuación, se muestra en la figura 12-2, los sistemas mecánicos implementados.



**Figura 12-2:** Sistema mecánico cambio de lentes y proyección de luz

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.5.3 Pruebas de los mecanismos

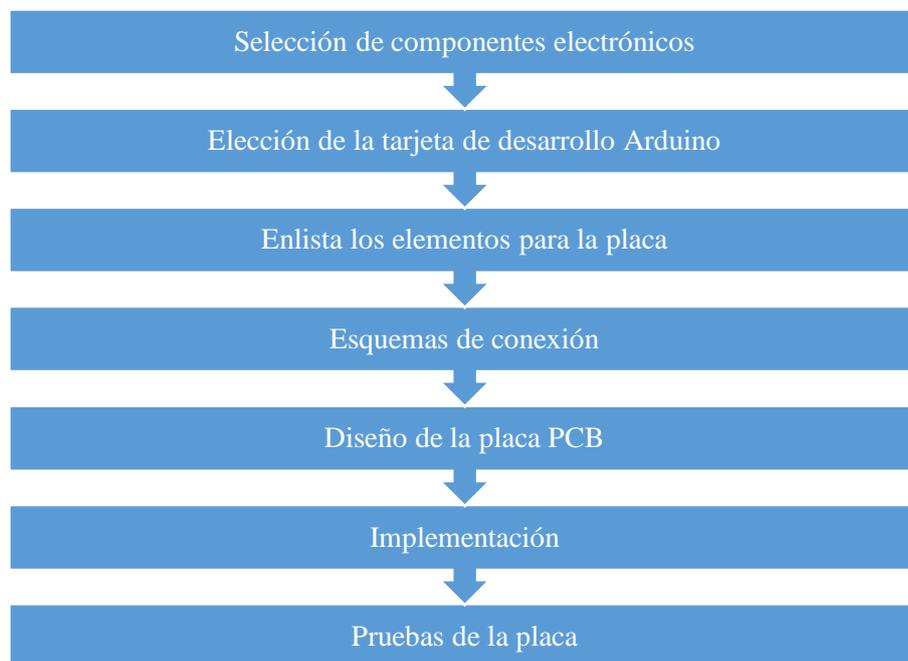
Implementados los mecanismos se procedió a las pruebas de funcionamiento, verificando que los mecanismos emulan los movimientos que requiere el sistema mediante el empleo de actuadores servomotores implementados.

El mecanismo de cambio de lentes mediante el accionamiento del servomotor de su base derecha cumple con la relación 2:1, logrando con esto el movimiento de todas las lentes instaladas en la ruleta.

Con el accionamiento de los micro servos se verifico que el sistema diseñado cumple con el objetivo de realizar la proyección del haz de luz del retinoscopio sobre el ojo de usuario.

## 2.6 Diseño e implementación del Sistema Electrónico

Previo al diseño de la placa electrónica que conforma el sistema electrónico de control, se selecciona los componentes que integran el sistema, elige la tarjeta de desarrollo Arduino, enlista los elementos que componen la placa, esquema de conexión. En el gráfico 4-2, se enlistan los pasos que se siguieron para el diseño e implementación del sistema electrónico.



**Gráfico 4-2:** Etapas para el diseño e implementación del sistema electrónico

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## 2.6.1 Selección de componentes que integran el sistema electrónico

### 2.6.1.1 Sensor de luz digital BH-1750

Sensor digital, figura 13-2, que mide la intensidad lumínica del ambiente en el que trabaja el sistema, para asegurar un correcto desempeño del mismo. Se optó por este sensor ya que cuenta con comunicación I2C y los datos que envía son interpretados directamente por el controlador al estar representando la medida directamente en luxes (unidad de medida de intensidad lumínica).

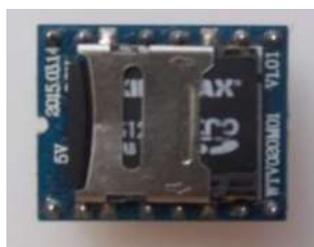


**Figura 13-2:** Sensor digital BH-1750

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.1.2 Módulo de sonido WTV020M01

Módulo que permite añadir indicadores auditivos al sistema, en todo proceso es necesario el empleo de indicadores visuales, auditivos, entre otros. Se selecciona debido a que es un dispositivo de bajo costo, compatible con la tarjeta de desarrollo Arduino y su tamaño es compacto como se puede observar en la figura 14-2, facilitando su implementación.



**Figura 14-2:** Módulo de sonido

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.1.3 Módulo emisor laser KY-008

Este módulo emite un haz de láser, que será empleada para fijar la vista del usuario en un punto distante ayudando a una mejor obtención de la imagen, se optó por este dispositivo por su bajo costo, reducido tamaño y compatibilidad con Arduino. Se lo puede conectar al pin de 5V

directamente sin la necesidad de una fuente adicional. En la figura 15-2 se puede apreciar el módulo laser empleado.



**Figura 15-2:** Módulo Láser

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

#### 2.6.1.4 Módulo LM2596 convertidor de voltaje dc-dc

Permite la regulación del voltaje de la fuente de alimentación empleada. Suministra el voltaje con el que funcionan con los actuadores para el sistema mecánico, además provee del voltaje nominal de funcionamiento a los sensores, módulos y pantalla.



**Figura 16-2:** Módulo regulador voltaje

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

#### 2.6.1.5 Pantalla HMI Nextion 3,2"

Pantalla táctil que permite el control del movimiento de la mesa sobre el que se instala el sistema; además de la supervisión del desarrollo del examen, y la visualización de los resultados obtenidos. Se empleó esta pantalla debido a que la mesa no contaba con un panel que permita gobernar su funcionamiento, además que su precio es moderado en relación a su tamaño y las funciones que presenta, figura 17-2.



**Figura 17-2:** Pantalla 3,2" Nextion

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.1.6 Fuente ATX

Se encarga de suministrar el voltaje necesario para que funcionen los sistemas. Se escogió la fuente modelo: WS-ATX de 750 W que viene instalada en el computador, debido a que los resultados de consumo del sistema expuestos en el capítulo 3 no representan la necesidad de una fuente adicional, al aprovechar la potencia que no emplea el computador.

Dado que la mayor carga que demanda es de 12 V y los demás componentes requieren en su mayoría de 5 V, la fuente ATX del computador, figura 18-2, es ideal para nuestro sistema.



**Figura 18-2:** Fuente WS-ATX

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.2 Elección de la tarjeta de desarrollo Arduino

Las tarjetas de desarrollo Arduino cumplen con las características requeridas para la implementación del prototipo de nuestro sistema. Debido a que presentan beneficios, como su bajo costo, la posibilidad de tener comunicaciones UART, SPI e I2C incluidas en las tarjetas sin la necesidad de hardware adicional, es compatible con los módulos y la pantalla táctil HMI Nextion, además su programación es flexible y es realizada mediante un software libre.

El prototipo del sistema cuenta con dos tarjetas de desarrollo: Arduino Uno y Arduino Nano.

#### 2.6.2.1 Tarjeta Arduino Uno

Se escoge la tarjeta Arduino Uno, figura 19-2, ya que permite establecer comunicaciones con componentes mediante UART e I2C. Posee los terminales de conexión analógicos y digitales necesarias para conectar los demás componentes del sistema. Su velocidad de procesador y capacidad de memoria son idóneas para permitir el control del sistema.



**Figura 19-2:** Tarjeta Arduino Uno

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Arduino Uno cumple la función de controlador maestro:

- Establece la comunicación serial con el software LabVIEW mediante sus pines de conexión RX y TX.
- Controla de recepción y transmisión de datos con la pantalla táctil Nextion, a través de un puerto serial creado mediante software.
- Comunica y permite el control del Arduino Nano y el sensor de luz BH-1750, mediante las líneas de datos SCL y SDA del protocolo I2C.
- Comanda el módulo WTV020M01 MP3 para emitir los indicadores auditivos con el que cuenta el sistema.
- Activa o desactiva la luz del foco del retinoscopio, y de la luz láser del módulo KY-008.
- Controla el movimiento de la mesa mediante la activación de contactos, para poder acomodar al usuario previo al desarrollo del examen.

#### 2.6.2.2 Tarjeta Arduino Nano

Se optó por una tarjeta de desarrollo Arduino Nano como se aprecia en la figura 20-2, debido a que posee características similares a la tarjeta Arduino Uno, pero en su costo presenta un ahorro favorable lo que permite la optimización de recursos y una buena eficiencia del sistema.



**Figura 20-2:** Tarjeta Arduino Nano

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Se emplea otro controlador debido a la necesidad de comandar acciones repetitivas realizadas por los actuadores, que requieren estar en constante funcionamiento mientras el controlador principal desarrolla sus demás funciones. El Arduino Nano va a actuar como dispositivo esclavo que va a ser controlado por el maestro, siendo la tarjeta que:

- Ejecuta las ordenes enviadas mediante la línea de datos de I2C, por parte del maestro.
- Se encarga del control de los eventos de los actuadores, y de los movimientos del sistema mecánico.

Arduino Nano posee una velocidad igual a la tarjeta Arduino Uno y las terminales necesarias para la conexión de los servomotores del sistema.

### 2.6.3 Lista de elementos para la placa electrónica

Se enlista los elementos y componentes que integran la placa electrónica.

**Tabla 3-2:** Componentes de la placa PCB

Cantidad	Descripción
1	Placa Arduino Uno
1	Placa Arduino Nano
1	Módulo mp3 WTV020M01
1	Módulo regulador STEP DOWN Lm2596
1	Regulador LM317
3	Transistores 2N3904
1	Trimmer de 10 k ohmios
4	Borneras
2	Diodos 1N4007

3	Diodos led (amarillo, verde y rojo)
2	Capacitores cerámicos 104
2	Relés de 5V
2	Integrados 4N35
1	Integrado Lm384
1	Potenciómetro de 10 k ohmios
5	Resistencias de 1 k ohmio a ½ W
1	Conector de audio hembra 3.5 mm

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

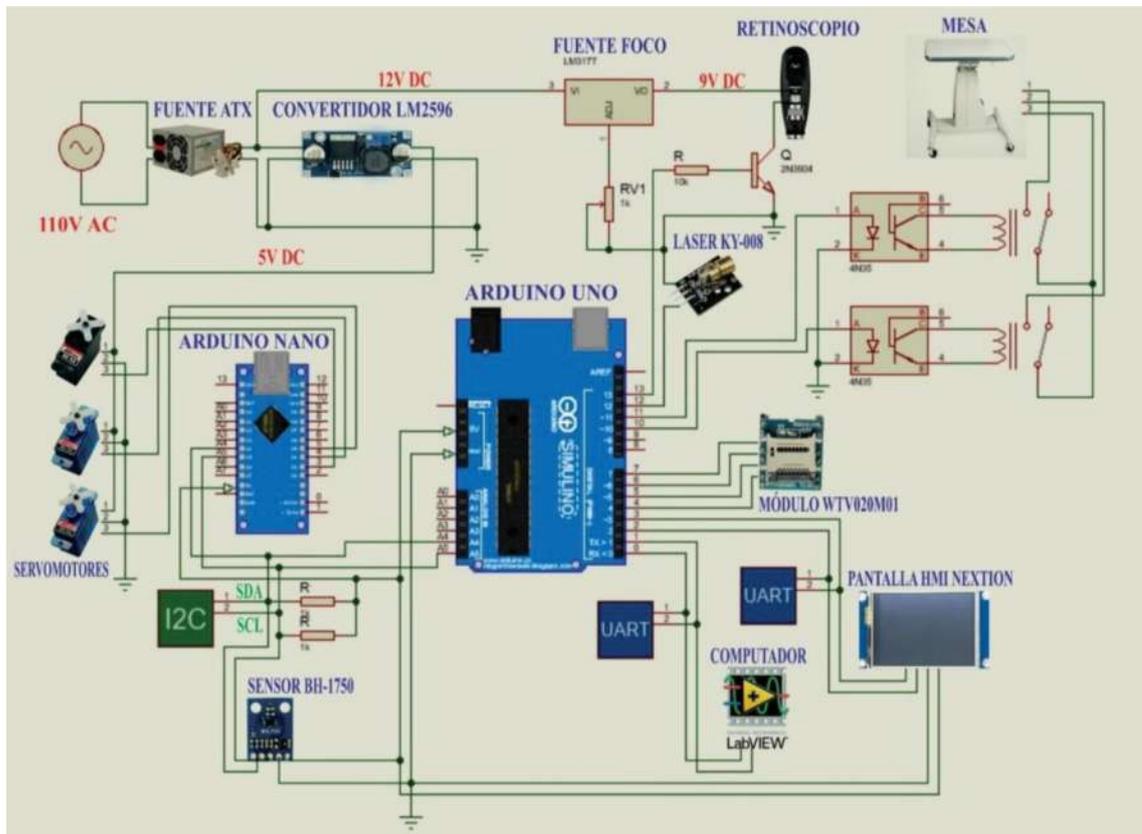
**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

#### 2.6.4 Esquemas de conexión

El esquema de conexión electrónico se presenta en la figura 21-2, el elemento central es una tarjeta Arduino Uno que tiene la función de maestro, se comunica con todos los componentes que integran la placa y se encarga del control de los mismos.

- Los terminales A4 y A5 del Arduino Uno y Arduino Nano se conectan entre sí para poder establecer una comunicación I2C mediante las líneas SDA y SCL. Esta comunicación permite enviar y recibir órdenes entre los Arduinos, además de la lectura del sensor BH-1750 que cuenta con esta comunicación.
- La señal del sensor de luz BH-1750 se conecta a los terminales D4 (SDA) y D5 (SCL) de la comunicación I2C mediante dos resistencias de 1K.
- Los terminales RESET, CLOCK, DATA y BUSY del módulo MP3 WTV020M01 se conectan a D4, D5, D6, D7 del Arduino Uno permitiendo el control del módulo desde estas líneas de comunicación.
- De los terminales D10 y D11 del Arduino Uno salen las señales de control para subir y bajar la mesa, estas señales de control van hacia los opto acopladores, separando con esto la etapa de control y fuerza representada esta última por los relés.
- El terminal D12 y D13 del Arduino Uno manda las señales de control de ON/OFF al diodo laser KY-008 y al foco del retinoscopio respectivamente.

- La pantalla HMI Nextion se conecta a las terminales D2 y D3 del Arduino Uno mismas que funcionan como las líneas de comunicación serial TX/RX entre Arduino y la pantalla.
- El Arduino Nano se encarga de los actuadores, mismos que se encuentran conectados a las terminales D3, D4, D5 permitiendo el control de los servomotores que mueven los mecanismos de cambio de lentes y proyección del haz de luz, mientras el controlador Arduino Uno realiza sus demás funciones.
- La alimentación para los componentes del sistema electrónico, se da mediante la salida de 12V DC de la fuente ATX, esta salida es regulada a 5V y 9V para alimentar los servomotores, y el foco del retinoscopio respectivamente mediante el convertor de voltaje LM2596 y el regulador LM317.



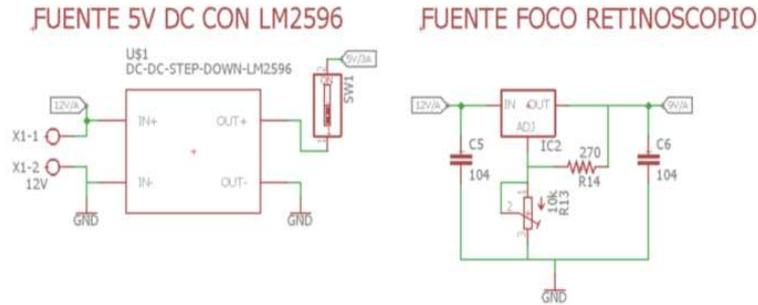
**Figura 21-2:** Esquema de conexión sistema electrónico

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Los planos con el esquema de conexión del sistema electrónico se encuentran en el Anexo H. A continuación, se presenta la conexión de los componentes electrónicos que integran el prototipo del sistema:

### 2.6.4.1 Conexión de los convertidores de voltaje

En la figura 22-2, se presenta la conexión del módulo LM2596 mismo que permitirá una regulación a 5V a partir de la salida de 12V de la fuente ATX, el voltaje regulado alimenta a los actuadores mediante un interruptor que regula su funcionamiento. Además, se presenta la conexión del regulador LM317 que será el encargado de regular el voltaje de ingreso de la fuente a 9V, voltaje óptimo para el funcionamiento del foco del retinoscopio.

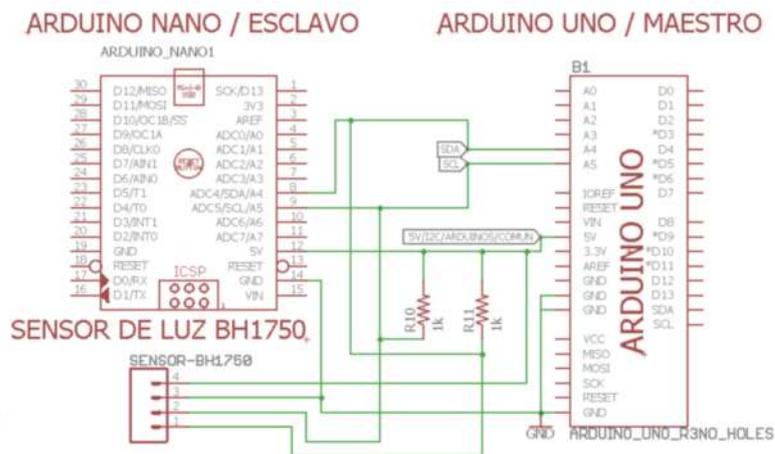


**Figura 22-2:** Conexión de las fuentes de voltaje

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.4.2 Conexión del sensor BH-1750

La conexión del sensor digital de luz BH-1750, se realiza mediante sus cuatro pines de conexión la alimentación de 5V para su funcionamiento es suministrada por el voltaje de la tarjeta Arduino, la línea de GND se conecta a la línea de tierra común, y los cables SDA y SCL a las líneas de comunicación I2C que conectan las tarjetas Arduino a través de los pines analógicos A4 y A5, figura 23-2.

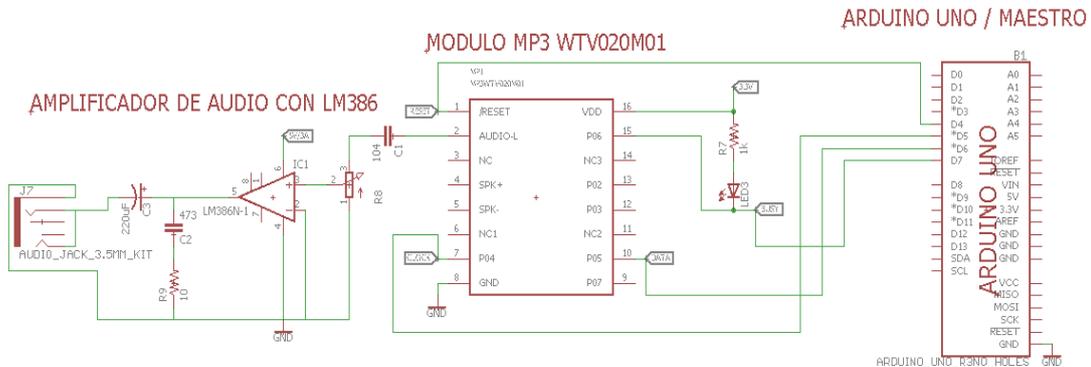


**Figura 23-2:** Conexión del sensor de luz BH-1750

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.4.3 Conexión del módulo WTV020M01

El control del módulo de sonido se realiza mediante la conexión de sus pines RESET, CLOCK, DATA y BUSY a los pines digitales del Arduino Uno, D4, D5, D6 y D7. La alimentación para el funcionamiento del módulo se da mediante el pin de alimentación de 3.3V que posee Arduino. Debido a que la salida del audio es baja, esta debe pasar por una etapa de amplificación realizada con el integrado LM386, como se muestra en la figura 24-2.

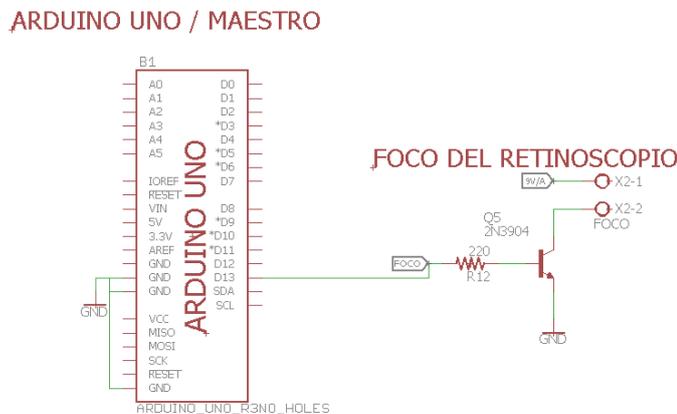


**Figura 24-2:** Conexión del módulo de sonido con amplificador

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.4.4 Conexión del foco del retinoscopio

La conexión para el control de la activación o desactivación del foco del retinoscopio, se da mediante el pin digital D13 del Arduino Uno. Se emplea al transistor 2N3904 como un interruptor que es activado mediante la señal de control que llega a su base a través de una resistencia de 220 ohmios.



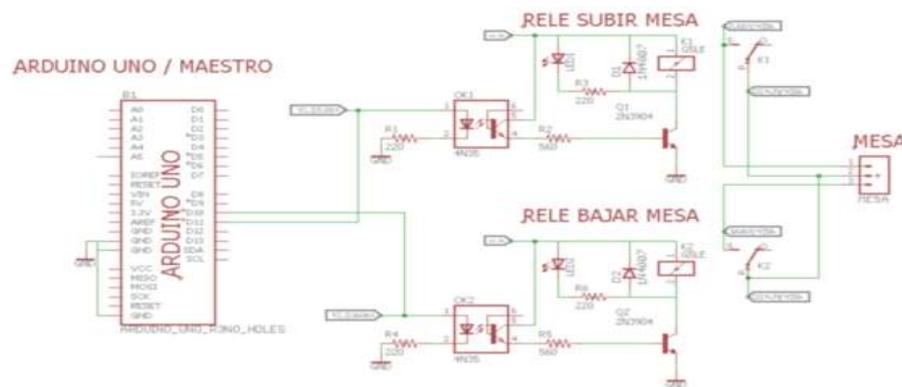
**Figura 25-2:** Conexión del foco del retinoscopio

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.4.5 Conexión relés para el control de la mesa

Los movimientos efectuados por la mesa se realizan mediante la conexión de una etapa de potencia, mediante el cierre o apertura de los contactos de relés permiten el accionamiento del motor que hace posible el movimiento a través de 3 cables de control: el primero permite el giro horario del motor, el segundo es la línea común y el tercer cable realiza el cambio de giro.

Internamente la mesa cuenta con finales de carrera que permiten detenerla al llegar a límite de su movimiento. La conexión efectuada para controlar el movimiento, se realiza mediante los pines digitales D10 y D11 del Arduino, estas señales de control van a opto acopladores que permiten accionar los relés y aislar la etapa de potencia y control, figura 26-2.

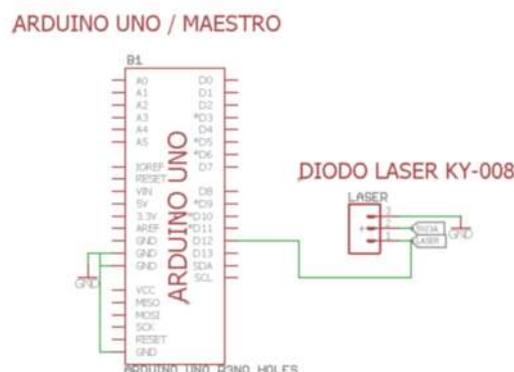


**Figura 26-2:** Conexión de los relés para el control de la mesa

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.4.6 Conexión del módulo láser KY-008

El encendido o apagado del módulo láser se realiza mediante la conexión del pin D12 hacia el pin de control de activación del módulo. Además, se conecta a la alimentación de 5V que fue regulada mediante el LM2596 y el pin de GND a tierra común.

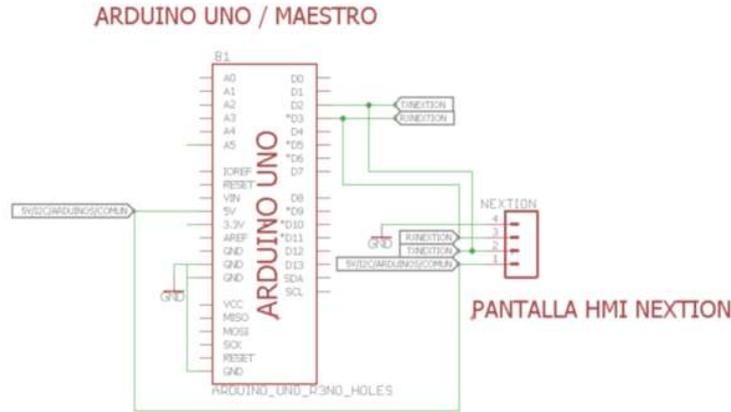


**Figura 27-2:** Conexión del módulo láser

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.4.7 Conexión pantalla táctil HMI Nextion

La conexión de la pantalla táctil HMI se efectúa mediante los 4 pines con los que cuenta la pantalla. Los pines RX y TX de la pantalla se conectan de forma cruzada a los pines D3(TX) y D2(RX) del Arduino Uno respectivamente. La alimentación de la pantalla viene dada por la fuente de 5V del Arduino y la tierra común que presenta, como se presenta en la figura 28-2.

