

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ESCÁNER BIFOCAL PARA LA  
RECONSTRUCCIÓN VISUAL DE OBJETOS UTILIZANDO  
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MEDIANTE FILTRADO EN LABVIEW  
Y MATLAB**

**AUTOR:**

**JORGE LUIS YÁNEZ CAJAS**

**DIRECTOR:**

**LUIS GERMAN OÑATE CADENA**

**Quito, abril del 2014**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO  
DEL PROYECTO DE GRADO**

Yo autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, abril del 2014

-----  
JORGE LUIS YÁNEZ CAJAS

CI: 172268853-6

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de titulación a mi amada madre Gilda Carmen Cajas Defaz, quien fue un pilar fundamental en el desempeño y culminación de mi carrera profesional. A mi hermana Karol Stephanie Cajas D. que la amo mucho y a mi tía Marianela Cajas, quienes con su paciencia supieron darme un apoyo emocional y sacarme una sonrisa.

Jorge Luis Yáñez Cajas

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi tutor Ing. Luis Oñate, quien con su valiosa paciencia y asesoramiento ayudó al desempeño del proyecto de titulación. A mi lectora Johanna Celi Sánchez, por sus sugerencias empleadas para culminar el proyecto de titulación.

Jorge Luis Yáñez Cajas

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1. Antecedentes .....	3
1.2. Problema a resolver.....	4
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos. ....	4
1.4. Justificación del trabajo .....	5
1.5. Alcance .....	5
1.6. Metodología .....	6
1.7. Investigación bibliográfica.....	6
1.7.1. Desarrollo del software y hardware. ....	6
1.7.2. Construcción total. ....	6
1.8. Desarrollo del documento .....	7
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	8
<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	8
2.1. Últimos avances .....	8
2.2. Visión artificial .....	9
2.2.1. Sensor de imagen. ....	10
2.2.1.1. Cámaras o sensores CDD.....	10
2.2.1.2. Klip Xtreme Webcam Combo Hers & Hers Kbu-9901.....	10
2.2.2. Fuentes de iluminación. ....	11
2.2.3. Láser.....	11
2.3. Etapas de un sistema de visión por computadora .....	11
2.3.1. Adquisición de imágenes. ....	12
2.3.2. Procesamiento de imágenes. ....	12
2.3.3. Segmentación.....	13
2.3.4. Detención de bordes.....	13
2.3.4.1. Operadores de Sobel, Prewitt, Frei-Chen. ....	14
2.3.4.2. Operador Sobel. ....	15
2.3.4.3. Operador Prewitt.....	15

2.3.4.4.	Operador Frei-Chen. ....	15
2.3.5.	Umbral. ....	15
2.3.6.	Teoría del color. ....	16
2.3.7.	Espacios de color. ....	16
2.3.8.	Imágenes RGB. ....	16
2.3.9.	Extracción de características. ....	17
2.4.	Estructura electrónica del escáner bifocal. ....	17
2.4.1.	Servomotores ....	17
2.4.2.	Sensores. ....	18
2.4.2.1.	Sensor QRD-114. ....	18
2.4.2.2.	Fórmula para hallar el ángulo de rotación de la base giratoria. ....	19
2.4.3.	Atmega48. ....	20
2.4.4.	Comunicación serial. ....	21
2.5.	NI-IMAQ ....	21
2.5.1.	Vision Utilities. ....	21
2.5.2.	Image Processing. ....	22
2.5.3.	Machine Vision. ....	22
2.5.4.	Vision Express. ....	23
<b>CAPÍTULO 3. ....</b>		<b>25</b>
<b>DESARROLLO DE HARDWARE Y SOFTWARE .....</b>		<b>25</b>
3.1.	Diseño de hardware. ....	25
3.1.1.	Diseño de bloques. ....	25
3.1.1.1.	Fuente de alimentación. ....	26
3.1.1.2.	Control de base giratoria. ....	26
a.	Microcontrolador. ....	26
b.	Etapas de conmutación. ....	27
c.	Sensor. ....	28
d.	Comunicación serial. ....	29
e.	Fuente de iluminación o láser ....	30
3.1.1.3.	Adquisición de imágenes. ....	31
3.1.1.3.1.	Cámaras web. ....	31
3.1.1.3.2.	Calibración de cámaras. ....	32
3.1.1.3.3.	Computadora principal. ....	37
3.2.	Circuito completo de la placa de control .....	38

3.3.	Construcción de la placa electrónica de control .....	41
3.4.	Desarrollo del software .....	42
3.4.1.	Diagrama de flujo de programación del microcontrolador.....	43
3.4.2.	Diagrama de flujo de adquisición de imágenes. ....	49
3.4.3.	Diagrama de flujo de procesado y filtrado de imágenes.....	52
3.4.4.	Diagrama de flujo para hallar la nube de puntos del objeto escaneado .....	55
3.4.5.	Diagrama de flujo para visualizar las nubes de puntos del objeto.....	57
3.5.	Escáner tridimensional.....	58
3.5.1.	Base.....	59
3.5.2.	Soporte de objetos.....	60
3.5.3.	Láser lineal.....	60
3.5.4.	Cámaras web.....	60
3.6.	Ecuación para obtener la reconstrucción tridimensional del objeto .....	60
3.7.	Cálculo de errores .....	63
3.8.	Error del ángulo de giro de la base .....	66
3.9.	Repetitividad del sistema .....	66
3.10.	Linealidad del sistema.....	67
3.11.	Precisión de la imagen .....	70
3.12.	Resultados de objetos escaneados y reconstruidos tridimensionalmente ....	72
3.12.1.	Ratona de cerámica. ....	72
	<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>74</b>
	<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>74</b>
4.1.	Costo del hardware .....	74
4.2.	Costo de diseño del hardware .....	75
4.3.	Costo del desarrollo del software.....	75
4.4.	Costo total del proyecto .....	75
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
	<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de visión artificial .....	10
Figura 2. Elementos de iluminación .....	11
Figura 3. Proceso de visión artificial de una imagen .....	12
Figura 4. Cambios de detención de bordes .....	14
Figura 5. Detención de bordes mediante la primera y segunda derivada.....	14
Figura 6. Mascaras de convolución de los tres tipos de operadores .....	15
Figura 7. Sistema de colores RGB .....	17
Figura 8. Sistema de control de giro por pulsos eléctricos .....	18
Figura 9. Diagrama interno de sensor QRD-114 .....	18
Figura 10. Componentes de codificador óptico para medir el ángulo de rotación del escáner bifocal .....	19
Figura 11. Vision Utilities Labview .....	22
Figura 12. Image Processing Labview .....	22
Figura 13. Machine Vision.....	23
Figura 14. Herramienta de NI-IMAQ .....	23
Figura 15. Vision Express .....	24
Figura 16. Diagrama de bloques del hardware.....	25
Figura 17. Fuentes de alimentación .....	26
Figura 18. Circuitería de Atmega48.....	27
Figura 19. Diagrama electrónico de puente H .....	28
Figura 20. Diagrama electrónico sensor QRD-114.....	29
Figura 21. Diagrama electrónico de transmisión serial.....	30
Figura 22. Fuente de iluminación láser .....	31
Figura 23. Elementos del escáner bifocal tridimensional .....	32
Figura 24. Centro de calibración de la cámara derecha .....	33
Figura 25. Centro de calibración de la cámara izquierda.....	33
Figura 26. Cuerpos solidos de calibración .....	34
Figura 27. Valores de cuerpos solidos .....	35
Figura 28. Triángulos semejantes entre los dos cilindros .....	36
Figura 29. Computador principal .....	38
Figura 30. Diagrama completo de placa de control .....	39
Figura 31. Diseño electrónico de placa de control en Ares.....	40

Figura 32. Diseño electrónico de placa de control en 3D .....	41
Figura 33. Placa electrónica .....	42
Figura 34. Interfaz gráfica de Labview .....	43
Figura 35. Diagrama de flujo de sistema de control del escáner .....	44
Figura 36. Interfaz gráfica de adquisición de imágenes en Labview .....	50
Figura 37. Diagrama de flujo de adquisición de imágenes .....	51
Figura 38. Interfaz gráfica de procesamiento y filtrado de Labview .....	53
Figura 39. Diagrama de flujo de procesado y filtrado de imágenes.....	54
Figura 40. Interfaz gráfica para hallar nube de puntos en Labview.....	56
Figura 41. Diagrama de flujo para halla la nube de puntos .....	56
Figura 42. Diagrama de flujo de visualización la nube de puntos en Matlab .....	58
Figura 43. Sistema del escáner tridimensional.....	59
Figura 44. Estructura del soporte de objetos.....	60
Figura 45. Componentes y variables que se toman en cuenta en la calibración con cuerpo sólidos .....	61
Figura 46. Semejanza de triángulos rectángulos.....	62
Figura 47. Objeto de prueba para cálculo de errores, repetitividad y linealidad del sistema. ....	63
Figura 48. Ajuste por mínimos cuadrados para el cálculo de profundidades experimentales .....	65
Figura 49. Linealidad del sistema del eje x.....	69
Figura 50. Linealidad de sistema del eje y.....	69
Figura 51. Vista digital tridimensional y real de la ratona obtenida con la cámara derecha.....	72
Figura 52. Vista digital tridimensional y real de la ratona obtenida con la cámara izquierda. ....	73
Figura 53. Resultado tridimensional de la unión de las dos nubes de puntos de la cámara izquierda y derecha. ....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comparaciones entre clases microcontroladores .....	20
Tabla 2.	Dimensiones de la estructura de madrea.....	59
Tabla 3.	Cálculo experimental del objeto .....	64
Tabla 4.	Cálculo de profundidad experimental del objeto .....	64
Tabla 5.	Error absoluto de profundidad real vs profundidad experimental .....	65
Tabla 6.	Cálculo del error del ángulo de giro del escáner.....	66
Tabla 7.	Cálculo de repetitividad del sistema .....	67
Tabla 8.	Nube de puntos obtenidos del escáner tridimensional y por el sensor Kinect. ....	68
Tabla 9.	Porcentaje de precisión de la imagen.....	70
Tabla 10.	Costos de hardware .....	74
Tabla 11.	Costos de diseño de hardware.....	75
Tabla 12.	Costos de diseño de software .....	75
Tabla 13.	Costo total del proyecto .....	76

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ángulo de desplazamiento de la base giratoria .....	19
Ecuación 2. Representación de relación entre cilindros.....	34
Ecuación 3. Teorema de Pitágoras del cilindro 1.....	36
Ecuación 4. Teorema de Pitágoras del cilindro 2.....	36
Ecuación 5. Semejanza de triángulos rectángulos entre C1 y C2 .....	36
Ecuación 6. Constante de calibración .....	37
Ecuación 7. Distancia del láser hasta el borde del cilindro de calibración .....	61
Ecuación 8. Distancia del objeto hacia el eje vertical.....	61
Ecuación 9. Semejanza de triángulos rectángulos .....	62
Ecuación 10. Coordenada de profundidad del objeto .....	62

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cámara Hers & Hers KBU-9901.....	82
Anexo 2. Datasheet de Atmega48.....	83
Anexo 3. Láser Craftsman.....	86
Anexo 4. Datasheet QRD-114.....	87
Anexo 5. Características de computador principal .....	89

## RESUMEN

La reconstrucción tridimensional de objetos e imágenes, en el presente ocupa un amplio campo de desarrollo tecnológico de visión artificial, esta reconstrucción tridimensional permite al usuario obtener de manera digital imágenes en el PC de objetos cuyo costo es alto o son antigüedades, para realizar estudios del objeto sin manipulación, se diseñó y se construyó una escáner bifocal tridimensional de objetos, para lo cual se utilizó: dos cámaras web, un dispositivo láser, una base giratoria, un computador principal el cual permite el control del movimiento de la base giratoria y es donde se almacenará las imágenes capturadas por las dos webcams, para que posteriormente sean analizadas y procesadas, con lo cual se obtiene los puntos de proyección de la línea láser sobre el objeto en coordenadas x, y, las unidades de las coordenadas obtenidas están dadas en pixeles, la coordenada en z se determinará mediante cálculos matemáticos de profundidad usando un algoritmo de visión artificial, una vez ya obtenidas las coordenadas x, y, z se procede a unir todos los puntos en una sola nube de puntos tridimensionales.

El equipo desarrollado en este proyecto tiene como finalidad escanear objetos de hasta 20x15 cm, siguiendo las etapas de: procesamiento; detección de bordes; extracción de coordenadas mediante la luz láser que es proyectada sobre el objeto, una vez concluido el proceso anteriormente mencionado se obtendrá las coordenadas tridimensionales del objeto escaneado para reconstruir la imagen del objeto en 3D. En consecuencia las coordenadas x, y, z de las imágenes obtenidas por el par de webcams son comparadas con las coordenadas x, y, z del sensor Kinect obteniendo un error porcentual del 1,789 %, en el cálculo de sus coordenadas reales de la imagen y una precisión del 98,20 %.

## **ABSTRACT**

Three-dimensional reconstruction of objects and images in this set in a wide field of technological development of artificial vision, this three-dimensional reconstruction allows the user to digitally images of objects in the PC that costs are high or antiques, to study the object without manipulation was designed and a three-dimensional bifocal scanner objects , for which we used was built: two webcams, a laser, a swivel base, a main computer which enables controlling the movement of the swivel base and is where captured by the two webcams, that are subsequently analyzed and processed images, whereby the projection points of the laser line over the object coordinate  $x$  is obtained is stored, and the units of the coordinates obtained are given in pixels, the  $z$  - coordinate is determined by depth mathematical calculations using a computer vision algorithm, and once obtained the coordinates  $x, y, z$  is not necessary to connect all the points in a single three-dimensional point cloud.

The team developed in this project aims to scan objects up to 20x15 cm, following the steps of processing, edge detection, extraction of coordinates by laser light is projected onto the object, and once the above process completed is obtained three-dimensional coordinates of the scanned object to reconstruct the 3D image of the object. Consequently the coordinates  $x, y, z$  of the images obtained by the pair of webcams are compared with the coordinates  $x, y, z$  of the Kinect sensor to obtain a percentage error of 1.789 % in the calculation of their actual coordinates of the image and 98.20% accuracy.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la representación de objetos en forma tridimensional ocupa un amplio campo de desarrollo tecnológico, permitiendo al usuario obtener en su computador una representación digital de ciertos objetos para poder modificarlos, este se basa en la captura de imágenes con una cámara web y un láser, que posteriormente serán almacenadas para pasar a la etapa de procesamiento. La misma que tiene una reconstrucción tridimensional errónea de la figura cuando se trata de figuras complejas (cóncavas), esto sucede por lo que con una sola cámara no se puede ver y capturar imágenes de secciones dificultosas, impidiendo su reconstrucción total del objeto (García & Narváez, 2007, págs. 135-138). El proyecto de investigación tiene como objetivo: Diseñar y construir un escáner bifocal tridimensional para obtener una nube con un sin número de puntos de las imágenes capturadas por las dos cámaras web, que posteriormente serán procesados y unidos mediante un software Labview y Matlab respectivamente y así determinar su forma tridimensional. Las metodologías que se implementaron en este proyecto de investigación son: investigación bibliografía, desarrollo software, hardware, construcción total y documentación del proyecto. La implementación de este proyecto será un aporte para los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, que estén interesados por el tema de visión artificial, permitiendo el desarrollo de una futura implementación en escáneres tridimensionales. La carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur- Sede Quito, auspició el proyecto de investigación.

En el capítulo 1: se analiza el problema a resolver, los antecedentes, objetivos, justificación, el alcance y la metodología de investigación desarrollada.

En el capítulo 2: se estudia los fundamentos teóricos y estado del arte, visión artificial, etapas de un sistema de visión por computadoras, estructura electrónica del escáner bifocal, herramienta NI-IMAQ de Labview.

En el capítulo 3: se examina los diagramas de flujo del software y del hardware, desarrollo de la placa de control, implementación de la placa de control, el modelamiento para la reconstrucción tridimensional de los objetos, cálculo de errores, reconstrucción en tres dimensiones de los objetos escaneados.

En el capítulo 4: se considera el análisis de los costos del diseño, construcción, implementación de software y hardware.

Por último se desarrolla las conclusiones y recomendaciones.

En los anexos se puede observar la siguiente información: En el anexo 1 se indican las características de las cámaras web (Hers & Hers KBU-9901). En el anexo 2 se indican las características del microcontrolador Atmega48. En el anexo 3 se indica las características del Láser Craftsman. En el anexo 4 se indican las hojas de datos del sensor QRD-114. En el anexo 5 se indican los Detalles técnicos de la computadora principal implementada en el proyecto de investigación.

# CAPÍTULO 1

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se analizará el problema planteado, antecedentes, objetivos generales, específicos, justificación, alcances y la metodología de investigación.

### 1.1. Antecedentes

El proyecto creado por el Instituto Politécnico Nacional, se optó por crear un prototipo de escáner tridimensional que permite la reconstrucción de objetos en 3D, proceso mediante el cual se mantienen las características, dimensiones, volumen y forma del objeto, esto se realizará a partir de la obtención de información bidimensional, en el cual se implementó un algoritmo arriba-abajo de procesamiento de imágenes. Este proceso de reconstrucción está basado en extraer información de la imagen que va a ser procesada mediante la delimitación de la superficie y las características del objeto. Con esto se procederá a verificar el cambio de intensidad de la imagen aplicando un operador Gaussiano, creando una imagen de la cual se extraerá los puntos de borde o de contorno. Estos puntos se agruparan según su ubicación, obteniendo información de la parte subyacente de la imagen a ser procesada logrando la reconstrucción de objetos en 3D a partir de información bidimensional (Tadeo, 2008, págs. 1-3).

Un proyecto para la reconstrucción de modelos tridimensionales utilizando visión artificial fue creado en la Universidad Politécnica Salesiana, quien mediante el uso de una cámara web y un láser realizaron un sistema prototipo de scanner óptico tridimensional. Este proyecto consta en capturar múltiples imágenes, la creación de un algoritmo de calibración consiguiendo la matriz de mapeamiento para el sistema de la cámara, la extracción de características discretas de las imágenes individuales y también rectificará las imágenes para obtener una alineación de las mismas realizando detección y filtrado de emparejamiento de las cuales se obtendrá una nube de puntos los mismo que serán almacenadas en una matriz para posteriormente ser analizados mediante código en C-SHARP y realizar la reconstrucción del objeto por rebanadas aplicando el procesamiento de imágenes e inteligencia artificial para lograr su objetivo (García & Narváez, 2007, págs. XIII-XVI,1-4).

## **1.2. Problema a resolver**

En muchos casos se necesita profundizar el estudio de objetos que resultan difíciles de manipular, debido a su delicada composición o costo. Por esta razón es necesaria una herramienta para escanear objetos con fácil manipulación y acceso a estos. En proyectos previos como: sistema prototipo de scanner óptico tridimensional realizado por (García & Narváez, 2007, págs. 62-74) que consiste en dividir la imagen capturada en un arreglo rectangular de elementos conocidos como pixeles, obteniendo nubes de puntos las cuales permitirán unirlos, definiendo parcialmente a la imagen para su análisis y su posterior reconstrucción utilizando visión artificial y procesamiento digital de imágenes. En la tesis anterior, al realizar el escaneo tridimensional de objetos con superficies irregulares y curvas se presentó el problema de oclusión, al momento de capturar la imagen, no se podía ver las partes más profundas tomándolas como que si no existiesen. Esto sucedió porque se trabajó con una sola cámara web y un láser, existiendo problemas de oclusiones o puntos ciegos anteriormente mencionados en donde la cámara y el láser no podían capturar la imagen, por ende no se obtenía completamente la nube de puntos para dichas secciones impidiendo aplicar procesamiento de imágenes y visión artificial. En este proyecto se implementará dos cámaras web y un láser para solucionar los problemas de oclusión o puntos ciegos de las figuras irregulares presentadas en la tesis de (García & Narváez, 2007, págs. 135-138). Estas oclusiones se disminuirán hallando correctamente la constante de calibración de las webcams, exactitud en el ángulo de giro y el correcto planteamiento matemático para hallar los puntos de profundidad de los objetos escaneado.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Diseñar y construir un escáner bifocal para el procesamiento y filtrado de imágenes en Labview y Matlab, que permitirá obtener datos de los puntos tanto en x,y,z de las múltiples imágenes capturadas.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Desarrollar el firmware en Labview y Matlab para el control de los ángulos de giros, captura y filtrado de imágenes respectivamente para que estas sean enviadas a la PC principal.

- Implementar la comunicación serial, para la transmisión y recepción de datos entre la PC y el microcontrolador.
- Desarrollar un software para el microcontrolador que controle el ángulo de giro exacto de la figura a escanearse a través de encoders.
- Desarrollar la interface gráfica en Labview para el control de la base del escáner bifocal.
- Realizar pruebas de análisis del funcionamiento del escáner bifocal.

#### **1.4. Justificación del trabajo**

Este tipo de proyecto diseñará y construirá un escáner tridimensional bifocal con dos cámaras web y un láser, permitiendo que se elimine estas oclusiones o puntos ciegos, llegando a obtener todas las nubes de puntos necesarios de las imágenes capturadas almacenándolos en una matriz. Posteriormente con estos puntos obtenidos se procederá a la reconstrucción por rebanadas del objeto utilizando procesamiento de imágenes mediante el filtrado en Labview y Matlab por lo tanto esta investigación permitirá visualizar y analizar imágenes de 2D para realizar su reconstrucción en 3D de tal manera que se pueda estudiar virtualmente cualquier objeto y así poderlos manipular de mejor manera, tener un mejor diseño sin perder su forma geométrica y sin tener mucha dificultad.

#### **1.5. Alcance**

El escáner bifocal realiza lo siguiente:

- Su base gira 360 grados en ángulos pequeños.
- Su base soporta pesos hasta 2 kilogramos.
- Captura con sus dos webcam imágenes en 2D de diferentes posiciones de un objeto. Las mismas que serán almacenadas automáticamente en una carpeta del computador para luego ser analizadas y procesadas mediante el filtrado de imágenes en Labview y Matlab para obtener sus puntos tanto en x, y, z.
- En una pantalla LCD muestra el número de giro en que se encuentra el objeto.
- Se apaga automáticamente cuando se ha finalizado el proceso de tomar las fotografías de la figura.

El escáner bifocal no realiza:

- No escanea figuras mayores de 20 cm de alto por 15 cm de ancho.
- Iluminación del medio ambiente.

## **1.6. Metodología**

En esta sección se detallará los pasos a seguir para la elaboración del proyecto: la investigación bibliográfica; desarrollo del software, hardware y la construcción total del proyecto para realizar su documentación.

## **1.7. Investigación bibliográfica**

Se realizó investigaciones acerca de contenidos, herramientas de visión artificial, procesamiento de imágenes, imágenes estereoscópicas. Adquisición y digitalización de imágenes y su reconstrucción en 3D con el software Labview y Matlab. Se investigó el microcontrolador a usarse por su capacidad de memoria, número de entradas analógicas/digitales, puertos disponibles, fácil adquisición, tamaño.

### **1.7.1. Desarrollo del software y hardware.**

Se implementó un circuito de control que permitirá la movilidad de la base bifocal giratoria así como también su comunicación serial RS232 con el software Labview. Se adjuntó al circuito de control una pantalla LCD 16x2 que indicará el número de giro en que se encuentra el objeto a escanearse. Se diseñó una interfaz gráfica que permitirá controlar el circuito de la base giratoria a través del software Labview, así como también la captura de imágenes realizada por las 2 webcam. Se analizó las imágenes capturadas mediante el software Labview, el cual permitirá el procesamientos y filtrado de las imágenes obteniendo los puntos requeridos. Se reconstruyó la imagen tridimensional del objeto en el software Matlab.

### **1.7.2. Construcción total.**

Se verificará el correcto funcionamiento de las comunicaciones alámbricas, sensores, motores, actuadores, pantalla LCD del circuito de control de la base giratoria. Se realizará las pruebas necesaria de control de la base giratoria por medio de la interfaz gráfica de Labview, de la misma manera se observará y analizará el procesamiento y filtrado de las imágenes obtenidas.

## **1.8. Desarrollo del documento**

Se desarrolló un texto en el cual describe el proceso del proyecto: diseño y construcción de un escáner bifocal para la reconstrucción visual de objetos utilizando procesamiento de imágenes mediante filtrado en Labview y Matlab, el cual tendrá que seguir los siguientes pasos: planteamiento del problema, estado del arte, desarrollo del hardware, software y finalmente un análisis de resultados y costos. Además se escribió un artículo del mismo para la revista Ingenius de la Universidad Politécnica Salesiana.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTADO DEL ARTE**

Este capítulo se tratará de las bases teóricas, el estado del arte de la visión artificial, procesamiento de imágenes, la comunicación alámbrica del escáner tridimensional.

