

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

**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.**

AUTORES:

JUAN CARLOS MUSUÑA TOAPANTA

BYRON RICARDO ZAPATA CHANCUSIG

DIRECTOR:

LUIS GERMAN OÑATE CADENA

Quito, enero 2014

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DE TRABAJO DE GRADO**

Nosotros Juan Carlos Musuña Toapanta y Byron Ricardo Zapata Chancusig autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

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

Juan Carlos Musuña Toapanta

CC: 1715500524

Byron Ricardo Zapata Chancusig

CC: 1723724876

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres José Zapata y Lidia Chancusig y a mis hermanos los cuales con su apoyo incondicional y confianza en mí alentaron a la culminación de mis estudios y del presente trabajo de grado.

Dedico también este proyecto a Camico Zapata mi sobrina quien con sus travesuras me saco del estrés del proyecto, a Leidy Montenegro por su apoyo, comprensión y ánimos para alcanzar esta meta, además dedico a mi compañero Santiago Aguilar por el apoyo y ánimo durante este proceso de estudios, y a mis compañeros del proyecto de titulación Juan Musuña y George Yánez, a pesar de tanto conflictos que se dio durante el periodo de realización de este proyecto se lo pudo sacar adelante.

Byron Ricardo Zapata Chancusig

Dedico este proyecto a mis padres y hermanos por brindarme un soporte incondicional en mi vida y motivarme a seguir adelante superando las adversidades.

Juan Carlos Musuña Toapanta

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro tutor Ing Luis German Oñate y al Fis. Gonzalo Campuzano por guiarnos en la realización de este proyecto de titulación

Byron Ricardo Zapata Chancusig & Juan Carlos Musuña Toapanta

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Problema a resolver	3
1.2. Antecedentes.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. Justificación del trabajo	6
1.5. Alcance	6
1.6. Metodología.....	7
1.7. Investigación bibliográfica	7
1.7.1. Desarrollo del hardware y software.....	7
1.7.2. Construcción final	8
CAPÍTULO 2	9
ESTADO DEL ARTE	9
2.1 Estado del arte	9
2.2. Visión artificial.....	10
2.3. Áreas de aplicación de la visión artificial.....	10

2.4.	Componentes de un sistema de visión artificial	11
2.4.1.	Fuente de iluminación	11
2.4.1.1.	Iluminación por láser	12
2.4.1.2.	Láser CRAFTSMAN 4-IN-1	12
2.4.2.	Cámaras o Sensores de imagen	13
2.4.2.1.	Sensor CCD (Dispositivo de carga acoplada)	13
2.4.2.2.	Sensor CMOS (Semiconductor complementario del óxido de metal)	13
2.4.2.3.	Webcams Combo Hers & Hers KBU-9901.....	14
2.4.3.	Procesamiento de imágenes.....	14
2.5.	Etapas en un proceso de visión artificial	15
2.5.1.	Adquisición de imágenes.....	15
2.5.2.	Preprocesamiento	16
2.5.3.	Segmentación de imágenes.....	16
2.5.3.1.	Operadores de Prewitt, Sobel y Frei-Chen	17
2.5.4.	Extracción de características	18
2.6.	Técnicas ópticas.....	18
2.6.1.	Técnicas pasivas	19
2.6.1.1.	Visión estéreo	19
2.7.	Toolbox NI-IMAQ Labview	20
2.7.1.	Utilidades Visión.....	21
2.7.2.	Procesamiento de imágenes IMAQ Labview	21

2.7.3.	Visión artificial IMAQ Labview	22
2.7.4.	Visión Express.....	23
2.8.	Robots móviles con ruedas.....	23
2.8.1.	Robots omnidireccionales con cuatro ruedas	24
2.8.2.	Servomotores.....	25
2.8.3.	Servomotor Power Hd 1501mg.....	25
2.9.	Sensores.....	25
2.9.1.	Codificadores ópticos	26
2.9.2.	Sensor QRD114.....	26
2.9.3.	Odometria con encoders incrementales.....	27
2.9.3.1.	Ecuaciones de recorrido con encoders incrementales	27
2.9.3.2.	Ecuación de cambio de dirección con encoders incrementales	28
2.9.3.3.	Posicionamiento del robot en el plano.....	29
2.9.3.4.	Traslación y Rotación del robot	30
2.9.3.5.	Ecuación para el cálculo del ángulo de rotación de las cámaras.....	31
2.10.	Microcontrolador.....	31
2.10.1.	ATMEGA16.....	33
2.11.	Comunicación entre dispositivos.....	33
2.11.1.	Comunicación Serial	33
2.11.2.	Comunicación inalámbrica Bluetooth.....	34
	CAPÍTULO 3	35