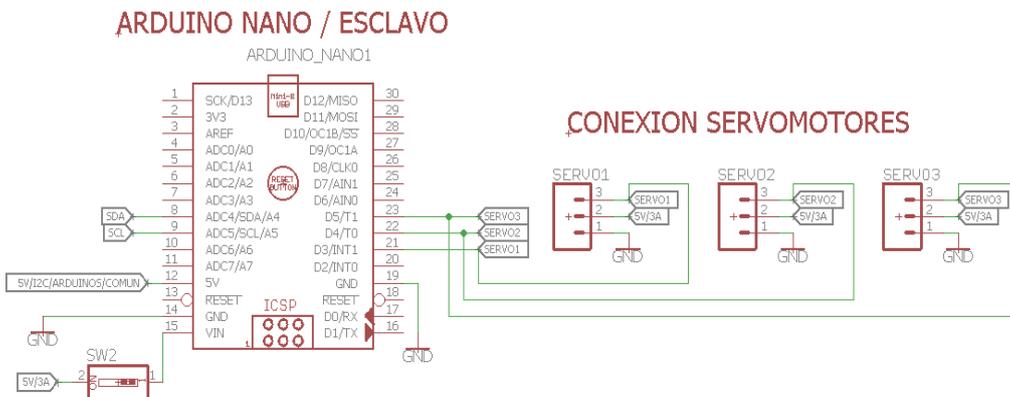


**Figura 28-2:** Conexión de la pantalla HMI Nextion

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.4.8 Conexión de los actuadores servomotores

Los servomotores cuentan con 3 líneas de conexión. Las líneas de control se conectan a los pines digitales D3, D4 y D5 del Arduino Nano, tarjeta encargada de su movimiento. Las líneas de alimentación van hacia la salida de 5V regulada por el módulo LM2596 y las líneas de GND hacia tierra común.



**Figura 29-2:** Conexión de los servomotores

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

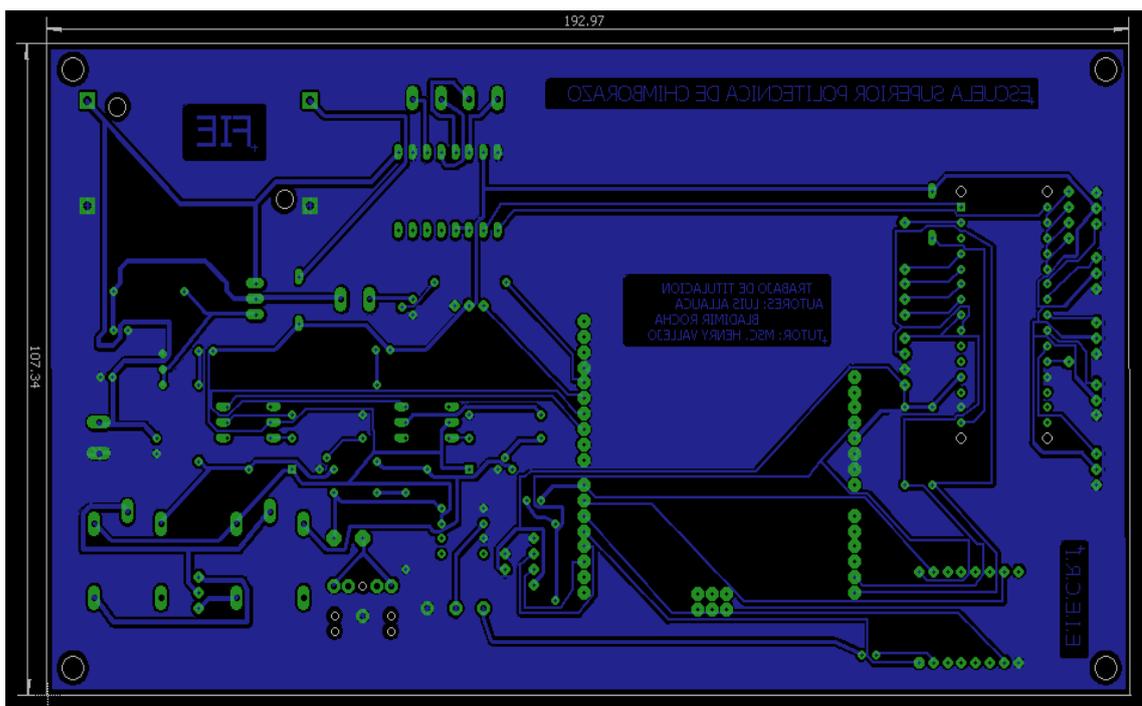
### 2.6.5 Diseño de la placa PCB

Seleccionado los componentes electrónicos que integran el sistema, las conexiones de estos se efectúan en el software Eagle en su versión 7.7.0 por ser un software empleado en el área de ingeniería para el diseño de placas electrónicas, debido a los resultados profesionales que se obtienen gracias a su entorno y la base de datos con múltiples elementos electrónicos que presenta ayudando a un óptimo diseño electrónico.

En Eagle se creó un nuevo proyecto, y en Eagle Schematic se realiza el diseño de la placa mediante las conexiones de todos los componentes a implementarse, se instalan librerías en el programa para conseguir la compatibilidad con las tarjetas de desarrollo Arduino, sensores y los módulos a emplearse.

Para crear el circuito impreso PCB se emplea Eagle Board, que permite realizar un diseño profesional, rutear y modelar el esquema final.

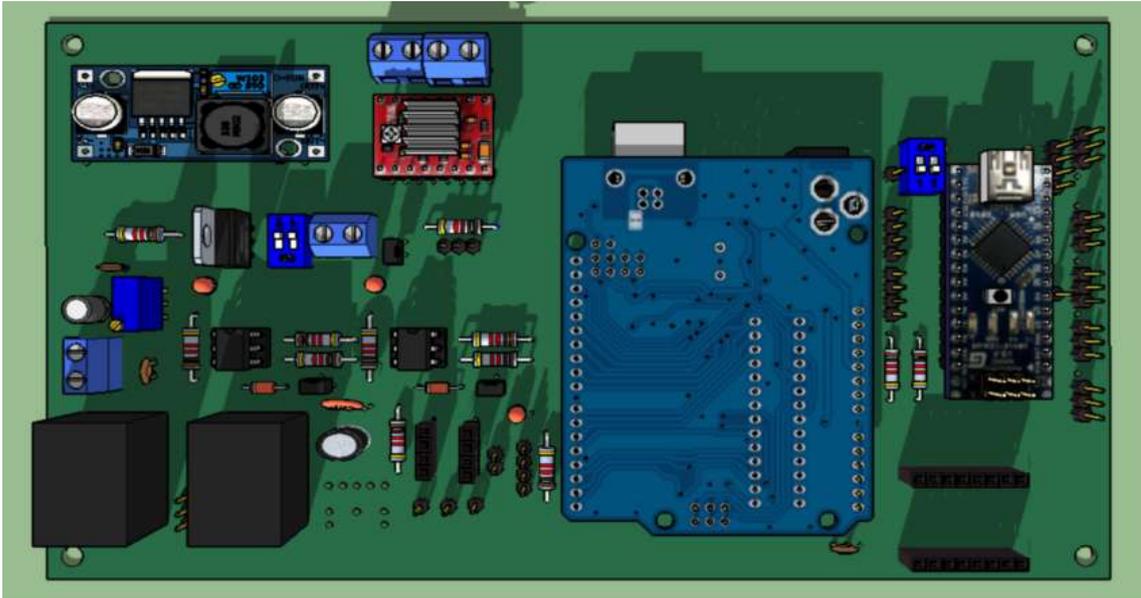
La figura 30-2 muestra el resultado del diseño de la placa electrónica, se verifica que no existen puentes y además se encuentra cubierta de una capa de tierra para evitar posibles señales que alteren el correcto funcionamiento de la misma.



**Figura 30-2:** PCB de la placa electrónica

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Mediante el software SketchUp Pro se obtiene una visualización 3D de la placa PCB a implementarse, ya que es capaz de abrir los archivos .brd generado por Eagle y así tener una idea del resultado final, como se muestra en la figura 31-2.

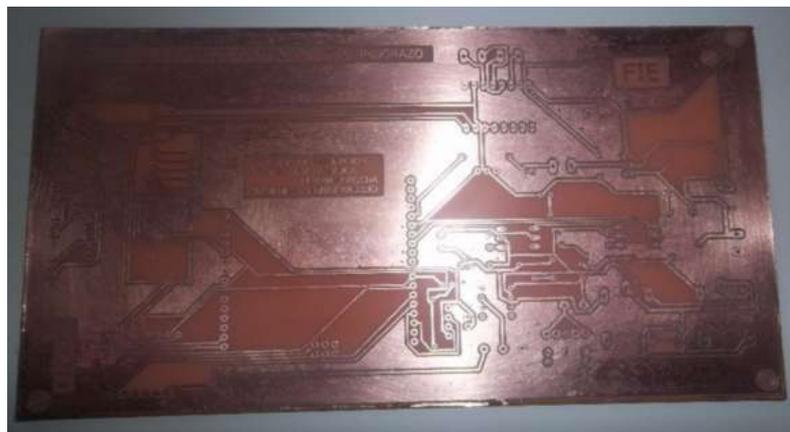


**Figura 31-2:** Vista 3D del PCB

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.6.6 *Implementación de la placa electrónica*

Una vez culminado el diseño y considerando el esquema de conexión se procede a la implementación de la placa electrónica, mediante la técnica de transferencia de calor se pasa a la baquelita el diseño creado en Eagle previamente impreso en papel couché. Las pistas son corroídas mediante la acción del ácido férrico, hasta quedar únicamente la capa de cobre como se muestra en la figura 32-2.



**Figura 32-2:** Pistas de cobre de la placa electrónica

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Luego de verificar que no existan fallos en la placa con ayuda del multímetro en su función de prueba de continuidad, se procede a la perforación de la placa con ayuda del taladro, a la ubicación y soldadura de todos los componentes electrónicos empleando cautín y estaño. En la figura 33-2 se presenta el resultado final de la implementación de la placa electrónica.



**Figura 33-2:** Placa electrónica implementada

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### **2.6.7 Prueba de la placa electrónica**

Una vez implementada la placa electrónica se procede a la prueba de funcionamiento de la misma, mediante la instalación de la placa en el sistema y la conexión de los componentes electrónicos. Verificando que los dispositivos electrónicos tienen un correcto funcionamiento, realizando las acciones que son programadas mediante el controlador. En la figura 34-2 se muestra la placa electrónica instalada en el sistema.



**Figura 34-2:** Instalación de la placa electrónica

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017



### 2.7.1 Descripción de las librerías Arduino

Para que Arduino controle los componentes del sistema, se instaló una serie de librerías con extensión .h propias de cada componente, estas permiten que la programación se facilite al emplear menos líneas de programación.

#### 2.7.1.1 Librerías para el control de componentes

En la tabla 4-2 se presentan las librerías de Arduino instaladas para controlar los componentes instalados en el sistema electrónico.

**Tabla 4-2:** Librerías para el control de componentes

Componente	Librería
Pantalla Táctil Nextion	Nextion.h
Módulo MP3 WTV020M01	Wtv020sd16p.h
Servo motores	Servo.h
Sensor digital BH1750	BH1750.h

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Las librerías también ayudan con el establecimiento de las comunicaciones empleadas en el sistema: entre el controlador Arduino Uno maestro y Arduino Nano esclavo mediante I2C, así como la comunicación serie con el computador.

#### 2.7.1.2 Librerías para la comunicación

Las librerías que permiten establecer la comunicación mediante serial e I2C en el sistema, se describen en la tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Librerías de comunicación

Librería	Descripción
SoftwareSerial.h	Permite la creación de puertos seriales, y la comunicación serie entre dispositivos mediante protocolo UART.
Wire.h	Establece la comunicación I2C, permitiendo la recepción y transmisión de datos por una línea de datos.

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## 2.7.2 Identificación de entradas y salidas

### 2.7.2.1 Arduino Uno (Maestro)

En la tabla 6-2, se presentan las entradas que tiene el controlador Arduino Uno.

**Tabla 6-2:** Entradas digitales del controlador Arduino Uno

Dispositivo	Tipo	Pin	Función
Sensor de luz BH-1750	Digital	A4 (SDA)	Nivel de intensidad lumínica.

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Las salidas que controla Arduino Uno, se enlistan en la tabla 7-2.

**Tabla 7-2:** Salidas digitales del controlador Arduino Uno

Dispositivo	Tipo	Pin	Función
Relé bajar	Digital	D10	Control para bajar la mesa.
Relé subir	Digital	D11	Control para subir la mesa.
Láser	Digital	D12	Señal de luz láser.
Foco del retinoscopio	Digital	D13	Proyecta el haz de luz.

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.7.2.2 Arduino Nano (Esclavo)

En la tabla 8-2, se presentan las entradas del Arduino Nano:

**Tabla 8-2:** Entradas digitales del controlador Arduino Nano

Dispositivo	Tipo	Pin	Función
Sensor de luz BH-1750	Digital	A4 (SDA)	Nivel de intensidad lumínica.

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Las salidas con los que controla los servomotores, se enlistan en la tabla 9-2.

**Tabla 9-2:** Salidas digitales del controlador Arduino Nano

Dispositivo	Tipo	Pin	Función
Servomotor 1	Digital	D3	Control cambio de lentes.

Servomotor 2	Digital	D4	Control movimiento retinoscopio.
Servomotor 3	Digital	D5	Control movimiento retinoscopio.

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.7.3 *Diagrama de flujo del programa del Arduino Maestro*

#### **Para el control de inicio:**

- Se declaran y cargan las librerías a emplearse.
- Se asignan los componentes.
- Se declaran las variables locales.
- Se definen los pines de conexión de los componentes electrónicos.

#### **Para el control de setup:**

- Se inicia la comunicación por el puerto Serial con el computador, y por un puerto serial creado con la pantalla Nextion, además de la comunicación I2C con el Arduino Nano.
- Se configura los pines como entradas o salidas.
- Se inicia el censado de la intensidad lumínica a través del sensor BH-1750.
- Se posiciona el sistema en su posición inicial, se muestra las primeras pantallas del HMI Nextion y un mensaje de bienvenida.

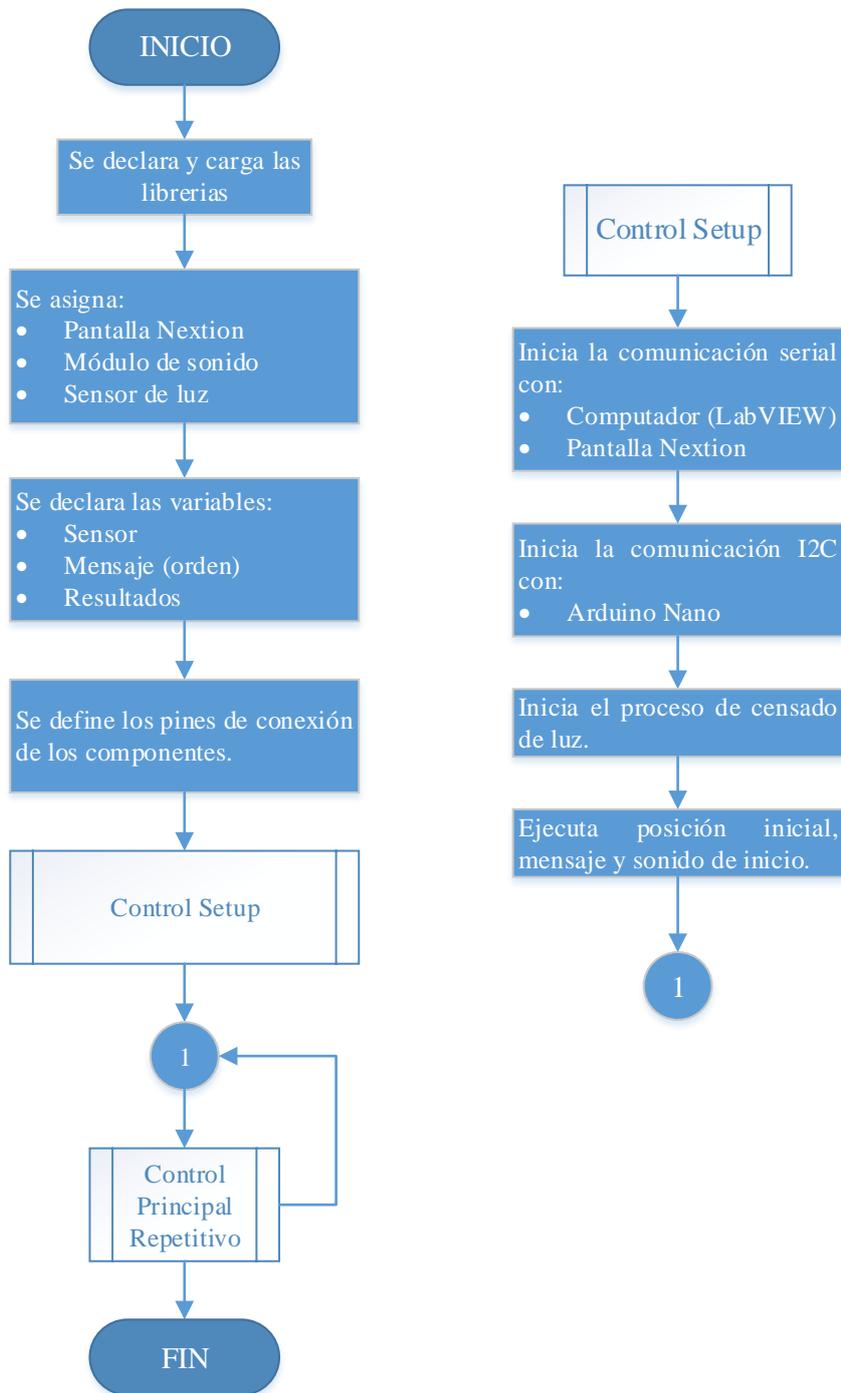
#### **Para el control principal repetitivo:**

- Se determina si se ha recibido una orden de inicio, desde LabVIEW de ser verdadero se muestra la pantalla de control de la mesa previo al examen.
- Se verifica el estado de los botones subir y bajar de la pantalla, para controlar el movimiento de la mesa.

- Se envía una orden de listo para comenzar a adquirir y procesar imágenes, culminado el proceso de acomodar al usuario.
- Se inicia el examen en el ojo derecho.
- Se ejecutan acciones de control para mover a los actuadores servomotores del sistema mecánico, dependiendo de la comparación de las imágenes.
- Se obtiene el resultado obtenido del sistema, para el ojo derecho.
- Se inicia el examen en el ojo izquierdo de la misma forma que en el ojo derecho.
- Finalizado el examen en los ojos, los resultados con el posible diagnóstico se presentan en la pantalla de resultados de la pantalla Nextion.

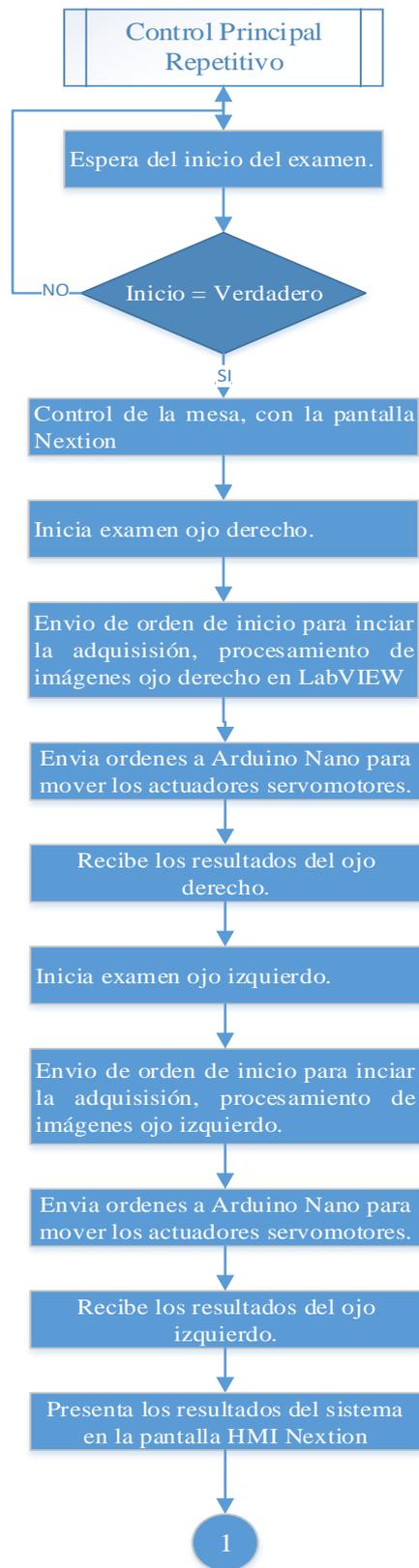
Se muestran los diagramas del control de inicio y control setup, gráfico 6-2 y del control principal repetitivo, gráfico 7-2.

El programa del controlador Arduino Uno, que se encuentra implementado en la tarjeta se presenta debidamente comentado en el Anexo I.



**Gráfico 6-2:** Diagrama de flujo control inicio y setup del Arduino Uno

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017



**Gráfico 7-2:** Diagrama de flujo del control principal del Arduino Uno

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

#### **2.7.4 Diagrama de flujo del programa del Arduino Nano**

##### **Para el control de inicio:**

- Se declaran y cargan las librerías a emplearse para el control de los actuadores.
- Se asignan los componentes servomotores.
- Se declaran las variables locales para control y comunicación.
- Se definen los pines de conexión de los servos.

##### **Para el control de setup:**

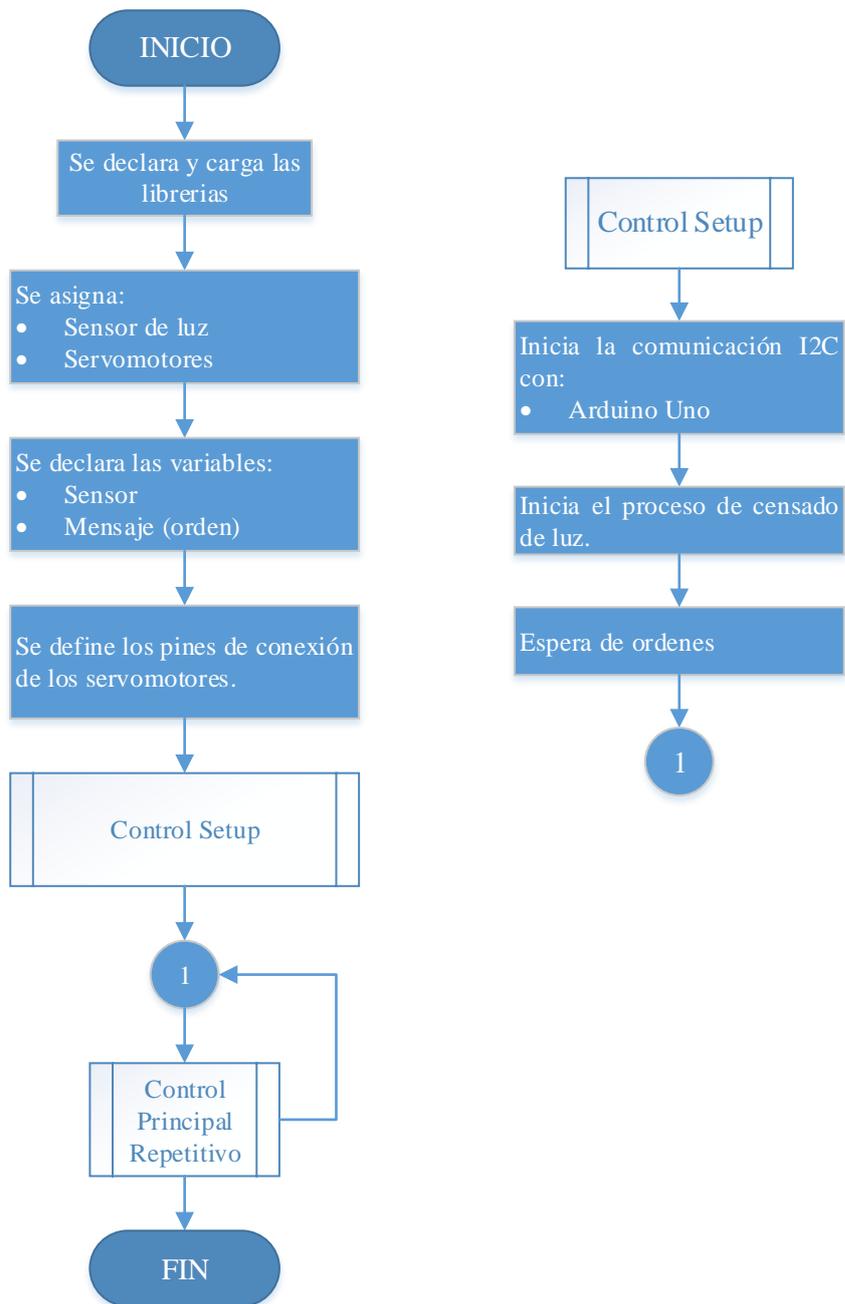
- Se inicia la comunicación I2C con el Arduino Uno.
- Se configura los pines como entradas o salidas.
- Se inicia el censado de la intensidad lumínica a través del sensor BH-1750.