#### **2.1. Últimos avances**

Para la aplicación de este proyecto se ha recopilado información de proyectos de tesis relacionados con la reconstrucción tridimensional a través de la captura de imágenes. Sin embargo, existen varios proyectos los cuales solo utilizan una sola cámara web, un láser, cálculos matemáticos y programación en C# de Visual Studio.Net, Microcode Studio, MySql, para la reconstrucción tridimensional como son:

Sistema prototipo de scanner óptico tridimensional, implementado por Christian García y Edgar Narváez, en la “Universidad Politécnica Salesiana Sede-Sur” de Quito, Ecuador. Este proyecto trata de un prototipo de escáner tridimensional cuya utilidad es escanear objetos y mostrar su forma tridimensional en una computadora. El diseño se basa en la captura de imágenes en dos dimensiones las cuales son procesadas, analizadas, segmentadas hallando las nubes de puntos necesarios para su reconstrucción tridimensional. En la cual se utilizará el software orientado a objetos C#.Net para establecer la conexión con el usuario, mediante la programación en Microcode Studio se controlará los giros del prototipo, finalmente las fotografías capturadas y procesadas se guardarán en una base de datos con la herramienta MySql para posteriormente con el software Autocad 2005 se muestre en pantalla la imagen tridimensional del objeto escaneado (García & Narváez, 2007, págs. 1-12).

Visión por computadora, implementado por Domingo Mery, en la “Universidad Católica de Chile” de Santiago de Chile. Este proyecto consta en analizar algoritmos (Transformación Euclídea 3D, Proyección en perspectiva, Modelación de distorsión, Proyección en la cámara) para calibrar el sistema, se establecerá la relación que existe entre las diferentes vistas de un mismo objeto, así como también a la distancia y ángulo que se encuentra una a comparación de la otra. Se utilizará la técnica de visión artificial Matching y Tracking, mediante la cual se analiza cómo encontrar la igualdad entre las imágenes capturadas de un mismo objeto, con los datos ya obtenidos de los modelos

matemáticos se procederá a su reconstrucción tridimensional del objeto (Mery, 2004, págs. III,1-55).

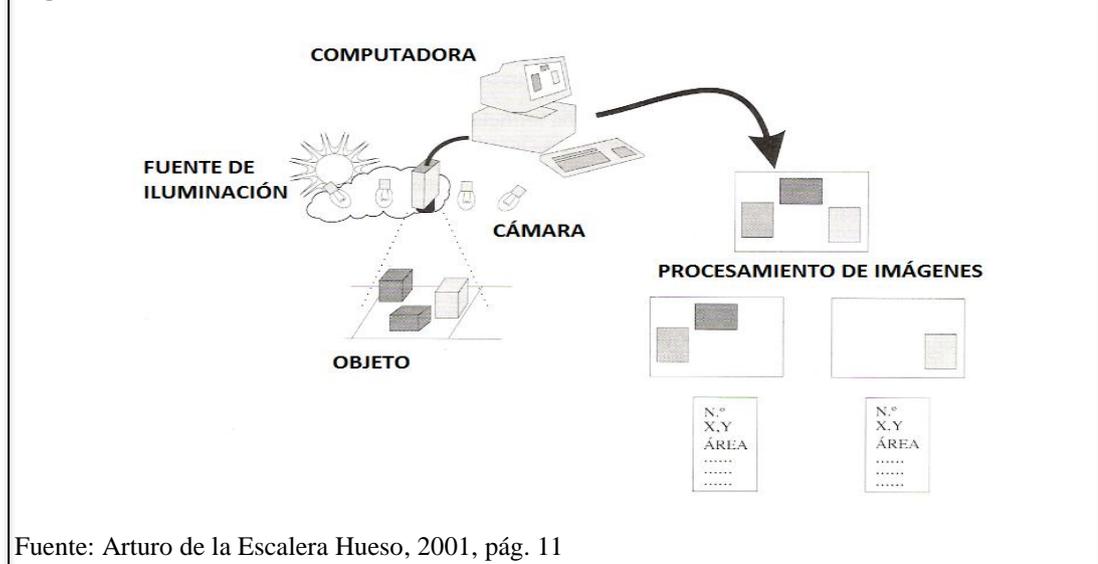
En la “Universidad Politécnica Salesiana Sede-Sur” se desarrolló un proyecto capaz de realizar un escaneo tridimensional de una habitación, para lo cual se utilizó dos webcams, un láser, un robot móvil el mismo que es controlado por una computadora principal. Las imágenes capturadas por las webcams son digitalizadas en un computador secundario el mismo que se encuentra sobre el robot móvil, las imágenes capturadas son enviadas al computador principal para ser procesadas y poder extraer las coordenadas x,y, la coordenada en z se obtiene mediante cálculos de profundidad de visión estereoscópica. Todas las coordenadas adquiridas son unidas en una nube de puntos tridimensional que representará la habitación escaneada (Musuña & Zapata, 2014, págs. 1-83).

## **2.2. Visión artificial**

Un sistema de visión artificial es un sistema autónomo capaz de extraer o deducir las estructuras o propiedades de imágenes tridimensionales a partir de imágenes en dos dimensiones. Su propósito es la detección, segmentación, localización y reconocimiento de imágenes para ser programadas en un computador el cual realiza el proceso de muestreo de la imagen.

Los sistemas de visión artificial realizan dos funciones básicas que son: obtener la información de escenas reales mediante la proyección de una imagen; procesar y analizar la imagen para obtener la información que esta contiene. En la captura de información de escenas reales son de mucha importancia los sensores, la iluminación y las tarjetas digitalizadoras, en cambio la mayor dificultad se encuentra a nivel de software que se trata sobre el análisis de las imágenes capturadas. Aunque muchas de las veces este proceso es realizado por medio de hardwares especializados que contiene funciones de procesamiento, filtrado para detectar los contornos o bordes del objeto. En la figura 1 se puede observar los elementos de visión artificial como: computadora, fuente de iluminación (láser), cámaras, objetos a escanear.

Figura 1. Elementos de visión artificial



Fuente: Arturo de la Escalera Hueso, 2001, pág. 11

### 2.2.1. Sensor de imagen.

Los sensores de imágenes son elementos de una cámara digital que capta la luz de las fotografías capturadas, el sensor puede estar constituido en base a tecnologías digitales o analógicas.

La tecnología más utilizada es la digital que utiliza sensores CCD a un bajo costo y de fácil obtención.

#### 2.2.1.1. Cámaras o sensores CDD.

“La cámara CCD (charge-coupled-device) es un sensor de imagen que utiliza elementos semiconductores fotosensibles en forma de arreglos matriciales. En un sensor CCD se transforma la energía de la luz incidente en energía eléctrica” (Mery, 2004, pág. 48). En las cámaras CCD se digitaliza las imágenes en píxeles, mediante un conversor análogo-digital. Este tipo de cámaras son muy utilizadas por su baja deformación geométrica de la imagen, buena sensibilidad a la luz, y buena resolución a bajo costo.

#### 2.2.1.2. Klip Xtreme Webcam Combo Hers & Hers Kbu-9901.

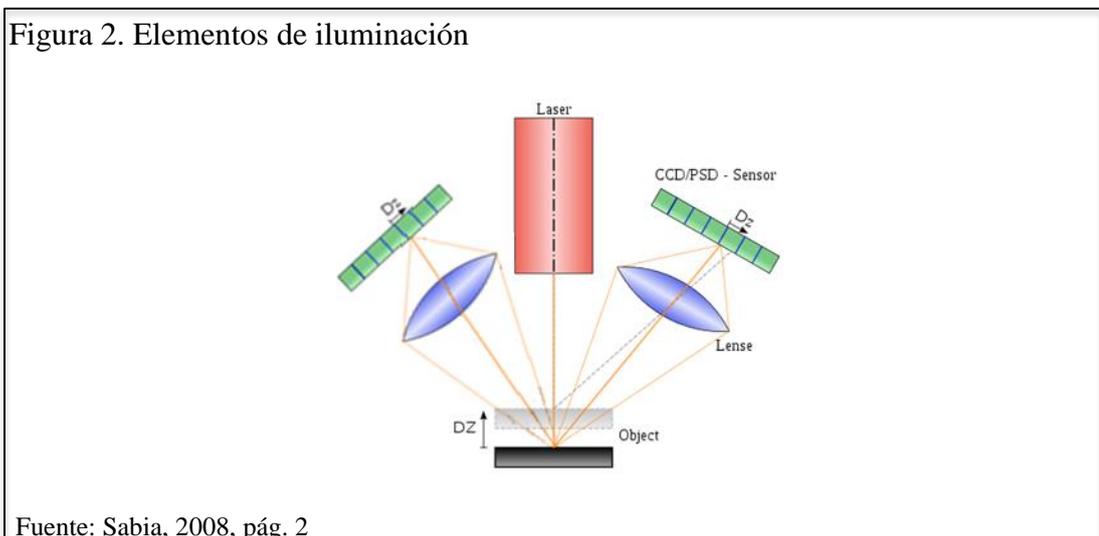
Este tipo de cámara es económica y de fácil manipulación la cual tiene una interfaz de ordenador Hi-Speed USB, es compatible con Windows 7 tanto de 32 y 64 bits, su imagen fija es de 640 x 480 píxeles y toma 30 fotografías por segundo además tiene un sensor óptico de 300000 píxeles. Las características se pueden ver en el anexo 1.

### 2.2.2. Fuentes de iluminación.

Es una característica de la visión por computadoras la cual obtiene información de los puntos de interés del objeto a escanearse. Un reconocimiento exitoso de una imagen depende mucho de la luminosidad que se le proporcione permitiendo emplear menos filtros en el procesamiento de la imagen y consiguiendo aumentar la velocidad de procesamiento de la aplicación, por lo tanto el sistema de iluminación debe adaptarse al objeto para iluminar las partes oscuras. Para escoger el sistema de iluminación se debe tener en cuenta el entorno, superficies, volumen de objeto para saber con qué tipo de fuente de luz (láser, led, fluorescente, halógena, xenón) trabajaría, esto permitirá extraer más fáciles los puntos de interés.

### 2.2.3. Láser.

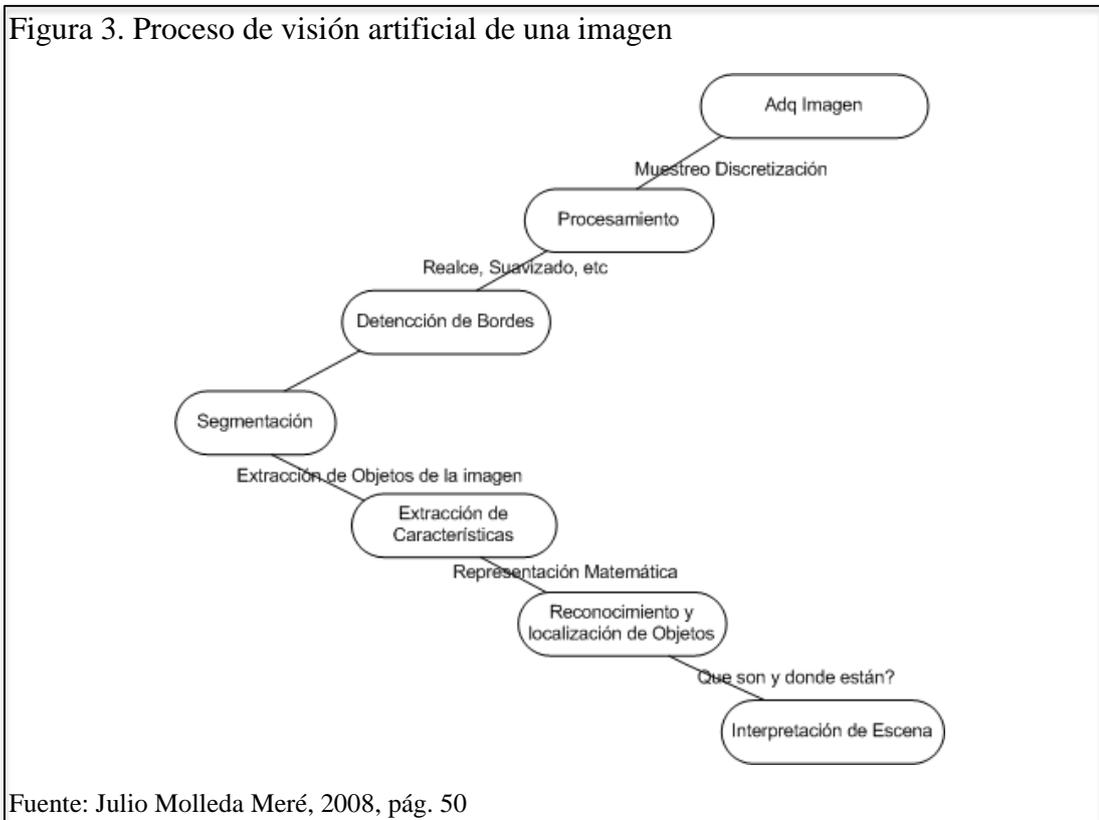
Es un dispositivo que genera radiación electromagnética y su luz es puramente monocromática en forma unidireccional, esto quiere decir que sus longitudes de onda se encuentran en un rango muy pequeño, la cual forma líneas o patrones para posteriormente ser utilizadas en el método de triangulación de imágenes. En la figura 2 se muestra los elementos iluminación del escáner tridimensional los mismos que son: laser, cámaras web, objeto a escanearse.



### 2.3. Etapas de un sistema de visión por computadora

Existen siete etapas en el proceso de visión por computadora que se muestran en la figura 3 estas son: adquisición de imágenes; procesamiento de imágenes; segmentación; detección de bordes; extracción de características; reconocimiento del

objeto; interpretación de la escena. No es obligatorio aplicar todo el proceso mostrado en la figura depende del análisis que se desea realizar.



### 2.3.1. Adquisición de imágenes.

Es el proceso en el que se obtiene una imagen visual en dos dimensiones en formato digital para ser analizada, este proceso requiere de un sensor de imagen o webcam que tenga la capacidad para digitalizar la señal del sensor.

### 2.3.2. Procesamiento de imágenes.

“Conjunto de algoritmos y transformaciones necesarias para realizar el análisis de la imagen y de este modo extraer la información de las imágenes capturadas” (Rodríguez, 2011, pág. 1).

El procesamiento de imágenes es capturar una imagen que posteriormente es enviada a una computadora para ser analizada y filtrada a través de un software, obteniendo una imagen modificada a la original. En la imagen modificada incluyen técnicas de mejoramiento tanto sea eliminación del ruido, incremento del contraste, brillantez, escala de grises, eliminación de regiones no deseadas. Además, se resaltan dos tipos

de procesos que son el suavizado y realzado de imagen. El suavizado elimina el ruido en la captura de la imagen y el realzado elimina sombras y reflejos falsos que impide la obtención de la información completa de la imagen capturada.

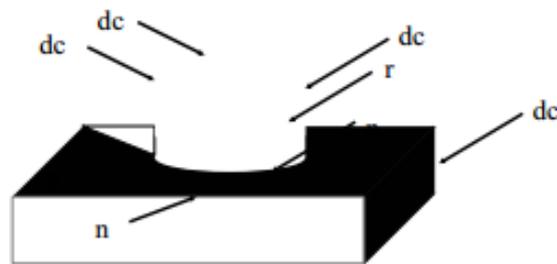
### **2.3.3. Segmentación.**

“La segmentación es separar uno o varios objetos localizados en el entorno de las imágenes y distinguirlos entre sí” (Suárez, 2009, pág. 17). Es decir, la segmentación es dividir en partes a la imagen permitiendo resaltar lo más importante de la misma, también se considera como una de las partes más difíciles en el procesamiento de imágenes, una división errónea tiende llevar al fracaso o viceversa. La primera decisión que se debe tomar es que si los datos son representados como bordes o como regiones ya que existen dos principios de segmentación la primera es segmentada a bordes (discontinuidad) y la segunda a regiones (similitud). La segmentación a bordes se basa en los cambios bruscos de grises de una imagen. En la segmentación a regiones los pixeles de una región debe tener valores similares de una propiedad como: color, textura, nivel de gris, etc.

### **2.3.4. Detención de bordes.**

La detención de bordes tiene por objetivo la localización de los puntos en donde se produce variación de intensidad que permite pasar del nivel de gris al color del objeto. Además separa diferentes elementos que involucran a la escena, esto se da por cualquier tipo de discontinuidad que existe en la función de intensidad sobre los puntos del objeto. Existen diferentes cambios en los tipos de detención de bordes como se muestra en la figura 4, estos son: cambios bruscos en la detención de bordes de la distancia entre la cámara y el objeto; la normal por su movimiento (n); reflectancia del objeto (r); proyección del rayo de luz incidente (s).

Figura 4. Cambios de detención de bordes

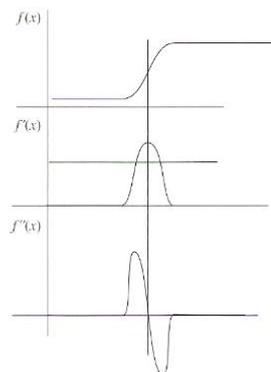


Fuente: Universidad Miguel Hernández, 2001, pág. 3

Aplicando los operadores de derivadas, Gradiente y Laplaciano se obtendrá una detención de bordes exitosa.

En el primer caso lo que se busca es localizar grandes picos, así como la diferencia entre pixeles vecinos, dando lugar a la derivada unidimensional o bidimensional para ser aplicada a la imagen, teniendo en cuenta que en este caso el nivel de grises de la imagen es constante como se muestra en la figura 5, el cual permite una mejor detención de bordes teniendo en cuenta que se definirá un umbral mínimo para considerar a un pixel como perteneciente a un borde y seguir con el procedimiento. En el segundo caso Laplaciano es la segunda derivada de una función pero esta no es comúnmente muy utilizada porque es muy sensible al ruido.

Figura 5. Detención de bordes mediante la primera y segunda derivada



Fuente: Arturo de la Escalera Hueso, 2001, pág. 156

#### 2.3.4.1. Operadores de Sobel, Prewitt, Frei-Chen.

En la figura 6 se muestra la forma general de formular los tres tipos de operadores de detención de bordes.

Figura 6. Mascaras de convolución de los tres tipos de operadores

<p><b>Gradiente fila</b></p> $\frac{1}{2+K} \begin{array}{ c c c } \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline K & 0 & -K \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \end{array}$	<p><b>Gradiente columna</b></p> $\frac{1}{2+K} \begin{array}{ c c c } \hline -1 & -K & -1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & K & 1 \\ \hline \end{array}$
---	--

Fuente: Jaén, 2005-2006, pág. 3

#### 2.3.4.2. *Operador Sobel.*

“Este tipo de operador magnifica el ruido subyacente de la imagen. Además, puede ver como la combinación de un filtro de suavizado del ruido con un operador de aproximación imprecisa del gradiente” (Currás & Traba, 2012, pág. 4). Este tipo de operador utiliza una máscara de 3x3 y una constante  $k=2$ , esta se mueve pixel a pixel calculado el valor del gradiente para cada uno, siendo más sensible en los bordes diagonales que el operador Prewitt.

#### 2.3.4.3. *Operador Prewitt.*

En el caso de Prewitt ( $K = 1$ ), se pondera la información de filas y columnas adyacentes para dar mayor inmunidad al ruido (Currás & Traba, 2012, pág. 4). Este operador se diferencia en los coeficientes ya que no tiene afán por los pixeles cercanos de la imagen.

#### 2.3.4.4. *Operador Frei-Chen.*

“Este operador trabaja con una constante  $K=\sqrt{2}$ ” (Sucar & Gómez, 2007, pág. 44). Se basa en aplicar múltiples operadores simultáneamente a cada pixel y combinar los resultados.

#### 2.3.5. **Umbral.**

“El umbral puede definirse en términos de brillo máximo y de los valores oscuros de cada imagen” (Barbosa, 2001, pág. 32). El umbral consiste en obtener el valor de un pixel específico de la imagen, se puede considerar el mismo umbral para todas las imágenes capturada ya que tiene una iluminación constante y una reflexión uniforme, por lo tanto esto no afectaría en el proceso.

### **2.3.6. Teoría del color.**

El color es una de las características más importantes del procesamiento de imágenes, esta depende de varios factores que son: color del entorno, intensidad y saturación.

Los colores primarios comúnmente utilizados son tres: rojo (R), verde (G), azul (B). Estos tres colores se pueden mezclar para formar una gama de colores los mismos que están contenidos en las imágenes.

La intensidad es más conocida como fuente o valor de iluminación. El valor de saturación es la distancia de la luminosidad hasta lograr conseguir el color puro. Entre los colores saturados tenemos el rojo, los no saturados deben tener mayor cantidad de luz blanca y los colores pastel son relativamente no saturados.

El color depende de tres factores: Reflectancia espectral de las superficies de la escena, la cual determina como las superficies reflejan el color; contenido espectral de la luminosidad ambiental, la cual es el contenido de color de la luz reflejada sobre las superficies; respuesta espectral de los sensores en el sistema de visión (Barbosa, 2001, pág. 15).

### **2.3.7. Espacios de color.**

Espacio de color son especificaciones de coordenadas en 3D, en el cual todos tienen un rango de color particular. “El objetivo de un modelo de color es permitir la especificación conveniente de colores en algún rango de color” (Barbosa, 2001, pág. 17).

### **2.3.8. Imágenes RGB.**

Las imágenes RGB utilizan una mezcla de colores para saber qué cantidad de luminosidad es necesaria para obtener el color requerido. Estos colores son básicamente rojo, verde, azul los cuales son tres tipos de señales de luminosidad cromática. Estos colores son sensibles y recibidos por el ojo humano. Cada imagen puede almacenar píxeles con cierta intensidad de brillo comprendida entre 0 y 255. En la figura 7 se muestra el sistema de colores RGB.

Figura 7. Sistema de colores RGB



Fuente: L. Enrique Sucar, 2007, pág. 54

### 2.3.9. Extracción de características.

Una vez segmentada la imagen, es necesario extraer las características de esta, que consta simplemente en resaltar las partes o regiones de interés. Estas pueden ser: agrupación de pequeños puntos de intensidad, regiones circulares con alto brillo, con bordes poco definidos, etc. Para ser utilizadas según su el requerimiento de la aplicación.

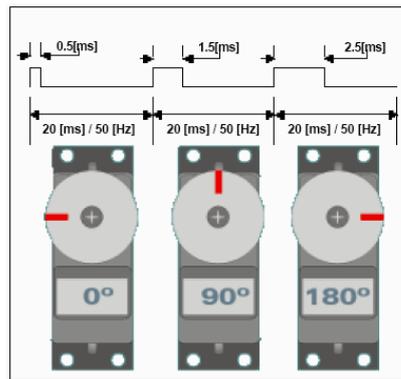
## 2.4. Estructura electrónica del escáner bifocal

En esta sección se tratará de los componentes electrónicos que constituyen el escáner para su correcto funcionamiento.

### 2.4.1. Servomotores.

Son dispositivos de corriente continua, conformado por un motor, una caja reductora formada por engranajes los cuales disminuyen la velocidad y aumentan la fuerza por medio de un circuito de control. Estos servomotores son utilizados con frecuencia en la robótica y aeromodelismo por su gran fuerza o torque. Su uso no es limitado ya que permite modificar su ángulo de giro comprendido entre los 0 grados y los 180 a un rango entre los 0 grados y los 360 grados con tan solo modificar el tope del potenciómetro que es un limitante mecánico. Los ángulos de giro son controlados por los pulsos del motor que están comprendidos como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Sistema de control de giro por pulsos eléctricos



Fuente: Marco Lema, Marlon Idrovo, Yamid Ramírez, 2010, pág.5

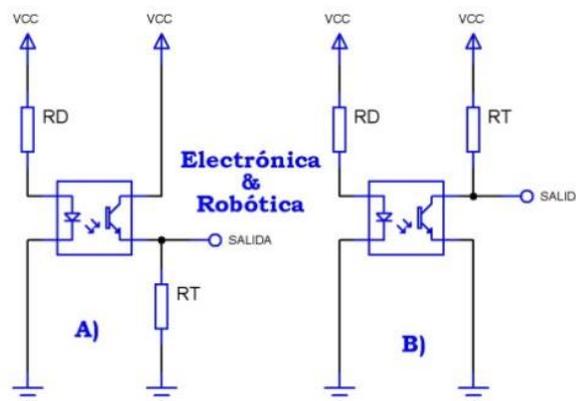
## 2.4.2. Sensores.

Son dispositivos que captan señales químicas, físicas, variaciones eléctricas, pulsos de luz, humedad, temperatura, desplazamiento, inclinación, torsión, etc.

### 2.4.2.1. Sensor QRD-114.

Estos sensores infrarrojos están compuestos por un emisor de luz y un receptor ubicados verticalmente uno paralelo al otro, uno de sus defectos es que son de corto alcance. Su funcionamiento consta en la detección del rayo reflejado por el receptor y la capacidad de reflexión del objeto. Está compuesto por cuatro pines de conexión, dos de ellos son ánodo y cátodo de emisor y los dos siguientes son colector y emisor del receptor. En la figura 9 se muestra el diagrama interno del sensor.