DESARROLLO DE HARDWARE Y SOFTWARE	35
3.1. Diseño de hardware	35
3.1.1. Diagrama de bloques	35
3.1.2. Robot	36
3.1.2.1. Microcontrolador	36
3.1.2.2. Sensores	38
3.1.2.3. Actuadores	39
3.1.2.4. Puente H con relés	39
3.1.2.5. Control On/Off para control de láser	40
3.1.2.6. Transmisión Serial	41
3.1.3. Adquisición y Procesamiento de Imágenes	42
3.1.3.1. Cámaras	42
3.1.3.2. Computadoras	43
3.1.3.3. Kinect	44
3.1.4. Diagrama Esquemático de control del robot completo	44
3.2. Desarrollo del software	47
3.2.1. Diagrama de flujo general del sistema de control del robot	47
3.2.2. Diagrama de flujo para adquisición de imágenes	51
3.2.4. Diagrama de flujo nube de puntos	58
3.2.5. Diagrama de flujo para la visualización de la nube de puntos	61
3.3. Construcción del robot para el escaneo tridimensional	62

3.3.1.	Elaboración de placa electrónica para el control del robot y de sensores ...	62
3.3.2.	Construcción de la estructura del robot	64
3.4.	Obtención de las ecuaciones para la reconstrucción tridimensional	66
3.4.1.	Transformada de Hough	66
3.4.2.	Ecuación para disparidad entre imágenes.....	67
3.4.3.	Ecuación para el cálculo de profundidad con visión estereoscópica.....	69
3.4.4.	Ajuste de líneas mediante mínimos cuadrados.....	69
3.4.5.	Disparidad vs Profundidad	70
3.4.6.	Calibración del sistema.....	71
3.4.7.	Calculo de error de traslación y rotación del robot móvil.....	76
3.4.8.	Repetitividad y linealidad del sistema	77
3.5.	Resultados de reconstrucción tridimensional	80
3.5.1.	Nube de puntos de habitación obtenida con robot móvil estático	80
3.5.2	Nube de puntos de habitación obtenidas al rotar y trasladar el robot móvil	81
CAPÍTULO 4		84
ANÁLISIS DE COSTOS		84
4.1.	Costos de Hardware.....	84
4.2.	Costos de diseño de hardware	85
4.3.	Costo de Desarrollo del Software.....	86
4.4.	Costo Total del Proyecto	86

CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES	88
LISTA DE REFERENCIAS.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistemas de visión por computadora	11
Figura 2: Distorsión de la proyección de laser en captura de imágenes	12
Figura 3: Láser Craftsman 4-in-1	13
Figura 4: Webcam Slip Xtreme.....	14
Figura 5: Proceso de segmentación de imágenes.....	15
Figura 6: Suavizado de imagen.....	16
Figura 7: Segmentación de imágenes.....	17
Figura 8: Mascaras generalizadas fila/columna operadores Prewitt, Sobel y Frei-Chen	18
Figura 9: Clasificación de las técnicas ópticas.....	19
Figura 10: Visión utilidades IMAQ Labview	21
Figura 11: Procesamiento de imágenes IMAQ Labview	21
Figura 12: Visión artificial IMAQ Labview	22
Figura 13: Útiles para la adquisición de imágenes IMAQ Labview	23
Figura 14: Asistente de adquisición de imágenes IMAQ Labview.....	23
Figura 15: Robot omnidireccional y movimientos del robot	24
Figura 16: Servomotor Power Hd	25
Figura 17: Sensor QRD114.....	26
Figura 18: Posición del robot en el plano cartesiano	29
Figura 19: Sistema de robot móvil escáner tridimensional.....	36