##### **Para el control principal repetitivo:**

- Se determina si se ha recibido una orden de parte del controlador Arduino Uno.
- Se verifica si la orden es un 1, se procede al inicio de la secuencia del servo 3 que permite proyectar el haz de luz de forma horizontal.
- Se verifica si la orden es un 2, se procede al inicio de la secuencia del servo 2 que permite proyectar el haz de luz de forma vertical.
- Se verifica si la orden es un 3, se controla el cambio de lente moviendo el servo 1 un determinado ángulo.

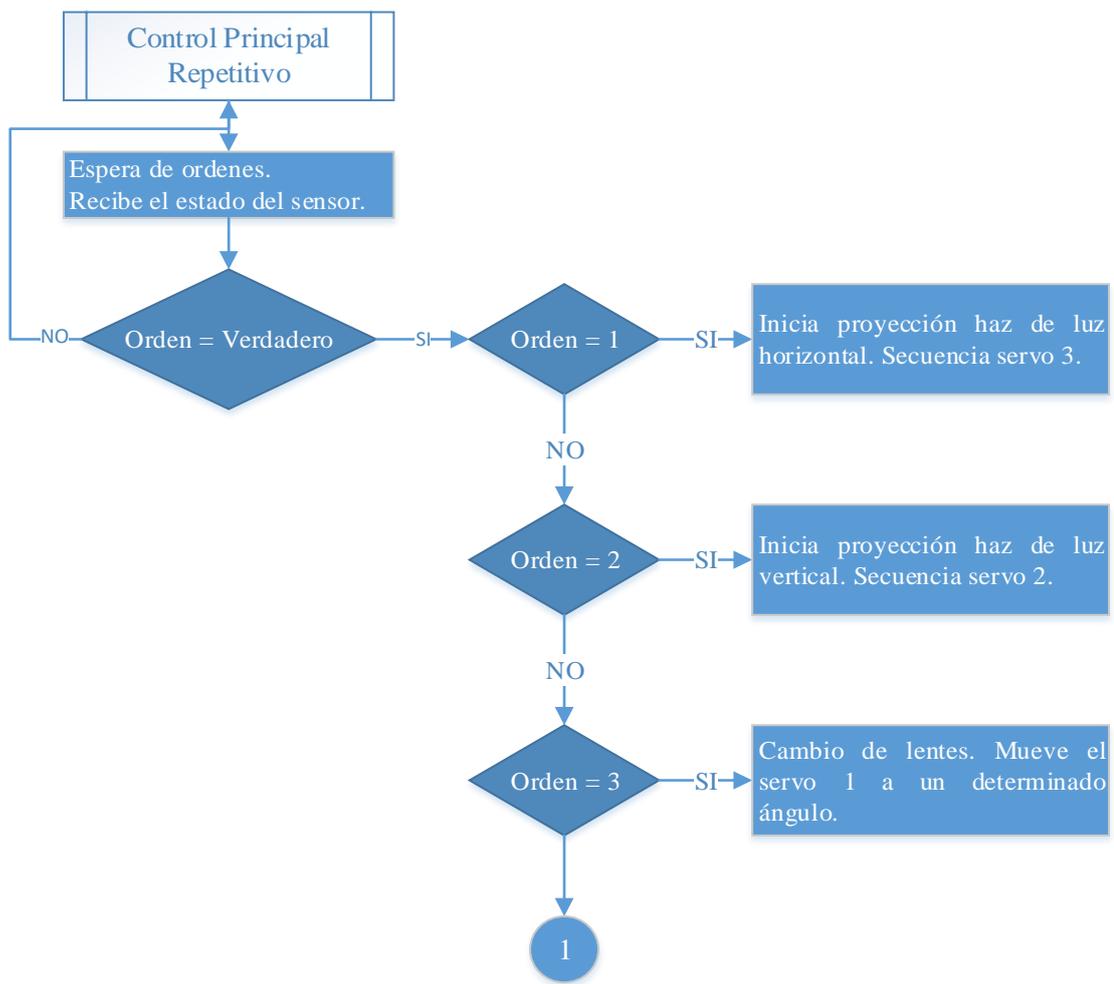
Se muestran los diagramas del control de inicio y control setup, gráfico 8-2 y del control principal repetitivo, gráfico 9-2.

El programa del controlador Arduino Nano, que se encuentra implementado en la tarjeta se presenta debidamente comentado en el Anexo J.



**Gráfico 8-2:** Diagrama de flujo del control inicio y setup del Arduino Nano

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017



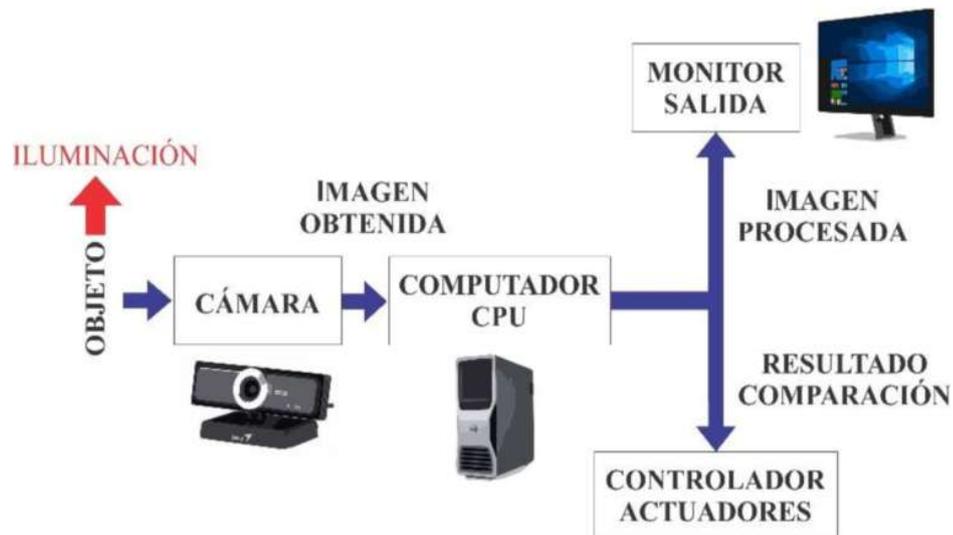
**Gráfico 9-2:** Diagrama de flujo del control principal del Arduino Nano

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## 2.8 Programación del Algoritmo de Procesamiento y Comparación de Imágenes

Para la programación del algoritmo de procesamiento y comparación de imágenes es necesario implementar previamente el sistema de visión artificial conformado por la cámara digital Genius Full HD 1080p conectada por medio del cable USB al puerto de la computadora, la cual cumple con el objetivo de adquirir las imágenes de las sombras que se generan en la retina.

La computadora colocada en la mesa, en la cual se instala el software de desarrollo LabVIEW y sus complementos de Visión artificial para iniciar con la programación del algoritmo, cuyo diseño se lo muestra a continuación en la figura 36-2:



**Figura 36-2:** Diagrama SVA hardware del sistema

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

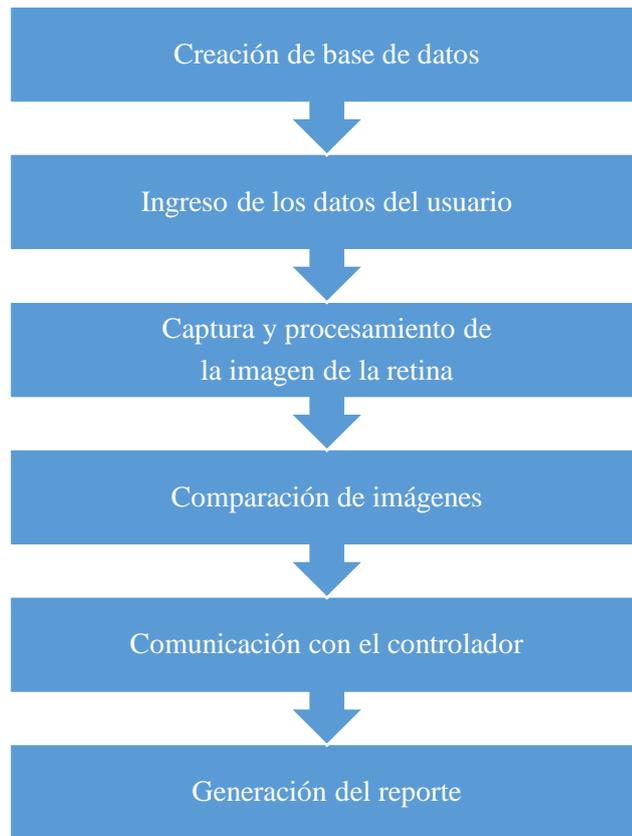
### 2.8.1 *Diseño del software del sistema de retinoscopia*

Para desarrollar un software eficiente que permita realizar el procesamiento y la comparación de imágenes de las sombras en la retina, se estudia y aplica las diferentes técnicas y algoritmos para el procesamiento de las imágenes. Se programa el algoritmo y las interfaces con el fin de realizar una comparación rápida y eficaz.

Se tiene una interfaz gráfica en el computador en la cual el usuario ingresa sus datos y se visualiza el desarrollo del examen y otra interfaz en la pantalla Nextion en la cual se realiza el movimiento de la estructura para la acomodación del usuario.

La imagen capturada se procesa digitalmente para obtener una imagen semejante a una guardada en la base de datos. Se usan algoritmos de pre-procesamiento de imágenes para la transformación de la imagen capturada, para mejorar su calidad y así obtener información para compararla.

El software que el sistema automatizado emplea, está estructurado de la siguiente manera. Como se muestra en el gráfico 10-2:



**Gráfico 10-2:** Esquema general del software del sistema

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.8.2 Creación de la base de datos

En esta etapa utilizamos el programa Microsoft Access ya que es un sistema de gestión de base de datos, en el cual se guardan las imágenes de las sombras de la retina del ojo con las distintas ametropías, como se muestra en la figura 37-2, estos datos se deben almacenar en el formato de archivo de Access 2002-2003 o Access 2000 con la finalidad de crear un archivo en formato mdb (Microsoft DataBase). Este archivo mdb se puede abrir y usar con normalidad.

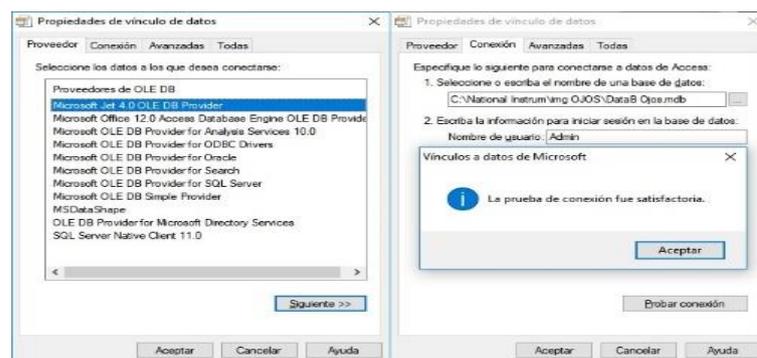
ID	nombreimg	ruta
12	DX001	C:\National Instrument\img\DX00111 ametropia4.jpg
13	DX002	C:\National Instrument\img\DX00112 ametropia5.jpg
14	DX003	C:\National Instrument\img\DX00113 ametropia6.jpg
15	DX004	C:\National Instrument\img\DX00114 ametropia7.jpg
16	DX005	C:\National Instrument\img\DX00115 ametropia8.jpg
17	DX006	C:\National Instrument\img\DX00116 ametropia9.jpg
18	DX007	C:\National Instrument\img\DX00117 ametropia10.jpg
19	DX008	C:\National Instrument\img\DX00118 ametropia11.jpg
20	DX009	C:\National Instrument\img\DX00119 ametropia12.jpg
21	DX010	C:\National Instrument\img\DX00120 ametropia13.jpg
22	DX011	C:\National Instrument\img\DX00121 ametropia14.jpg
23	DX012	C:\National Instrument\img\DX00122 ametropia15.jpg
24	DX013	C:\National Instrument\img\DX00123 ametropia16.jpg
25	DX014	C:\National Instrument\img\DX00124 ametropia17.jpg
26	DX015	C:\National Instrument\img\DX00125 ametropia18.jpg
27	DX016	C:\National Instrument\img\DX00126 ametropia19.jpg
28	DX017	C:\National Instrument\img\DX00127 ametropia20.jpg
29	DX018	C:\National Instrument\img\DX00128 ametropia21.jpg

**Figura 37-2:** Tabla con imágenes de ametropías

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

El funcionamiento de la base de datos se basa en un motor llamado Microsoft Jet, el cual permite que se creen aplicaciones con formularios Windows para acoplarse y conectarse a otros lenguajes de programación.

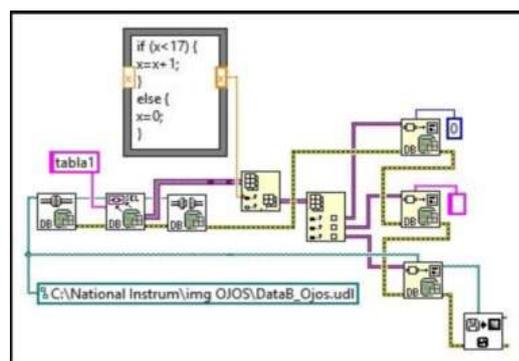
Para que el sistema automatizado pueda leer la base de datos creada en Access, es necesario realizar la conexión utilizando el motor Microsoft Jet 4.0 DB Provider en LabVIEW, luego seleccionamos el archivo con extensión mdb creado anteriormente y probamos la conexión como se muestra en la figura 38-2. Si se realiza correctamente el proceso anterior obtenemos un archivo en formato udl (Universal Data Link), el cual debe almacenarse en el disco local C para que no existan futuros errores de conexión.



**Figura 38-2:** Configuración del archivo de vínculo de datos

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

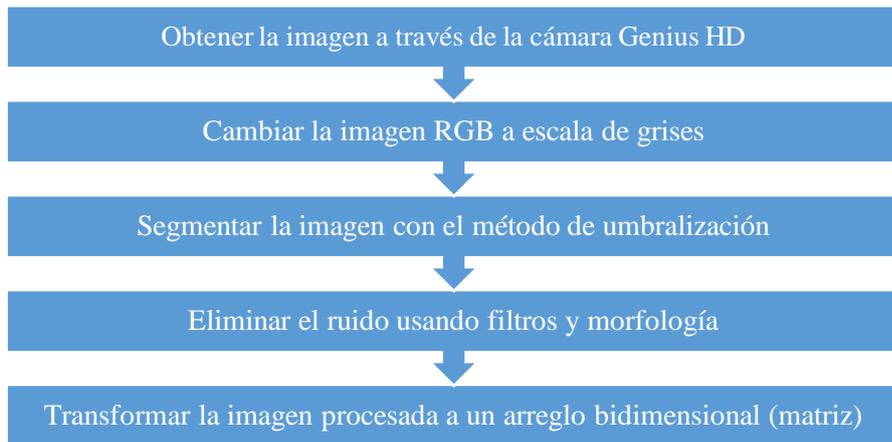
Para usar la base de datos en LabVIEW se utiliza un complemento llamado Database Connectivity Toolkit, el cual realiza operaciones con bases de datos. Su apertura se lo realiza a través de la dirección del archivo de la base de datos en extensión .udl, luego se separan los datos de la tabla de la base de datos con el comando Index Array y con la ayuda del comando Database Variant To Data se realiza la lectura de estos datos de la tabla creada en Microsoft Access como se muestra en la figura 39-2.



**Figura 39-2:** Conexión con la base de datos

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017





**Gráfico 11-2:** Algoritmo de procesamiento de la imagen

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

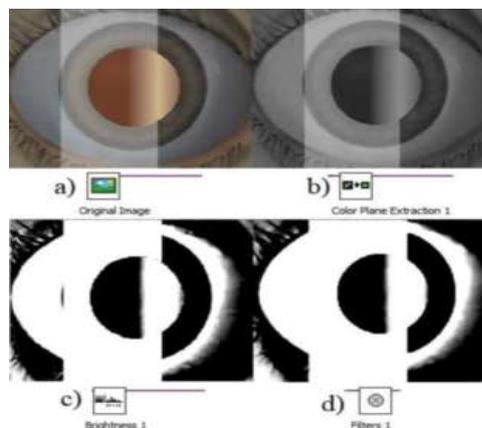
Para el procesamiento de las imágenes adquiridas se utiliza el comando Vision Assistant con el cual se crea el algoritmo para procesar la imagen capturada y las imágenes de la base de datos.



**Figura 42-2:** Comando Vision Assistant

**Fuente:** LabVIEW

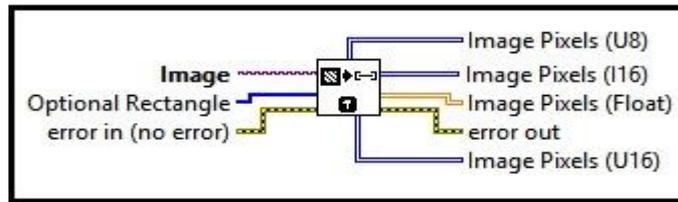
La imagen de ingreso está a color como se muestra en la figura 43-2 (a), con la ayuda del comando Color Plane Extraction se transforma a escala de grises con el fin de obtener una imagen en 8 bits figura 43-2 (b), con el comando Brightness se mejora el brillo para aclarar detalles de la imagen figura 43-2 (c) y con el comando Filters se aplica el filtro de la mediana la cual logra homogenizar los pixeles que tengan intensidades diferentes para mejorar la imagen figura 43-2 (d) y así obtener la región de interés.



**Figura 43-2:** (a) Imagen original (b) Escala de grises  
(c) Brillo (d) Filtro

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Siguiendo con el proceso se transforma la imagen procesada en un arreglo bidimensional (matriz 2D) con la ayuda del comando IMAQ ImageToArray figura 44-2 con el fin de obtener la matriz que se envía al algoritmo de comparación.



**Figura 44-2:** Comando IMAQ ImageToArray

Fuente: LabVIEW

### 2.8.5 Comparación de imágenes

Para esta etapa se emplea el complemento MathScript de LabVIEW, con el propósito de realizar el proceso matemático en Matlab. Debido a que el proceso de comparación de imágenes está basado en el coeficiente de correlación, a continuación, se explica su aplicación dentro del sistema automatizado de retinoscopia.

#### 2.8.5.1 Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación es una técnica que mide el grado de relación entre dos variables aleatorias. Es apropiada solo para datos cuantitativos como temperatura, presión, etc. mas no para datos cualitativos como color favorito, sexo, etc.

Al obtener las imágenes procesadas, tanto de la cámara como de la base de datos, y transformadas en un arreglo bidimensional, se procede a enviar estas al algoritmo de comparación de imágenes para calcular su coeficiente de correlación utilizando las siguientes fórmulas.

**MEDIA ARITMÉTICA:** es la sumatoria de todos los elementos de la matriz dividido para el número total de elementos de la matriz.

$$a = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix} \text{ Matriz } n \text{ filas por } m \text{ columnas}$$

**Ecuación 2-2:** Ecuación para calcular la media aritmética de la matriz x.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{i,j}}{m * n}$$

**Ecuación 3-2:** Ecuación para calcular la media aritmética de la matriz y.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{i,j}}{m * n}$$

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

**Ecuación 4-2:** Ecuación para calcular la covarianza entre x e y.

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

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

**Ecuación 5-2:** Ecuación para calcular la desviación típica de la matriz x.

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

**Ecuación 6-2:** Ecuación para calcular la desviación típica de la matriz y.

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

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN: es la división entre la covarianza y el producto de la desviación típica de cada matriz.

**Ecuación 7-2:** Ecuación para calcular el coeficiente de correlación entre x e y.

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{i,j} * y_{i,j})}{m * n} - \bar{x} * \bar{y}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{i,j}^2}{m * n} - (\bar{x})^2} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{i,j}^2}{m * n} - (\bar{y})^2}}$$

Dónde:

x: arreglo bidimensional de la imagen de la cámara.

y: Arreglo bidimensional de la imagen de la base de datos.

i: # de fila

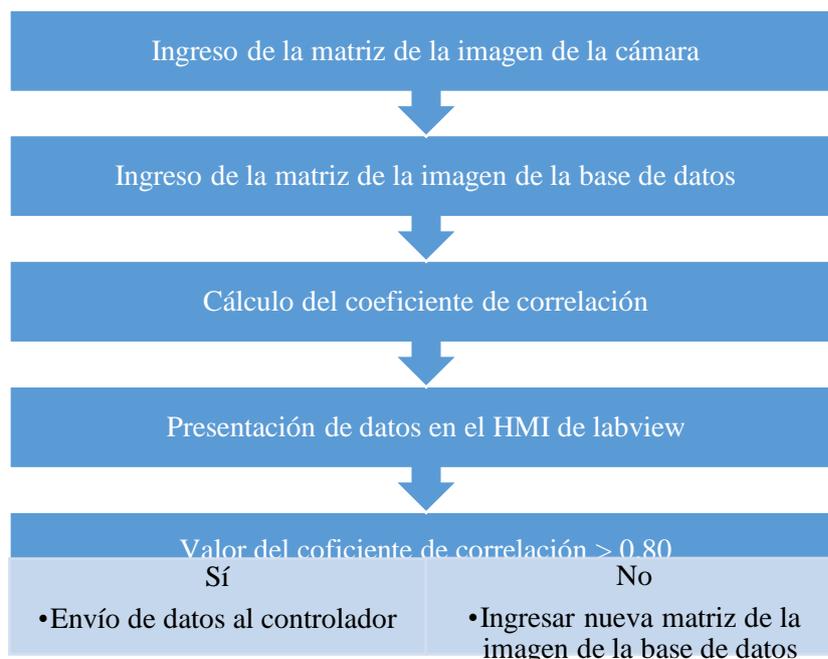
j: # de columna

n: # filas totales de la matriz

m: # columnas totales de la matriz

m\*n: # de filas \* # de columnas (constante)

### 2.8.5.2 Algoritmo de comparación de imágenes

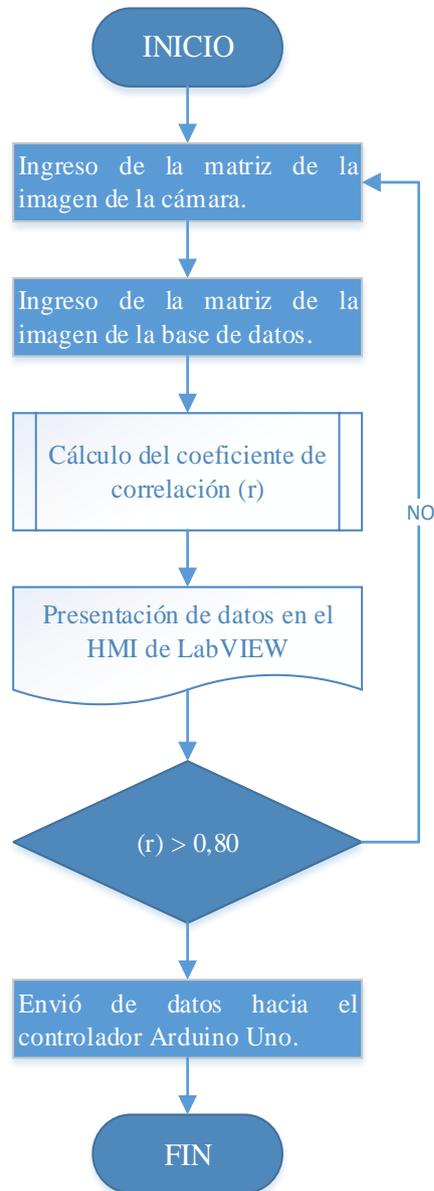


**Gráfico 12-2:** Algoritmo de comparación de imágenes

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En el entorno de LabVIEW se crea el complemento MathScript en el cual se ingresan las fórmulas como el cálculo de la media aritmética, la desviación típica, la covarianza y finalmente para el cálculo del coeficiente de correlación y dependiendo del resultado se envían datos hacia el controlador.