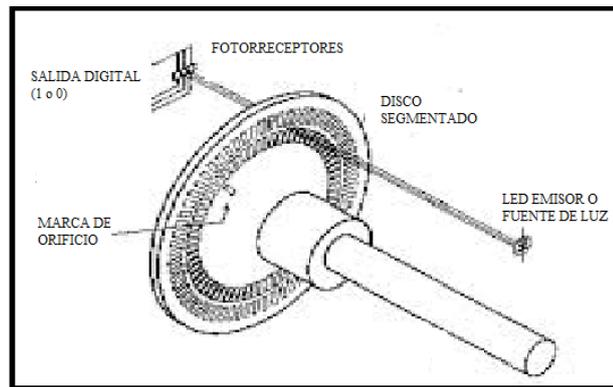
Figura 9. Diagrama interno de sensor QRD-114



Fuente: Sergio Hatsune, 2009, pág. 1

En este proyecto se utilizará una rueda segmentada, esta detecta un objeto a través de un haz de luminosidad. Esta detección es cuando el haz de luz penetra una rueda segmentada, este llega al receptor y cambia el estado de salida convirtiendo en pulsaciones entre 1 y 0 digital, permitiendo saber cuántas revoluciones da en 360 grados, como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Componentes de codificador óptico para medir el ángulo de rotación del escáner bifocal



Elaborado por: Jorge Yáñez

#### 2.4.2.2. *Fórmula para hallar el ángulo de rotación de la base giratoria.*

Mediante la ecuación 1 se obtiene el ángulo de desplazamiento de la base giratoria sobre su propio eje de rotación en los 360 grados que debe girar hasta completar su trayectoria circular. El valor del ángulo de desplazamiento dependerá del número de segmentos de la base giratoria (PPV) que va a sensor el encoder.

#### **Ecuación 1. Ángulo de desplazamiento de la base giratoria**

$$\emptyset = \frac{360^{\circ} \times C}{PPV} \quad (1)$$

Dónde:

$\emptyset$  = Angulo de rotación de la base giratoria

$C$  = Pulsaciones por recorrido

$PPV$  = Segmentaciones de la base

### 2.4.3. Atmega48.

Es un microcontrolador de alto rendimiento de la empresa ATMEL tiene: 28 pines, capacidad de procesamiento de 16 Mhz, entradas analógicas y digitales, oscilador interno RC calibrado totalmente, comunicación serial UART, conversor ADC de 10 bits. Está diseñado para trabajar en W95/W98/NT/XQ/WIN7 (Chicaiza & Reyes, 2013, pág. 26). Las características del atmega48 se puede observar en el anexo 2.

Tabla 1. Comparaciones entre clases microcontroladores

Características y dispositivos	Avr Atmega	Pic Microchip	Stmicroelectronics	Motorola 68hc11
Nivel de costos	X	X	X	X
Lenguaje de programación sencillo	X	X		
Ahorro de energía	X	X	X	X
Disponibilidad en el mercado	X	X		
Fácil adquisición de información en la web	X	X	X	X

Elaborado por: Jorge Yáñez

En la tabla 1 se observa las principales características que se debe tomar en cuenta para la adquisición de un microcontrolador las mismas que son: Bajo costo que oscila entre los 7 a 11 dólares americanos. En Quito, son de fácil adquisición los microcontroladores AVR y PIC, que los microcontroladores STMicroelectronics, Motorola. El lenguaje de programación para AVR y PIC es de fácil entendimiento, en la Universidad Politécnica Salesiana, se dictaron las materias de sistemas microprocesados en donde se desarrollaron los conocimientos para el uso de los microcontroladores mencionados anteriormente. Los cuatro microcontroladores tienen un rango de funcionamiento entre los 3,5V a 8V. La información encontrada en la web de aplicaciones, foros, blogs, manuales, creación de proyectos es muy amplia para los 4 microcontroladores lo cual es de gran ayuda. En este proyecto debido al conocimiento y experiencia de programación de microcontroladores en el software Bascom se optó por utilizar el microcontrolador AVR.

#### **2.4.4. Comunicación serial.**

Conocida como comunicación RS232, la misma que transmite bit a bit la información de sus datos. Su conector es una interfaz de 9 pines DB9 el mismo que permite transmitir información de forma bidireccional, es decir puede enviar y recibir información a la vez. El conector DB9 utiliza una conexión eléctrica simétrica con circuitos no equilibrados y todos puestos a tierra, su transmisión es máximo de 128 kbps a una distancia no superior a 15 metros, considerando como: 1 lógico entre -3V y -15V; 0 lógico entre +3V y +15V; La región entre -3 y -3 Voltios es indefinida y el circuito nunca debe exceder de los 25 V.

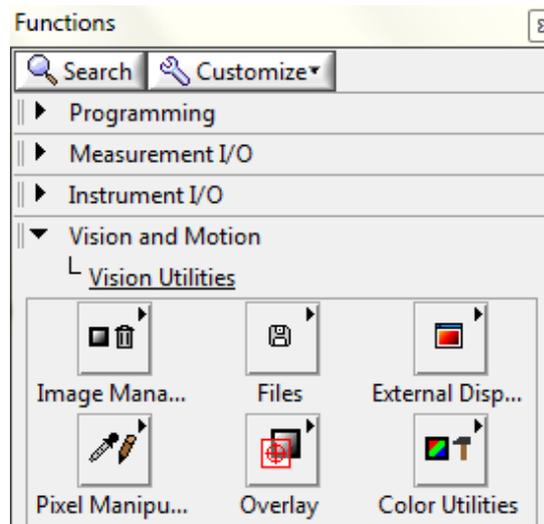
### **2.5. NI-IMAQ**

Esta herramienta analiza las imágenes obtenidas a través de las funciones de procesamiento, filtrados, detención de bordes, segmentación de las mismas que son realizadas por el usuario. NI-IMAQ tiene tres funciones principales para el manejo de sus paletas entre las que tenemos: Vision Utilities, Image Processing, Machine Vision.

#### **2.5.1. Vision Utilities.**

La función que contiene esta herramienta es que permite cambiar el formato de la imagen, controlar la visualización en el panel frontal, asignar paletas de colores, asignar atributos como tamaño, posición, zoom de la imagen capturada. Además, extrae las secciones de interés, rota y manipula su pixelado. En la figura 11 se muestra la imagen de las funciones de la herramienta antes mencionada.

Figura 11. Vision Utilities Labview

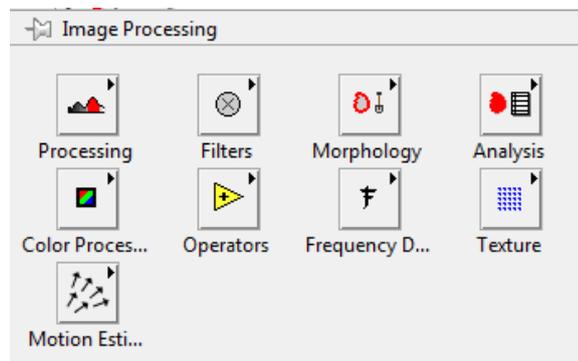


Fuente: "Labview 2012"

### 2.5.2. Image Processing.

Esta herramienta elimina el ruido, suaviza y resalta los bordes externos, convirtiendo a la imagen de escala de grises a una imagen binaria. En la figura 12 se muestra como está constituida la herramienta antes mencionada.

Figura 12. Image Processing Labview

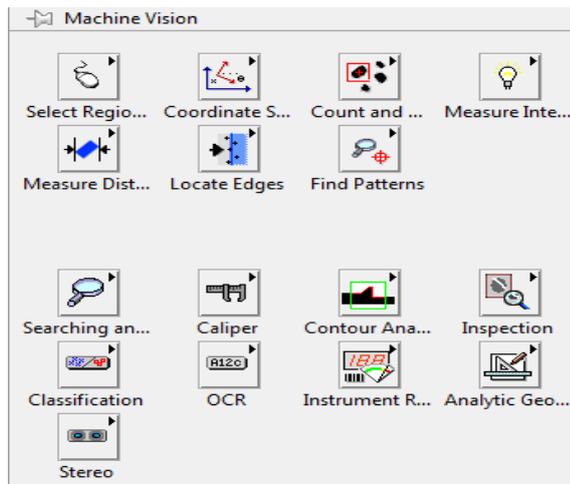


Fuente: "Labview 2012"

### 2.5.3. Machine Vision.

Esta herramienta halla los bordes de la imagen, eliminando las partes no deseadas y resaltando la intensidad de sus puntos en pixeles. En la figura 13 se muestra la paleta de herramientas.

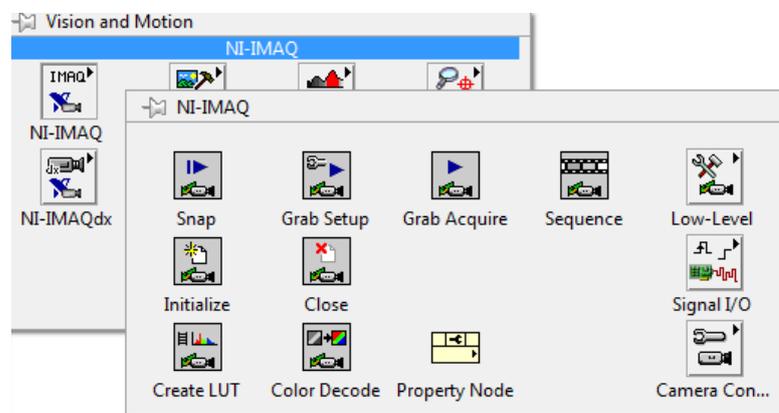
Figura 13. Machine Vision



Fuente: "Labview 2012"

La herramienta de Labview NI-IMAQ permite el control de las cámaras externas, las mismas que capturarán imágenes, para luego ser almacenadas en un directorio y proceder a su respectivo análisis. En la figura 14 se muestra las herramientas de la paleta.

Figura 14. Herramienta de NI-IMAQ

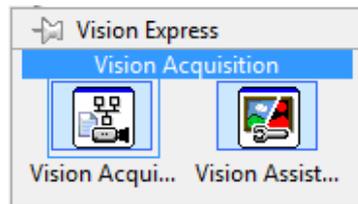


Fuente: "Labview 2012"

#### 2.5.4. Vision Express.

Esta herramienta escoge el software de las cámaras que van a ser utilizadas en el proceso de captura de una manera más fácil y rápida. En la figura 15 se muestra e icono de la librería mencionada.

Figura 15. Vision Express



Fuente: "Labview 2012"

### CAPÍTULO 3

#### DESARROLLO DE HARDWARE Y SOFTWARE

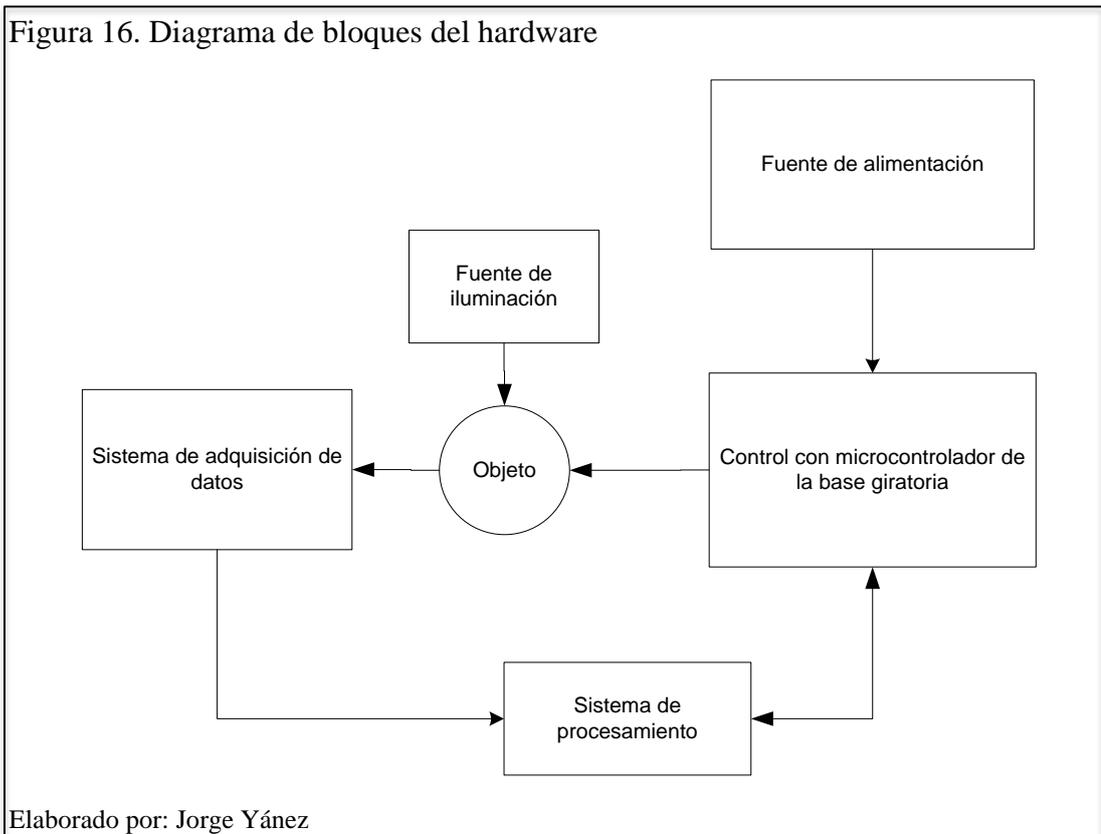
En este capítulo se analizará el diseño del hardware y desarrollo del software y los resultados del procesamiento de las imágenes del escáner bifocal tridimensional.

#### 3.1. Diseño de hardware

A continuación se describe el diagrama de bloques del escáner bifocal tridimensional.

##### 3.1.1. Diseño de bloques.

En la figura 16 se indica el diagrama de bloques del hardware utilizado para el escáner tridimensional el cual está conformado por: fuente de alimentación; control con microcontrolador de la base giratoria; fuente de iluminación; sistema de adquisición de datos y sistema de procesamiento.



### 3.1.1.1. Fuente de alimentación.

Este bloque está constituido por dos fuentes externas una de 5 voltios y otra de 12 voltios. Como se puede observar en la figura 17.

Figura 17. Fuentes de alimentación



Fuente: KUHN SA, 2010

### 3.1.1.2. Control de base giratoria.

Este bloque está constituido por: microcontrolador, etapa de conmutación para el motor, sensor, comunicación serial con el pc, fuente de iluminación láser.

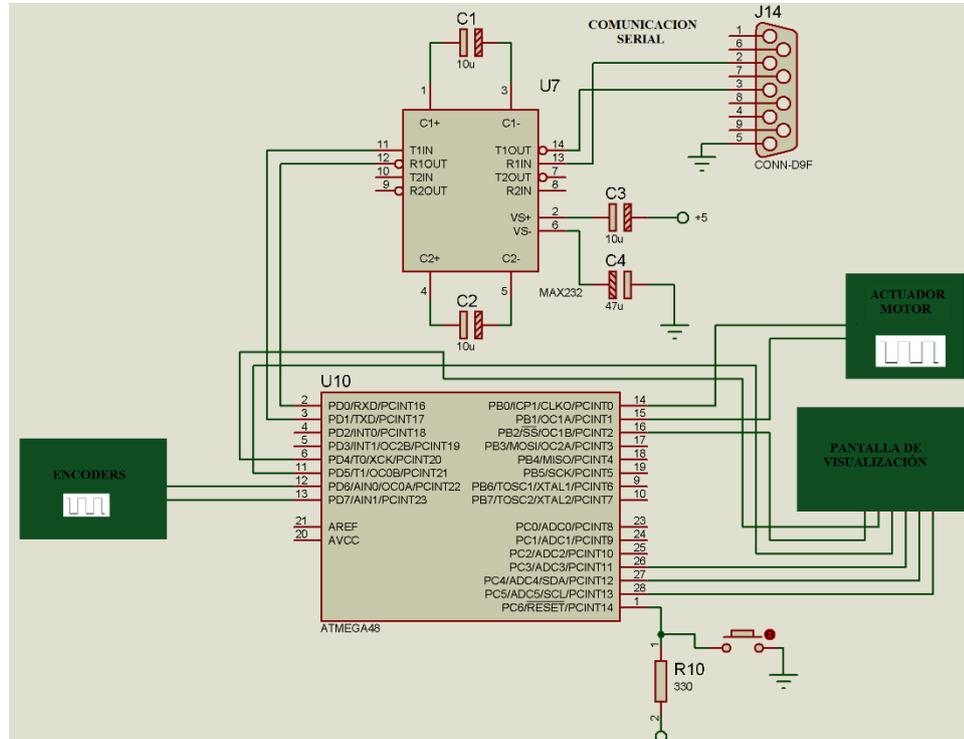
- a. El microcontrolador
- b. Etapa de conmutación
- c. Sensor
- d. Comunicación serial
- e. Fuente de iluminación láser

#### a. Microcontrolador

Por los pines 12 y 13 del puerto D, el microcontrolador recibe la señal emitida por el sensor óptico, este elemento permite saber el número de pulsaciones de rotación de la base giratoria en los 360 grados, esto se logra a través del uso de una rueda segmentada. Los datos obtenidos son enviados a través de los pines 1 y 2 del puerto D del microcontrolador para realizar la comunicación serial a 9600 baudios. Los pines 6,11 del puerto D y 26, 27, 28 del puerto C son aquellos que muestran la información en una pantalla Lcd 16x2, para visualizar el número de fotografías capturadas y el número de pulsaciones emitidas hasta completar el giro de 360 grados de la base. Los pines 14

y 15 del puerto B son utilizados como salidas digitales para controlar el movimiento de la base giratoria (izquierda-derecha o automático) como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Circuitería de Atmega48



Elaborado por: Jorge Yáñez

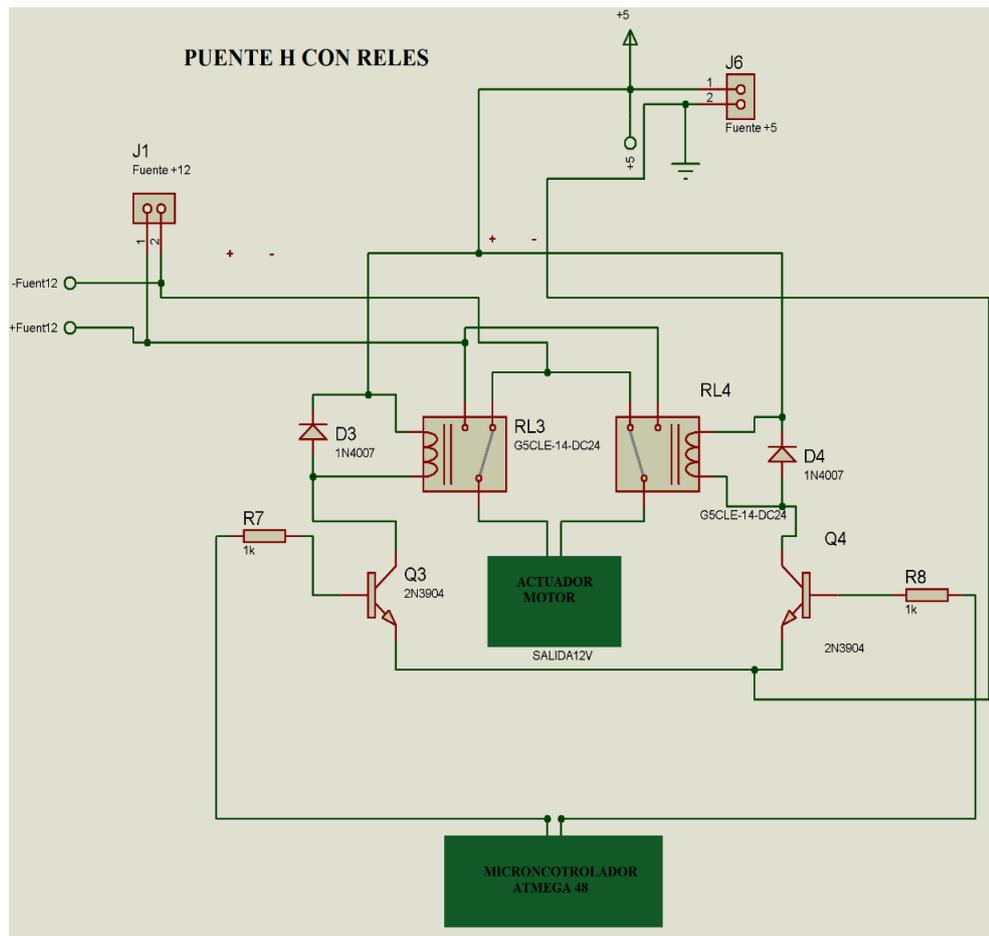
### b. Etapa de conmutación

Se utilizó un motor DC para hacer girar la base. Su conmutación se lo realizó con un puente H con relés. Los elementos que conforman el puente H son: dos resistencias; dos transistores TBJ 2N3904; dos relés los mismos que permiten la conmutación instantánea al activarse; dos diodos rectificadores 1N4007 para protección. Cuando el microcontrolador no envía ningún tipo de señal el circuito permanecerá en reposo, pero cuando este envía la señal por los pines 14 o 15 del puerto B se activará los transistores Q3 o Q4 inmediatamente, también activará los relés R13 y R14 respectivamente. En consecuencia el motor recibirá 12 voltios DC para poder girar a la izquierda o a la derecha, tomando en cuenta el transistor y pin activado.

- (Izquierda=pin 14-B=Q3=R13)
- (Derecha=pin 15-B=Q4=R14)

En la figura 19 se muestra el diagrama electrónico del puente H con relés.

Figura 19. Diagrama electrónico de puente H



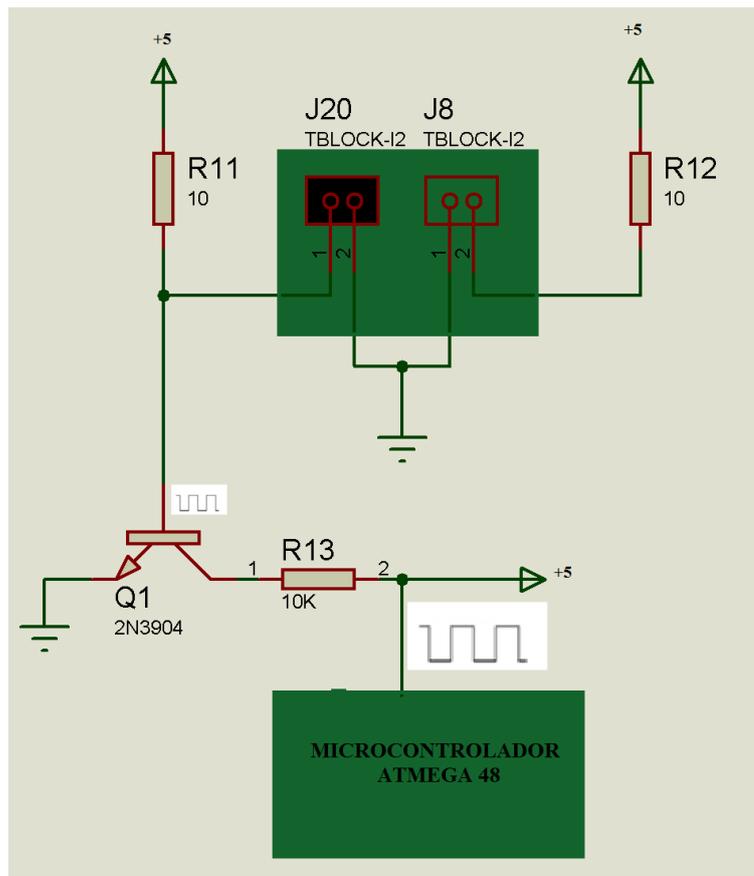
Elaborado por: Jorge Yáñez

### c. Sensor

Para calcular el ángulo de giro se utilizó un sensor QRD-114, el mismo que permite saber el número de pulsos que transmite al girar el motor. Con el número de pulsos transmitidos y utilizando la ecuación (1) se calcula el ángulo de giro de la base.

El sensor utiliza: tres resistencias de las cuales dos resistencias son  $10\Omega$ , una para polarizar el diodo led emisor y la otra para aumentar la corriente del diodo led receptor y poder distinguir los pulsos, una resistencia de  $10K\Omega$  para polarizar el diodo led receptor; un transistor 2N3904 que conmuta la señal de salida del sensor a 5V. En la figura 20 se muestra el diagrama del circuito electrónico con sensor QRD-114.

Figura 20. Diagrama electrónico sensor QRD-114

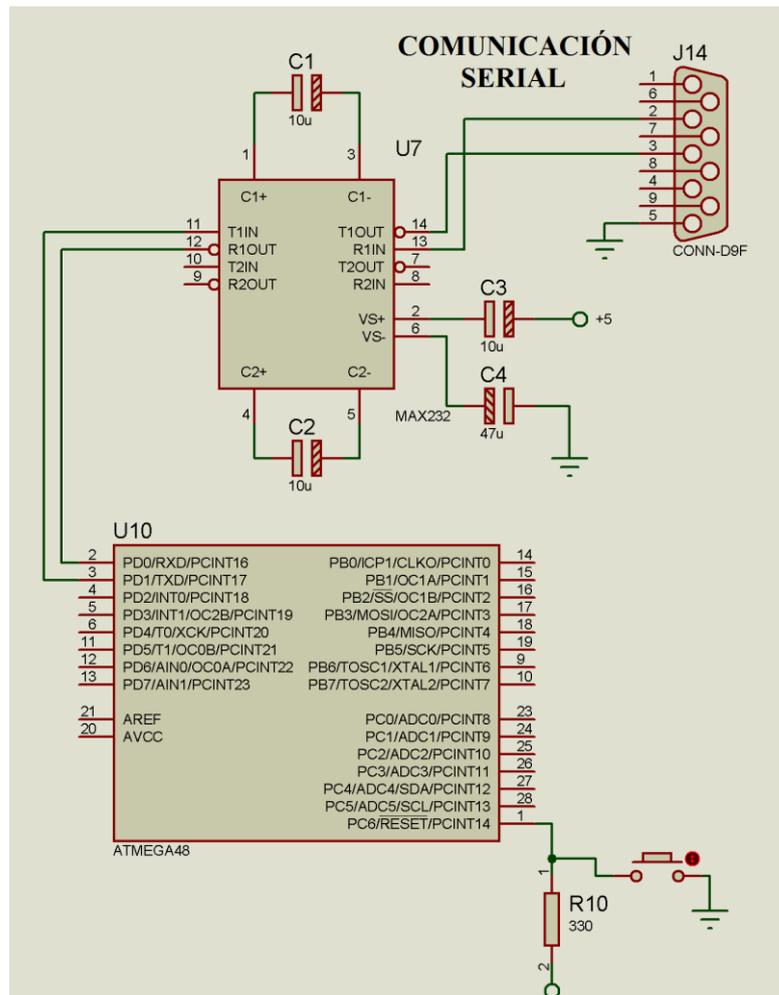


Elaborado por: Jorge Yáñez

#### d. Comunicación serial

En la transmisión de datos se utilizó el integrado MAX-232, que envía y recibe las señales emitidas por el microcontrolador a través de los puertos de Rx y Tx. En la figura 21 se muestra el diagrama eléctrico de la comunicación serial.

Figura 21. Diagrama electrónico de transmisión serial



Elaborado por: Jorge Yáñez

### e. Fuente de iluminación o láser

En el proyecto se utilizó un láser Craftsman modelo Trac 48251 el mismo que se enciende de forma manual y utiliza una batería de 3 voltios DC, tiene una longitud de onda de 650 nm y una potencia de 2,5 mW, este proyecta su haz de luz sobre el objeto para resaltar los bordes. En la figura 22 se muestra el láser utilizado en el proyecto. Las características se pueden ver en el anexo 3.

Figura 22. Fuente de iluminación láser



Fuente: Manualslib

### 3.1.1.3. Adquisición de imágenes.

A continuación se describen los elementos de la adquisición como: cámaras web y computadora principal.

#### 3.1.1.3.1. Cámaras web.

Se utilizó dos cámaras web modelo HERS & HERS KBU-9901, las cuales son colocadas en soportes fijos y a su vez conectadas por medio de USB al computador principal. El láser debe colocarse en el centro del soporte de base giratoria (caja de madera) a una distancia focal de 20 cm. La separación y el ángulo entre las cámaras dependen de su calibración que a continuación se explicará el proceso matemático para obtener una buena calibración entre las cámaras y el láser. En la figura 23 se muestra la ubicación del láser y de las cámaras.

Figura 23. Elementos del escáner bifocal tridimensional



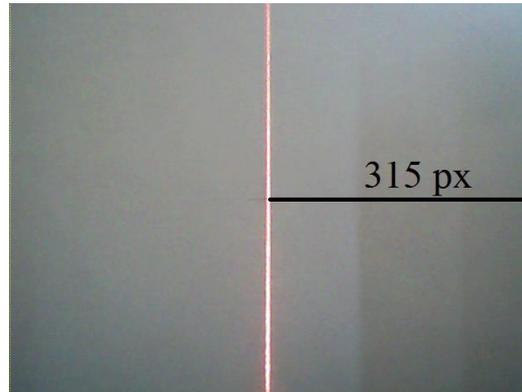
Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.1.1.3.2. Calibración de cámaras.

En la etapa de calibración es donde se alinea la posición de las cámaras con respecto a su base giratoria y al láser, para determinar la constante  $d_c$  (distancia del láser hasta el borde izquierdo o derecho del cilindro de calibración), como también la constante  $x_c$  (coordenada en x del láser con respecto a las cámaras). Las mismas que se utilizarán para encontrar la coordenada de profundidad del objeto (coordenada  $Z_m$ ), por lo que se utilizó dos métodos de calibración: Luz laser y pantalla; Cuerpo de calibración. El primer método se realizó colocando una hoja en blanco sobre la base giratoria, en la misma que estará proyectada la luz láser. La visión de las dos cámaras web tiene que enfocarse en la proyección del láser que permitirá determinar la coordenada en x del centro del láser, usando el software de Paint para determinar el número de pixeles en la coordenada x de la figura. En la figura 24 y 25 se muestra los puntos de calibración anteriormente mencionados de las dos cámaras.

Figura 24. Centro de calibración de la cámara derecha

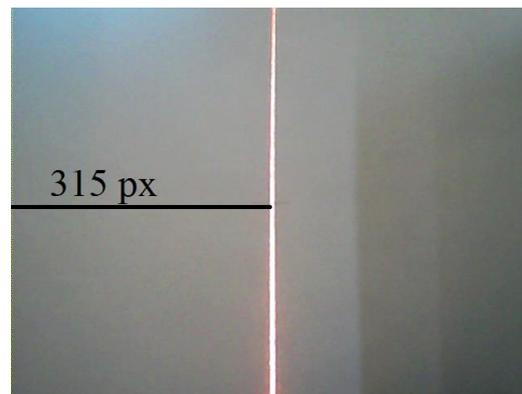
$X_c = 315 \text{ cm/pixel}$



Elaborado por: Jorge Yáñez

Figura 25. Centro de calibración de la cámara izquierda

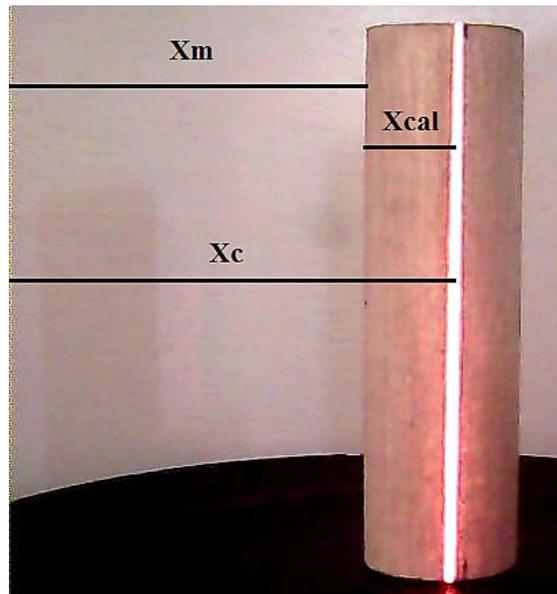
$X_c = 315 \text{ cm/pixel}$



Elaborado por: Jorge Yáñez

El segundo método consiste en proyectar el láser sobre un cilindro de madera, porque el cilindro tiene propiedades o características que no van a modificarse (radio, altura), permitiendo determinar la relación entre el sistema de referencia del objeto y el de la cámara. En la figura 26 se puede ver la luz del láser en el cilindro.

Figura 26. Cuerpos solidos de calibración



Elaborado por: Jorge Yáñez

Con esta imagen se encontrará un constante de calibración de cada una de las cámaras que permitirá establecer una relación directa entre objeto, láser y cámara. Se aplicará los siguientes cálculos para determinarla.

### Ecuación 2. Representación de relación entre cilindros

$$X_{cal} = /Xc - Xm/ \quad (2)$$

Donde:

**Xcal** = coordenada en X del borde del cuerpo de calibración

**Xc** = coordenada en X del láser con respecto a las cámaras

**Xm** = Coordenadas del borde del objeto escaneado.

A continuación se fijará 3 puntos de Xm en cualquier parte de la imagen del cilindro, permitiendo hallar una Xcp promedio de cada uno de los cilindros.

Cilindro 1

$$X_{cp} = \frac{X_{cp1} + X_{cp2} + X_{cp3}}{3}$$

$$X_{cp} = \frac{315 + 318 + 327}{3}$$

$$X_{cp} = 320 \text{ cm/pixel}$$

Cilindro 2

$$X_{cp2} = \frac{X_{cp1} + X_{cp2} + X_{cp3}}{3}$$

$$X_{cp2} = \frac{324 + 322 + 321}{3}$$

$$X_{cp2} = 322,33 \text{ cm/pixel}$$

En la figura 27 se muestra los valores obtenidos de los dos cilindros en el software Paint.

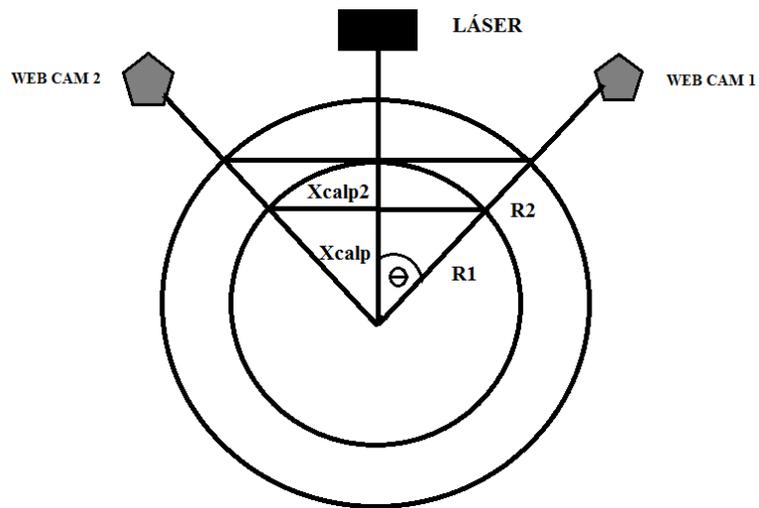
Figura 27. Valores de cuerpos solidos



Elaborado por: Jorge Yáñez

Cuando se adquiera los datos anteriores, se aplicará semejanza de triángulos y se halla su relación como se muestra en la figura 28.

Figura 28. Triángulos semejantes entre los dos cilindros



Elaborado por: Jorge Yáñez

**Ecuación 3. Teorema de Pitágoras del cilindro 1**

**Ecuación 4. Teorema de Pitágoras del cilindro 2**

Por lo tanto:

$$\cos\theta = X_{calp}/R1 \quad (3)$$

$$\cos\theta = X_{calp2}/R2 \quad (4)$$

Dónde:

**R1** = Radio del cilindro delgado

**R2** = Radio del cilindro grueso

Igualando las ecuaciones 3 y 4

**Ecuación 5. Semejanza de triángulos rectángulos entre C1 y C2**

$$\frac{X_{calp}}{R1} = \frac{X_{calp2}}{R2} \quad (5)$$

En la ecuación 5 se reemplazará la ecuación 2 y se despejará Xm

$$Xm = \frac{R1 * X_{cp2} - R2 * X_{cp}}{R1 - R2}$$

$$Xm = \frac{4 * 322,33 - 6 * 320}{4 - 6}$$

$$Xm = 315,4$$

En consecuencia se procede a calcular la constante de calibración de la cámara aplicando la ecuación 6.

**Ecuación 6. Constante de calibración**

$$K = \frac{R1}{Xcp - Xm} \quad (6)$$

$$K = \frac{4}{320 - 315,4}$$

$$K = 0,869 \text{ cm/pixel}$$

Dónde:

**K** = constante de calibración de la cámara

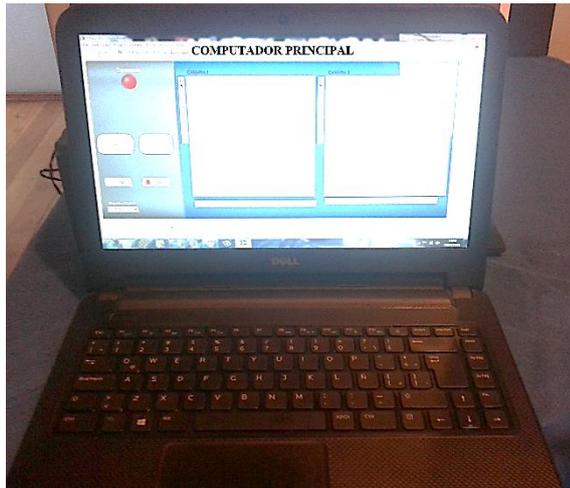
La constante de calibración es aquella que establece la relación directa entre el radio y un punto cualquiera de la imagen capturada.

Este procedimiento se lo realiza para cada una de las cámaras que compone el sistema (escáner bifocal tridimensional).

**3.1.1.3.3. Computadora principal.**

En la figura 29 se muestra la computadora principal en la cual se encuentra conectada: dos cámaras web y la placa de control del escáner tridimensional que realiza el movimiento de la base giratoria, la comunicación lo realiza a través del puerto USB y el conector DB9 respectivamente. El control de los movimientos de la base giratoria se realiza a través de la interfaz gráfica en Labview y la sincronización con el microcontrolador, en el computador se almacena las imágenes capturadas por las dos cámaras web para realizar el proceso de filtrado, suavizado, eliminación de ruido, selección de regiones de interés.

Figura 29. Computador principal

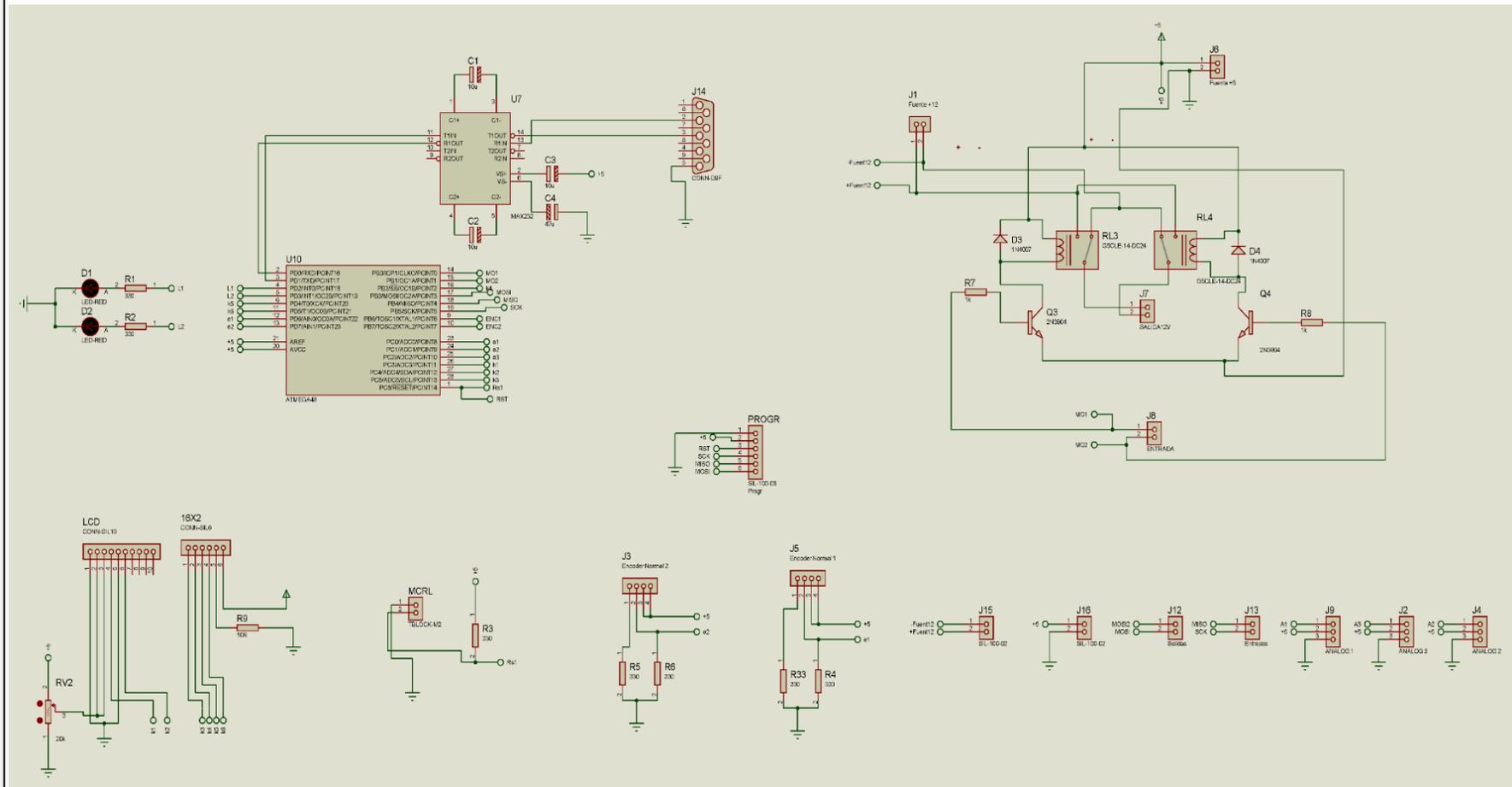


Elaborado por: Jorge Yáñez

### **3.2. Circuito completo de la placa de control**

En la figura 30 se muestra el diagrama completo de la placa del escáner bifocal tridimensional realizada en el programa de simulación Proteus. El circuito elaborado es transferido al software Ares donde se diseña el ruteo de las pistas.

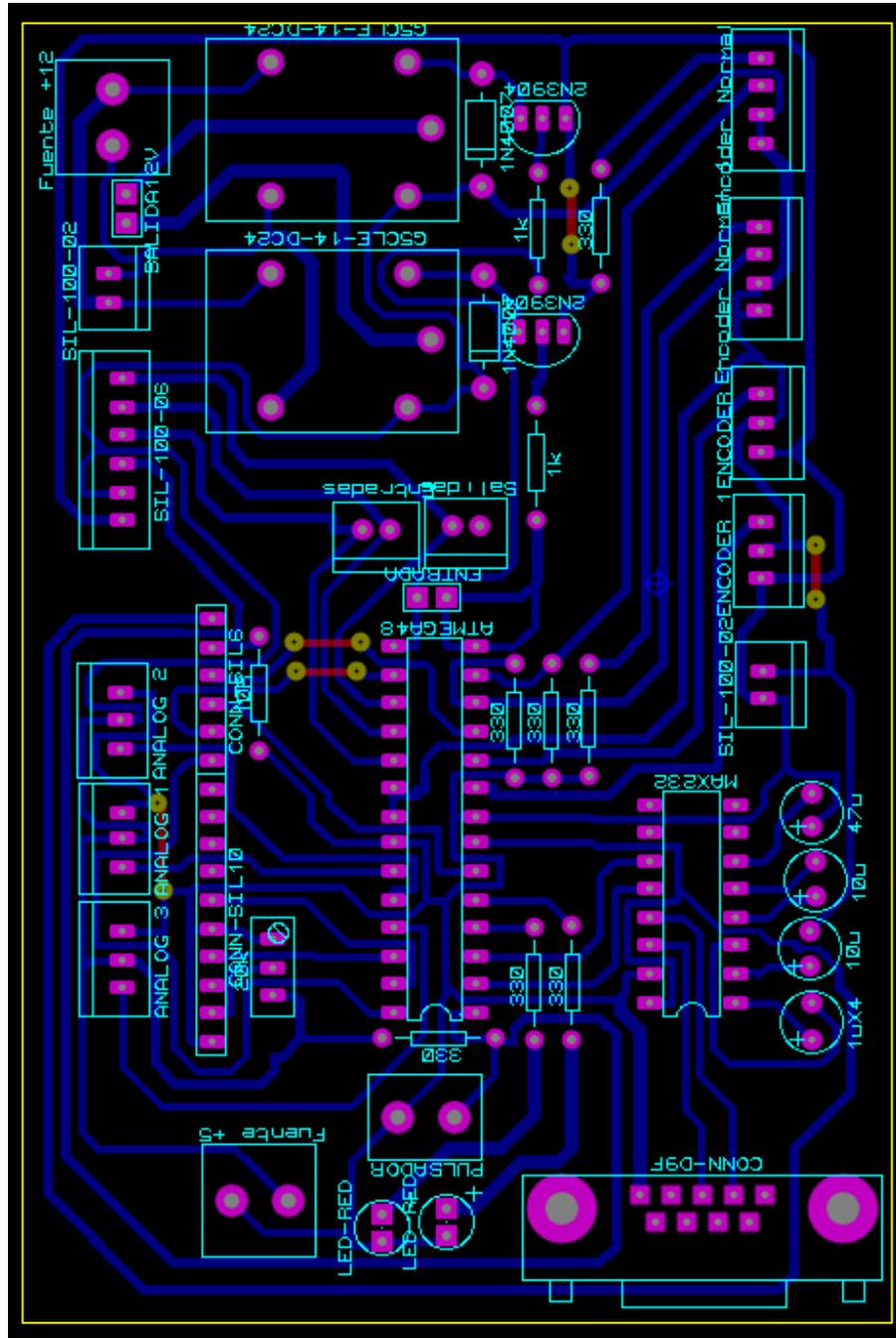
Figura 30. Diagrama completo de placa de control



Elaborado por: Jorge Yáñez

En la figura 31 se indica la placa electrónica de control diseñada en el software Ares la misma que se usará en el proceso de control del escáner bifocal tridimensional.

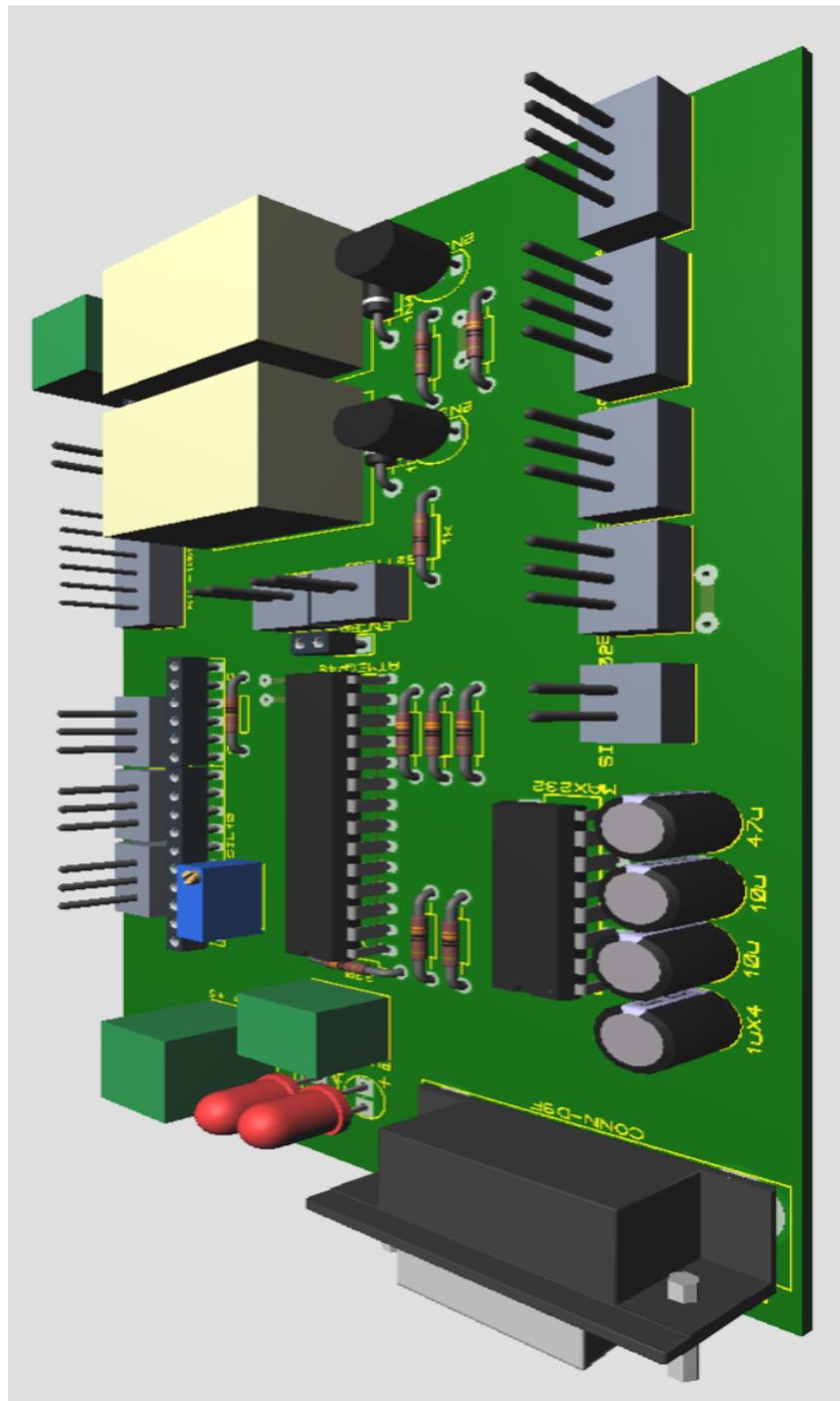
Figura 31. Diseño electrónico de placa de control en Ares



Elaborado por: Jorge Yáñez

En la figura 32 se muestra una vista previa del diseño de la placa electrónica con sus elementos la misma que será implementada de manera física.