En el gráfico 13-2. se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de comparación de imágenes, las matrices de cada imagen son los datos de entrada para iniciar este proceso.



**Gráfico 13-2:** Algoritmo de comparación en base a correlación

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

El intervalo del valor de la correlación a utilizar se obtiene de una investigación realizada por Pacheco Liliana y Correa Juan Carlos de la Universidad Santo Tomás en Colombia, los cuales

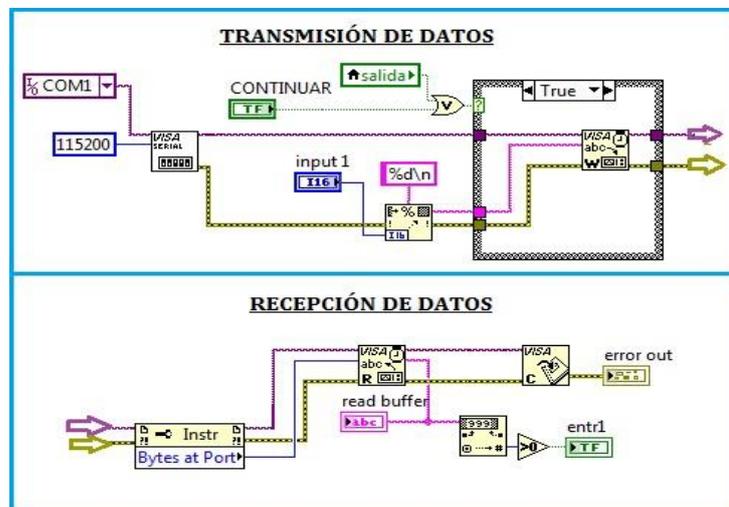
realizaron la comparación de intervalos de confianza para el coeficiente de correlación dando como resultado que el método del pivote generalizado muestra un nivel alto de confianza para el intervalo desde [0.7 - 0.9].

Debido a esto se usa 0.8 como valor de umbral para la correlación ya que es un valor que garantiza un alto grado de relación entre las imágenes comparadas. Disminuir este valor ocasionaría resultados erróneos ya que se estaría dando como positivo una relación media a baja entre las imágenes; caso contrario darle un nivel alto conlleva a que no se encuentre la relación entre las imágenes, ya que estas deberían tener una relación perfecta, lo cual no ocurre debido a factores externos.

### 2.8.6 Comunicación con el controlador Arduino

En la figura 45-2 se muestra la transmisión y la recepción de datos; se realiza la apertura del puerto serial configurada a una velocidad de 115200 Baudios, se transmiten los datos, los cuales son valores numéricos resultados de la comparación de imágenes, hacia el dispositivo especificado, en este caso hacia el Arduino Uno el cual, según los datos que reciba, realiza el movimiento de los servomotores y por ende de la estructura para realizar el cambio automático de los lentes.

Una vez que el Arduino Uno realiza las acciones necesarias, este envía una señal binaria hacia el computador, en el cual el comando de recepción de datos los lee iniciando el proceso de comparación para el siguiente ojo. Posterior a una transmisión y recepción de datos se cierra el puerto serial del dispositivo.

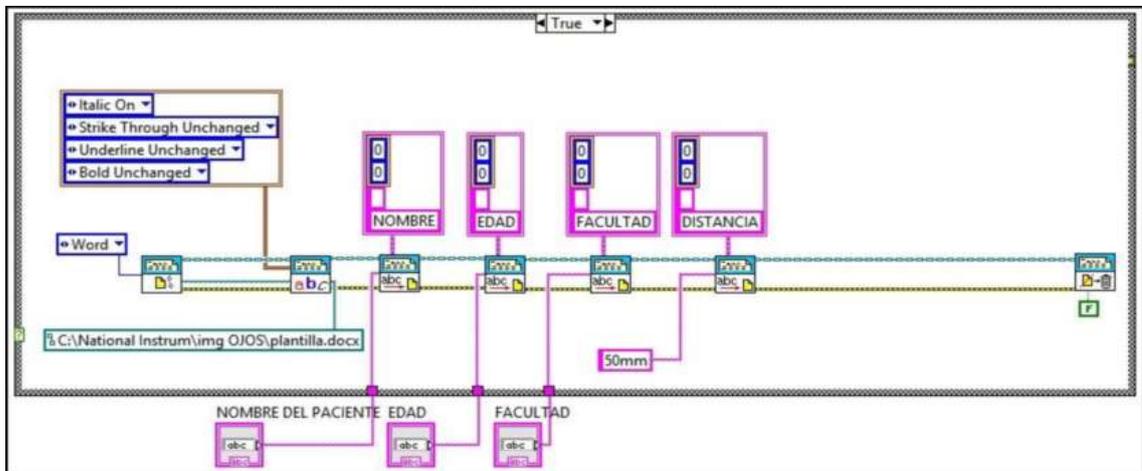


**Figura 45-2:** Comunicación entre LabVIEW y Controlador

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.8.7 Generación del reporte con los resultados del sistema

Al finalizar el proceso de comparación de los dos ojos, en la figura 46-2, se muestra el registro de los datos obtenidos en el proceso del algoritmo, con el comando NI report se crea un archivo de Word a través de una plantilla creada con anterioridad, aquí se presentan los datos del proceso y finaliza en programa.



**Figura 46-2:** Generación del reporte

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## 2.9 Diseño y programación del HMI

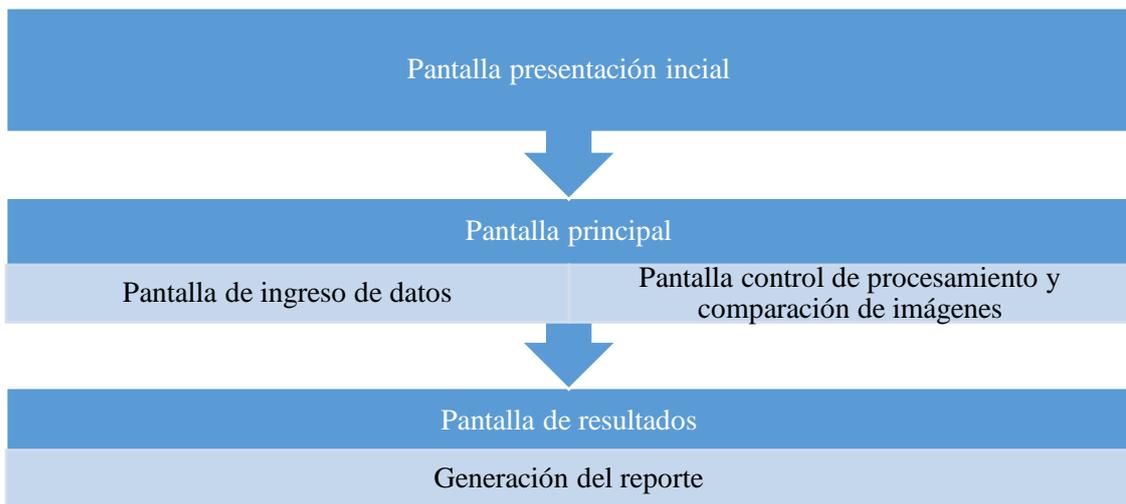
El sistema cuenta con dos HMI, el primero se desarrolla en el software LabVIEW para el sistema de visión y el segundo mediante una pantalla táctil Nextion; estas interfaces cumplen con funciones que ayudan al control, supervisión e interacción con el proceso.

### 2.9.1 HMI del sistema de visión

El HMI del sistema de visión se desarrolló con la herramienta de programación de LabVIEW, por medio de pantallas que permiten al operador visualizar e interactuar mientras se desarrolla el examen de retinoscopía.

#### 2.9.1.1 Diagrama de flujo HMI sistema de visión

El HMI desarrollado para poder visualizar la adquisición, procesamiento, comparación de imágenes de las sombras de la retina. Se programa de acuerdo al siguiente diagrama de flujo, gráfico 14-2.

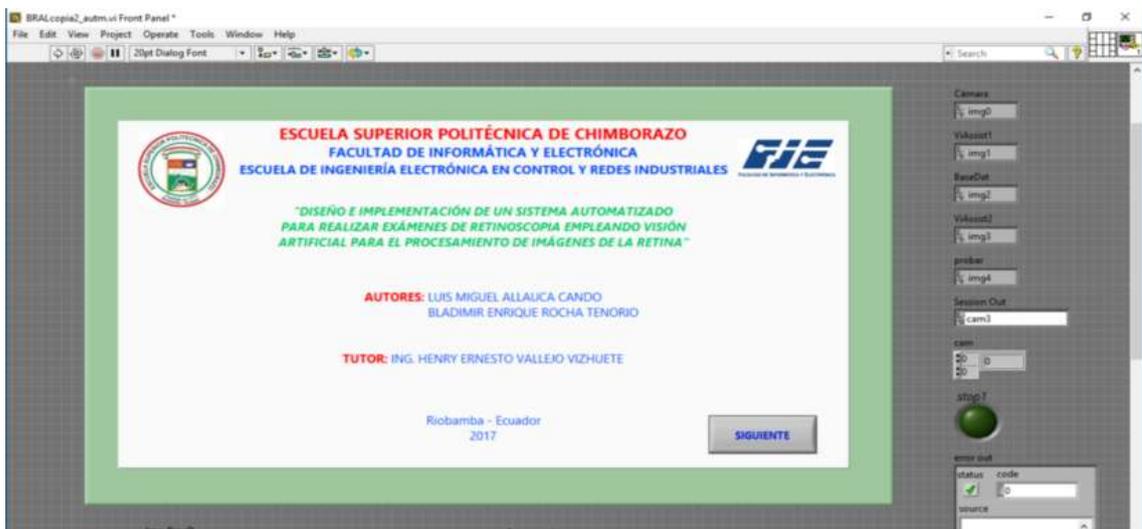


**Gráfico 14-2:** Diagrama HMI sistema de visión

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.9.1.2 Pantallas del HMI del sistema de visión

En la primera pantalla se encuentra la pantalla de presentación inicial, figura 47-2, con información del trabajo de titulación y de los autores del mismo. Además, se encuentra un botón SIGUIENTE que al ser pulsado permite la navegación hacia la pantalla principal desde la cual se controla el proceso del examen de retinoscopia.

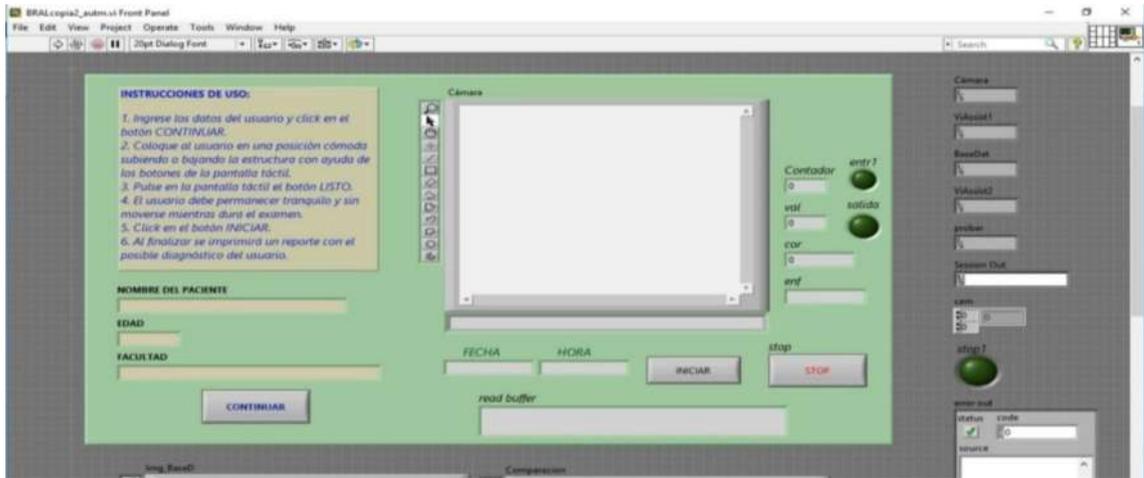


**Figura 47-2:** Pantalla inicial HMI LabVIEW

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

La siguiente pantalla es la pantalla principal del HMI, contiene las instrucciones que se deben seguir para lograr un buen desempeño de funcionamiento del prototipo del sistema, el ingreso

de los datos de usuario. También se encuentra una pantalla de supervisión del procesamiento y comparación de imágenes mientras se desarrolla el examen, figura 48-2.



**Figura 48-2:** Pantalla instrucciones, control del proceso HMI LabVIEW

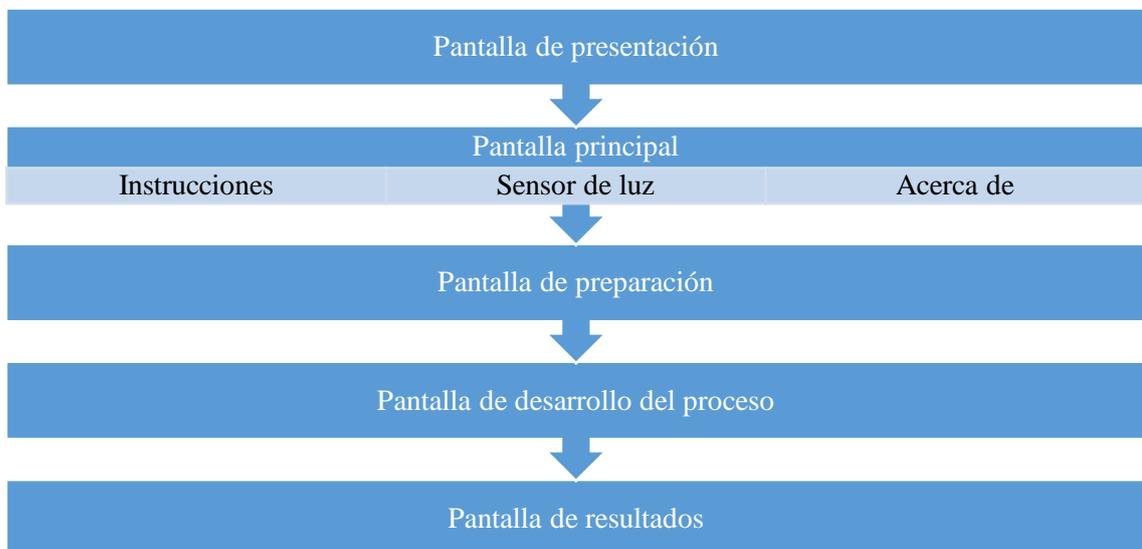
**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.9.2 HMI pantalla Nextion

El HMI de la pantalla Nextion se elaboró con el IDE de programación Nextion Editor, por medio de pantallas que permiten el control del desarrollo del examen.

#### 2.9.2.1 Diagrama de flujo HMI pantalla Nextion

El HMI de la pantalla táctil, cuenta con varias pantallas mismas que se desarrollan mediante el siguiente diagrama de flujo, gráfico 15-2.



**Gráfico 15-2:** Diagrama de flujo de la pantalla táctil

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 2.9.2.2 Pantallas de la pantalla HMI Nextion

La implementación se realiza de forma sencilla y fácil de manejar para navegar entre las distintas pantallas, el cual cuenta con pantallas que muestran información, supervisión, control y resultados del sistema, mismas que a continuación se presentan.

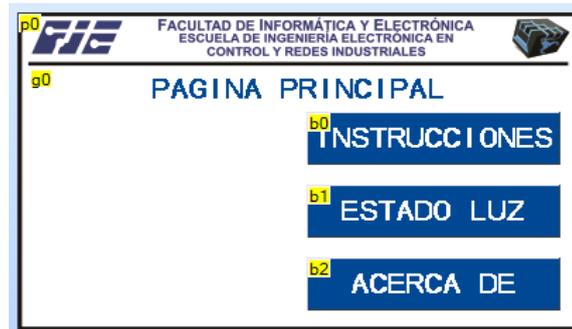
La primera pantalla es una presentación del sistema que se ejecuta por única vez. Muestra 3 pantallas de información del trabajo de titulación y de sus autores, además de los logos de la facultad de informática y electrónica y la escuela de electrónica en control y redes industriales como se muestra en la figura 49-2. Una vez de transcurrido un tiempo programado en la pantalla las pantallas de presentación se cambian hasta la pantalla principal del HMI.



**Figura 49-2:** Pantalla de presentación

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En la pantalla principal, se puede acceder a las pantallas donde se muestra las instrucciones de uso del sistema, el estado de la condición de luz previo al inicio y la información acerca de los autores. La navegación entre estas pantallas se realiza a través de los botones b0, b1 y b2 como se muestra en la figura 50-2.



**Figura 50-2:** Pantalla principal

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En la figura 51-2, se muestra la pantalla con las instrucciones de uso del sistema. Cuenta con el botón REGRESAR para retornar a la pantalla principal.



**Figura 51-2:** Pantalla de instrucciones

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En la figura 52-2, se muestra la pantalla que supervisa el estado de las condiciones de luz. Cuenta con el botón REGRESAR para retornar a la pantalla principal.



**Figura 52-2:** Pantalla estado de la luz

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En la figura 53-2, se muestra la pantalla de información acerca de los autores y del trabajo de titulación. Cuenta con el botón REGRESAR para retornar a la pantalla principal.



**Figura 53-2:** Pantalla acerca de

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Una vez iniciado el examen, la primera pantalla que se muestra es la pantalla de preparación, mediante esta se controla el movimiento de la mesa mediante los botones SUBIR (bt0) y BAJAR (bt1) como se presenta en la figura 54-2. Finalizado se presiona el botón LISTO (bt2) para navegar hacia la siguiente pantalla.



**Figura 54-2:** Pantalla control de la mesa

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En la figura 55-2, se presenta la pantalla de control del proceso del examen en esta se informa el progreso del mismo.



**Figura 55-2:** Pantalla estado del examen

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Finalmente se presenta la pantalla de muestra de resultados obtenidos con el sistema mediante un posible diagnóstico entregado, figura 56-2.



**Figura 56-2:** Pantalla control de la mesa

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

#### 3.1 Introducción

En este capítulo se presentan las pruebas y los resultados obtenidos de la implementación del prototipo desarrollado tanto hardware y software, los cuales cumplen con requerimientos del sistema y también se presenta un análisis del costo de fabricación del sistema para realizar exámenes de retinoscopía. Para el análisis de datos se usó estadística descriptiva y técnicas de análisis de datos.

#### 3.2 Procedimiento para la realización del examen automatizado de retinoscopía

1. Ingrese los datos del usuario y click en el botón CONTINUAR.
2. Coloque al usuario en una posición cómoda subiendo o bajando la estructura con ayuda de los botones de la pantalla táctil.
3. Pulse en la pantalla táctil el botón LISTO.
4. El usuario debe permanecer tranquilo y sin moverse mientras dura el examen.
5. Click en el botón INICIAR.
6. Al finalizar se imprimirá un reporte con el posible diagnóstico del usuario.

#### 3.3 Pruebas de funcionamiento

##### 3.3.1 Sistema Mecánico

Se diseñó tres mecanismos para tratar de lograr el cambio automático de las lentes de la caja de prueba, sin embargo, no todos resultaron factibles al momento de quererlos implementar. Las razones se exponen en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Tabla comparativa mecanismos cambio de lentes

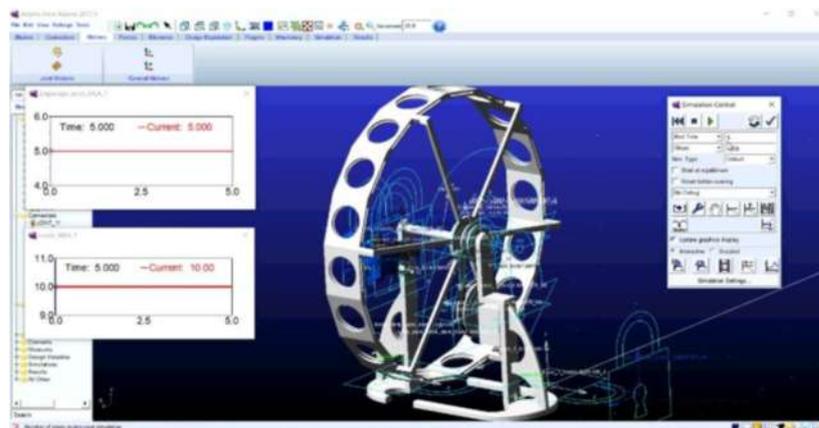
Diseño	Descripción
Matriz de lentes	No pudo ser implementado debido a que resultaba invasivo en el campo de visión del ojo que no era examinado. Provocando que el examen no se realice de una forma correcta.
Banda transportadora	Presentaba complejidad al momento de su implementación. Ocupaba un espacio excesivo en el sistema y necesitaba una mayor cantidad de recursos.
Ruleta	Resultó el diseño adecuado para ser implementado debido a que no generaba inconvenientes para la realización del examen. Su materialización fue posible mediante impresión 3D. Lograba optimizar recursos al aprovechar el movimiento de 180 grados de un servomotor y conseguir mediante una relación de engranes, el giro completo de la ruleta.

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

A continuación, se muestra la prueba de funcionamiento mediante software del mecanismo en forma de ruleta para el cambio de lentes, en el que se puede apreciar la relación de transmisión 2:1, ya que por cada 5 grados que se mueve el engrane del servomotor el engrane de la rueda se mueve 10 grados. Es decir, se consigue con el movimiento de 180 grados del servomotor el movimiento completo de la rueda de lentes, logrando así recorrer todas las lentes.

Estos resultados obtenidos mediante software fueron comprobados mediante el método de experimentación en la práctica. Pudiendo verificar mediante el movimiento del servomotor que se logra el cambio de todas las lentes de prueba, mismas que son empleadas para la etapa de neutralización del examen.



**Figura 1-3:** Prueba del mecanismo cambio de lentes

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 3.3.2 Consumo de corriente del sistema electrónico

Se verifico el consumo del sistema electrónico al ser conectado a la fuente ATX del computador, resultando que no se presenta inconvenientes en el funcionamiento del computador y que no existe necesidad de adquirir una fuente externa ahorrando en costos.



**Figura 2-3:** Medición de consumo

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Para determinar el consumo de corriente y potencia se realizó un censo de carga de cada uno de los elementos y dispositivos que conforman el sistema electrónico del sistema automatizado de retinoscopia, como se muestra en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Potencia absorbida del sistema electrónico

Componente	Corriente (Amperios)	Voltaje (Voltios)	Potencia (Wattios)
Placas Arduino	100 mA	12 V	1.2 W
Pantalla Nextion	85 mA	5 V	0.425 W
Servo motores	250 mA	5 V	1.25 W
Foco del retinoscopio	90 mA	9 V	0.81 W
Total	525 mA	12 V	6.3 W

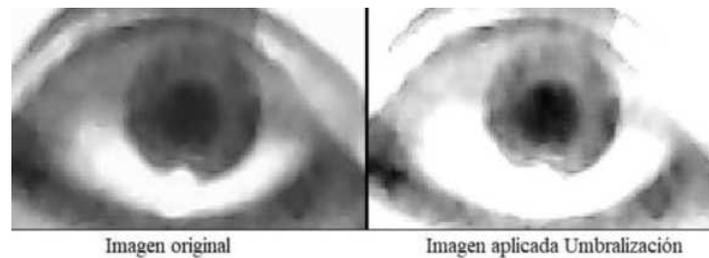
**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

La corriente total requerida por el sistema electrónico es de 525 mA con un voltaje de 12 voltios entonces la potencia total absorbida del sistema corresponde a 6.3 vatios que en el tiempo de uso da como resultado una potencia de 6.3 WH cuando el sistema está trabajando. Resultando un consumo bajo que no requiere de una fuente adicional.

### 3.3.3 *Procesamiento de imágenes*

A continuación, se muestra el procesamiento de las imágenes del ojo capturas a través la cámara. Mediante el procesamiento se buscó limitar la zona de interés aplicando el método de segmentación denominado umbralización, como se puede observar en la figura 3-3, se logró como resultado resaltar la zona de la pupila del ojo, permitiendo observar el reflejo provocado por el haz de luz del retinoscopio, en la retina.



**Figura 3-3:** Imagen ojo aplicada umbralización

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

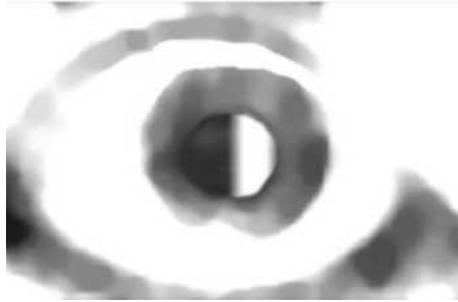
Si bien con la aplicación de umbralización se consiguió resaltar la zona de interés del ojo para nuestro sistema, el resultado presenta ruido como se pudo observar en la figura 3-3. Para eliminar el ruido presente en la imagen, se empleó la aplicación del filtro de la mediana, consiguiendo como resultado afinar la imagen, logrando mejorar el resalte de sus características, figura 4-3.