Figura 32. Diseño electrónico de placa de control en 3D



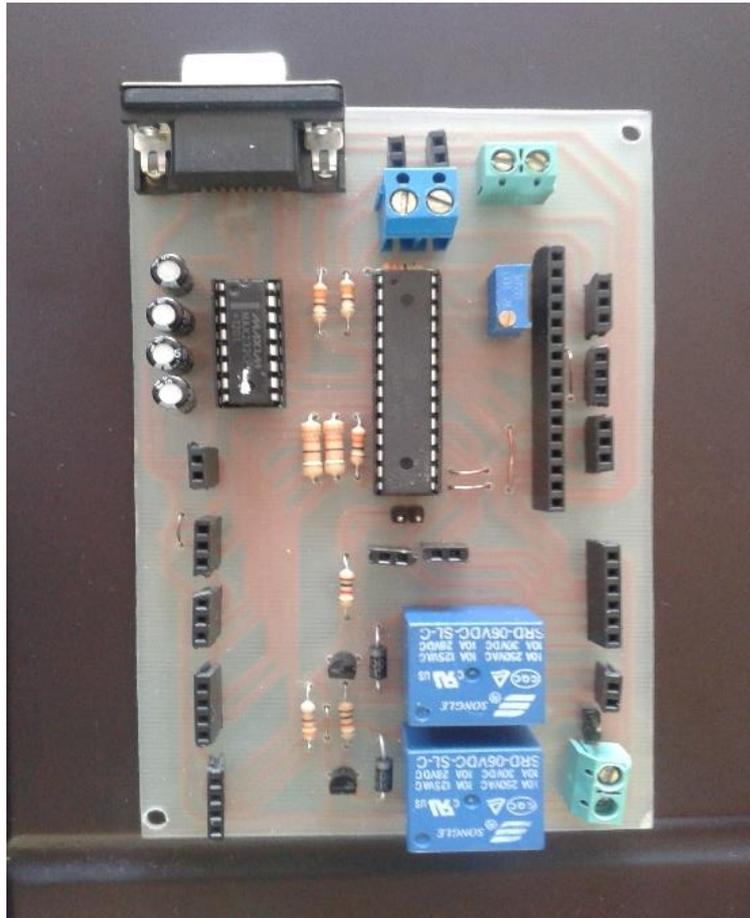
Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.3. Construcción de la placa electrónica de control

Se procede a imprimir el diseño de la placa de control en papel termotransferible, sobre la baquelita se colocará el diseño impreso, se aplicará calor a altas temperatura con el propósito de pasar las pistas ruteadas a la baquelita. Se retirará el papel termotransferible y se verificará que las pistas estén impregnadas en la baquelita, luego

esta baquelita será introducida en cloruro férrico, para eliminar los excesos de cobre no deseado, dejando solo las pistas impregnadas por el papel termotransferible. Con la placa elaborada se procederá a colocar y soldar los elementos de la misma. En la figura 33 se muestra la placa electrónica.

Figura 33. Placa electrónica



Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.4. Desarrollo del software

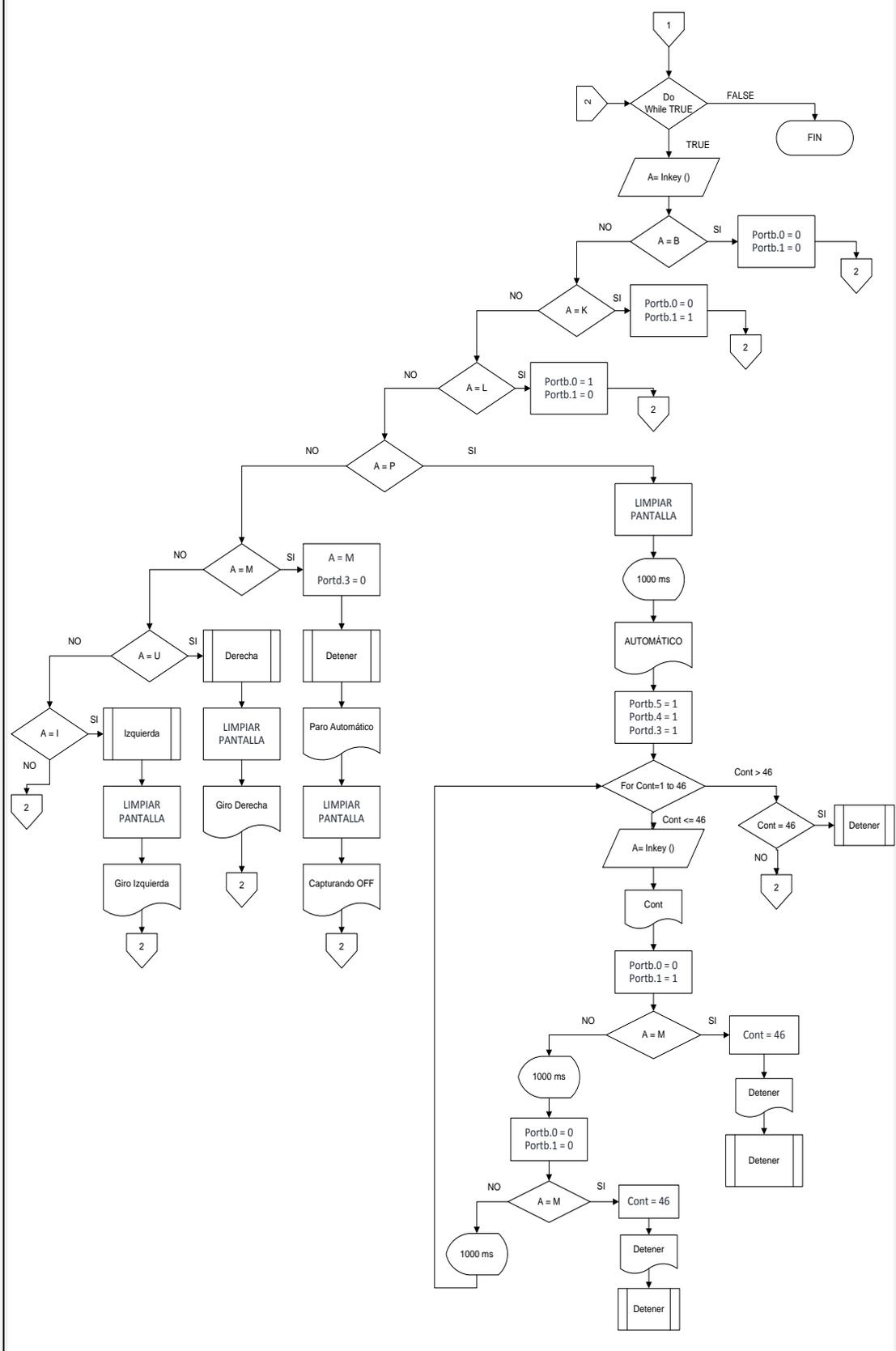
Se analizará los diagramas de flujo que conforman cada una de las etapas del proceso de reconstrucción tridimensional de las imágenes, estos son: el diagrama de flujo de la programación del microcontrolador Atmega 48, diagrama de flujo de adquisición de imágenes, diagrama de flujo de procesamiento de imágenes y por último el diagrama de flujo reconstrucción tridimensional de las imágenes capturadas.

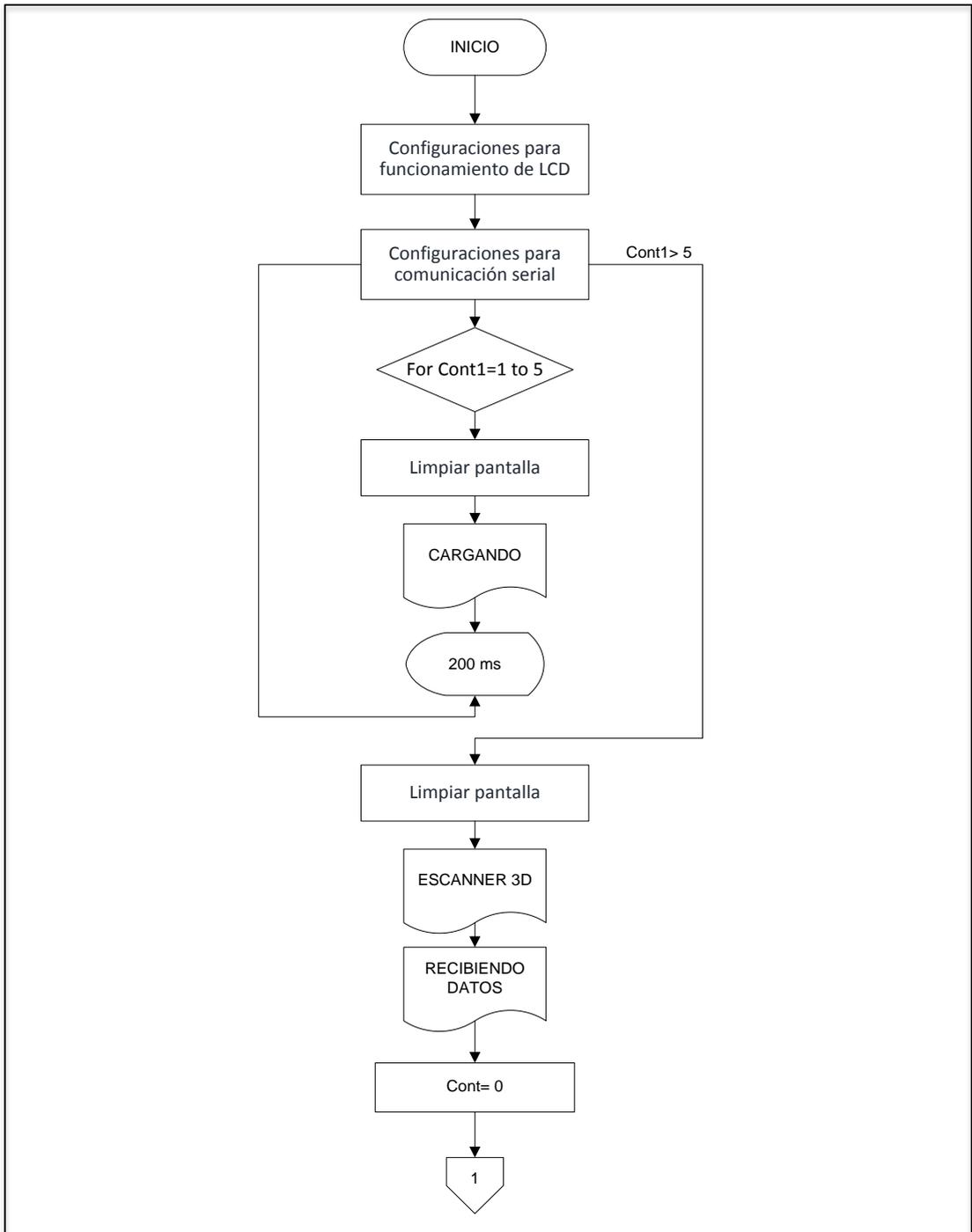
### 3.4.1. Diagrama de flujo de programación del microcontrolador.

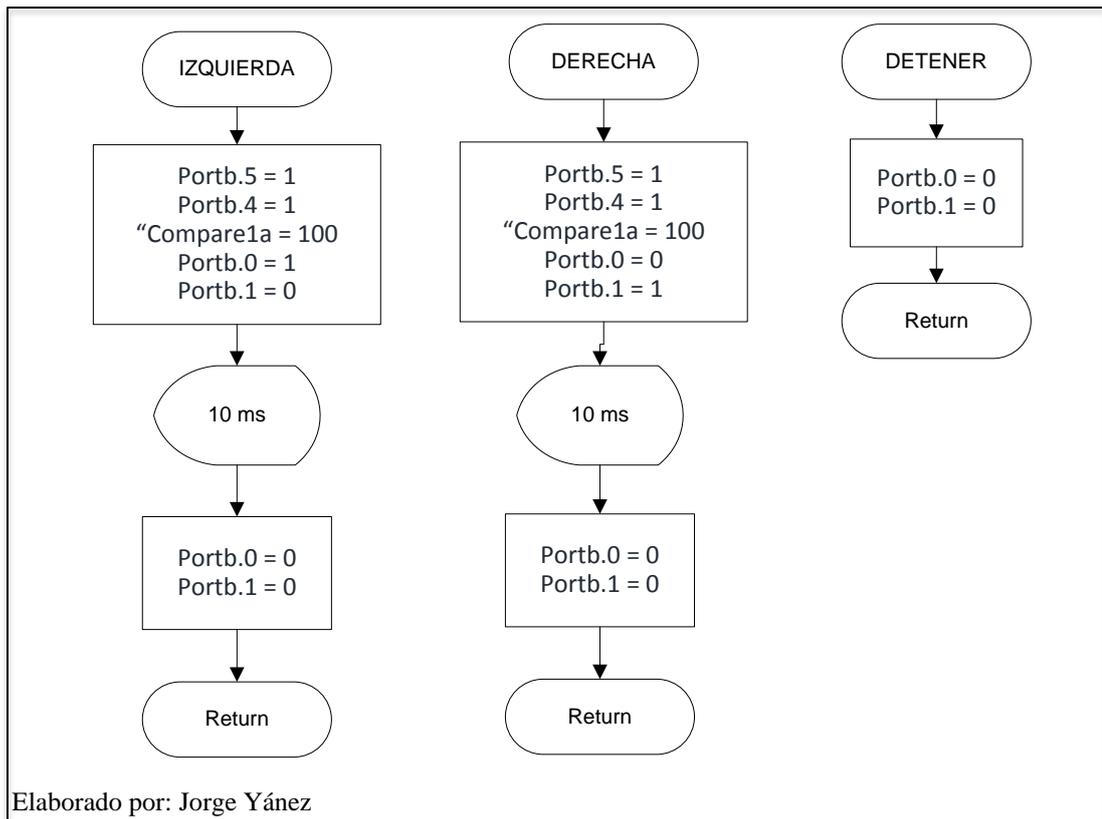
En la figura 34 se muestra la interfaz gráfica de Labview, de la cual se realizó el diagrama de flujo de la programación implementada en el microcontrolador para el control del escáner, que permitirá el movimiento automático y manual de la base giratoria, como también el envío de datos adquiridos hacia el computador principal como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Diagrama de flujo de sistema de control del escáner







1. Iniciar el algoritmo.
2. Indicar al compilador que cargue las instancias de los archivos de registro del controlador.
3. Se indica al compilador la frecuencia del cristal con lo cual se va a trabajar.
4. Se indica al compilador la velocidad de transmisión con la cual se va a trabajar.
5. Se configura le puerto B del controlador con un puerto de salida.
6. Se configura el puerto D del controlador con un puerto de salida.
7. Se configura el tipo de lcd que se va a usar, en este caso de 16 columnas por 2 filas.
8. Se configura el bus de datos del LCD que trabaja a 4 bits
9. Se configura los pines conectados al lcd, estos son: Db5 = Portb.2, Db6 = Portd.4, Db7 = Portd.5, E = Portc.4, Rs = Portc.3, donde Db5 al Db7 son los datos del lcd y E es enable del mismo.
10. Se configura los timer para que el retraso de giro sea de 1 segundo "Config Timer1 = Pwm , Pwm = 8 , Compare A Pwm = Clear Up , Compare B Pwm = Clear Up , Prescale = 1.
11. Se definen las variables a ser utilizadas estas son: una variable tipo string, y 3 variables tipo long.

12. Se procede a realizar un bucle tipo for, que limpia la pantalla lcd, se ubica al cursor en la posición 1,1 (1 columna 1 fila), se apaga el parpadeo del cursor, se envía a escribir CARGANDO, se espera por 200 ms, para luego volver a realizar las acciones antes descritas por 5 veces para poder finalizar el bucle for.
13. Se limpia la pantalla lcd.
14. Se ubica el curso en la ubicación 1,1.
15. Se desactiva el parpadeo del cursor en el lcd.
16. Y se muestra en él, los caracteres ESCANNER 3D.
17. Se configura el puerto Portd.2 = 1.
18. Se envía a través del UART a la computadora los caracteres “Recibiendo Datos”.
19. Se realiza el código principal del algoritmo el cual lleva por nombre Pin.
20. Se inicia la variable creada Cont=0.
21. Se inicia un bucle tipo do-loop
22. Dentro del lazo do-loop en la variable A se almacenará el valor ASCII del primer carácter en el buffer de entrada serial, con este carácter almacenado se realizará comparaciones para tomar una decisión dentro del programa.
23. La primera comparación que se realiza es: si el carácter es igual a “B”, entonces el puerto Portb.0 y Portb.1 se igualan a cero.
24. La segunda es si el carácter es igual a la letra “K” entonces el puerto Portb.0 = 0 y el Portb.1 = 1.
25. Si la letra es igual “L” entonces el puerto Portb.0 = 1 y el Portb.1 = 0.
26. Si la letra es igual “P” entonces se limpia la pantalla lcd.
27. Se espera 1000 ms.
28. Se enviará a la computadora a través del UART los caracteres “Automático”.
29. Se configura los puertos Portb.5, 6,7 = 1.
30. Se inicializa un bucle for para repetir 48 veces el siguiente proceso.
31. En una variable A se almacena el valor ASCII del primer carácter en el buffer de entrada serial.
32. Localizar el cursor en el lcd para posición 1,1.
33. Apagar el parpadeo del cursor.
34. Escribir en el lcd “Capturando”.
35. Localizar el cursor en la posición 2,1 apagar el parpadeo del cursor.

36. Escribir en el lcd “ ” y el número del cont.
37. Se envía hacia la computadora los caracteres “ ” y el número del cont a través del UART.
38. Configurar el puerto B.0 = 0 y el B.1 =1.
39. Se compara el valor que posee la variable A en ese momento y se observa si es igual a “M”, entonces el valor del contador es igual a 46 y se envía a través del UART el carácter “Detener”, para luego llamar a una subrutina.
40. Se detendrá y finalizará la comparación.
41. Retardo 10277us.
42. Activar el puerto B.0 = 0 y el B.1 =0.
43. Se espera 1000 ms y se cierra el bucle for, este bucle se repite por 48 veces.
44. Si Cont = 48 llama a la subrutina Detener y finaliza la comparación; en caso contrario,
45. Si el valor de la variable A es igual a M la variable A = m, al puerto D.3 = 0, llama la subrutina Detener, envía a través del UART los textos “Paro Automático”, limpia la pantalla del lcd, ubica al curso en la posición 1,1, escribe en el lcd “Capturando”, localiza el cursor en la posición 2,1, apaga el parpadeo del cursor del lcd, y escribe en el lcd el texto OFF, caso contrario si el valor de A diferente M.
46. Compara si A = U llama a la subrutina Giro Derecha, limpia la pantalla del lcd, ubica el cursor en la posición 1,1, apaga el parpadeo del curso, escribe en el lcd “Giro derecho”; caso contrario,
47. Compara si A = I llama a la subrutina Giro Izquierda, limpia la pantalla del lcd, ubica el cursor en la posición 1,1, apaga el parpadeo del curso, escribe en el lcd “Giro Izquierdo”; caso contrario,
48. Regresa al principio del bucle DO-LOOP y realizar de nuevo el proceso.
49. La subrutina “izquierda” activa a los puerto con la siguiente configuración B.5 =1, B.4=1, B.0 = 1, B.1=0.
50. Espera 10 ms, y los puertos pasan a B.0 = 0, B.1 =0.
51. La subrutina “derecha” activa a los puerto con la siguiente configuración B.5 =1, B.4=1, B.0 = 0, B.1=1.
52. Espera 10 ms, y los puertos pasan a B.0 = 0, B.1 =0.
53. Ya finalizada la subrutina de Automática regresará a su estado principal.

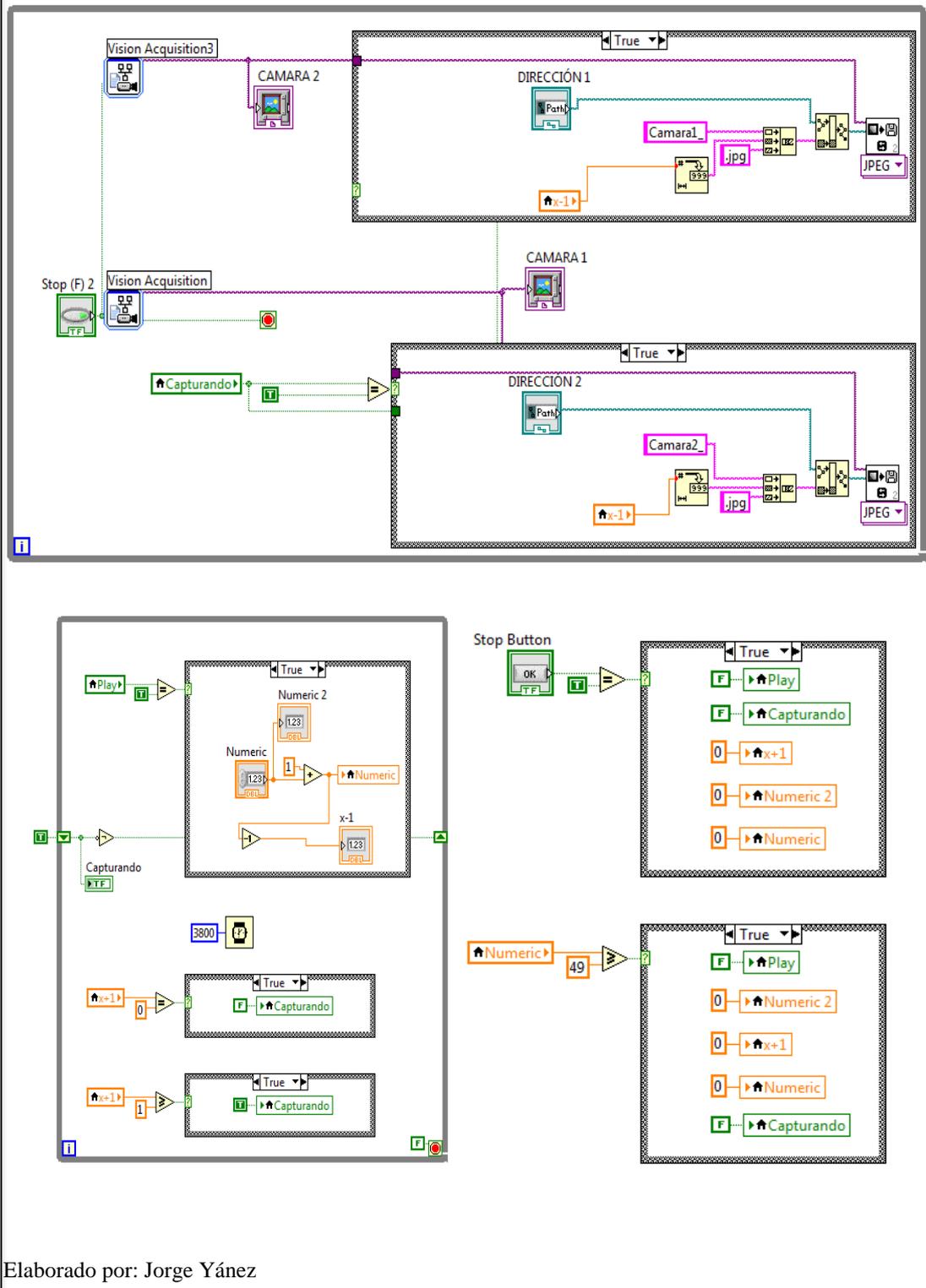
54. La subrutina “detener” activa a los puerto con la siguiente configuración B.0 =0, B.1=0.
55. Finalizada la rutina regresa a su esta principal.
56. Fin del proceso.

#### **3.4.2. Diagrama de flujo de adquisición de imágenes.**

La figura 36 muestra la interfaz gráfica de adquisición de imágenes realizada en Labview.

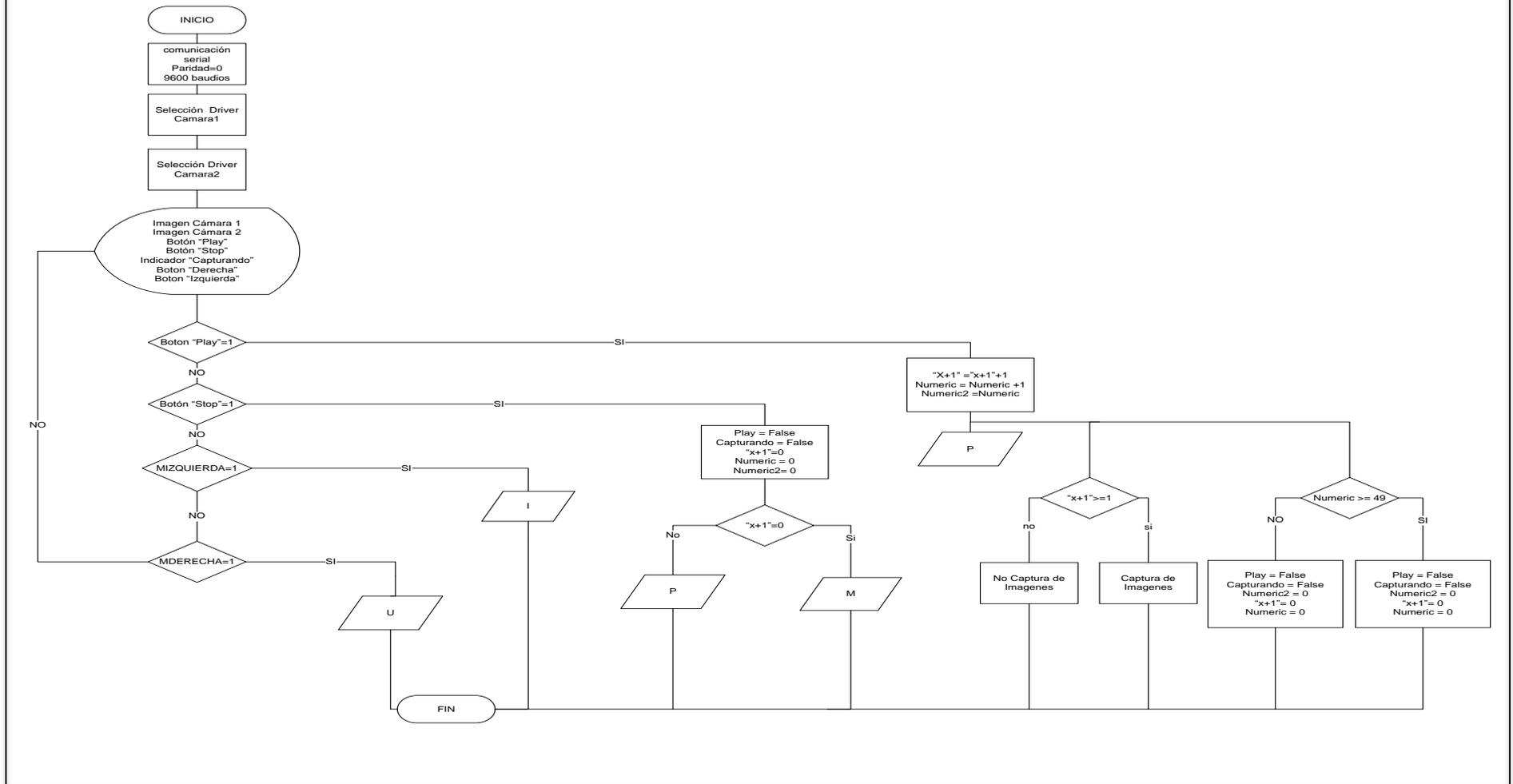
En la figura 37 se explicará cómo se realiza la obtención y almacenamiento de las imágenes, como también el control manual y automático de la base giratoria que se lo realiza a través del control del software gráfico Labview.

Figura 36. Interfaz gráfica de adquisición de imágenes en Labview



Elaborado por: Jorge Yáñez

Figura 37. Diagrama de flujo de adquisición de imágenes



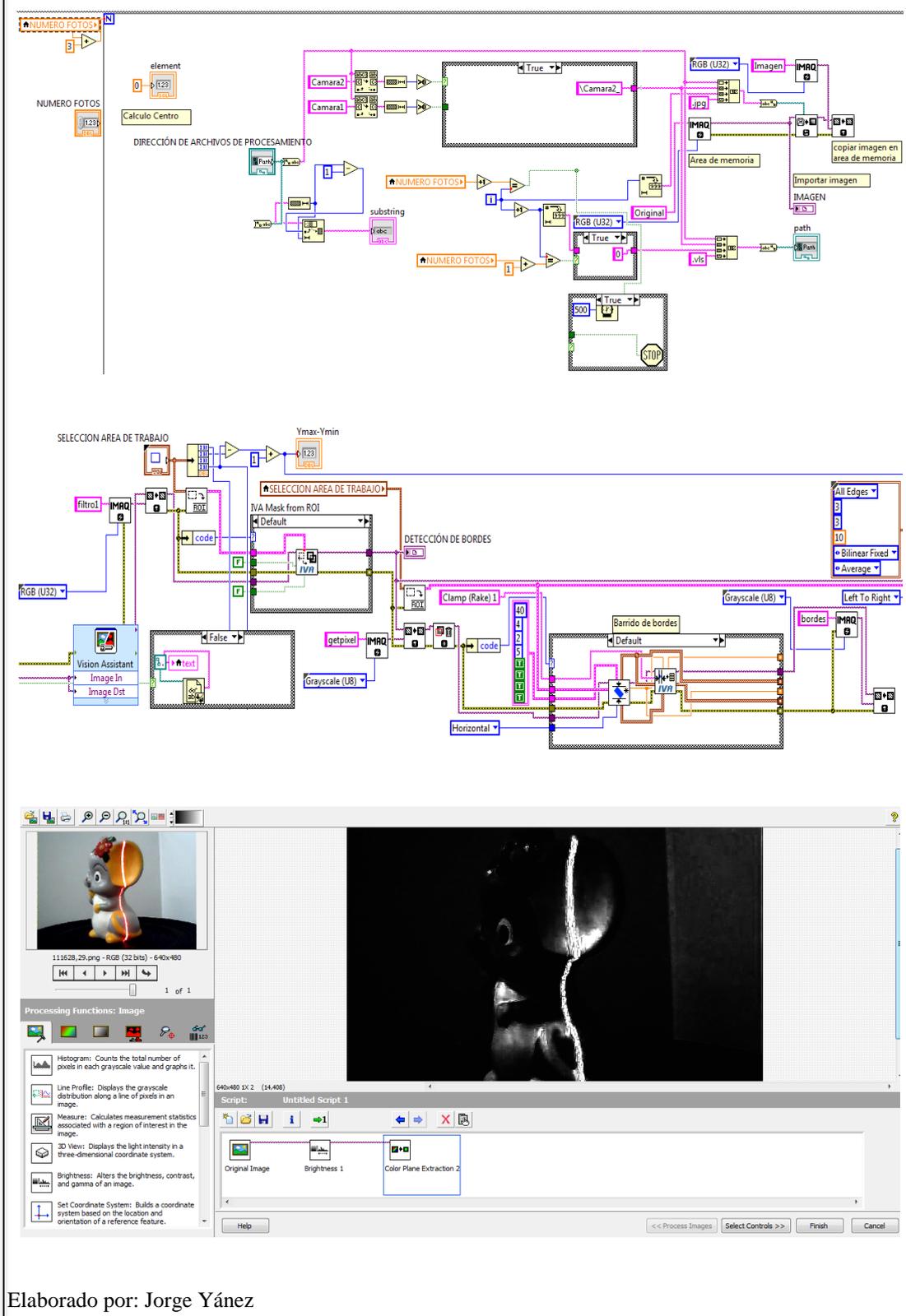
Elaborado por: Jorge Yáñez

1. Inicio el algoritmo
2. Se configura la comunicación serial a 9600 baudios con una paridad de 0 para la transición de datos.
3. Se selecciona en la librería de Vision Acquisition los drivers de las cámaras con la que se va a trabajar en el proceso.
4. Se muestra al usuario una interfaz gráfica compuesta por: dos cuadros de visualizadores por parte de las cámaras, 4 botones de control y un botón que funciona como un indicador de captura.
5. Si se presiona el botón Play los contadores  $x+1$  de tipo numeric empieza a incrementar su valor en una unidad, inmediatamente se envía el carácter P hacia el microcontrolador por el puerto serial indicando que se está ejecutando la captura automáticamente.
6. Se compara el contador, si  $X+1 \geq 1$ , entonces captura las imágenes, caso contrario no realizará ningún proceso de captura ni adquisiciones de datos.
7. Si el contador numeric es  $\geq 50$ , el proceso de captura de imágenes se detiene automáticamente.
8. Si se presiona el botón Stop las variables Play, Capturando, cambian de estado verdadero a falso por lo tanto los contadores y numeric se reinician regresando al punto de partida o inicio.
9. Cuando el controlador es  $x+1 \geq 0$ , enviará la variable M hacia el microcontrolador por medio del puerto serial, deteniendo el proceso por completo.
10. Se presiona el botón derecho y se enviará el carácter U hacia el microcontrolador por medio del puerto serial permitiendo que el giro se ejecute en esa dirección.
11. Se presiona el botón izquierdo y se enviará el carácter I hacia el microcontrolador por medio del puerto serial permitiendo que el giro se ejecute en esa dirección.

### 3.4.3. Diagrama de flujo de procesado y filtrado de imágenes.

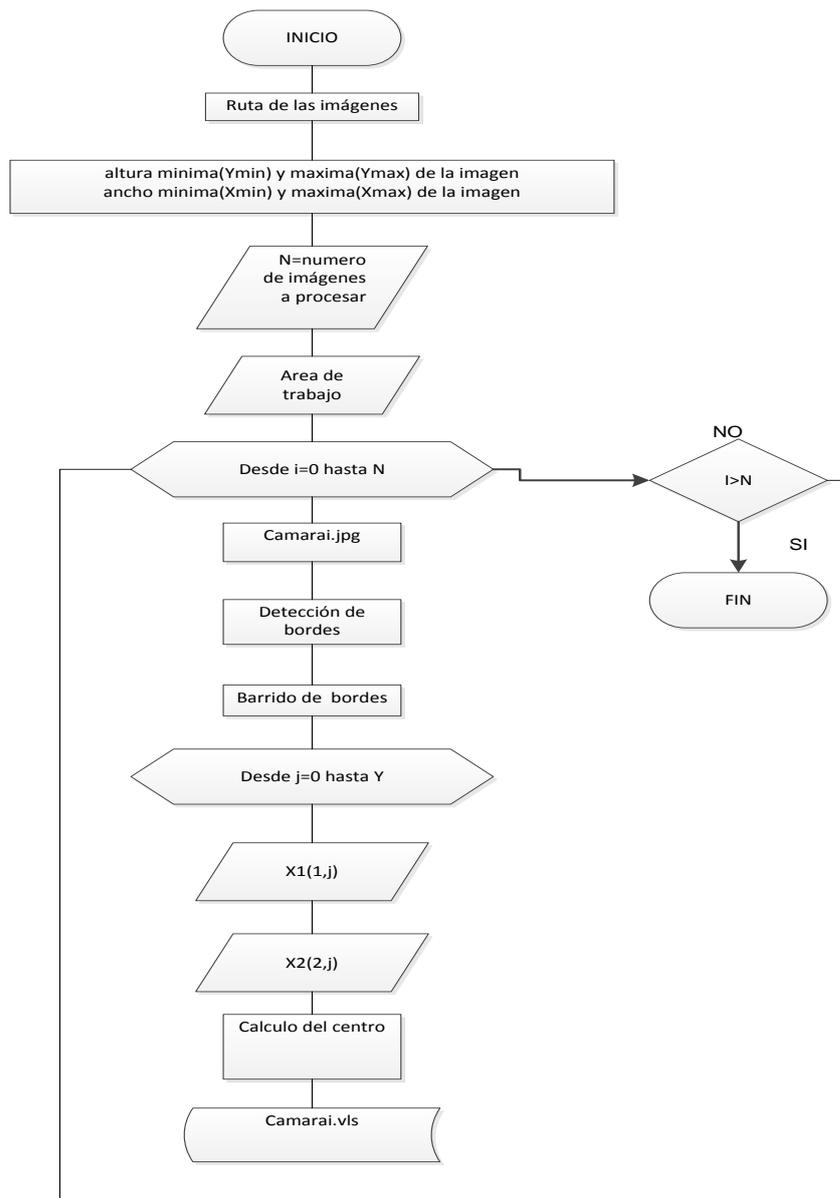
La figura 38 muestra la interfaz gráfica de procesamiento y filtrado realizada en Labview.

Figura 38. Interfaz gráfica de procesamiento y filtrado de Labview



En la figura 39 se muestra el proceso realizado para el procesado, filtrado, detección de bordes o puntos de interés, reducción de escala de grises y sobre toda la obtención de coordenada X y Y de la imagen.

Figura 39. Diagrama de flujo de procesamiento y filtrado de imágenes



Elaborado por: Jorge Yáñez

1. Inicio del algoritmo.
2. Se selecciona el archivo de las imágenes que van a ser procesadas y filtradas.
3. Se escoge los puntos máximo y mínimos tanto de la altura como del ancho de la imagen a ser procesada obteniendo la altura total de Y y el centroide en X de la imagen.
4. Ingresar el valor numérico de imágenes que van a ser procesadas.
5. Seleccionar la sección o área de interés de proyección de la fuente de luz (laser) con la que se va a trabajar.

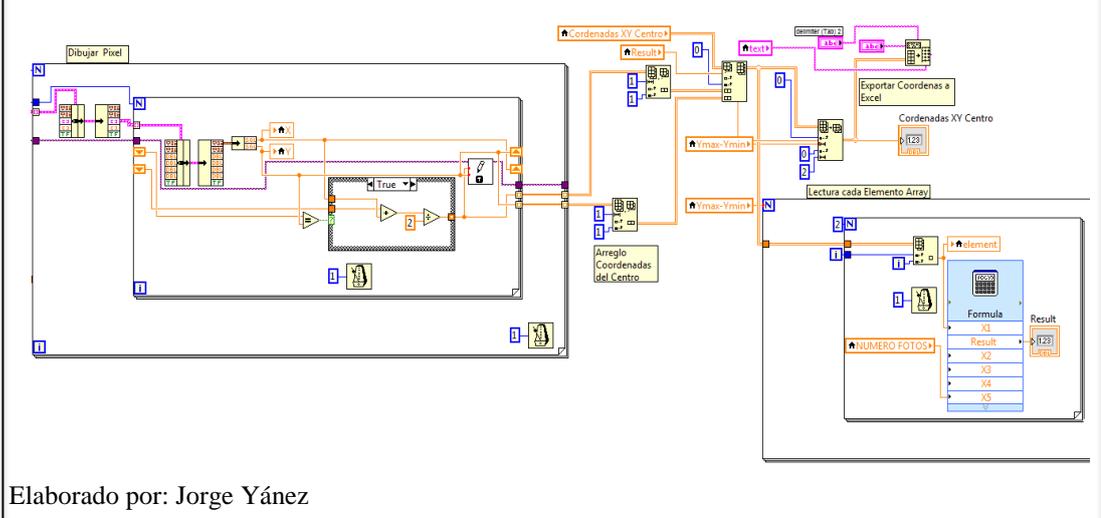
6. Se inicializa un lazo que comienza en  $i=1$  y termina incrementándose hasta  $N$
7. Se analiza una por una las imágenes capturadas.
8. Con la herramienta Vision Assistant se elimina el ruido, se modifica el contraste, brillo y selección de regiones de interés (línea de laser).
9. Con el lazo que inicia en  $j=1$  se determinará el incremento de los puntos en  $Y$  de la imagen.
10. Al realizar la obtención de las coordenadas en  $Y$  se obtendrá las coordenadas  $X1(1,j)$  y  $X2(2,j)$ , correspondientes al pixel izquierdo y derecho de la imagen respetivamente.
11. Se hallará la coordenada  $Xc$  del centro de los pixeles de las imágenes por medio de la calibración de las cámaras.
12. Los datos se guardaran en un archivo llamado `Cámarai.vls`, que contendrá todos las coordenadas de  $Xc$  y  $Y$  de la imagen escaneada.
13. Si  $i>N$  finalizará el proceso de lectura de archivos.
14. Fin del proceso.
15. El mismo proceso realizado en los puntos del 1 al 14 se lo realizara para la otra cámara.

#### **3.4.4. Diagrama de flujo para hallar la nube de puntos del objeto escaneado.**

La figura 40 muestra la interfaz gráfica para hallar la nube de puntos realizada en Labview.

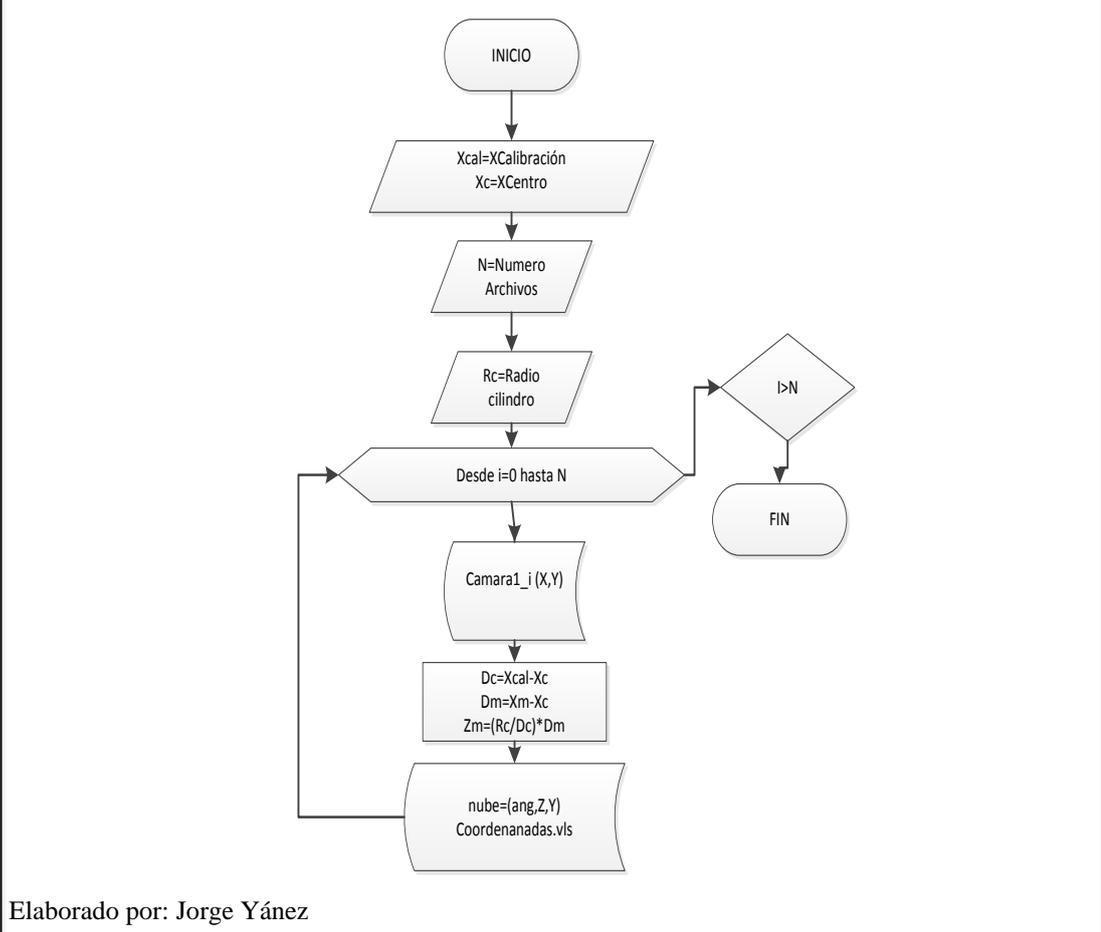
En la figura 41 se indicará el proceso para generar la nube de puntos a través de los cálculos matemáticos con sus ecuaciones 2, 3, 4, 5 y 6, ocupando los datos obtenidos previamente en la etapa de procesamiento y filtrado de imágenes.

Figura 40. Interfaz gráfica para hallar nube de puntos en Labview



Elaborado por: Jorge Yáñez

Figura 41. Diagrama de flujo para halla la nube de puntos



Elaborado por: Jorge Yáñez

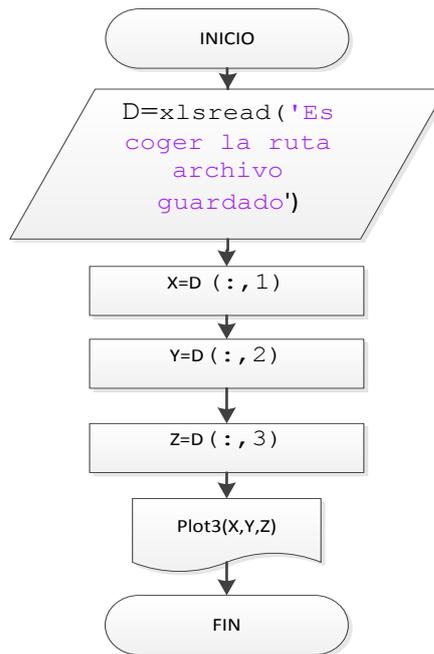
1. Se inicia el algoritmo
2. Se ingresará las constantes de Xcal y Xc que son las coordenadas de calibración de la imagen.

3. Se ingresa el número de imágenes a procesar.
4. Se inicia la variable Cont la misma que permitirá procesar todos los archivos ingresados anteriormente, cuando  $Cont < N$  finalizara el proceso.
5. Se ingresa el valor numérico del Radio del cuerpo de calibración ( $R_c$ ).
6. Se inicia un lazo que comienza en  $i=1$  y termina incrementándose hasta N.
7. Se extraerá el archivo Camara1\_i (xy), el mismo que contiene las coordenadas X y Y generadas en la etapa de procesamiento.
8. Con los puntos obtenidos y las ecuaciones 2, 3 se calculará el valor de las variables  $D_m$  y  $D_c$ . Los datos obtenidos sirven para hallar la profundidad  $Z_m$  en cada punto por medio de la ecuación 5.
9. Se guardara en un archivo Coordenadas.vls los puntos x,y, z generadas por los cálculos.
10. Fin del proceso.

#### **3.4.5. Diagrama de flujo para visualizar las nubes de puntos del objeto.**

En la figura 42 se indica el diagrama de flujo de la programación del software Matlab, que graficará en pantalla la nube de puntos de las coordenadas obtenidas (x, y, z) y poder visualizar su reconstrucción tridimensional del objeto escaneado.

Figura 42. Diagrama de flujo de visualización la nube de puntos en Matlab



Elaborado por: Jorge Yáñez

1. Inicialización del algoritmo.
2. Selección de la ruta en donde se encuentra almacenado el archivo a ejecutarse.
3. Leerá uno a uno los puntos correspondientes a los ejes x, y, z que fueron almacenados en el archivo Coordenadas.xls.
4. Con el comando plot3 se graficará en pantalla la nube de puntos del objeto escaneado.
5. Fin del proceso.
6. Este proceso se lo realiza para las dos cámaras, al finalizar la ejecución del primer archivo, volverá a pedir la ruta del siguiente archivo que es el archivo de la nube de puntos de la cámara izquierda.

### 3.5. Escáner tridimensional

EL escáner tridimensional consta de seis partes principales que son: base, soporte de objetos, laser lineal, dos cámaras web y una computadora como se muestra en la figura 43.

Figura 43. Sistema del escáner tridimensional



Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.5.1. Base.

Contiene todos los elementos utilizados en el diseño como: placa electrónica de control, batería de 12V, motor de la base giratoria, láser, cámaras web. Su estructura está hecha de madera con orificios en la parte frontal, para permitir la salida de los conectores USB y los cables de fuente o baterías que van hacia el computador principal. En parte posterior contiene una pared de madera blanca, colocada para facilitar el proceso de calibración.

Tiene un par de bisagras colocadas en su parte posterior, permitiendo el fácil acceso a la placa electrónica para cambiar algún elemento, ya sea por mal funcionamiento o que se haya quemado. Sus dimensiones se especifican en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones de la estructura de madera

Estructuras	Dimensiones (cm)
Base de madera	Largo = 44
	Ancho = 66
	Profundidad = 78

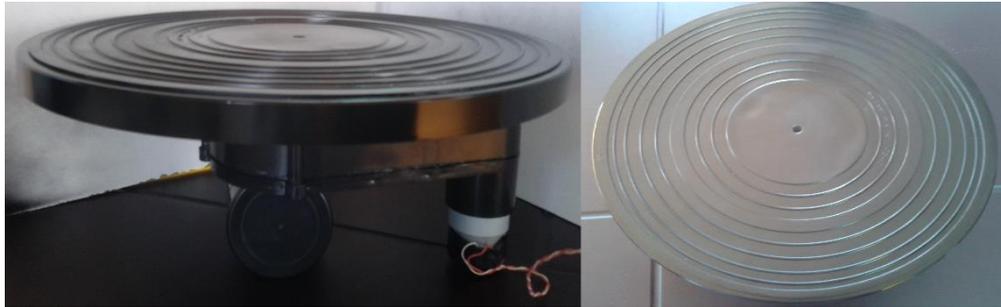
Pared de madera	Largo	=	66
	Ancho	=	42
	Altura	=	25

Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.5.2. Soporte de objetos.