**Figura 4-3:** Imagen ojo filtro de la mediana

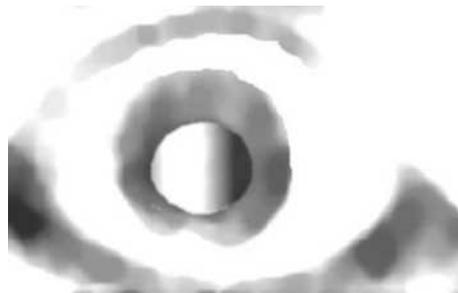
**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Con el procesamiento aplicado, se obtuvieron los siguientes resultados para cada una de las ametropías visuales. La figura 5-3, muestra el resultado del procesamiento de un ojo con miopía. La figura 6-3, muestra el resultado del procesamiento de un ojo con hipermetropía y en la figura 7-3 se presenta el resultado del procesamiento de un ojo con astigmatismo.



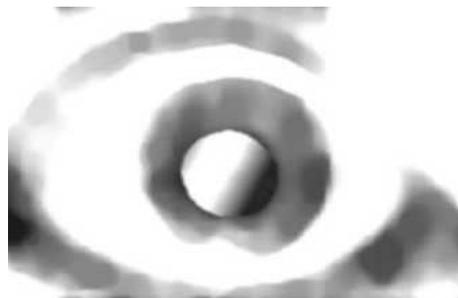
**Figura 5-3:** Ojo procesado miopía

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017



**Figura 6-3:** Ojo procesado hipermetropía

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

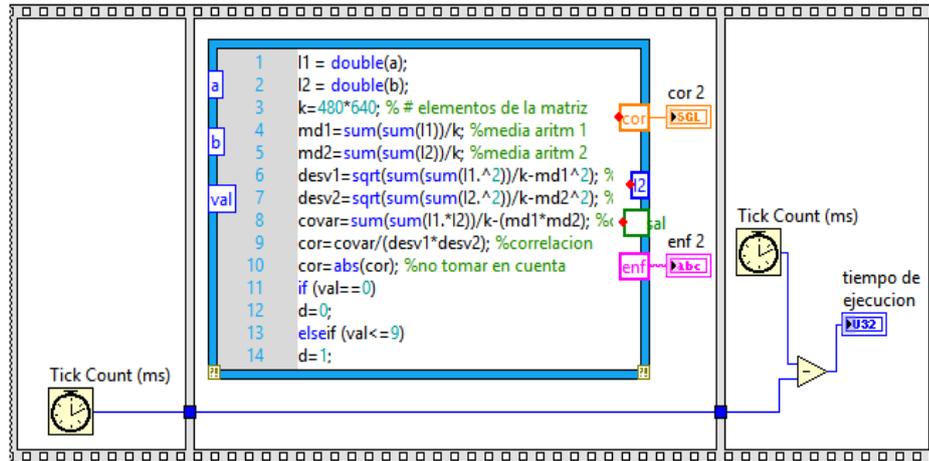


**Figura 7-3:** Ojo procesado astigmatismo

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### **3.3.2 Tiempo de comparación de imágenes**

Se realizó una prueba para determinar el tiempo en el que se ejecuta la comparación de las imágenes tomando una muestra de 50 datos por cada ametropía visual. Estos datos se tomaron realizando una medición del tiempo de ejecución de la etapa de comparación. Se ingresó en una estructura de secuencia, los comandos Tick Count los cuales se restan entre sí para mostrar el valor del tiempo de ejecución de esa etapa como se muestra en la figura 8-3.



**Figura 8-3:** Medición del tiempo de ejecución de la etapa de comparación

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Para calcular el tiempo de ejecución de la comparación de imágenes cada vez que se ejecute el algoritmo de comparación, se utilizó la ecuación 1-3.

**Ecuación 1-3:** Ecuación para calcular el tiempo de ejecución del algoritmo de comparación.

$$\text{Tiempo de ejecución} = \text{Tiempo de salida} - \text{Tiempo de entrada}$$

Aplicando estadística descriptiva se obtuvieron los siguientes resultados de tiempo para la comparación de ojos sanos, miopes, hipermétropes y con astigmatismo, expresados en las siguientes tablas:

**Tabla 1-3:** Resultado de datos de ojos sanos

OJO SANO	
Media	162,28
Error típico	1,498853984
Mediana	163
Moda	163
Desviación estándar	10,59849816
Varianza de la muestra	112,3281633
Curtosis	-0,039074784
Coefficiente de asimetría	-0,578171604
Rango	44
Mínimo	140
Máximo	184
Suma	8114
Cuenta	50
Nivel de confianza (95,0%)	3,01205985

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Fuente: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Tabla 2-3:** Resultado de datos de ojo con miopía

<b>OJO CON MIOPIA</b>	
Media	166,02
Error típico	2,333691129
Mediana	164
Moda	164
Desviación estándar	16,50168823
Varianza de la muestra	272,3057143
Curtosis	0,486458707
Coficiente de asimetría	-0,08524957
Rango	77
Mínimo	125
Máximo	202
Suma	8301
Cuenta	50
Nivel de confianza (95,0%)	4,689727904

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Tabla 3-3:** Resultado de datos de ojo con hipermetropía

<b>OJO CON HIPERMETROPÍA</b>	
Media	170,7
Error típico	2,842713564
Mediana	167
Moda	161
Desviación estándar	20,10102038
Varianza de la muestra	404,0510204
Curtosis	3,710093332
Coficiente de asimetría	1,461769854
Rango	114
Mínimo	131
Máximo	245
Suma	8535
Cuenta	50
Nivel de confianza (95,0%)	5,712646785

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Tabla 4-3:** Resultado de datos de ojo con astigmatismo

<b>OJO CON ASTIGMATISMO</b>	
Media	174,74
Error típico	1,997306349
Mediana	170
Moda	170

Desviación estándar	14,12308864
Varianza de la muestra	199,4616327
Curtosis	-0,397493416
Coefficiente de asimetría	0,237014147
Rango	68
Mínimo	142
Máximo	210
Suma	8737
Cuenta	50
Nivel de confianza (95,0%)	4,013737381

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

El tiempo promedio en que se ejecuta la comparación de cada ametropía, se encuentra representada por la media aritmética de los resultados obtenidos. Mismos que se encuentran en la tabla 5-3.

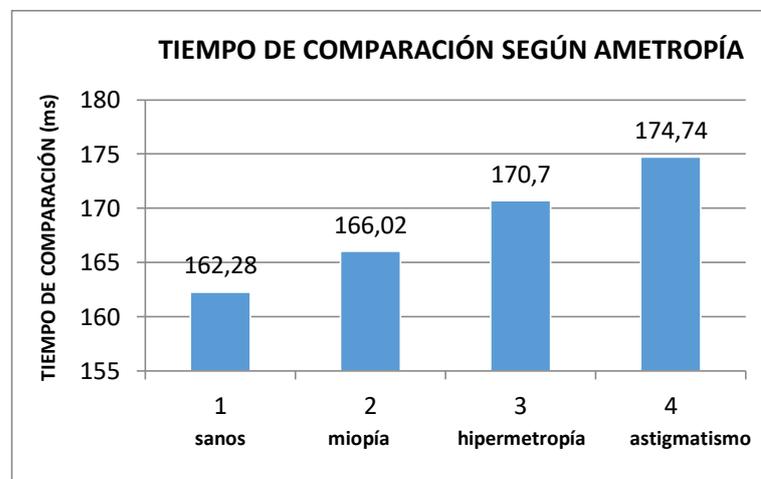
**Tabla 5-3:** Tiempo de comparación según la ametropía

Ametropía	Tiempo (ms)
(1) sanos	162,28
(2) miopía	166,02
(3) hipermetropía	170,7
(4) astigmatismo	174,74

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En el gráfico 1-3 se muestra el tiempo de comparación de las imágenes según la ametropía que presenta el usuario.



**Gráfico 1-3:** Tiempo de comparación según la ametropía

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Se obtuvo el porcentaje de la variación del tiempo de comparación entre las distintas ametropías empleando la siguiente ecuación:

**Ecuación 2-3:** Ecuación para calcular el porcentaje de variación entre ametropía.

$$\%variación = \frac{\text{valor siguiente} - \text{valor anterior}}{\text{valor siguiente}} * 100\%$$

La variación del tiempo de comparación entre miopía y sanos es:

$$\%variación = \frac{166.02 - 162.28}{166.02} * 100\%$$

$$\%variación = 2.25\%$$

La variación del tiempo de comparación entre hipermetropía y miopía es:

$$\%variación = \frac{170.7 - 166.02}{170.7} * 100\%$$

$$\%variación = 2.74\%$$

La variación del tiempo de comparación entre astigmatismo e hipermetropía es:

$$\%variación = \frac{174.74 - 170.7}{174.74} * 100\%$$

$$\%variación = 2.32\%$$

Los resultados obtenidos mediante la ecuación 2-3, se presentan en la tabla 6-3. Se muestra que el promedio del porcentaje de variación del tiempo de comparación de imágenes entre ametropías, calculado fue de 2.44%; lo cual indica que mientras mayor es el daño refractivo mayor es el tiempo de comparación de las imágenes.

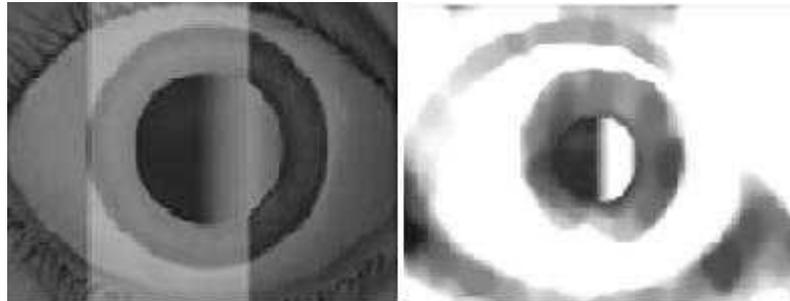
**Tabla 6-3:** Variación de tiempo entre ametropías

variación	% variación
3,74	2,25%
4,68	2,74%
4,04	2,32%
<b>Promedio:</b>	<b>2,44%</b>

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

A continuación, en la figura 9-3, se muestra el resultado de la comparación de la imagen de la base de datos de un ojo con miopía, con una imagen procesada de un ojo real con dicha ametropía adquirida mediante la cámara. La relación entre las imágenes fue alta debido a que el coeficiente de correlación calculado entre ellas fue de 0,81.



**Figura 9-3:** Comparación de un ojo con miopía

Realizado por: Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

### 3.3.4 *Análisis y comparación de los resultados obtenidos del sistema*

Para definir las métricas, se analizaron criterios que pudieran permitir la comparación de los resultados que fueron obtenidos mediante el sistema automatizado de retinoscopía y el examen manual. Los criterios escogidos fueron la rapidez y la eficiencia.

Se define la rapidez, como el tiempo que tarda en alcanzar el resultado. El examen de retinoscopía se lo realiza de forma manual, se tomaron datos de su duración con la ayuda de un cronometro y se compararon con datos de la duración del sistema automatizado. Para asegurar los resultados obtenidos se tomó una muestra de 30 mediciones, resultando mediante la aplicación de estadística descriptiva los datos representados en las siguientes tablas:

**Tabla 7-3:** Tiempo examen manual

MANUAL	
Media	250
Error típico	1,929206853
Mediana	250
Moda	250
Desviación estándar	10,56670111
Varianza de la muestra	111,6551724
Curtosis	-0,626109814
Coefficiente de asimetría	0,030625685
Rango	40
Mínimo	230
Máximo	270

Suma	7500
Cuenta	30
Nivel de confianza (95,0%)	3,945671041

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

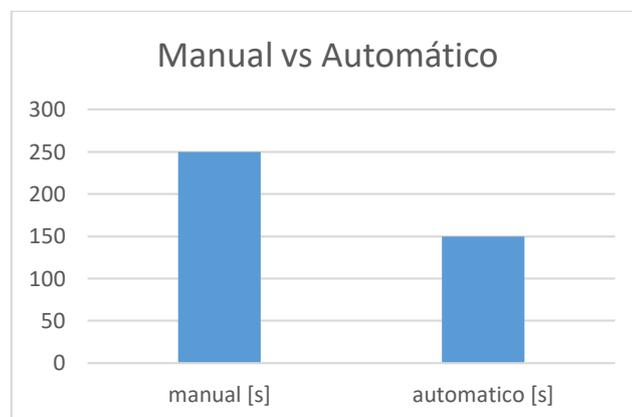
**Tabla 8-3:** Tiempo examen automatizado

<b>AUTOMÁTICO</b>	
Media	150
Error típico	2,160246899
Mediana	149,5
Moda	140
Desviación estándar	11,83215957
Varianza de la muestra	140
Curtosis	-0,89085263
Coefficiente de asimetría	0,196047833
Rango	40
Mínimo	130
Máximo	170
Suma	4500
Cuenta	30
Nivel de confianza (95,0%)	4,418200993

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

El tiempo promedio empleado en la realización y obtención de los resultados del examen en su forma manual y mediante el sistema, se representa mediante el gráfico 2-3.



**Gráfico 2-3:** Tiempo manual vs automático

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

Se calculó mediante la ecuación 3-3, el porcentaje de la variación del tiempo entre el examen manual y el automático.

**Ecuación 3-3:** Ecuación para calcular la variación de tiempo empleado entre manual y automático.

$$\%variación = \frac{manual - automático}{automático} * 100\%$$

La variación entre el tiempo manual y automático es:

$$\%variación = \frac{250 - 150}{250} * 100\%$$

$$\%variación = 40\%$$

Se define la métrica de eficiencia, comparando los resultados obtenidos en el examen manual de retinoscopia por parte del médico optometrista, con los resultados obtenidos con el sistema automatizado. Teniendo como resultado que, de la muestra de 30 datos tomada se obtuvieron resultados iguales en 20 de los casos, representando una eficiencia del 66,67%.

Los casos en que los resultados no coincidieron fueron debido a factores externos al funcionamiento del sistema. Debido a que en ocasiones el usuario no seguía las indicaciones necesarias para obtener mejores resultados; las ametropías con un alto grado de afección también incidían en los resultados del sistema.

### 3.3.5 *Análisis de costos del sistema automatizado*

**Tabla 9-3:** Costos implementación del sistema

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Computador de escritorio	1	450,00	450,00
Mesa oftalmológica	1	350,00	350,00
Retinoscopio, caja de pruebas	1	400,00	400,00
Cámara web HD	1	65,00	65,00
Arduino Uno	1	40,00	40,00
Arduino Nano	1	8,00	8,00
Pantalla Nextion 3,2"	1	36,00	36,00
Fuente DC-DC	1	3,75	3,75
Sensor de luz	1	17,00	17,00
Servomotor	1	12,00	12,00
Micro servo	2	8,00	16,00

Módulo Micro SD mp3	1	12,00	12,00
Módulo Láser	1	2,00	2,00
Kit Hoja de baquelita + ácido	1	6,00	6,00
Rodamiento	2	1,00	2,00
Pernos con tornillos	4	3,00	12,00
Plancha Acrílico 122x122 cm.	1	108,00	108,00
Pega Blanca EPOXI	1	7,50	7,50
Otros	1	10,00	10,00
<b>TOTAL:</b>			1557,25
<b>MANO DE OBRA</b>			
Impresión 3D estructura rueda	1	140,00	140,00
Corte MDF estructura soporte	1	20,00	20,00
Corte láser estructura externa	1	25,00	25,00
<b>TOTAL:</b>			185,00
<b>COSTO TOTAL IMPLEMENTACION DEL SISTEMA:</b>			1742,25

**Realizado por:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

**Fuente:** Allauca, Luis; Rocha, Bladimir; 2017

En la tabla 9-3, se indica el costo de cada uno de componentes, elementos y servicios que fueron necesarios para la implementación del prototipo del sistema automatizado para realizar exámenes de retinoscopía. Notando que los componentes electrónicos representan el 10% del total del costo de la materia prima directa, la mano de obra directa representa el total del mismo y los instrumentos médicos representan el 48% del costo.

## CONCLUSIONES

- Mediante el diseño y la implementación del sistema mecánico se concluye que este permite emular las acciones de movimiento empleadas en el proceso manual del examen de retinoscopía. Con una limitante en el caso de astigmatismo.
- Mediante la medición de consumo de corriente se concluye que el sistema electrónico diseñado e implementado no demanda un gran consumo de corriente haciendo que sea posible adaptarlo directamente a la fuente del computador.
- Se determinó el tiempo promedio de la comparación de imágenes, resultando que: ojos sin ametropía se comparan en 162,28 ms, con miopía en 166,02 ms, con hipermetropía en 170,7 ms y con astigmatismo en 174,75 ms. Se concluyó que el tiempo de comparación de las imágenes incrementa en 2,44% mientras mayor sea el daño refractivo.
- Se realizó una prueba de procesamiento de imágenes con distintos filtros que dio como resultado que el más óptimo para aplicar en el procesamiento de imágenes es el filtro de la mediana ya que elimina el ruido de la imagen reemplazando cada pixel por la mediana de los pixeles vecinos.
- El empleo de HMI permite, tanto al operario como al usuario, visualizar el proceso y los resultados obtenidos del examen en pantalla.
- Con el periodo de pruebas realizado se verificó que, con la implementación del sistema, el tiempo promedio empleado para el examen se redujo de 250 a 150 segundos, siendo un 40 % más eficiente.
- A pesar de que los médicos optometristas opten por realizar el examen de forma manual, el sistema automatizado se presenta como una herramienta de ayuda para realizar el examen de retinoscopía, ya que mediante la automatización de las acciones que se realizan en el examen, se logra disminuir el tiempo de realización del mismo; además de disminuir la fatiga laboral que conlleva realizar el examen un número considerable de veces, al evitar la interacción directa por parte del optometrista.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar los parámetros que intervienen en la realización del examen de retinoscopia, así como las variables que lo afectan.
- Se recomienda para trabajos futuros, mejorar el diseño del sistema mecánico del movimiento del retinoscopio para obtener mejores resultados en la determinación de astigmatismo.
- Si se pretende emplear una fuente externa a la del computador para alimentar la placa electrónica, se recomienda verificar que provea la potencia necesaria para que todos los componentes funcionen debidamente.
- Para lograr resultados del procesamiento de imágenes óptimos, se recomienda utilizar filtros y morfología adecuados que permitan mejorar la imagen para su posterior comparación.
- Se recomienda el funcionamiento del sistema en un ambiente con condiciones de luz adecuada para un desarrollo correcto del examen automatizado.
- Se recomienda seguir las instrucciones expuestas por los autores, para que el proceso del examen se realice de una manera correcta.

## BIBLIOGRAFÍA

*Astigmatismo*. [En línea] Molenberg optical, 2017. [Citado el: 29 de Mayo de 2017.]  
Disponibile en: <http://www.molenberg.com.ar/EIOfjo/Astigmatismo.html>.

**BOYD, Kierstan.** *¿Qué Causa el Astigmatismo?* [En línea] 2013.  
[Citado el: 26 de Mayo de 2017.]  
Disponibile en: <https://www.aao.org/salud-ocular/enfermedades/miopia>.

**BOYD, Kierstan.** *¿Qué es la miopía?* [En línea] 2013. [Citado el: 29 de Mayo de 2017.]  
Disponibile en: <https://www.aao.org/salud-ocular/enfermedades/astigmatismo-causas>.

*Comunicaciones con arduino*. [En línea] 2014. [Citado el: 06 de Julio de 2017.] Disponibile en:  
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2014/11/18/tema-6-comunicaciones-con-arduino-4/>.

**CONTAVAL.** *¿Qué es la visión artificial y para qué sirve?* [En línea] 2016.  
[Citado el: 29 de Mayo de 2017.]  
Disponibile en: <http://www.contaval.es/que-es-la-vision-artificial-y-para-que-sirve/>.

**COOPERVISION.** *¿Qué es la hipermetropía?* [En línea] Cooper Companies, 2015.  
[Citado el: 29 de Mayo de 2017.]  
Disponibile en: <https://coopervision.es/cuidado-de-la-vision-y-salud-ocular/que-es-la-hipermetropia>.

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA UAH.** *Etapas de un SVA*. [En línea] 2013.  
[Citado el: 14 de Junio de 2017.] Disponibile en:  
<ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Vision%20de%20Maquina/Documents/Etapas%20de%20un%20SVA.pdf>.

*Errores refractivos*. [En línea] 2014. [Citado el: 26 de Mayo de 2017.]  
Disponibile en: <http://www.docshop.com/es/education/vision/refractive-errors>.

**ESCUELA DE TECNOLOGÍA MÉDICA.** *Bases de la Refracción*. [En línea] Unversisad Mayor, 2012. [Citado el: 07 de Junio de 2017.]  
Disponibile en: <https://es.slideshare.net/OPTO2012/clase-9-bases-ref>.

**FISICALAB.** *El ojo humano*. [En línea] 2016. [Citado el: 24 de Mayo de 2017.]  
Disponibile en: <https://www.fiscalab.com/apartado/ojo-humano#estructura>.

**FURLAN, Walter, GARCÍA, Javier y MUÑOZ, Laura.** *Fundamentos de optometría. Refracción ocular.* [ed.] Maite Simón. Segunda. Valencia : 2009. págs. 83-104.

**GARCÍA, Antony.** *¿Qué es y cómo funciona un servomotor?* [En línea] panamahitek, 2016. [Citado el: 06 de Julio de 2017.]

Disponible en: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>.

**GONZÁLES, Ana, y otros.** *Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial.* [ed.]

Universidad de La Rioja. Servicio de publicaciones. Madrid : 2006. págs. 19-25. 84-689-9345-X.

**HEREDIA ARROYO, Diego Gabriel y RAMÍREZ TAPIA, Erick Stalin.** *Diseño e implementación de un prototipo para el control de acceso mediante el reconocimiento de imágenes del iris empleando la herramienta de desarrollo labview.* [En línea] (Tesis).

(Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2007.

[Citado el: 17 de Julio de 2017.] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4154>.

**HERRANZ, Raúl Martín.** *Retinoscopía.* [En línea] 2004. [Citado el: 10 de 09 de 2017.]

Disponible en: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/optometria/retinoscopia.pdf>.

*Hipermetropía.* [En línea] Molenberg optical, 2017. [Citado el: 29 de Mayo de 2017.]

Disponible en: <http://www.molenberg.com.ar/ElOjo/Hipermetropia.html>.

**KOLAR, R, y otros.** *Detección y evaluación semiautomática de áreas autofluorescentes en imágenes retinianas.* [En línea] (Tesis). (Pregrado) Biblioteca Nacional de Medicina, Institutos Nacionales de Salud, E.E.U.U. 2007. [Citado el: 17 de Julio de 2017.]

Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18002708>.

**LARA, Eduardo.** *Pantalla Nextion Arduino.* [En línea] 2015. [Citado el: 17 de 09 de 2017.]

Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/pantalla-nextion-arduino/>.

**LOZANO, German y ORDUZ, Jairo.** *Diseño de un sistema de visión artificial para la revisión del nivel de llenado de bebidas embotelladas.* (Tesis). (Pregrado) Universidad Autónoma del Caribe, Caribe, 2015. págs. 18,33,34.

**MAILLE, Michel.** *Los defectos de la vista.* [En línea] Netdoctor, 2017.

[Citado el: 25 de Mayo de 2017.]

Disponible en: <http://netdoctor.elespanol.com/articulo/defectos-vista-o-ametropias>.

**MARR, David.** *Introducción General Visión.* [En línea] Magarinos, 1982.

[Citado el: 17 de Julio de 2017.] Disponible en: <http://www.magarinos.com.ar/MARR.htm>.

**MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.** *Registro Nacional de Discapacidades.* [En línea] 2015. [Citado el: 12 de Julio de 2017.]

Disponible en: [http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/registro\\_nacional\\_discapacidades.pdf](http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/registro_nacional_discapacidades.pdf).

*Miopía.* [En línea] Molenberg Optical, 2017. [Citado el: 29 de Mayo de 2017.]

Disponible en: <http://www.molenberg.com.ar/EIOjo/Miopia.html>.

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.** *Ceguera y discapacidad visual.* [En línea] OMS 2017. [Citado el: 12 de Julio de 2017.]

Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/>.

**PAZOS, Alejandro, y otros.** *Inteligencia Artificial y Computación Avanzada.* Santiago de Compostela : Fundación Alfredo Brañas, 2007. págs. 8-10. 84-934497-0-9.

**PUELL, MC.** *El sistema óptico del ojo y la visión binocular.* [En línea] 2012. [Citado el: 25 de Mayo de 2017.]

Disponible en: [http://eprints.sim.ucm.es/14823/1/Puell\\_%C3%93ptica\\_Fisiol%C3%B3gica.pdf](http://eprints.sim.ucm.es/14823/1/Puell_%C3%93ptica_Fisiol%C3%B3gica.pdf).