Es donde se apoyan o colocan los elementos para el escaneo, su estructura es de un toca discos circular reciclado como se muestra en la figura 44, el mismo que es colocado sobre el motor DC para poder realizar la operación de giro. Su diámetro es de  $D= 28$  cm.

Figura 44. Estructura del soporte de objetos



Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.5.3. Láser lineal.

Está instalado fijamente en el centro de la estructura de la base con el propósito que no sufra ningún tipo de desalineación. La proyección de la luz está apuntando de manera vertical al centro del soporte de objetos.

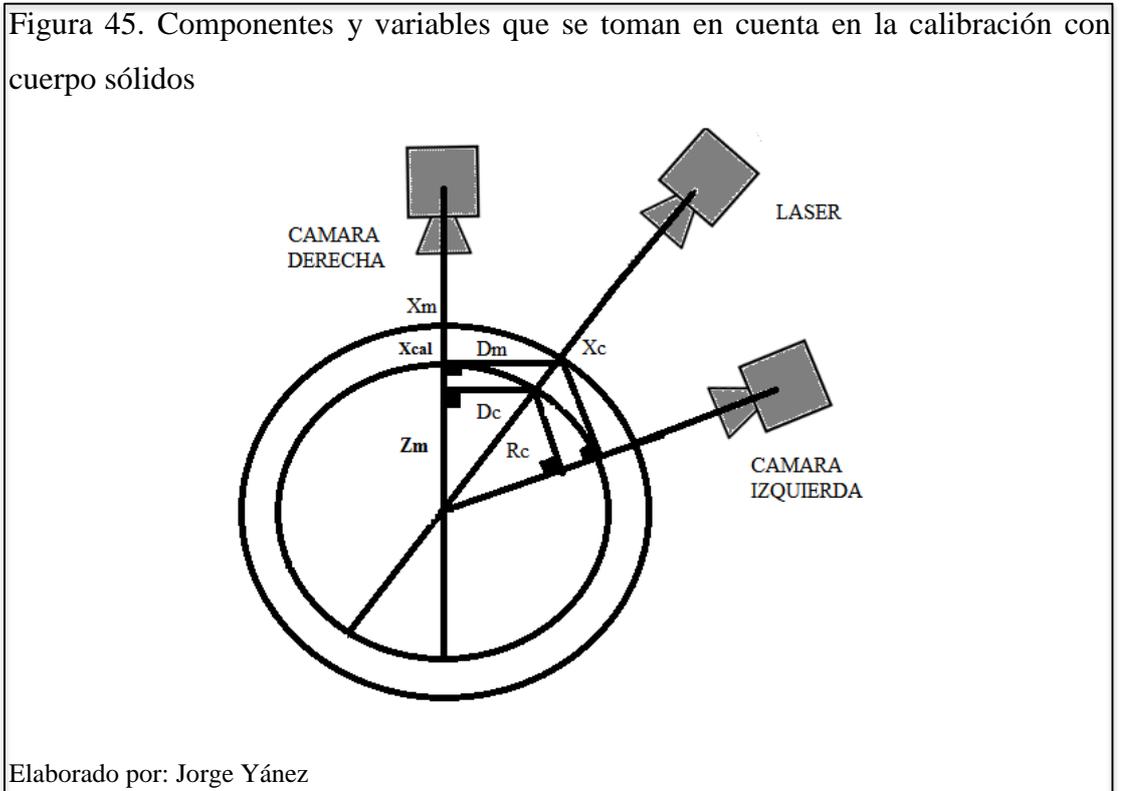
### 3.5.4. Cámaras web.

Están ubicadas de manera fija, formando un ángulo de desfase de 30 grados con la proyección del láser, de tal manera que la proyección de luz y la cámara establezcan un triángulo rectángulo para aplicar el teorema de triángulos semejantes y proceder a hallar las coordenadas en Z del objeto como se mencionó anteriormente.

## 3.6. Ecuación para obtener la reconstrucción tridimensional del objeto

Una vez establecido el sistema de calibración se procederá al análisis y cálculo de coordenadas necesarias para la reconstrucción tridimensional. Para lo cual se utilizará

la ecuación 7, 8 y proceder a calcular  $D_c$ ,  $D_m$ . En la figura 45 se muestra los elementos y variables que se debe tomar en cuenta para la reconstrucción.



**Ecuación 7. Distancia del láser hasta el borde del cilindro de calibración**

**Ecuación 8. Distancia del objeto hacia el eje vertical**

Por lo tanto:

$$D_c = |X_{cal} - X_c| \quad (7)$$

$$D_m = |X_m - X_c| \quad (8)$$

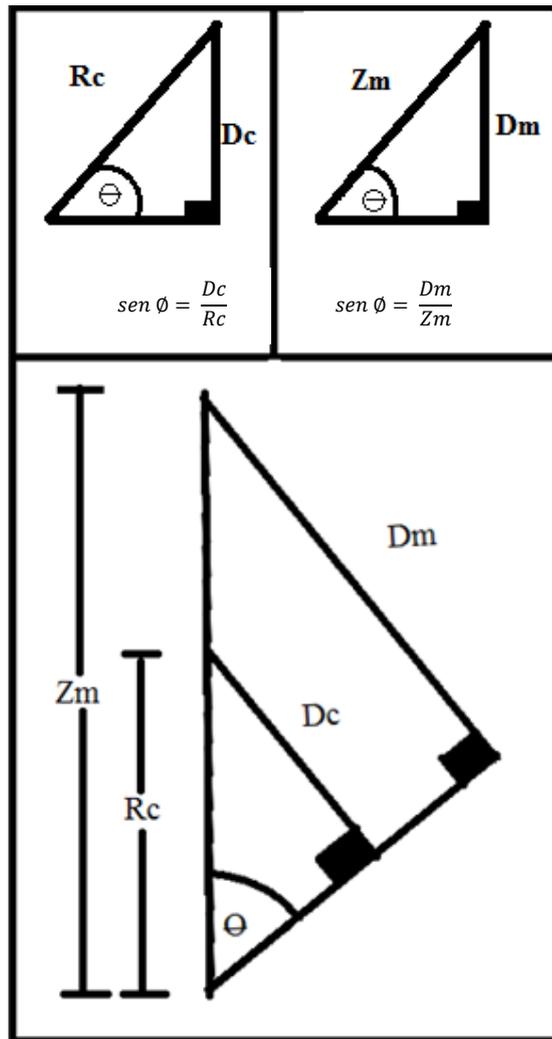
Dónde:

**$D_c$**  = Distancia del láser hasta el borde izquierdo o derecho del cilindro de calibración

**$D_m$**  = Distancia del objeto hacia el eje vertical

En la figura 46 se aplica semejanza de triángulos para determinar la coordenada en  $Z_m$  del objeto a escaneado.

Figura 46. Semejanza de triángulos rectángulos



Elaborado por: Jorge Yáñez

Para hallar los puntos de profundidad del objeto escaneado se determina el componente  $Z_m$  aplicando semejanza de triángulos como en la ecuación 9.

**Ecuación 9. Semejanza de triángulos rectángulos**

**Ecuación 10. Coordenada de profundidad del objeto**

$$\frac{D_m}{Z_m} = \frac{D_c}{R_c} \quad (9)$$

$$Z_m = \frac{D_m \times R_c}{D_c} \quad (10)$$

En donde:

**Z<sub>m</sub>**= Coordenada de profundidad del objeto.

A continuación se escaneará un objeto de prueba ratona de cerámica como se muestra en la figura 47, que permitirá determinar los cálculos de error de profundidad experimental, ángulo de giro, linealidad y repetitividad del sistema.

Figura 47. Objeto de prueba para cálculo de errores, repetitividad y linealidad del sistema.



Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.7. Cálculo de errores

La tabla 3 muestra los valores de 10 puntos obtenidos de la captura de 10 imágenes de la ratona de cerámica aplicando las ecuaciones 2, 7, 8, 10.

Tabla 3. Cálculo experimental del objeto

Xcam1	Xcam2	Xm	Xcal	Dc	Dm
319	320	236	83	236	83
318	320	235	83	235	83
319	322	236	83	236	83
320	325	233	87	233	87
318	322	237	81	237	81
319	320	237	82	237	82
322	318	246	76	246	76
328	310	247	81	247	81
329	309	251	78	251	78
328	308	249	79	249	79

Elaborado por: Jorge Yáñez

De los resultados obtenidos en la tabla 3 se aplica la ecuación 10 de donde se obtiene las profundidades experimentales de la ratona de cerámica como se muestra en la tabla 4. Se realizó una prueba con el sensor Kinect para determinar las coordenadas reales de profundidad, y determinar el error experimental.

Tabla 4. Cálculo de profundidad experimental del objeto

Xcam1(pixeles)	Xcam2(pixeles)	Z sensor Kinect (cm)	Z experimental (cm)
319	320	1,9	1,861052236
318	320	2	1,868971608
319	322	1,9	1,861052236
320	325	1,9	1,975858344
318	322	1,8	1,808544281
319	320	1,8	1,830871988
322	318	1,6	1,634823828
328	310	1,7	1,735323865
329	309	1,7	1,670843729
328	308	1,8	1,766887478

Elaborado por: Jorge Yáñez

En la figura 48 se muestra los valores de profundidad real vs experimental de la ratona de cerámica ajustado a la ecuación de mínimos cuadrados.

Figura 48. Ajuste por mínimos cuadrados para el cálculo de profundidades experimentales



Elaborado por: Jorge Yáñez

La tabla 5 muestra el error porcentual que presenta la profundidad experimental con respecto a la profundidad real de la ratona de cerámica proporcionando un error del 2,53%.

Tabla 5. Error absoluto de profundidad real vs profundidad experimental

Z sensor Kinect (cm)	Zm (experimental cm)	Error absoluto
1,9	1,861052236	0,04
2	1,868971608	0,13
1,9	1,861052236	0,04
1,9	1,975858344	0,08
1,8	1,808544281	0,01
1,8	1,830871988	0,03
1,6	1,634823828	0,03
1,7	1,735323865	0,04
1,7	1,670843729	0,03
1,8	1,766887478	0,03
<b>18,1</b>	<b>18,01422959</b>	<b>0,46</b>
<b>Error porcentual %</b>		<b>2,53</b>

Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.8. Error del ángulo de giro de la base

Se presentó un error en el ángulo de giro de la base por las pulsaciones emitidas por el motor en su recorrido sobrepasan los 360 grados, se realizó 7 cálculos experimentales del giro de la base y fueron comparados con 7 medidas reales dando un error del 1,82 % como se indica en la tabla 6.

Tabla 6. Cálculo del error del ángulo de giro del escáner

Rotación real (grados)	Rotación medida (grados)	Error absoluto
45	42,9	2,10
90	93,95	3,95
135	135,85	0,85
180	185,9	5,90
225	230,8	5,80
270	271,7	1,70
315	317,6	2,60
1260		22,90
<b>Error porcentual % rotación</b>		
<b>1,82</b>		

Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.9. Repetitividad del sistema

En la tabla 7 se realizó 10 capturas del objeto ratona de cerámica en una misma posición de la proyección del láser, de esta captura se obtuvo los 10 primeros puntos en pixeles del eje x, para luego aplicar la fórmula de repetitividad. Obteniendo como resultado el 0,136% de repetitividad del sistema, esto significa que tienen una proximidad de concordancia en la reproducción de las medidas de salida de las cámaras (puntos en pixeles) al medir repetidamente valores en las mismas condiciones, lugar y en una misma posición en un periodo de tiempo.

Por tanto:

$$\text{Repetibilidad} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (\text{Creus, 1997, pág. 9})$$

$x_i$ = puntos en pixeles de la figura tomada

$x$ = promedio de los puntos en pixeles de la figura tomadas

$N$ = Número total de muestras tomadas

Dónde:

$$\sum (x_i - x)^2 = (313 - 312,91)^2 + (313 - 312,91)^2 + (313 - 312,91)^2 + (313 - 312,91)^2 + (313 - 312,91)^2 + (313,1 - 312,91)^2 + (313 - 312,91)^2 + (313 - 312,91)^2 + (312 - 312,91)^2 + (313 - 312,91)^2$$

$$\sum (x_i - x)^2 = 0,929$$

$$\text{Repetibilidad} = \sqrt{\frac{0,929}{10}}$$

$$\text{Repetibilidad} = 0,30479501$$

El cálculo realizado es solo para un punto de las 10 imágenes capturadas, se debe realizar el mismo procedimiento para los demás puntos restantes y después hallar el promedio de toda las repetibilidades para hallar la repetibilidad del sistema.

Tabla 7. Cálculo de repetitividad del sistema

Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3	Imagen 4	Imagen 5	Imagen 6	Imagen 7	Imagen 8	Imagen 9	Imagen 10	Media	Repetitividad
313	313	313	313	313	313,1	313	313	312	313	312,910	0,304795013
313,25	313,25	313,201965	313,25	313,25	313,151001	313,25	313	313,5	313	313,210	0,135589293
313,333313	313,5	313,3013	313,333313	313,5	313,43399	313,333313	313,166656	313,5	313,166656	313,357	0,120217152
313,5	313,833313	313,467957	313,5	313,833313	313,767334	313,666687	313,333313	313,5	313,333313	313,574	0,179996302
313,666687	314	313,666687	313,666687	314	314	313,833313	313,666687	313,666687	313,666687	313,783	0,149989834
313,833313	314,166687	314	314	314,166687	314,166687	314,166687	314	314	314	314,050	0,106731757
314,166687	314,333313	314,333313	314,333313	314,333313	314,333313	314,333313	314,333313	314,333313	314,333313	314,317	0,0499878
314,333313	314,5	314,5	314,666687	314,5	314,5	314,623535	314,5	314,5	314,5	314,512	0,083248975
314,5	314,5	314,666687	314,833313	314,5	314,5	314,790192	314,666687	314,666687	314,666687	314,629	0,118309719
314,666687	314,666687	314,833313	315	314,666687	314,666687	314,956848	314,833313	314,833313	314,833313	314,796	0,118297732
											<b>0,136716358</b>

Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.10. Linealidad del sistema

Para determinar la linealidad del sistema se comparó la nube de puntos de la ratona de cerámica obtenidos por el sensor Kinect, dispositivo que realiza múltiples capturas de

imágenes procesándolas tridimensionalmente, y el escáner tridimensional como se muestra el tabla 8.

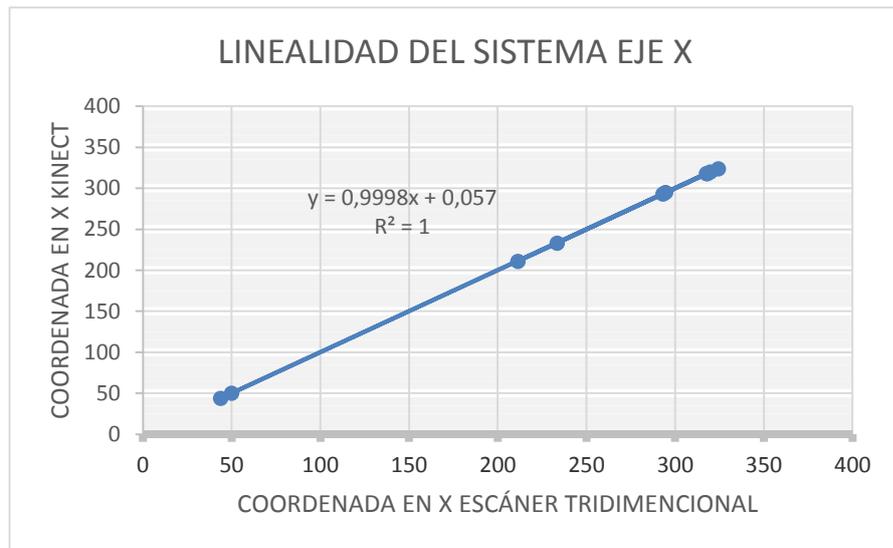
Tabla 8. Nube de puntos obtenidos del escáner tridimensional y por el sensor Kinect.

Cámara 1 eje X	Kinect eje X	Cámara 1 eje Y	Kinect eje Y
293,141193	293	423,3332172	424
294,6418749	295	414,7535788	415
318,0860395	318	415,4611473	416
43,74328283	44	399,0952945	399
49,92960476	50	388,1442653	389
317,5831514	318	291,5300756	292
324,3229163	324	293,8244924	294
211,26622	211	290,5057295	291
233,4411907	233	154,4601372	155
319,6984743	320	167,1075546	168

Elaborado por: Jorge Yáñez

La figura 49 muestra la gráfica de los puntos de la línea de proyección de laser sobre la ratona de cerámica obtenida con el escáner tridimensional en diferentes ángulos de giro y los puntos obtenidos con el sensor Kinect, para determinar la linealidad del eje x del escáner con respecto al eje x del Kinect, esta gráfica significa que los puntos experimentales obtenidos en x por el escáner tridimensional son aproximadamente similares a los puntos reales en x obtenidos con el sensor Kinect.

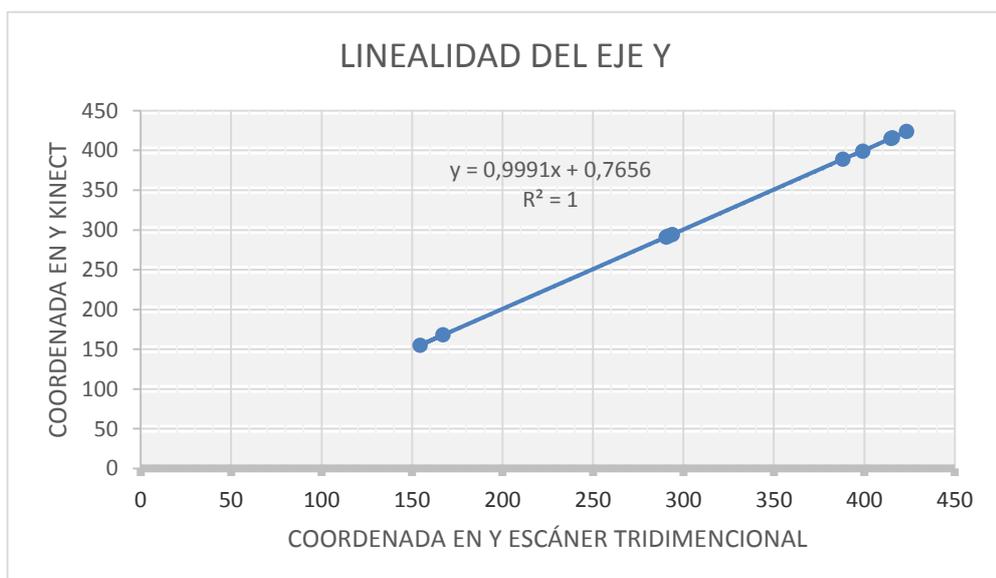
Figura 49. Linealidad del sistema del eje x



Elaborado por: Jorge Yáñez

La figura 50 muestra la gráfica de los puntos de la línea de proyección de laser sobre la ratona de cerámica obtenida con el escáner tridimensional en diferentes ángulos de giro y los puntos obtenidos con el sensor Kinect, para determinar la linealidad del eje y del escáner con respecto al eje y del Kinect, esta gráfica significa que los puntos experimentales obtenidos en y por el escáner tridimensional son aproximadamente similares a los puntos reales en y obtenidos con el sensor Kinect.

Figura 50. Linealidad de sistema del eje y



Elaborado por: Jorge Yáñez

### 3.11. Precisión de la imagen

En la tabla 9 se muestra la nube de puntos experimentales obtenidos por el escáner tridimensional y la nube de puntos reales obtenidos por el sensor Kinect de una imagen, que permitió determinar la precisión. La precisión se refiere a que porcentaje de la realidad se acerca la imagen, empleado en una serie de medidas. Dando como resultado una precisión del 98,2 % en cada imagen.

Por tanto:

$$\text{Error absoluto} = |\text{datos experimentales} - \text{datos reales}| \text{ (Creus, 1997)}$$

$$\text{Error absoluto} = |291,14 - 293|$$

$$\text{Error absoluto} = 1,86$$

$$\text{Media} = \frac{\sum \text{Error}}{N} \text{ (Creus, 1997, pág. 7)}$$

Error = Errores absolutos de la imagen

N = Número de muestras

Dónde:

$$\text{Media } X = \frac{1,86 + 2,36 + 1,92 + 0,06 + 1,42 + 2,68 + 0,98 + \dots + 1,27 + 0,37}{38}$$

$$\text{Media } X = 1,52 \%$$

$$\text{PRECISIÓN} = 100 \% - \frac{\text{Media } X + \text{Media } Y + \text{Media } Z}{3}$$

$$\text{PRE} = 100 \% - \frac{1,52 + 1,28 + 2,56}{3}$$

$$\text{PRE} = 98,209 \%$$

Tabla 9. Porcentaje de precisión de la imagen

Cámara eje x	Cámara eje y	Cámara eje z	Kinect eje x	Kinect eje y	Kinect eje z	Error absoluto x	Error absoluto y	Error absoluto z
291,14	421,83	209,54	293	422	210	1,86	0,17	0,46
292,64	412,75	219,48	295	413	220	2,36	0,25	0,52
316,08	410,32	235,49	318	411	237	1,92	0,68	1,51
307,94	411,33	245,20	308	412	245	0,06	0,67	0,20
315,58	415,21	147,16	317	416	149,0	1,42	0,79	1,84
322,32	409,21	145,16	325	411	147	2,68	1,79	1,84

323,02	410,38	257,18	324	412	260	0,98	1,62	2,82
313,01	407,46	225,69	315	408	227	1,99	0,54	1,31
317,69	409,46	232,97	320	410	237,00	2,31	0,54	4,03
310,09	407,93	233,77	314	408	234	3,91	0,07	0,23
314,97	411,93	234,97	315	412	236	0,03	0,07	1,03
306,34	415,46	242,22	308	416	243,00	1,66	0,54	0,78
311,97	409,46	246,69	313	410	249,00	1,03	0,54	2,31
313,77	407,46	237,65	315	408	239,00	1,23	0,54	1,35
310,85	415,37	238,69	312	416	242	1,15	0,63	3,31
301,85	415,86	211,44	302	417	213	0,15	1,14	1,56
313,61	408,11	187,82	314	411	190	0,39	2,89	2,18
312,97	406,46	199,82	313	407	201,00	0,03	0,54	1,18
315,88	401,98	211,34	318	403	214,00	2,12	1,02	2,66
315,54	409,46	201,54	319	410	204,00	3,46	0,54	2,46
263,91	398,13	80,34	265	401	84	1,09	2,87	3,66
265,26	400,74	96,05	267	403	98,00	1,74	2,26	1,95
320,04	396,10	125,49	321	398	127	0,96	1,90	1,51
266,04	389,05	129,12	270	390	133	3,96	0,95	3,88
181,94	285,94	119,37	184	287	121,00	2,06	1,06	1,63
181,17	287,70	128,50	182	290	131	0,83	2,30	2,50
180,02	293,81	129,50	182	297	132,00	1,98	3,19	2,50
149,81	122,01	1045,59	150	125	1036,00	0,19	2,99	9,59
185,34	115,75	1113,76	187	119	1115	1,66	3,25	1,24
330,76	114,29	1109,39	334	116	1114,00	3,24	1,71	4,61
181,21	129,70	1101,70	182	130	1105,00	0,79	0,30	3,30
208,61	125,64	1143,15	212	120	1149,00	3,39	5,64	5,85
300,80	118,32	1008,93	302	119	1015	1,20	0,68	6,07
205,48	120,17	1145,93	208	121	1150,00	2,52	0,83	4,07
193,94	113,70	1179,32	194	114	1185	0,06	0,30	5,68
188,93	113,32	187,20	189	115	188,00	0,07	1,68	0,80
113,67	117,89	115,97	115	118	118,00	1,33	0,11	2,03
298,73	118,76	45,29	300	120	48	1,27	1,24	2,71
295,63	123,94	134,04	296	125	137,00	0,37	1,06	2,96
<b>Media de error porcentual</b>						1,52	1,28	2,567
<b>Precisión de la imagen</b>						<b>98,20958</b>		

Elaborado por: Jorge Yáñez

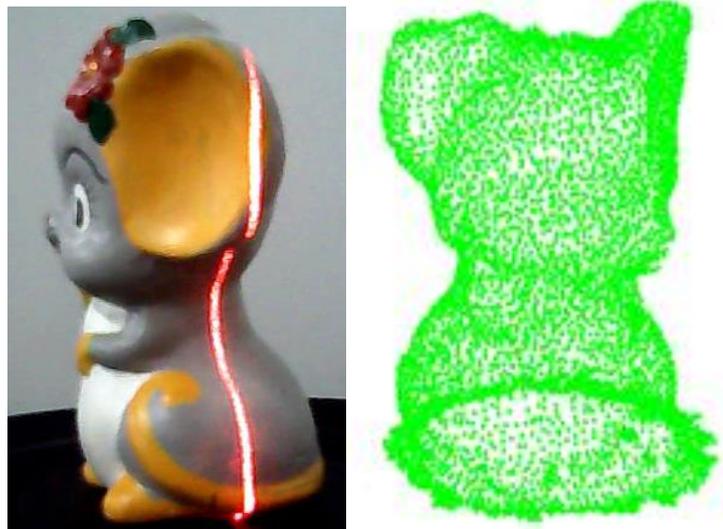
### 3.12. Resultados de objetos escaneados y reconstruidos tridimensionalmente

Se presentará los resultados obtenidos de la unión de la nube de puntos de varios objetos escaneados, resolviendo el problema de oclusiones o puntos ciegos del proyecto de grado sistema prototipo de scanner óptico tridimensional de García y Narváez.