*¿Qué es un retinoscopio?* [En línea] Specsavers Optical Group 2017. [Citado el: 01 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://www.specsavers.es/ayuda-y-preguntas/%C2%BFqu%C3%A9-es-un-retinoscopio>.

*Retinoscopía.* [En línea] AAPOS, 2013. [Citado el: 01 de Junio de 2017.]

Disponible en: <https://www.aapos.org/es/terms/conditions/95>.

*Sistema Operativo.* [En línea] Slideplayer, 2014. [Citado el: 30 de Septiembre de 2017.]

Disponible en: <http://slideplayer.es/slide/1111535/>.

**SITES GOOGLE.** *Procesamiento de imágenes.* [En línea] Google Sites, 2016.

[Citado el: 1 de Octubre de 2017.] Disponible en:

<https://sites.google.com/site/cg05procesamientodeimagenes/home/threshold-umbralizacion>.

**SOLANS, Teresa, y otros.** *Refracción Manual.* [En línea] Sociedad Española de Oftalmología, 2015. [Citado el: 06 de Julio de 2017.] Disponible en: [http://oftalmoseoformacion.com/wp-oftalmoseo/documentacion/cap\\_04\\_refraccion\\_manual.pdf](http://oftalmoseoformacion.com/wp-oftalmoseo/documentacion/cap_04_refraccion_manual.pdf).

*Todo lo que necesitas saber sobre Arduino.* [En línea] 2015. [Citado el: 05 de Julio de 2017.]  
Disponibile en: <https://www.xataka.com/especiales/guia-del-arduinomaniaco-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-arduino>.

**UNICAN.** *Software Labview.* [En línea] Universidad de Cantabria, 2016.  
[Citado el: 15 de Junio de 2017.]  
Disponibile en: <https://sdei.unican.es/paginas/servicios/software/labview.aspx>.

# ANEXOS

## Anexo A: Sensor de luz digital BH1750



Technical Note

**Ambient Light Sensor IC Series**  
**Digital 16bit Serial Output Type**  
**Ambient Light Sensor IC**  
**BH1750FVI** No. 10048EC01

**●Descriptions**  
 BH1750FVI is an digital Ambient Light Sensor IC for I<sup>2</sup>C bus interface. This IC is the most suitable to obtain the ambient light data for adjusting LCD and keypad backlight power of Mobile phone. It is possible to detect wide range at High resolution. (1 ~ 65535 lx).

**●Features**

- I<sup>2</sup>C bus interface (1<sup>st</sup> Mode Support)
- Spectral responsivity is approximately human eye response
- Illuminance to Digital Converter
- Wide range and high resolution. (1 ~ 65535 lx)
- Low Current by power down function
- 8kHz / 80Hz Light noise reject-function
- 1.8V Logic input interface
- No need any external parts
- Light source dependency is little. (ex. Incandescent Lamp, Fluorescent Lamp, Halogen Lamp, White LED, Sun Light)
- It is possible to select 2 type of I<sup>2</sup>C slave-address.
- Adjustable measurement result for influence of optical window. (It is possible to detect min. 0.11 lx, max. 100000 lx by using this function.)
- Small measurement variation (±20%).
- The influence of infrared is very small.

**●Applications**  
 Mobile phone, LCD TV, NOTE PC, Portable game machine, Digital camera, Digital video camera, Car navigation, PDA, LCD display

**●Absolute Maximum Ratings**

Parameter	Symbol	Limits	Units
Supply Voltage	V <sub>DD</sub>	4.5	V
Operating Temperature	T <sub>OP</sub>	-40 ~ 85	°C
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>	-40 ~ 100	°C
I <sup>2</sup> C Sink Current	I <sub>SDA</sub>	7	mA
Power Dissipation	P <sub>D</sub>	350 <sup>*)</sup>	mW

\*) 10mm × 10mm × 1.0mm gold wire bond. Soldering: 300s at 175°C for operating above 3x3x3.

**●Operating Conditions**

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units
V <sub>DD</sub> Voltage	V <sub>DD</sub>	2.4	3.0	3.6	V
I <sup>2</sup> C Reference voltage	V <sub>DD</sub>	1.85	-	V <sub>DD</sub>	V

**BH1750FVI** Technical Note

**●Electrical Characteristics (V<sub>DD</sub> = 3.0V, DVI = 3.0V, T<sub>a</sub> = 25°C, unless otherwise noted)**

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Standby Current	I <sub>CC1</sub>	—	120	190	μA	E <sub>v</sub> = 100 lx <sup>*)</sup>
Powerdown Current	I <sub>CC2</sub>	—	0.01	1.0	μA	No Input Light
Peak Wave Length	λ <sub>p</sub>	—	860	—	nm	
Measurement Accuracy	ΔA	0.96	1.2	1.44	times	Sensor out / Actual lx E <sub>v</sub> = 1000 lx <sup>*)</sup>
Dark (0 lx) Sensor out	SD	0	0	3	count	H-Resolution Mode <sup>*)</sup>
H-Resolution Mode Resolution	ΔH	—	1	—	lx	
L-Resolution Mode Resolution	ΔL	—	4	—	lx	
L-Resolution Mode Measurement Time	t <sub>ME</sub>	—	120	180	ms	
L-Resolution Mode Measurement Time	t <sub>ME</sub>	—	16	24	ms	
Incandescent / Fluorescent Sensor out ratio	r <sub>IF</sub>	—	1	—	times	E <sub>v</sub> = 1000 lx
ACOR Input V <sub>I</sub> Voltage	V <sub>VI1</sub>	0.7 * V <sub>DD</sub>	—	—	V	
ACOR Input V <sub>I</sub> Voltage	V <sub>VI2</sub>	—	—	0.3 * V <sub>DD</sub>	V	
DVI Input V <sub>I</sub> Voltage	V <sub>VI3</sub>	—	—	0.4	V	
SCL, SDA Input V <sub>I</sub> Voltage 1	V <sub>VI1</sub>	0.7 * DVI	—	—	V	DVI ≥ 1.8V
SCL, SDA Input V <sub>I</sub> Voltage 2	V <sub>VI2</sub>	1.26	—	—	V	1.65V ≤ DVI < 1.8V
SCL, SDA Input V <sub>I</sub> Voltage 1	V <sub>VI1</sub>	—	—	0.3 * DVI	V	DVI ≥ 1.8V
SCL, SDA Input V <sub>I</sub> Voltage 2	V <sub>VI2</sub>	—	—	DVI - 1.26	V	1.65V ≤ DVI < 1.8V
SCL, SDA, ADDR Input I <sub>I</sub> Current	I <sub>II</sub>	—	—	10	μA	
SCL, SDA, ADDR Input I <sub>I</sub> Current	I <sub>II</sub>	—	—	10	μA	
I <sup>2</sup> C Clock Frequency	f <sub>CL</sub>	—	—	400	kHz	
I <sup>2</sup> C Bus Free Time	t <sub>BUF</sub>	1.3	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C Hold Time (repeated) / START Condition	t <sub>STO</sub>	0.6	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C Set up time for a Repeated START Condition	t <sub>STU</sub>	0.6	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C Set up time for a Repeated STOP Condition	t <sub>STO</sub>	0.6	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C Data Hold Time	t <sub>SDH</sub>	0	—	0.9	μs	
I <sup>2</sup> C Data Setup Time	t <sub>SDS</sub>	100	—	—	ns	
I <sup>2</sup> C V <sub>I</sub> Period of the SCL Clock	t <sub>LOW</sub>	1.3	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C V <sub>I</sub> Period of the SDA Clock	t <sub>SDN</sub>	0.6	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C SDA Output V <sub>I</sub> Voltage	V <sub>OL</sub>	0	—	0.4	V	I <sub>OL</sub> = 3 mA

\*) 1000 lux is used as other source.  
 \*\*) Measurement Results: typical value is possible to change "1" by Measurement result adjustment function.  
 \*\*\*) See H-Resolution mode or L-Resolution mode? of each mode (see item 10) in 14. read)

www.rohm.com 1/17 2010.04 - Rev.C www.rohm.com 2/17 2010.04 - Rev.C

**BH1750FVI** Technical Note

**●Reference Data**

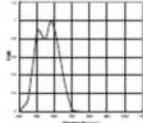


Fig.1 Spectral Response

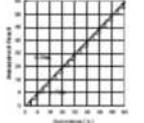


Fig.2 Illuminance - Measurement Result

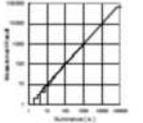


Fig.3 Illuminance - Measurement Result

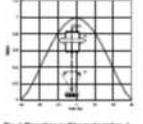


Fig.4 Directional Characteristics 1

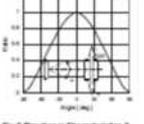


Fig.5 Directional Characteristics 2

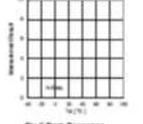


Fig.6 Dark Response

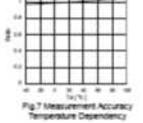


Fig.7 Measurement Accuracy Temperature Dependency

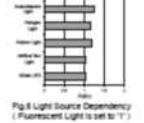


Fig.8 Light Source Dependency (Fluorescent Light is set to '1')

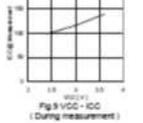


Fig.9 V<sub>DD</sub> - I<sub>CC</sub> (During measurement)

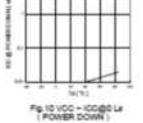


Fig.10 V<sub>DD</sub> - I<sub>CC</sub>@0 Lx (POWER DOWN)

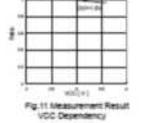


Fig.11 Measurement Result V<sub>DD</sub> Dependency

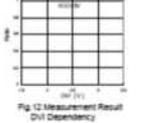
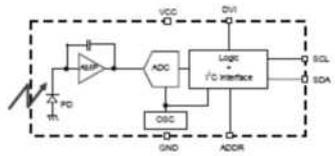


Fig.12 Measurement Result DVI Dependency

**BH1750FVI** Technical Note

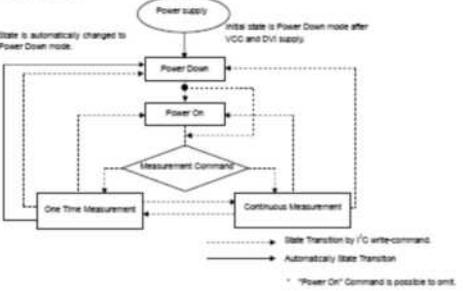
**●Block Diagram**



**●Block Diagram Descriptions**

- PD: Photo diode with approximately human eye response
- AMP: Integration-CRAMP for converting from PD current to voltage
- ADC: AD converter for obtaining Digital 16bit data
- Logic + I<sup>2</sup>C interface: Ambient Light Calculation and I<sup>2</sup>C BUS interface. It is including below register:  
 Data Register — This is for registration of Ambient Light Data. Initial value is "0001\_0000\_0000\_0000".  
 Measurement Time Register — This is for registration of measurement time. Initial value is "0100\_0101".
- OSC: Internal Oscillator (typ. 320kHz). It is CLK for internal logic.

**●Measurement Procedure**



State is automatically changed to Power Down mode after V<sub>DD</sub> and DVI supply.

Initial state is Power Down mode after V<sub>DD</sub> and DVI supply.

State Transition by I<sup>2</sup>C write-command.

Automatically State Transition.

\* "Power On" Command is possible to omit.

www.rohm.com 3/17 2010.04 - Rev.C www.rohm.com 4/17 2010.04 - Rev.C



# Anexo B: Convertidor de voltaje DC-DC Step Down LM2596

## LM2596

### 3.0 A, Step-Down Switching Regulator

The LM2596 regulator is monolithic integrated circuit ideally suited for easy and consistent design of a step-down switching regulator (buck converter). It is capable of driving a 3.0 A load with excellent line and load regulation. This device is available in adjustable output version and it is internally compensated to minimize the number of external components to simplify the power supply design.

Since LM2596 converter is a synchronous power supply, its efficiency is significantly higher in comparison with popular time-rotational linear regulators, especially with higher output voltages. The LM2596 operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-lead TO-220 package with several different lead bend options, and DPAK surface mount package.

The other features include a guaranteed  $\pm 1\%$  tolerance on output voltage within specified input voltage and output load conditions, and  $\pm 1\%$  on the excitation frequency. External shutdown is included, featuring 50  $\mu\text{A}$  (typical) standby current. Self protection features include switch cycle-by-cycle current limit for the output circuit, as well as thermal shutdown for complete protection under fault conditions.

**Features**

- Adjustable Output Voltage Range 1.23 V - 37 V
- Guaranteed 3.0 A Output Load Current
- Wide Input Voltage Range up to 40 V
- 150 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode, typ 50  $\mu\text{A}$
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- Internal Loop Compensation
- Minimum Sensitivity Level (NSL) Equal to 1
- Pb-Free Packages are Available

**Applications**

- Single High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulation
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Inverter)
- Negative Step-Up Converter
- Power Supply for Battery Chargers



**ON Semiconductor**  
http://onsemi.com



TO-220  
TV SUPPLY  
CASE 2148



TO-220  
TV SUPPLY  
CASE 2148

Feedback surface connected to Pin 3



TO-220  
TV SUPPLY  
CASE 2148



TO-220  
TV SUPPLY  
CASE 2148

Pin: 1.  $V_{in}$   
2. Output  
3. Ground  
4. Feedback  
5. ON/OFF



DPAK  
TV SUPPLY  
CASE 58A

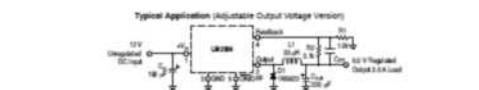
Feedback surface (shown as terminal 5 in case outline drawing) is connected to Pin 3

**ORDERING INFORMATION**  
See ordering and marking information in the package dimensions section on page 17 of this data sheet.

**DEVICE MARKING INFORMATION**  
See general marking information in the active marking section on page 17 of this data sheet.

## LM2596

Typical Application (Adjustable Output Voltage Version)



**Block Diagram**

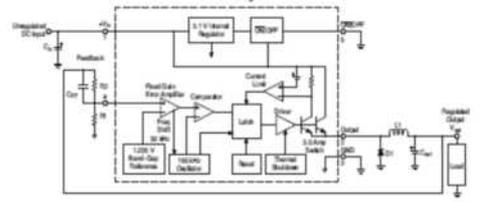


Figure 1. Typical Application and Internal Block Diagram

**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Supply Voltage	$V_{in}$	40	V
ON/OFF Pin Input Voltage	-	-0.3 V to $V_{in}$	V
Output Voltage to Ground (Short-Circuit)	-	-1.0	V
Power Dissipation			
Case 2148 and 2148 TV SUPPLY, E-lead	$P_D$	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Air	$R_{\theta JA}$	62	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Case 58A (DPAK)	$P_D$	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Air	$R_{\theta JA}$	70	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Minimum ESD Rating (Human Body Model) $C = 100 \text{ pF}, R = 1.5 \text{ k}\Omega$	-	-2.0	kV
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	-	260	$^{\circ}\text{C}$
Maximum Junction Temperature	$T_J$	150	$^{\circ}\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Functional exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

http://onsemi.com

## LM2596

**Pin Function Description**

Pin	Symbol	Description (Refer to Figure 1)
1	$V_{in}$	This pin is the positive input supply for the LM2596 step-down switching regulator. In order to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed for the regulator, a suitable input bypass capacitor must be present ( $C_{in} = 10 \mu\text{F}$ ).
2	Output	This is the output of the internal switch. The saturation voltage ( $V_{sat}$ ) of this output switch is typically 1.0 V. It should be kept in mind that the PCB area connected to this pin should be kept to a minimum in order to minimize inductance.
3	ON/OFF	On-chip ground pin. See the information about the ground circuit board layout.
4	Feedback	This pin is the direct input of the error amplifier and the second feedback (R2) is connected externally to allow pre-compensating of the output voltage.
5	ON/OFF	It allows the switching regulator circuit to shut down using logic level signals. Pulling this pin high (up) enables current to approximately 50 $\mu\text{A}$ . The threshold voltage to turn on is typically 1.0 V. Applying a voltage above this value (set to $\approx 1.0$ ) shuts the regulator off. If the voltage applied to this pin is lower than 1.0 V or this pin is left open, the regulator will be in the "off" condition.

**OPERATING RATINGS** Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For quantitative specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

Rating	Symbol	Value	Unit
Operating Junction Temperature Range	$T_J$	-40 to +125	$^{\circ}\text{C}$
Input Voltage	$V_{in}$	4.5 to 40	V

http://onsemi.com

## LM2596

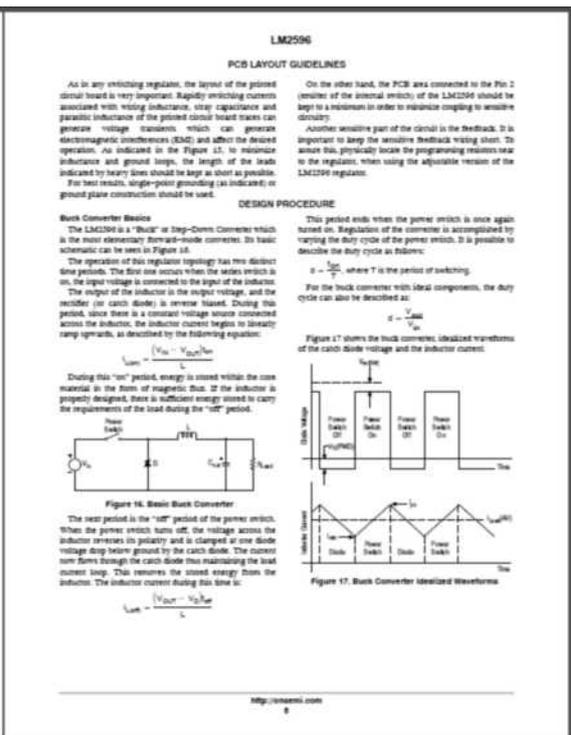
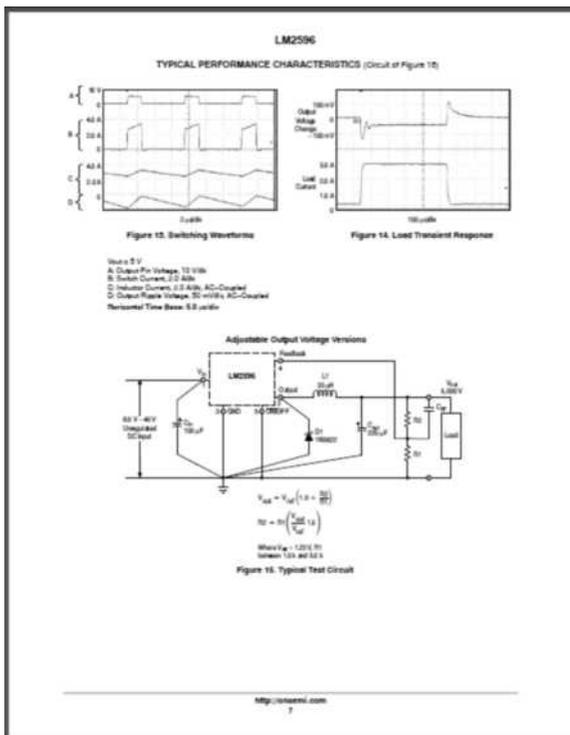
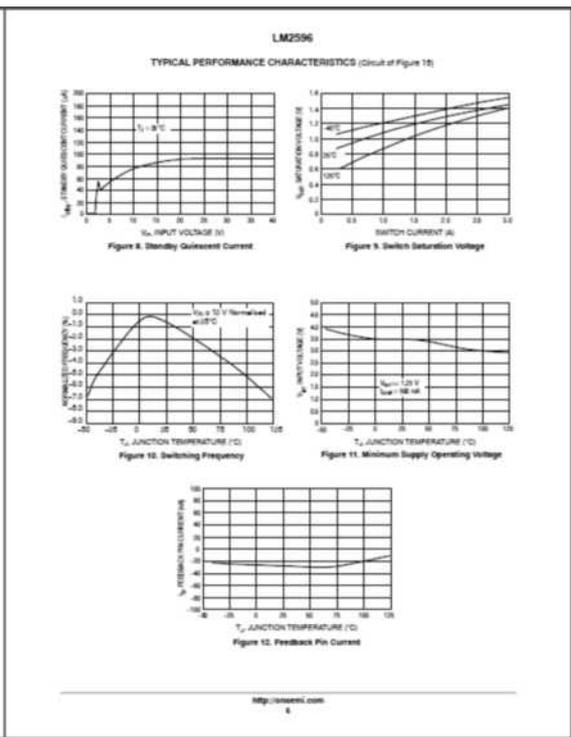
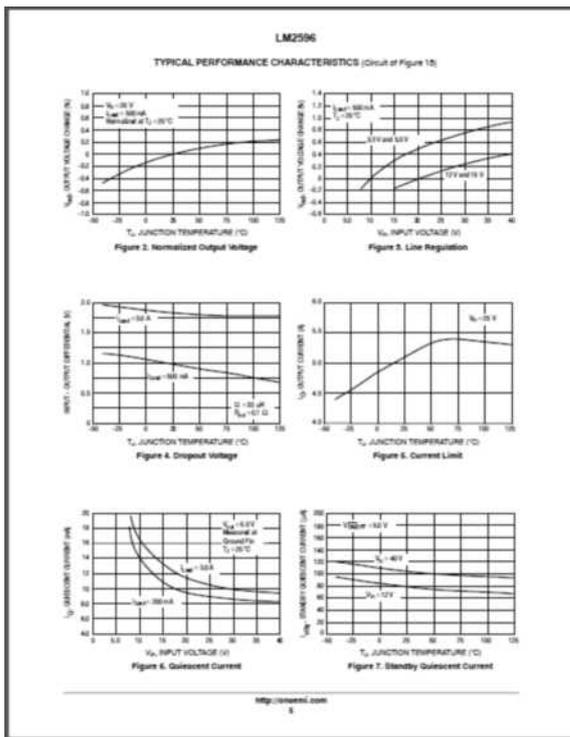
**SYSTEM PARAMETERS**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** Specifications with standard test load are for  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ , and those with boldface type only are for full operating temperature range -40 $^{\circ}\text{C}$  to +125 $^{\circ}\text{C}$ .