#### 3.12.1. Ratona de cerámica.

Las dimensiones de este objeto son: 13X5,8 cm. En la figura 51 se muestra el resultado del objeto escaneado por la cámara derecha.

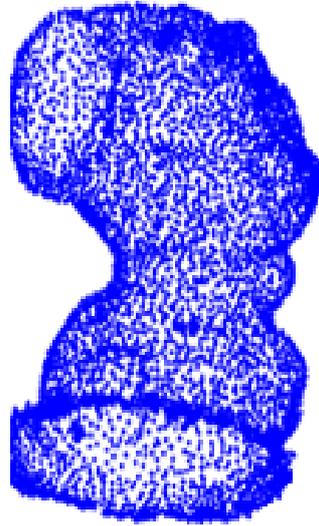
Figura 51. Vista digital tridimensional y real de la ratona obtenida con la cámara derecha.



Elaborado por: Jorge Yáñez

En la figura 52 se muestra el resultado del objeto escaneado por la cámara izquierda.

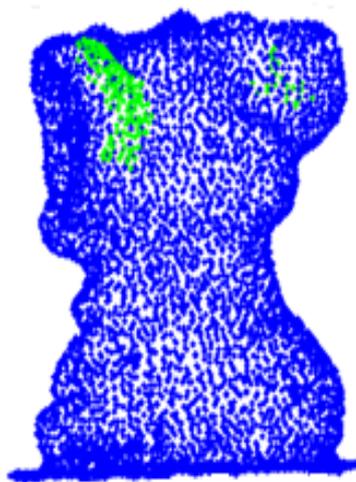
Figura 52. Vista digital tridimensional y real de la ratona obtenida con la cámara izquierda.



Elaborado por: Jorge Yáñez

En la figura 53 se muestra el resultado de la unión de la nube de puntos completo.

Figura 53. Resultado tridimensional de la unión de las dos nubes de puntos de la cámara izquierda y derecha.



Elaborado por: Jorge Yáñez

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se analiza los costos de implementar el escáner bifocal tridimensional en lo relacionado: diseño y construcción de hardware y desarrollo de software.

#### 4.1. Costo del hardware

En el tabla 10 se puede ver, el costo de los materiales electrónicos y de ensamblaje ocupados en la construcción del escáner bifocal tridimensional.

Tabla 10. Costos de hardware

Cantidad	Detalle	Valor unitario	Total
1	Atmega 48	4,5	9
1	Max 232	1,95	1,95
2	Relés	0,8	1,6
2	Pulsadores	0,2	0,4
2	Diodo 4007	0,1	0,2
6	Resistencia de 330 ohms	0,02	0,12
2	Resistencia de 1k ohms	0,02	0,04
2	Transistores 2N3904	1	2
2	Led de alta intensidad	0,25	0,5
1	Potenciómetro lineal	0,6	0,6
1	Lcd 16X2	7,5	7,5
1	Cargador fuente de 5 V	3	3
1	Batería de 12 V	21,87	21,87
3	Borneras	0,25	0,75
4	Capacitores electrolíticos	0,12	0,48
8	Pines de conexión hembra	0,65	5,2
4	Pines de conexión macho	0,6	2,4
1	Sócalos de 28 pines	0,39	0,39
1	Sócalos de 8 pines	0,2	0,2
1	Conector DB9	0,79	0,79
1	Motor dc	12	12
1	Cable serial usb	12,5	12,5
2	Cautines	2,5	5
3	Funda de ácido	0,36	0,72
1	Rollos de estaño	5	5
2	Papel termotransferible	0,8	1,6

1	Estructura de madera	65	65
1	Baquelita 20x30	2,36	2,36
1	Laser	300	300
1	Laptop i7 Acer	1000	1000
Total			1463,17

Elaborado por: Jorge Yáñez

#### 4.2. Costo de diseño del hardware

En el tabla 11 se observa los costos de diseño de ingeniería y mano de obra para construir el equipo.

Tabla 11. Costos de diseño de hardware

Descripción	Cantidad (personas)	Tiempo (horas)	Precio de cada hora \$	Precio total del trabajo \$
Diseño de ingeniería.	1	30	18	540 \$
Mano de obra	1	130	5	650 \$
<b>Total</b>				<b>1190 \$</b>

Elaborado por: Jorge Yáñez

#### 4.3. Costo del desarrollo del software

En el tabla 12 se observa los costos tomados en cuenta por cada hora empleada para el desarrollo del software.

Tabla 12. Costos de diseño de software

Descripción	Cantidad (personas)	Tiempo (horas)	Precio de cada hora \$	Precio total del trabajo \$
Desarrollo de software	1	70	12\$	840\$
<b>Total</b>				<b>840 \$</b>

Elaborado por: Jorge Yáñez

#### 4.4. Costo total del proyecto

A continuación en el tabla 13 se puede ver los costos totales empleado para el diseño y construcción del escáner bifocal tridimensional.

Tabla 13. Costo total del proyecto

<i>Descripción</i>	<i>Costo</i>
Hardware	1463,17 \$
Diseño de hardware	1190 \$
Desarrollo de software	840 \$
<b>Total</b>	<b>3493,17 \$</b>

Elaborado por: Jorge Yáñez

El costo total empleado en el proyecto fue financiado por la Universidad Politécnica Salesiana.

## CONCLUSIONES

- El equipo tiene que estar correctamente calibrado en sus coordenadas iniciales, de esta depende la adquisición de datos, por lo tanto si se cambia la posición del láser o cámaras las imágenes tienden a salir en diferentes ángulos de rotación produciendo un mayor error.
- Para el escaneo de figuras se recomienda que tengan una altura máxima de 20 cm y mínimo de 10 cm para evitar la obtención de falsos datos las cuales perjudican a la reconstrucción tridimensional del objeto porque la cámara solo ve una fracción del objeto.
- Se pudo observar que el ángulo de giro influye mucho en la adquisición de datos, al momento de obtener imágenes de la una cámara con respecto a la otra, esto creará un desfase en la rotación de la nube de puntos en consecuencia si el error es mayor existirá solapamiento o distorsión de la imagen.
- La fuente de luz no debe ser muy brillante, si existe demasiada luz las imágenes tienden a salir con un brillo exagerado y al momento de procesar se resaltarán puntos o secciones erróneas. No realizar el escaneo de los objetos en lugares donde llegue directamente la luz, la misma que ocasiona brillo, reflejo, diferentes gamas de colores, impidiendo la obtención de datos correctos.
- En la imagen de la ratona se obtuvo un error del 1,78% y una precisión del 98,20 %.
- El escaneo de un objeto brillante tiende a alterar o distorsionar el reflejo del láser sobre el mismo, impidiendo que el filtrado de la sección escogida sea exitoso para la obtención de puntos.
- Mediante el escaneo de varias figuras se pudo observar que estas presentan secciones curvas o cóncavas complejas, donde con una sola cámara no se puede observar, pero con la adición de otra cámara y con los cálculos matemáticos,

se mejoró el escaneo completando las secciones que la primera cámara no puede visualizar correctamente, por lo tanto se eliminó porcentualmente las oclusiones o puntos ciegos que existen en las figuras y los problemas que tenían la tesis de (García & Narváez, 2007), en consecuencia es necesario la utilización de dos cámaras web para completar el escaneo de cualquier figura.

## RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de encoders de mayor precisión para completar exactamente el giro de los 360 grados y disminuir el error del ángulo de giro.
- Implementar un sistema de control de distancia y altura de las cámaras para poder escanear figuras de dimensiones mayores a 20 cm.
- Aplicar webcam de mayor resolución, debido a que cuando se capture las imágenes tendrá un pixelado de mejor calidad, permitiendo obtener coordenadas exactas a la realidad al momento de realizar el procesamiento de la imagen.
- Agilitar el procesamiento de señal para que la velocidad de giro de la base pueda ser incrementado, para que el proceso de captura de las imágenes sea más rápido.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Ayache, N. (1991). *Artificial Vision for Mobile Robots*. Massachusetts Institute of Technology.
- Barbosa, C. (2001). *Modelado y Seguimiento de Objetos por Medio de distribución de Color*.
- Calle, J. L., & Gamboa, B. S. (2011). *Diseño e implementación del sistema de seguridad del centro de investigaciones y control ambiental (CICAM)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Cazorla, M. (2000). *Robótica y visión artificial*. Universidad de Alicante.
- Chicaiza, N. G., & Reyes, F. J. (2013). *Diseño y construcción de un modulo de entrenamiento basado en el microcontrolador Xmega de Atmel para los laboratorios de sistemas microprocesados de la Universidad Politécnica Salesiana*. Quito.
- Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial, Sexta Edición*. Barcelona, España: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Currás, M., & Traba, L. (2012). *Visión artificial-Detención de bordes*.
- Fernández, E. (s.f.). *Visión artificial: Proyectos con Labview*.
- García, C., & Narváez, E. (2007). *Sistema prototipo de scanner óptico tridimensional*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Hernández, M. (2001). *Visión por computadoras-Detención de bordes*.
- Lajara, J. R., & Sebastiá, J. (2007). *Labview, Entorno gráfico de programación*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- Mery, D. (2004). *Visión por computadoras*. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile.
- Musuña, J. C., & Zapata, B. R. (2014). *Diseño y construcción de un robot móvil que obtenga datos de su trayectoria y adquiera imágenes escaneadas con láser para su posterior procesamiento con el software labview*. Quito.
- Ollero, A. (2001). *Robótica Manipuladores y robots móviles*. Barcelona España: MARCOMBO, S.A Gran Vía de les Corts Catalanes.
- Rodríguez, J. (2011). *Introducción a los sistemas de visión artificial*.
- Satorres, S. (2005-2006). *Detención de borden en una imagen*. Universidad de Jaén.
- Senar, J. (1999). *La Medición de la Repetibilidad y el Error de Medida*. Barcelona: Etologia.

- Suárez, Á. (2009). *Análisis de método de procesamiento de imágenes estereoscópicas forestales*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Sucar, E., & Gómez, G. (2007). *Visión Computacional*. Puebla, México: Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.
- Tadeo, R. (2008). *Reconstrucción de objetos tridimensionales a partir de información bidimensional*. México.
- Urgiles Ortiz, P. F. (2003). *Prototipo de medición de superficies mediante un computador utilizando una cámara digital*. Cuenca.
- Vélez, J. F., Moreno, A. B., Sánchez, Á., & Sánchez, J. L. (2003). *Visión por Computadora*. Universidad Rey Juan Carlos.

## ANEXOS

### Anexo 1. Cámara Hers & Hers KBU-9901



#### Especificaciones:

- AWB (Balance de Blancos Automático)
- Micrófono digital integrado: 48dB
- Enfoque manual
- Plug and Play
- 300k Pixeles
- Velocidad de hasta 30 fps
- Distancia de enfoque: 30mm ~ infinito (VGA)
- Formato de imagen: RGB24
- Interfaz: USB 2.0
- Tamaño: 31\*39\*29mm
- Disponibles exclusivamente in América Latina
- Certificada para Windows

## Anexo 2. Datasheet de Atmega48

Características	Valores de trabajo
Voltaje de trabajo	2,7v – 5.5v
Frecuencia	20 mhz
Corriente	200 ma
Capacidad de procesamiento	16 mips a 16 mhz
Número de pines	28
Memoria EEPROM	512 bytes
Oscilador interno estabilizado	Si
Canales de PWM	3

## Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 4/8/16KBytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
  - 256/512/512Bytes EEPROM
  - 512/1K/1KBytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- QTouch® library support
  - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
  - QTouch and QMatrix acquisition
  - Up to 64 sense channels
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature Measurement
  - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
    - Temperature Measurement
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
  - 1.8 - 5.5V for ATmega48P/88P/168PV
  - 2.7 - 5.5V for ATmega48P/88P/168P
- Temperature Range:
  - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
  - ATmega48P/88P/168PV: 0 - 4MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V
  - ATmega48P/88P/168P: 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C:
  - Active Mode: 0.3mA
  - Power-down Mode: 0.1µA
  - Power-save Mode: 0.8µA (Including 32kHz RTC)

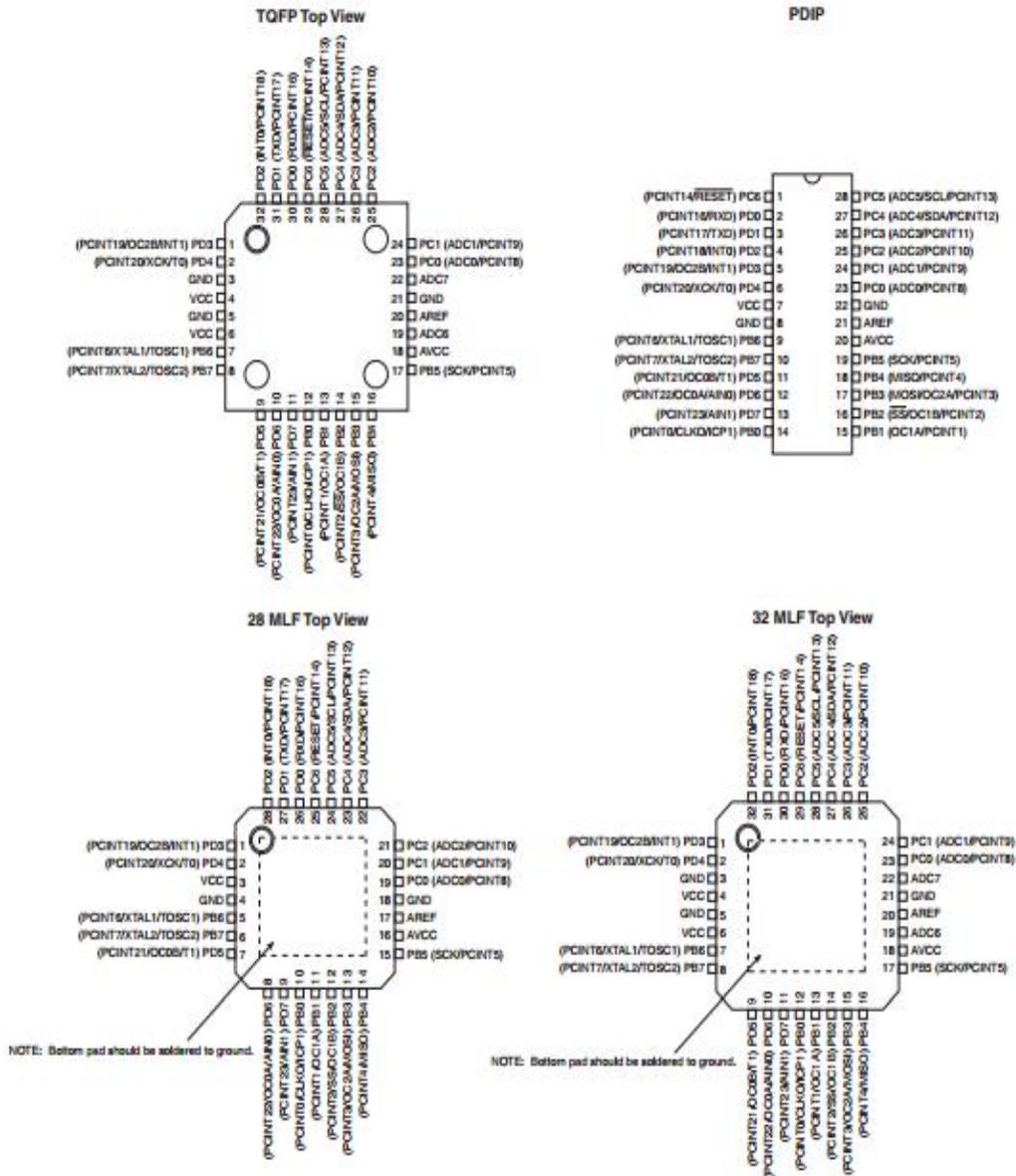


**8-bit Atmel  
Microcontroller  
with 4/8/16K  
Bytes In-System  
Programmable  
Flash**

**ATmega48P/V  
ATmega88P/V  
ATmega168P/V**

# 1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48P/88P/168P



### Anexo 3. Láser Craftsman



#### DESCRIPTION

##### KNOW YOUR LEVEL (See Fig. 1)

This Craftsman Laser Trac™ Level is a highly versatile tool.

It can be hand-held, wall-mounted or leveled on a horizontal surface or tripod stand.

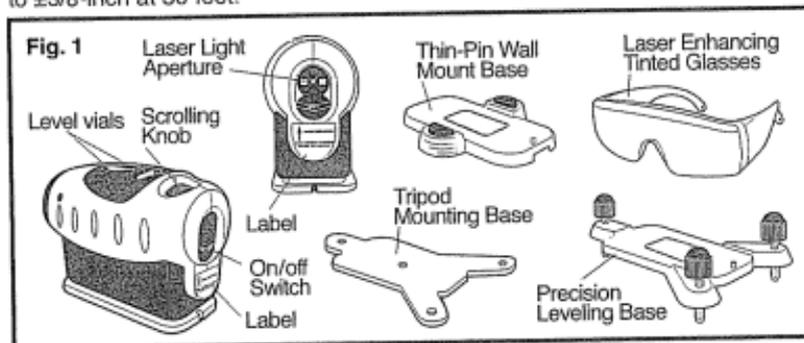
It projects a laser line that sweeps a full 90°, horizontal to vertical and all angles in between.

Performance is further enhanced in that with straight-ahead projection it will place the laser line on either side of an obstruction or on multiple surfaces.

This marking and leveling tool is easy to use in many applications from simple home decorating projects to professionally installed kitchen cabinets.

This Craftsman Laser Trac™ Level is not calibrated as a height-measuring device and should not be used as such. It will give a reference mark when used as a hand-held or wall-mounted tool.

When leveled on the Precision Leveling Base or used with the Tripod Mount (both included) it will project a level horizontal or vertical line that is accurate to  $\pm 3/8$ -inch at 30 feet.



#### TECHNICAL SPECIFICATIONS

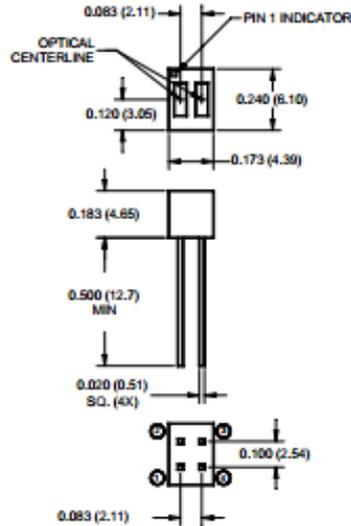
Recommended Use	Indoors
Laser Diode Type	Red Laser Diode 650 nm
Laser Class	Class IIIa, maximum power output $\leq 2.5$ mW
Power Supply	2 "AA" 1.5-volt batteries
Estimated Battery Life	40 hours of continuous use with alkaline batteries
Optimum Operating Temperature Range	30°F to 104° F (-1°C to 40°C)
Accuracy	$\pm 3/8$ -in. at 30 ft.

## Anexo 4. Datasheet QRD-114



# QRD1113/1114 REFLECTIVE OBJECT SENSOR

### PACKAGE DIMENSIONS



PIN 1 COLLECTOR      PIN 3 ANODE  
PIN 2 EMITTER        PIN 4 CATHODE

#### NOTES:

1. Dimensions for all drawings are in inches (millimeters).
2. Tolerance of  $\pm .010$  (.25) on all non-nominal dimensions unless otherwise specified.
3. Pins 2 and 4 typically .050" shorter than pins 1 and 3.
4. Dimensions controlled at housing surface.

### FEATURES

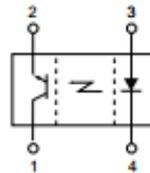
- Phototransistor Output
- No contact surface sensing
- Unfocused for sensing diffused surfaces
- Compact Package
- Daylight filter on sensor



### NOTES (Applies to Max Ratings and Characteristics Tables.)

1. Derate power dissipation linearly 1.33 mW/°C above 25°C.
2. RMA flux is recommended.
3. Methanol or isopropyl alcohols are recommended as cleaning agents.
4. Soldering iron  $1/16"$  (1.6mm) from housing.
5. As long as leads are not under any spring tension.
6. D is the distance from the sensor face to the reflective surface.
7. Cross talk ( $I_{CX}$ ) is the collector current measured with the indicator current on the input diode and with no reflective surface.
8. Measured using an Eastman Kodak neutral white test card with 90% diffused reflecting as a reflective surface.

### SCHEMATIC



### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Rating	Units
Operating Temperature	$T_{OPR}$	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{STG}$	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Solder Iron) <sup>(2,3)</sup>	$T_{SOL-I}$	240 for 5 sec	$^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Solder Flow) <sup>(2,3)</sup>	$T_{SOL-F}$	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
<b>EMITTER</b>			
Continuous Forward Current	$I_F$	50	mA
Reverse Voltage	$V_R$	5	V
Power Dissipation <sup>(1)</sup>	$P_D$	100	mW
<b>SENSOR</b>			
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	30	V
Emitter-Collector Voltage	$V_{ECO}$		V
Power Dissipation <sup>(1)</sup>	$P_D$	100	mW



## QRD1113/1114 REFLECTIVE OBJECT SENSOR

ELECTRICAL / OPTICAL CHARACTERISTICS (T <sub>A</sub> = 25°C)						
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>EMITTER</b>						
Forward Voltage	I <sub>F</sub> = 20 mA	V <sub>F</sub>	—	—	1.7	V
Reverse Current	V <sub>R</sub> = 5 V	I <sub>R</sub>	—	—	100	μA
Peak Emission Wavelength	I <sub>F</sub> = 20 mA	λ <sub>PE</sub>	—	940	—	nm
<b>SENSOR</b>						
Collector-Emitter Breakdown	I <sub>C</sub> = 1 mA	BV <sub>CEO</sub>	30	—	—	V
Emitter-Collector Breakdown	I <sub>E</sub> = 0.1 mA	BV <sub>ECO</sub>	5	—	—	V
Dark Current	V <sub>CE</sub> = 10 V, I <sub>F</sub> = 0 mA	I <sub>D</sub>	—	—	100	nA
<b>COUPLED</b>						
QRD1113 Collector Current	I <sub>F</sub> = 20 mA, V <sub>CE</sub> = 5 V D = .050" (6A)	I <sub>C(QA)</sub>	0.300	—	—	mA
QRD1114 Collector Current	I <sub>F</sub> = 20 mA, V <sub>CE</sub> = 5 V D = .050" (6A)	I <sub>C(QA)</sub>	1	—	—	mA
Collector Emitter Saturation Voltage	I <sub>F</sub> = 40 mA, I <sub>C</sub> = 100 μA D = .050" (6A)	V <sub>CE (SAT)</sub>	—	—	0.4	V
Cross Talk	I <sub>F</sub> = 20 mA, V <sub>CE</sub> = 5 V, E <sub>C</sub> = 0 (7)	I <sub>CX</sub>	—	.200	10	μA
Rise Time	V <sub>CE</sub> = 5 V, R <sub>L</sub> = 100 Ω	t <sub>r</sub>	—	10	—	μs
Fall Time	I <sub>C(QA)</sub> = 5 mA	t <sub>f</sub>	—	50	—	μs

## Anexo 5. Características de computador principal



[Más imágenes](#)

[Ver accesorios](#)

### CARACTERÍSTICAS :

PANTALLA	14 PULG LCD TFT LED RESOLUCIÓN MAXIMA 1366X768		
CPU	INTEL CORE I7 3537U 2.00 GHZ CACHE L3 4 MB		
MEMORIA	CAPACIDAD	8 GB	
	TIPO	DDR3	
DISCO DURO	CAPACIDAD	500	
	TIPO	SATA	
	COMENTARIOS	32 GB SSD mSATA	
OPTICO	DVD SUPERMULTI		
LECTOR DE MEMORIAS	CARD READER		
VIDEO	MARCA	AMD	
	CHIPSET	RADEON HD 7570M	
	CAPACIDAD	1 GB	
	SALIDAS	HDMI	
CONECTIVIDAD	LAN	VELOCIDAD	10/100 MB/S
	WIRELESS	802.11B 802.11G 802.11N	
	BLUETOOTH	SI	
SONIDO	PUERTOS	COMBO AUDIO/MIC	SI
INCORPORA	WEBCAM	SI	
	TOUCHPAD	SI	
PUERTOS	ALIMENTACIÓN	SI	
IDIOMA DE TECLADO	ESPAÑOL		
SISTEMA OPERATIVO	VERSION	WINDOWS 8	