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>LM2596 (Note 1, See Circuit Figure 1)</b>					
Feedback Voltage ( $V_{in} = 10 \text{ V}, I_{out} = 0.5 \text{ A}, V_{out} = 5.0 \text{ V}$ )	$V_{FB}$	1.23	1.23	1.23	V
Feedback Voltage ( $0.5 \text{ V} < V_{in} < 40 \text{ V}, I_{out} = 0.5 \text{ A}, V_{out} = 5.0 \text{ V}$ )	$V_{FB}$	1.130	1.130	1.237	V
Efficiency ( $V_{in} = 10 \text{ V}, I_{out} = 0.5 \text{ A}, V_{out} = 5.0 \text{ V}$ )	$\eta$	-	73	-	%
<b>Characteristics</b>					
Feedback Bias Current ( $V_{in} = 5.0 \text{ V}$ )	$I_{FB}$	25	100	200	$\mu\text{A}$
Oscillator Frequency (Note 2)	$f_{osc}$	120	150	180	kHz
Saturation Voltage ( $I_{out} = 0.5 \text{ A}$ , Note 3 and 4)	$V_{sat}$	1.0	1.0	1.0	V
Max. Duty Cycle (ON) (Note 4)	DC	90	90	90	%
Current Limit (Peak) Current (Note 3 and 5)	$I_{CL}$	4.2	5.0	6.3	A
Output Load Regulation (Note 3 and 6)	$\Delta V_{out}$	2.8	3.0	3.2	mV
Output $\pm 0.1 \text{ V}$ (Output = 1.0 V)	$I_{sc}$	0.0	0.0	0.0	A
Quiescent Current (Note 5)	$I_{q}$	0.0	0.0	10	$\mu\text{A}$
Standby Quiescent Current (ON/OFF Pin = 5.0 V (OFF)) (Note 6)	$I_{q}$	0.0	0.0	200	$\mu\text{A}$
<b>ON/OFF PIN LOGIC INPUT</b>					
Threshold Voltage	$V_{th}$	0.0	1.0	-	V
$V_{in} = 0 \text{ V}$ (Regulator OFF)	$V_{th}$	0.0	2.4	-	V
$V_{in} = 5 \text{ V}$ (Nominal Output Voltage (Regulator ON))	$V_{th}$	-	-	1.0	V
<b>ON/OFF Pin Input Current</b>					
ON/OFF Pin = 5.0 V (Regulator OFF)	$I_{in}$	-	10	20	$\mu\text{A}$
ON/OFF Pin = 0 V (Regulator ON)	$I_{in}$	-	0.01	0.0	$\mu\text{A}$

1. External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 1B test circuit, system performance will be as shown in system parameters section.
2. The oscillator frequency reduces to approximately 20 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output to load the inductor/diode circuit from 25% down to approximately 20%.
3. The self protection feature lowers the average dissipation of the IC to limit the junction/diode/circuit from 25% down to approximately 20%.
4. Feedback (Pin 4) is connected to output and connected to 1.0 V.
5. Feedback (Pin 4) is removed from output and connected to 1.0 V to force the output transistor "off".
6.  $V_{in} = 40 \text{ V}$ .

http://onsemi.com



# Anexo C: Módulo de sonido WTV020M01

WTV020-SD MODULE		WTV020-SD-205 and WTV020-SD-16P	
1.PRODUCT FEATURES	2	8.6.KEY MODE(S group of voice)APPLICATION CIRCUIT(PWM OUTPUT)	21
3.APPLICATION DIAGRAM	3	8.7.LOOP PLAY AFTER POWER ON(EDGE TRIGGER PAUSE/PLAY)APPLICATION CIRCUIT(PWM OUTPUT)	21
4.APPLICATIONS	3	8.8.LOOP PLAY AFTER POWER ON (LEVEL TRIGGER PAUSE/PLAY)APPLICATION CIRCUIT(PWM OUTPUT)	22
5.PINS	4	8.9.TWO LINE SERIAL MODE APPLICATION (PWM OUTPUT)	22
5.1.WTV020-SD-205	4	9.VOICE FILES IN SD CARD	23
5.2.WTV020-SD-16P	5	10. PACKAGE SIZE	23
6.MODULE SELECTION	5	10.1.WTV020SD-205	23
7.CONTROL MODES	6	10.2.WTV020-SD-16P	24
7.1.MP3 MODE	6	10.3. WTV020-SD-205 MODULE	25
7.1.1.ON/OFF(PALY/STOP)	6	11.SUPPLY INFORMATION	26
7.1.2.NEXT	6	12. VERSIONS	26
7.1.3.PREVIOUS	7		
7.2. KEY (3 group of voice)	7		
7.2.1. EDGE RETRIGGER	7		
7.3.KEY(S group of voice)	8		
7.3.1. All KEYS ARE EDGE RETRIGGER	8		
7.3.2.EDGE RETRIGGER TIMING WAVEFORM	8		
7.3.3.ALL KEYS ARE ON/OFF(urloop)	9		
7.3.4. ALL KEYS ARE ON/OFF(urloop) TIMING WAVEFORM	9		
7.3.5. ALL KEYS ARE ON/OFF (loop)	9		
7.3.5. ON/OFF(loop) TIMING WAVEFORM	9		
7.4.LOOP PLAY AFTER POWER ON	10		
7.4.1.EDGE TRIGGER TO PAUSE/PLAY	10		
7.4.2. EDGE TRIGGER TO PAUSE/PLAY TIMING WAVEFORM	10		
7.4.3.LEVEL TRIGGER TO PAUSE/PLAY	11		
7.4.4.LEVEL TRIGGER TO PAUSE/PLAY TIMING WAVEFORM	11		
7.5.TWO LINE SERIAL MODE	11		
7.5.1. I/O FUNCTION IN TWO LINE SERIAL MODE	11		
7.5.2. VOICE ADDRESSES	11		
7.5.3.TIMING WAVEFORM IN TWO LINE SERIAL MODE	12		
7.5.4. CODE DESCRIPTIONS	12		
7.5.5. PROGRAM EXAMPLE	13		
8.TYPICAL APPLICATION CIRCUIT	18		
8.1.WTV020-SD-205 INNER CIRCUIT	18		
8.2.WTV020-SD-16P INNER CIRCUIT	19		
8.3.MP3 MODE APPLICATION CIRCUIT(PWM OUTPUT)	19		
8.4.MP3 MODE APPLICATION CIRCUIT(DAC OUTPUT)	20		
8.5.KEY MODE(S group of voice)APPLICATION CIRCUIT(PWM OUTPUT)	20		

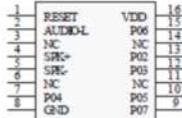
WTV020-SD MODULE	
1.PRODUCT FEATURES	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Support 1GB SD card max. or SPI flash 64MB max.</li> <li>Support 4 Bit ADCPM format files.</li> <li>Sampling rate from 6KHz to 36KHz for AD4 voice format.</li> <li>Sampling rate from 6KHz ~ 16KHz for WAV voice format.</li> <li>16 Bit DAC / PWM audio output.</li> <li>Key mode, MP3 mode and two line serial mode are optional .Can choose one of them</li> <li>Copy voice files to SD card by PC.</li> <li>Working voltage: DC2.7~3.5V</li> <li>Quiescent current: 3uA</li> </ul>	
2.SUMMARIZE	
<p>This module with MP3 mode, key mode(control 3 group of voice with volume adjustment or 5group of voice), two line serial mode, and Loop play mode(after power on ,the module will play loop, with memory function in the mode) They are optional. Customers can choose one of the modes in a module. Also can be customized.</p>	
MP3 mode:	With playstop, next, previous, vol+,vol- functions
Key mode(3 group of voice):	One key trigger one group of voice, and with vol-, and vol+ . All keys' default trigger modes are edge retrigger
Key mode(5 group of voice):	One key trigger one group of voice, trigger mode can be follows: 1. All keys are edge retrigger. 2.All keys are ON/OFF (voice will not cycle after finished) 3.All keys are ON/OFF(voice will cycle after finished)
Loop play mode:	After power on, it will play the voices automatically. It doesn't need to trigger the I/O, and with memory function(when you playing voice 2, power was out off,next time power on it will start from voice 2 or voice 3 .(Can be

WTV020-SD MODULE	
3.APPLICATION DIAGRAM	
4.APPLICATIONS	
<p>This module can use in automobile( car bug, parking radar, GPS navigation system), intelligent home system, house bug, voice medical devices, household appliances(induction cooker, rice cooker, micro-wave oven), game machines, learning tools(talking book), intelligent traffic facilities(toll gate, parking lot), communications equipment( telephone), industrial control( elevator ), toys and so on.</p>	

WTV020-SD MODULE																																																							
5.PINS																																																							
5.1.WTV020-SD-205																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PIN</th> <th>SYS</th> <th>FUNCTION</th> <th>PIN</th> <th>SYS</th> <th>FUNCTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DC+3.3V</td> <td>+3.3V</td> <td>9</td> <td>GND</td> <td>GND</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>SPK+</td> <td>Audio output</td> <td>10</td> <td>DC+3.3V</td> <td>+3.3V</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>PGT</td> <td>I/O</td> <td>11</td> <td>SPK+</td> <td>Audio output</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>PG3</td> <td>I/O</td> <td>12</td> <td>SPK-</td> <td>Audio output</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>NC</td> <td>NC</td> <td>13</td> <td>POB</td> <td>BUSY</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>NC</td> <td>NC</td> <td>14</td> <td>RST</td> <td>Reset</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>PG2</td> <td>I/O</td> <td>15</td> <td>PG4</td> <td>I/O</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>NC</td> <td>NC</td> <td>16</td> <td>PG5</td> <td>I/O</td> </tr> </tbody> </table>		PIN	SYS	FUNCTION	PIN	SYS	FUNCTION	1	DC+3.3V	+3.3V	9	GND	GND	2	SPK+	Audio output	10	DC+3.3V	+3.3V	3	PGT	I/O	11	SPK+	Audio output	4	PG3	I/O	12	SPK-	Audio output	5	NC	NC	13	POB	BUSY	6	NC	NC	14	RST	Reset	7	PG2	I/O	15	PG4	I/O	8	NC	NC	16	PG5	I/O
PIN	SYS	FUNCTION	PIN	SYS	FUNCTION																																																		
1	DC+3.3V	+3.3V	9	GND	GND																																																		
2	SPK+	Audio output	10	DC+3.3V	+3.3V																																																		
3	PGT	I/O	11	SPK+	Audio output																																																		
4	PG3	I/O	12	SPK-	Audio output																																																		
5	NC	NC	13	POB	BUSY																																																		
6	NC	NC	14	RST	Reset																																																		
7	PG2	I/O	15	PG4	I/O																																																		
8	NC	NC	16	PG5	I/O																																																		



### 5.2.WTV020-SD-16P



PIN	SYS	DESCRIPTION	FUNCTION
1	RESET	RESET	Reset pin
2	AUDIO-L	DAC+	DAC audio output(+) to amplifier
3	NC	NC	NC
4	SP+	PWM+	PWM audio output to speaker
5	SP-	PWM-	PWM audio output to speaker
6	NC	NC	NC
7	PD4	K3A2/CLK	Key /CLK in two line serial
8	GND	GND	NC
9	PD7	K5A4/OBT	Key
10	PD5	K4A3/DI	Key /DI in two line serial
11	NC	NC	NC
12	PD3	K2A1	key
13	PD2	K1A0	key
14	NC	NC	NC
15	PD6	BUSY	BUSY pin
16	VDD	VDD	Power input

### 6.MODULE SELECTION

WTV020-SD-205 and WTV020-SD-16P are the same but chip package.

MODE	VOICES	TRIGGER	BUSY	AUDIO	NOTE
MP3	256	KEY	YES	DAC/PWM	
KEY (3 group of voice)	3	KEY	YES	DAC/PWM	EDGE (RR)TRIGGER
KEY (5 group of voice)	5	KEY	YES	DAC/PWM	EDGE RETRIGGER
KEY (5 group of voice)	5	KEY	YES	DAC/PWM	ON/OFF(unloop)



	S	KEY	YES	DAC/PWM	ON/OFF(loop)
LOOP PLAY(after power on)	256	KEY	YES	DAC/PWM	ON/OFF(edge)
	256	KEY	YES	DAC/PWM	ON/OFF(level)
TWO LINE SERIAL	256	BY MCU	YES	DAC/PWM	

### 7.CONTROL MODES

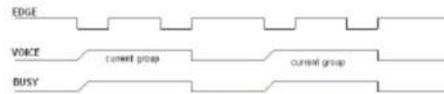
#### 7.1.MP3 MODE

In the MP3 mode, WTV020-SD module default with 6 I/Os

I/O	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7
FUNCTION	K1	K2	K3	K4	BUSY	K5	
TRIGGER	NEXT	PREVIOUS	VOL+	VOL-	---	ON/OFF	

BUSY is for signal output test, when the playing voice, BUSY output is high level, can connect to LED for indicating.

#### 7.1.1.ON/OFF(PALY/STOP)



Remark: Edge trigger. A negative edge trigger to play, next negative edge to stop.

#### 7.1.2.NEXT



Remark: Edge trigger. One key trigger one group of voice. A negative edge trigger a group of voice, next negative edge trigger next group of voice, after finish last group loop to first group.

#### 7.1.3.PREVIOUS



Remark: Edge trigger. One key trigger to play. A negative edge trigger a group of voice, next negative edge trigger previous group of voice, after finish first group loop to last group.

#### 7.2.KEY (3 group of voice)

Pull low PD2/PD3/PD7(short connect PD2/PD3/PD7 with GND) can trigger the 3 group of voices separated, PD4 and PD5 are for volume adjustment.

I/O	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7
FUNCTION	K1	K2	K3	K4	BUSY	K5
TRIGGER	EDGE	EDGE	VOL+	VOL-	---	EDGE
VOICE	GROUP 1	GROUP 2	---	---	---	GROUP 3

Key K1-K3 are edge retrigger. BUSY is for signal output test, when the playing voice, BUSY output is high level, can connect to LED for indicating.

#### 7.2.1.EDGE RETRIGGER



Remark: Edge trigger. When I/O test falling edge( such as this I/O short touch GND) ,the voice will be triggered. During the playing, the next falling edge will not interrupt the voice,after voice play finished,falling edge will make it replay.

#### 7.3.KEY(5 group of voice)

One button trigger one voice, total 5 group of voice, during playing BUSY output is high level, can connect LED to indicate it.

Three optional trigger mode:  
a.All keys are edge retrigger  
b.All keys are ON/OFF(unloop)  
c.All keys are ON/OFF(loop)

#### 7.3.1.ALL KEYS ARE EDGE RETRIGGER

I/O	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7
FUNCTION	K1	K2	K3	K4	BUSY	K5	
TRIGGER	EDGE	EDGE	EDGE	EDGE	EDGE	---	EDGE
VOICE	GROUP 1	GROUP 2	GROUP 3	GROUP 4	---	---	GROUP 5

#### 7.3.2.EDGE RETRIGGER TIMING WAVEFORM



Remark: Edge trigger. When I/O test falling edge( such as this I/O short touch GND) ,the voice will be triggered. During the playing, the next falling edge will interrupt the voice and replay from beginning.

## Anexo D: Módulo laser KY-008

 | [www.electronicapty.com](http://www.electronicapty.com)

### Modulo Sensor Laser KY-008 para Arduino

Código: 110964



#### Descripción

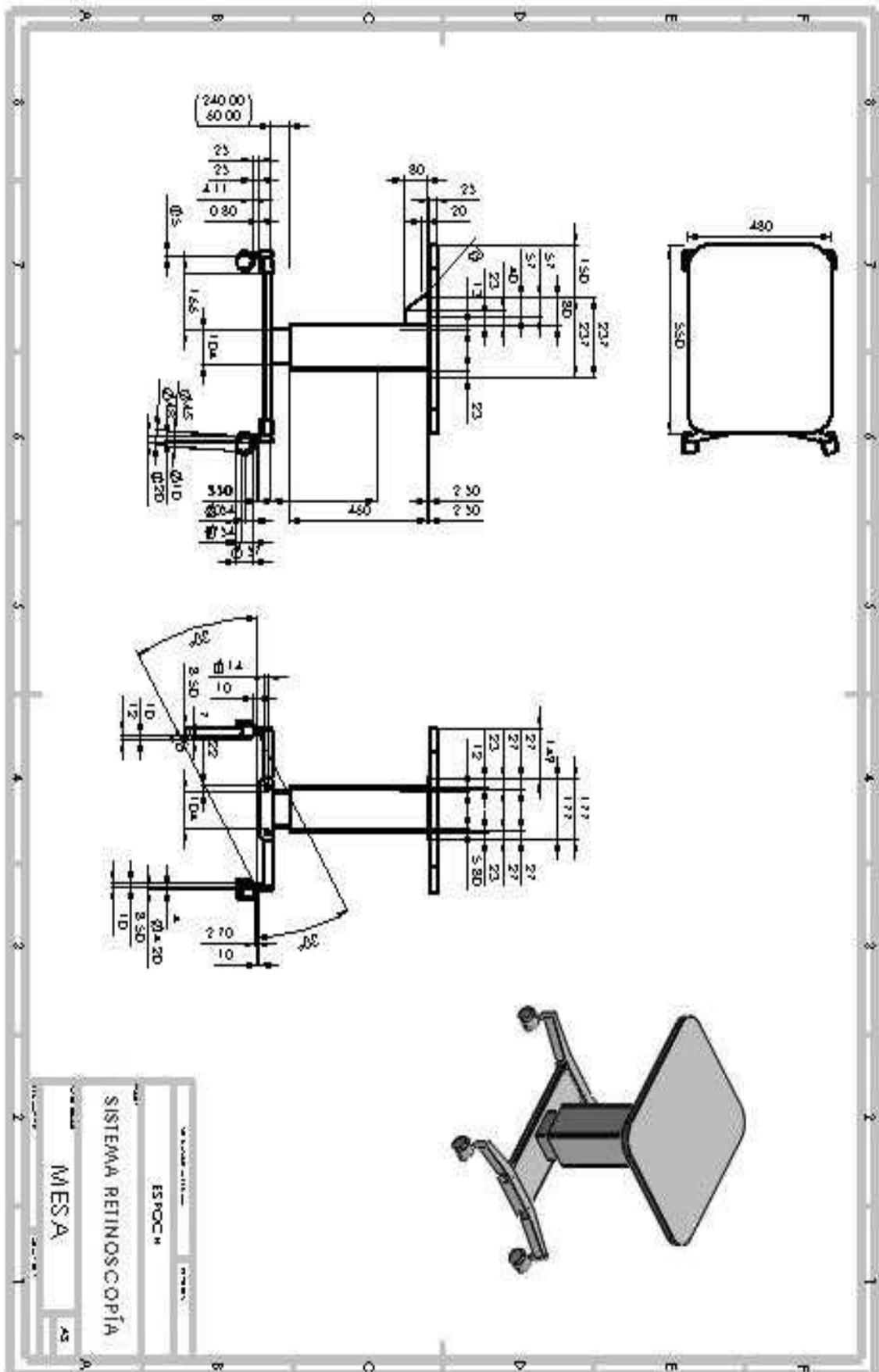
El módulo KY-008 es un circuito emisor de luz laser, diseñado para trabajar con proyectos y circuitos Arduino, emite un haz de luz de alta potencia (650nm) de color rojo, su cabezal está elaborado con bronce para darle mayor resistencia y una muy buena disipación del calor producido por el laser, está diseñado con 3 pines de conexión, dos de alimentación (Vcc y Gnd) y un pin separador sin función asignada (NC).

Al no contar con un pin de activación esta se debe llevar a cabo mediante el pin de Vcc, enviando el pulso de activación mediante un pin de salida de Arduino que le suministra los 5V que el módulo requiere, se recomienda extremas precauciones en la manipulación del modulo ya que la luz producida por el AR-LASER puede provocar quemaduras y daños temporales o permanentes en los ojos si se apunta o mira directamente al laser.

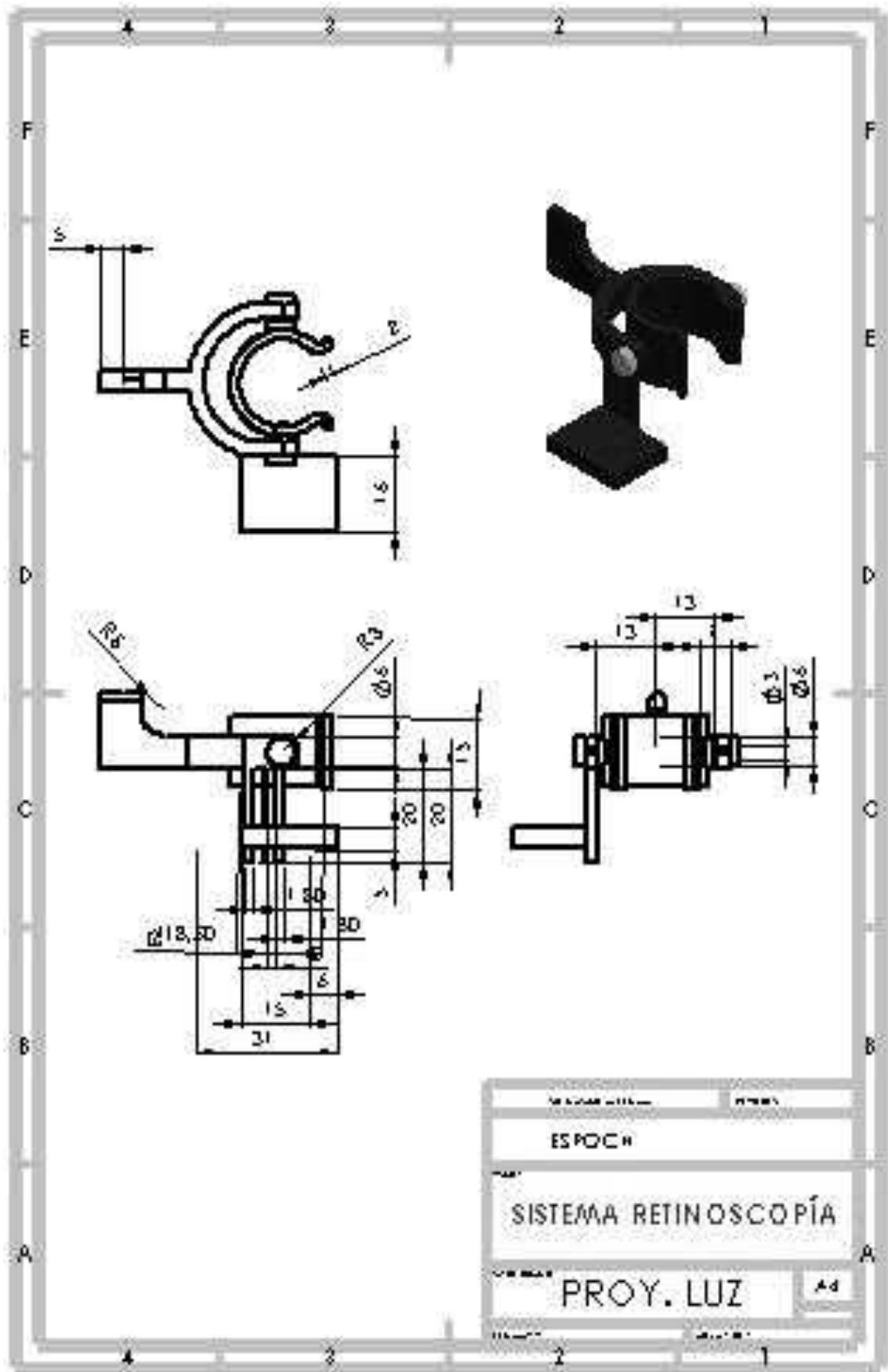
- Voltaje de funcionamiento 5 V
- de onda de Arduino: 650nm
- Profundidad: 8 mm
- Dimensiones: 1,8 x 1.4cm
- Longitud de onda de 650nm
- Potencia: 5mW

1 / 1

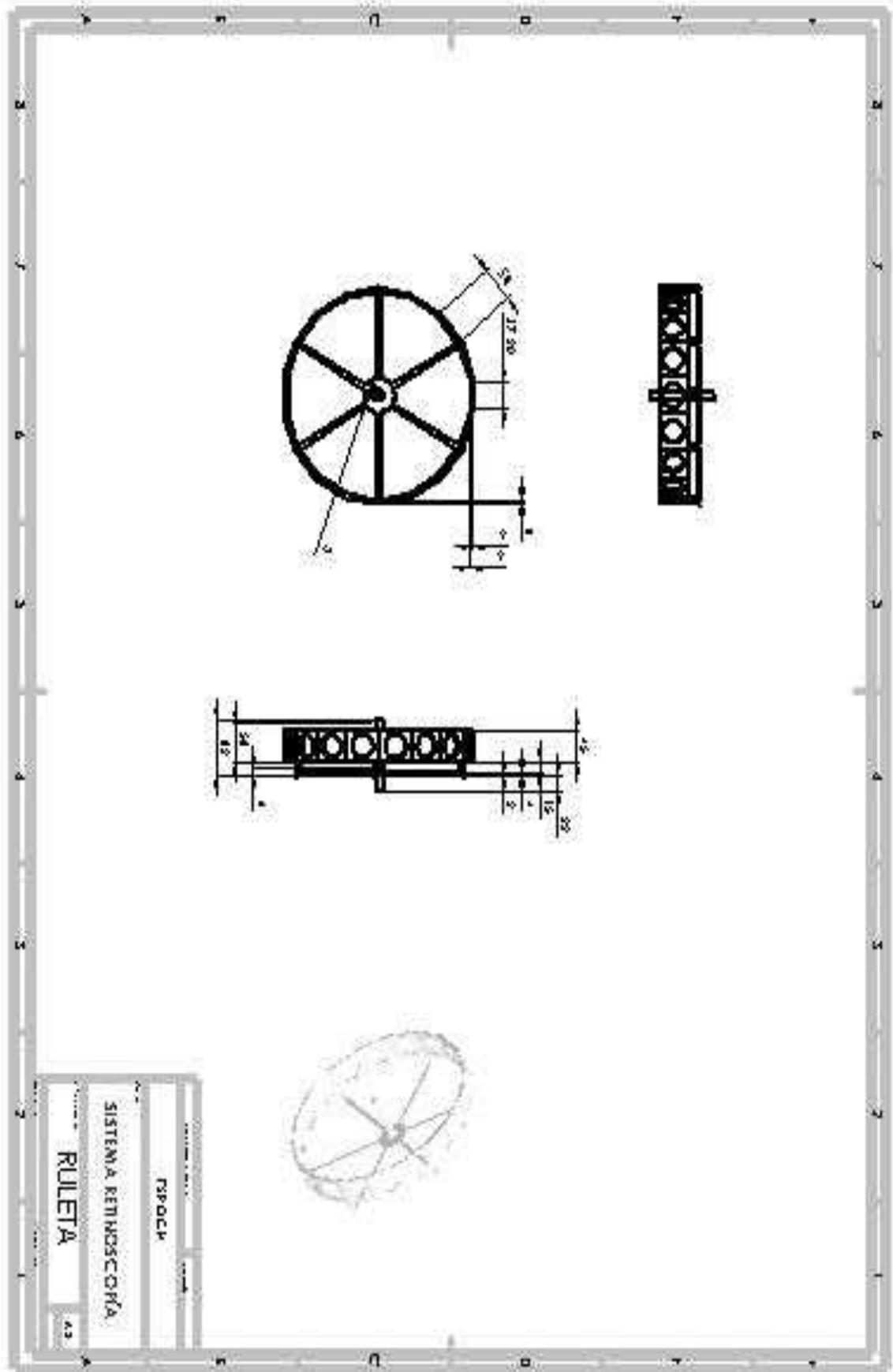
**Anexo E:** Planos de la mesa del sistema de retinoscopia



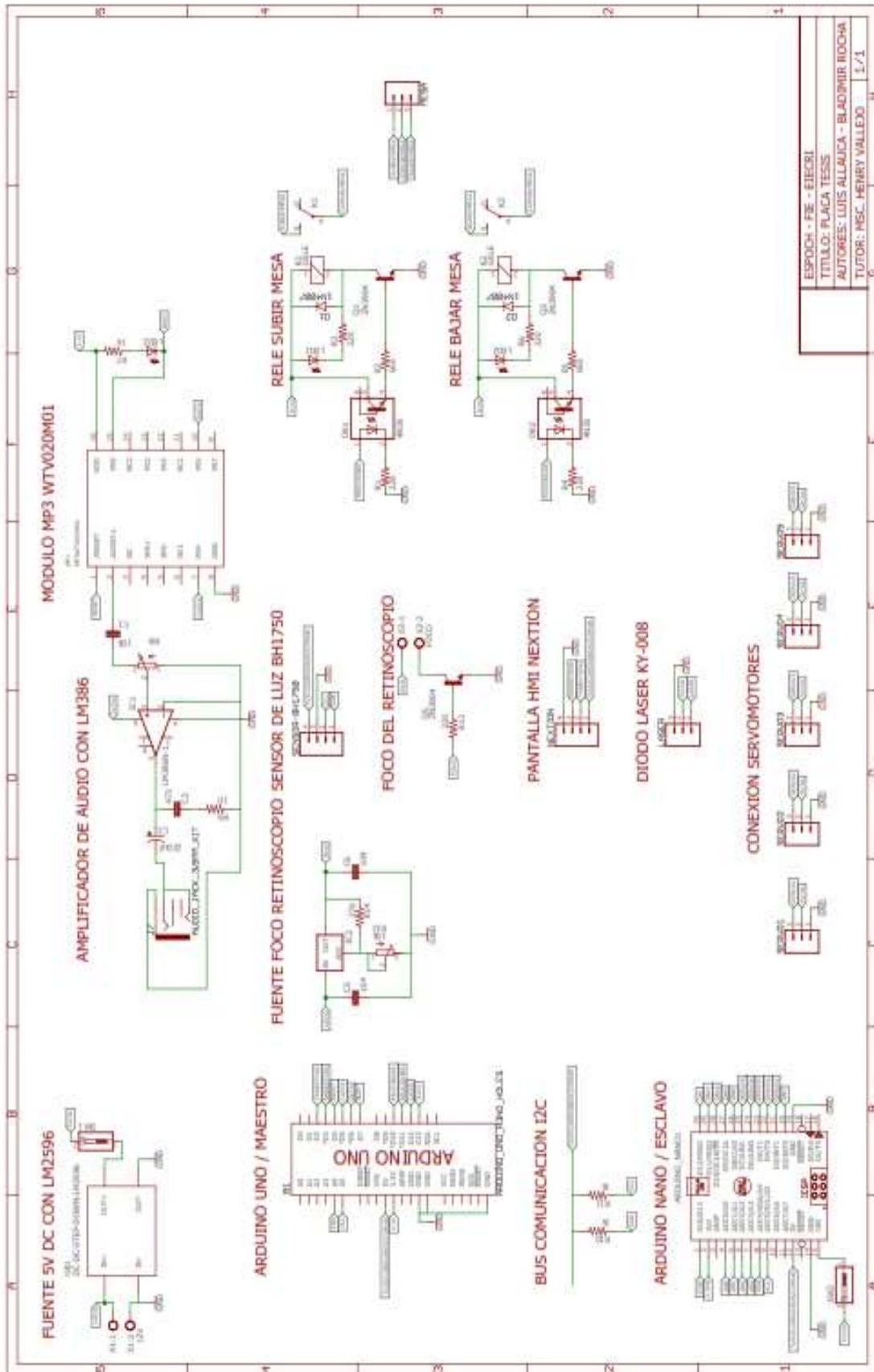
Anexo F: Planos mecanismo proyección de luz



Anexo G: Planos mecanismo cambio de lentes



## Anexo H: Planos de conexión sistema electrónico



## **Anexo I:** Programa de la tarjeta Arduino UNO

```
// DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA REALIZAR EXÁMENES
// DE RETINOSCOPIA EMPLEANDO VISION ARTIFICIAL PARA PROCESAR
// IMÁGENES DE LA RETINA

// DECLARACION DE LIBRERIAS
#include <SoftwareSerial.h> // LIBRERIA PARA CREAR PUERTOS SERIALES
#include <Nextion.h> // LIBRERIA DE LA PANTALLA NEXTION
#include <Wtv020sd16p.h> // LIBRERIA PARA EL MODULO MP3
#include <Servo.h> // LIBRERIA PARA EL CONTROL DE SERVOS
#include <Wire.h> // LIBRERIA COMUNICACION I2C
#include <BH1750.h> // LIBRERIA PARA EL SENSOR DE LUZ BH1750
#include <TextFinder.h> // LIBRERIA PARA BUSCAR EN EL MENSAJE QUE LLEGA DE
LABVIEW

// CREACION DE LOS OBJETOS
SoftwareSerial nextion(2,3); // DEFINICION DEL PUERTO SERIAL PARA LA PANTALLA
NEXTION
Nextion myNextion(nextion, 9600); // ESTABLECIMIENTO DE LA VELOCIDAD DE
TRANSMISION
int resetPin = 4; // PIN RESET DEL MODULO MP3
int clockPin = 5; // PIN CLOCK DEL MODULO MP3
int dataPin = 6; // PIN DATA DEL MODULO MP3
int busyPin = 7; // PIN BUSY DEL MODULO MP3
Wtv020sd16p wtv020sd16p(resetPin,clockPin,dataPin,busyPin);
BH1750 Luxometro; // CREA EL SENSOR DE LUZ

const int releBajar = 10; // PIN D10 BAJAR MESA
const int releSubir = 11; // PIN D11 SUBIR MESA
const int laser = 12; // PIN D12 LASER
const int foco = 13; // PIN D13 FOCO

//Servo lentes; // SERVO QUE CONTROLA EL CAMBIO DE LAS LENTES
//Servo dirlaser; // SERVO QUE CONTROLA EL LUGAR DE PROYECCION DEL LASER

// DECLARACION DE VARIABLES
```

```

String orden;
String mensajeNextion;
String ValorOD;
String DiagnOD;
String ValorOI;
String DiagnOI;

void setup() {
  Serial.begin(115200); // INICIO PUERTO DE COMUNICACION CON LABVIEW
  VELOCIDAD 115200
  myNextion.init(); // INICIALIZACION DE LA PANTALLA NEXTION
  wtv020sd16p.reset(); // INICIALIZACION MODULO MP3
  Luxometro.begin(BH1750_CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE); // INICIALIZACION DEL
  SENSOR DE LUZ
  Wire.begin(); // INICIO DE LA COMUNICACION I2C
  pinMode(releSubir, OUTPUT);
  pinMode(releBajar, OUTPUT);
  pinMode(laser, OUTPUT);
  pinMode(foco, OUTPUT);
  //lentes.attach(11);
  //dirlaser.attach(12);
  posicioninicial();
  for (int i=0;i<=3;i++) { // COMANDO DE VOZ INTRODUCCION
    //voz(); // PRESENTACION DEL SISTEMA
    voz8(); // PRESENTACION DEL SISTEMA
  }
}

void loop() {
  espera();
  sensar();
  delay(100);
}

void posicioninicial() {
  digitalWrite(laser, LOW); // APAGO EL LASER
  digitalWrite(foco, LOW); // APAGO EL LASER
}

```

```

//lentes.write(90); // REGRESO AL LENTE 0
//dirlaser.write(0); // REGRESO A POSICION INICIAL
// REGRESO AL SISTEMA AL OJO DERECHO
}

void espera() {
  if (Serial.available() > 0) {
    orden = Serial.readStringUntil('\n');
    if (orden == "1") {
      myNextion.sendCommand("page 4");
      //voz1(); // INICIANDO EXAMEN
      voz9(); // INICIANDO EXAMEN
      preparacion(); // SE PREPARA AL USUARIO
    }
  }
}

void sensar() {
  uint16_t lux = Luxometro.readLightLevel(); // REALIZA LA LECTURA DEL SENSOR
  Serial.print("Luz(iluminancia): ");
  Serial.print(lux);
  Serial.println(" lx");
  myNextion.setComponentText("page9.t0", String(lux) + " lx");
  if (lux>100) { // CONTROL DE NIVELES DE LUZ
    myNextion.setComponentText("page9.t1", "PELIGRO");
  } else {
    myNextion.setComponentText("page9.t1", "NORMAL");
  }
}

void preparacion() {
  boolean preparado = false; // CONTROLA QUE EL USUARIO ESTE LISTO PARA EL
  EXAMEN
  while (preparado == false) {
    //lentes.write(90); // REGRESO AL LENTE 0
    int subir = myNextion.getComponentValue("page4.bt0");
    //Serial.println(subir);
  }
}

```

```

int bajar = myNextion.getComponentValue("page4.bt1");
int listo = myNextion.getComponentValue("page4.bt2");
if (listo == 1) {
    myNextion.sendCommand("page 5");
    //voz2(); // EXAMINANDO OJO DERECHO
    voz10(); // EXAMINANDO OJO DERECHO
    preparado = !preparado;
    Serial.print("1");
    myNextion.setComponentText("page5.t0", "INICIANDO");
}
if (subir == 1) {
    digitalWrite(releSubir, HIGH);
} else {
    digitalWrite(releSubir, LOW);
}
if (bajar == 1) {
    digitalWrite(releBajar, HIGH);
} else {
    digitalWrite(releBajar, LOW);
}
}
digitalWrite(releSubir, LOW); // SE APAGA LOS RELES
digitalWrite(releBajar, LOW);

Wire.beginTransmission(1);
Wire.write(2);
Wire.endTransmission(); // Terminamos la transmisión con el dispositivo 1

//voz3(); // PROCESANDO OJO DERECHO
voz11(); // PROCESANDO OJO DERECHO
examenOD();
}

void examenOD() {
    myNextion.setComponentText("page5.t0", "OJO DERECHO");
    digitalWrite(laser, HIGH);
}

```

```

digitalWrite(foco, HIGH); // APAGO EL LASER
boolean listoOD = false; // CONTROLA QUE SE TERMINE EL EXAMEN EN EL OJO
DERECHO
while (listoOD == false) {
  if (Serial.available() > 0) {
    orden = Serial.readStringUntil('\n');
    if (orden == "2") {
      //voz4(); // EXAMINANDO OJO IZQUIERDO
      voz12(); // EXAMINANDO OJO IZQUIERDO
      Serial.print("1");
      listoOD = !listoOD;
    }
  }
  progreso();
}
Wire.beginTransmission(1);
Wire.write(3);
Wire.endTransmission(); // Terminamos la transmisión con el dispositivo 1
//voz5(); // PROCESANDO OJO IZQUIERDO
voz13(); // PROCESANDO OJO IZQUIERDO
examenOI();
}

void examenOI() {
  myNextion.setComponentText("page5.t0", "OJO IZQUIERDO");
  boolean listoOI = false; // CONTROLA QUE SE TERMINE EL EXAMEN EN EL OJO
DERECHO
while (listoOI == false) {
  if (Serial.available() > 0) {
    orden = Serial.readStringUntil('\n');
    if (orden == "3") {
      //voz6(); // EXAMEN FINALIZADO GRACIAS
      voz14(); //EXAMEN FINALIZADO GRACIAS
      listoOI = !listoOI;
    }
  }
  progreso();
}
}

```

```

}
Wire.beginTransmission(1);
Wire.write(4);
Wire.endTransmission(); // Terminamos la transmisión con el dispositivo 1
myNextion.setComponentValue("page5.j0", 100);
myNextion.setComponentText("page5.t0", "FINALIZADO");
delay(1000);
posiblediagnostico();
}

void posiblediagnostico() {
  myNextion.sendCommand("page 6");
  boolean Pdiagnostico = false; // CONTROLA LA RECEPCION DEL RESULTADO
  while (Pdiagnostico == false) {
    if (Serial.available() > 0) {
      ValorOD = Serial.readStringUntil(',');
      DiagnOD = Serial.readStringUntil(',');
      ValorOI = Serial.readStringUntil(',');
      DiagnOI = Serial.readStringUntil('\n');
      myNextion.setComponentText("page6.t2", ValorOD);
      myNextion.setComponentText("page6.t0", DiagnOD);
      myNextion.setComponentText("page6.t3", ValorOI);
      myNextion.setComponentText("page6.t1", DiagnOI);
      Pdiagnostico = !Pdiagnostico;
    }
  }
  delay(3500);
  //voz7(); // ERROR AL EXAMINAR
  voz15(); // ERROR AL EXAMINAR
  delay(2500);
  posicioninicial();
  wtv020sd16p.reset();
  myNextion.sendCommand("page 3");
  loop();
}

void progreso () {

```

```
for (int i=100;i>=0;i=i-25) {  
    myNextion.setComponentValue("page5.j0", i);  
    delay(50);  
}  
}
```

```
// COMANDOS DE VOZ
```

```
void voz() {  
    wtv020sd16p.playVoice(0);  
}
```

```
void voz1() {  
    wtv020sd16p.playVoice(1);  
}
```

```
void voz2() {  
    wtv020sd16p.playVoice(2);  
}
```

```
void voz3() {  
    wtv020sd16p.playVoice(3);  
}
```

```
void voz4() {  
    wtv020sd16p.playVoice(4);  
}
```

```
void voz5() {  
    wtv020sd16p.playVoice(5);  
}
```

```
void voz6() {  
    wtv020sd16p.playVoice(6);  
}
```

```
void voz7() {  
    wtv020sd16p.playVoice(7);  
}
```

```
void voz8() {  
    wtv020sd16p.playVoice(8);  
}
```

```
void voz9() {  
    wtv020sd16p.playVoice(9);  
}
```

```
void voz10() {  
    wtv020sd16p.playVoice(10);  
}  
void voz11() {  
    wtv020sd16p.playVoice(11);  
}  
void voz12() {  
    wtv020sd16p.playVoice(12);  
}  
void voz13() {  
    wtv020sd16p.playVoice(13);  
}  
void voz14() {  
    wtv020sd16p.playVoice(14);  
}  
void voz15() {  
    wtv020sd16p.playVoice(15);  
}
```

## **Anexo J:** Programa de la tarjeta Arduino NANO

```
// DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA REALIZAR EXÁMENES
// DE RETINOSCOPIA EMPLEANDO VISION ARTIFICIAL PARA PROCESAR
// IMÁGENES DE LA RETINA
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Servo.h> // LIBRERIA PARA EL CONTROL DE SERVOS
```

```
Servo lentes; // SERVO QUE CONTROLA EL CAMBIO DE LAS LENTES
```

```
String orden;
```

```
int x; // Variable auxiliar de la función "recibidoEvento"
```

```
boolean secuencia=false;
```

```
void setup() {
```

```
Wire.begin(1); // Empezamos la comunicación I2C con el dispositivo esclavo 1
```

```
Wire.onReceive(recibidoEvento); // Irá a la función receiveEvent cuando entre un dato
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
lentes.attach(9);
```

```
pinMode(13, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(13, LOW);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
while (secuencia == true) {
```

```
lentes.write(0);
```

```
delay(300);
```

```
lentes.write(150);
```

```
delay(300);
```

```
}
```

```
}
```

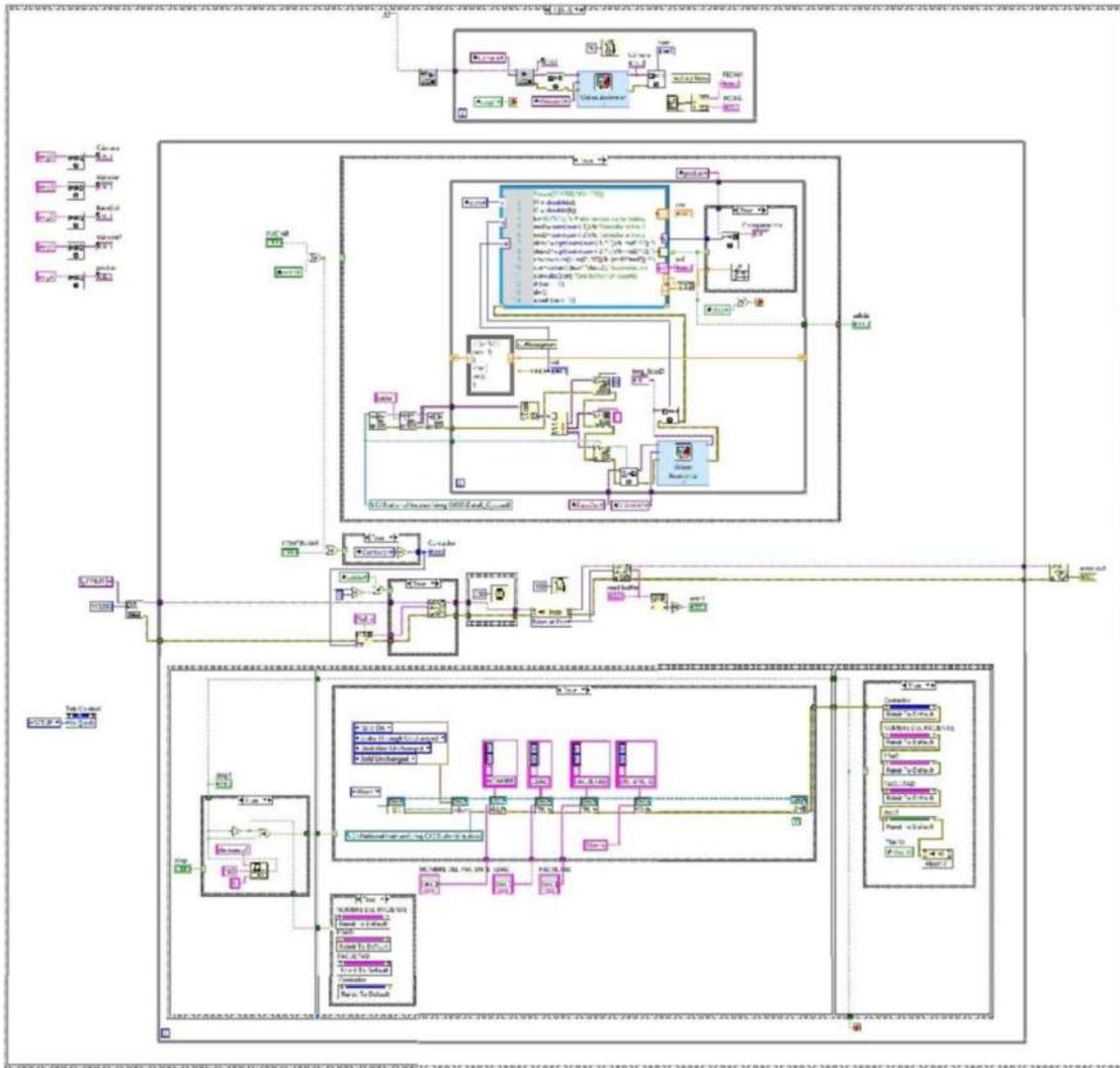
```
void recibidoEvento(int recepcion)
{
    while(Wire.available()) // Mientras tengamos datos en la entrada
    {
        x = Wire.read(); // Leemos el dato recibido
    }

    // Casos de la variable dato (X)
    switch (x)
    {
        case 1: // Si se recibe el número "1"
            digitalWrite(13, HIGH); // Zumbador activado
            break;

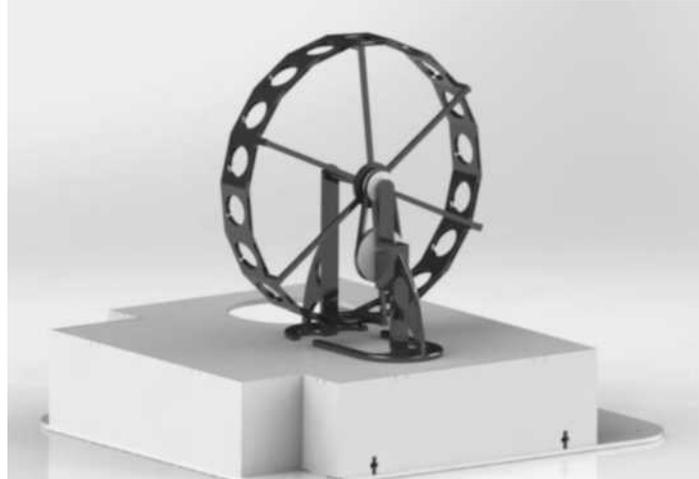
        case 2: // Si se recibe el número "2"
            digitalWrite(13, LOW); // Zumbador desactivado
            lentes.write(90);
            secuencia = true;
            break;

        case 4: // Si se recibe el número "3"
            digitalWrite(13, HIGH); // Zumbador desactivado
            lentes.write(180);
            secuencia = false;
            break;
    }
}
```

# Anexo K: Programa desarrollado en LabVIEW



## MANUAL DE USUARIO SISTEMA DE RETINOSCOPIA



A continuación, se describen las características y pasos a seguir para el correcto funcionamiento del sistema automatizado para realizar exámenes de retinoscopia para que el operario pueda manipularlo.

### 1) Características técnicas

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	INDICADOR
a) PC de escritorio		
Voltaje	110/220	Vac
Potencia	750	W
b) Controlador (Arduino)		
Modelo	Uno, nano	
Voltaje de entrada	7-12	Vdc
Salida digital	5	Vdc
Comunicaciones	UART, I2C	
Procesador	Atmega	328P
c) Pantalla HMI		
Modelo	Nextion	
Voltaje de funcionamiento	12	Vdc
Corriente	15	mA
Potencia	0,6	W

d) Cámara		
Modelo	Genius HD	
Voltaje de funcionamiento	5	V
Sensor	CCD	
e) Sensor de luz		
Tipo de sensor	Digital	
Voltaje de operación	3-5	V
Corriente	7	mA
Interfaz	I2C	
f) Regulador de voltaje		
Modelo	LM2596	
Voltaje de entrada	4.5 - 40	V
Voltaje de salida	1.5 - 35	V (Ajustable)
Dimensiones	43x20x14	mm.
g) Módulo de sonido		
Modelo	WTV020M01	
Voltaje de trabajo	2.7-3.5	V
Consumo de corriente	3	uA
Soporte de memoria	Máximo tarjeta SD 1GB	
h) Módulo laser		
Modelo	KY-008	
Voltaje de funcionamiento	5	V
Longitud de onda	650	nm.
Potencia	5	nW
Color	Rojo	
Dimensiones	2.3x1.5x0.9	cm.
i) Servomotores		
Voltaje de funcionamiento	12	V
Corriente	100	mA
Potencia	1,2	W
j) Foco del retinoscopio		
Voltaje de funcionamiento	9	V
Corriente	75	mA
Potencia	0.675	W

## **2) *Antes de poner en marcha***

El operario del sistema de retinoscopía es responsable de:

1. verificar que el cable de poder de la mesa esté conectado.
2. verificar el estado del botón de encendido de la mesa.
3. verificar el estado de la luz ambiente para evitar el mal funcionamiento.
4. verificar que la posición de la cámara este fijo.
5. verificar que el láser y la luz del retinoscopio estén encendidos.
6. verificar la conexión de los servomotores.
7. verificar las conexiones de los periféricos de entrada y salida del computador de escritorio.
8. verificar que el algoritmo de procesamiento y comparación este ejecutándose.

## **3) *Instrucciones de uso***

1. Ingrese los datos del usuario y click en el botón CONTINUAR.
2. Coloque al usuario en una posición cómoda subiendo o bajando la estructura con ayuda de los botones de la pantalla táctil.
3. Pulse en la pantalla táctil el botón LISTO.
4. El usuario debe permanecer tranquilo y sin moverse mientras dura el examen.
5. Click en el botón INICIAR.
6. Al finalizar se imprimirá un reporte con el posible diagnóstico del usuario.

## **4) *Mantenimiento y advertencias***

El mantenimiento, revisión y reparación del sistema automatizado de retinoscopía debe hacerse por personal competente y bajo la dirección de un supervisor calificado.

Asegurarse de que todas las instrucciones que se refieren al funcionamiento y al mantenimiento sean efectuadas de igual manera para los elementos del sistema de retinoscopía.

Cualquier intervención en el equipo debe ser efectuada con la máquina en modo OFF y desconectada de la red eléctrica.