Figura 20: Puertos utilizados en el microcontrolador ATMEGA 16	37
Figura 21: Circuito de polarización y switch para sensor QRD114.....	38
Figura 22: Esquema de puente H	39
Figura 23: Circuito control on/off.....	40
Figura 24: Circuito de comunicación serial	41
Figura 25: Base para rotación de cámaras.....	42
Figura 26: Computadores de adquisición y procesamiento de imágenes	43
Figura 27: Dispositivo Kinect	44
Figura 28: Diseño completo de circuito que conforma el robot.....	45
Figura 29: Ruteado de pista del circuito de control del robot	46
Figura 30: Diagrama de flujo de la etapa de control del robot.....	47
Figura 31: Diagrama de flujo de adquisición de imágenes	52
Figura 32: Diagrama de flujo de procesamiento de imágenes	56
Figura 33: Diagrama de flujo para creación de nube de puntos.....	59
Figura 34: Diagrama de flujo para la visualización de la nube de puntos en matlab. 61	
Figura 35: Vista previa de la placa electrónica de control del robot.....	63
Figura 36: Placa electrónica física de la etapa de control	64
Figura 37: Estructura del robot y base de elevación de cámaras	65
Figura 38: Transformada de hough matlab	67
Figura 39: Triángulos semejantes para el cálculo de profundidad.....	68
Figura 40: Curva de disparidad vs profundidad	71

Figura 41 Ajuste por mínimos cuadrados para el cálculo de la profundidad experimental.....	73
Figura 42: Curva de disparidad vs profundidad.....	75
Figura 43: Linealidad del sistema en los ejes x del kinect y de la cámara.....	79
Figura 44: Conjunto de imágenes de la habitación escaneada con proyección de láser	80
Figura 45: Nube de puntos de la habitación MATLAB	81
Figura 46: Captura de imágenes de un pasillo con traslación y rotación del robot móvil	82
Figura 47: Nube de puntos obtenida en el proceso de traslación y rotación del robot	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación entre familias de microcontroladores	31
Tabla 2: Dimensiones de la estructura del robot y base de elevación de cámaras.....	66
Tabla 3: Mediciones reales de profundidad y centro de línea del láser de las cámaras	72
Tabla 4: Calculo de profundidad.....	73
Tabla 5: Calculo de errores	74
Tabla 6: Cálculo de disparidad.....	75
Tabla 7: Cálculo de error producido en la traslación del robot.....	76
Tabla 8: Cálculo de error producido en la rotación del robot	77
Tabla 9: Cálculo de repetitividad del sistema	78
Tabla 10: Puntos generados en los ejes (x, y) mediante el escaneo con el robot móvil y nube de puntos generado con el sensor Kinect	79

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Desplazamiento del robot.....	27
Ecuación 2: Desplazamiento del robot para cada rueda del robot	28
Ecuación 3: Rotacion del robot.....	28
Ecuación 4: Ecuaciones de posicionamiento del robot en el plano	29
Ecuación 5: Matriz de traslación del robot	30
Ecuación 6: Matriz para el cálculo de rotacion del robot.....	30
Ecuación 7: Ecuación para cálculo de rotacion de las cámaras	31
Ecuación 8: Cálculo de centroide.....	58
Ecuación 9: Ecuación de la recta	66
Ecuación 10: Ecuación de profundidad para sistemas bifocales.....	68
Ecuación 11: Ecuación de profundidad para sistemas bifocales.....	69
Ecuación 12: Ecuación de mínimos cuadrados.....	70
Ecuación 13: Ecuación de mínimos cuadrados aplicado a la ecuación de profundidad	70

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. LASER CRAFTSMAN 4-IN-1	91
Anexo 2. Cámaras Hers & Hers KBU-9901	92
Anexo 3. Servomotor Power Hd 1501mg.....	93
Anexo 4. Sensor óptico QRD114.....	94
Anexo 5. Microcontrolador ATMEGA 16.....	96
Anexo 6. Computador 1 HP PAVILION DM1-4150LA.....	98
Anexo 7. Computador 2 ACER	99

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un equipo capaz de realizar un escaneo tridimensional de habitaciones, utilizando para ello dos webcams, un equipo láser, un robot controlado por medio de un computador principal y un computador secundario montado en el robot, el robot es utilizado para movilizar las cámaras, el equipo láser y el computador secundario por toda la habitación para realiza la captura y adquisición de imágenes con proyección de láser, las imágenes obtenidas son enviadas a un computador principal en el cual son procesadas para extraer los puntos en coordenadas (x, y) en unidades de pixeles de la línea del láser, la tercera coordenada (z) se la obtiene mediante el cálculo de profundidad de visión estereoscópica, con las coordenadas (x, y, z) obtenidas se procede a unir el conjunto de puntos de las imágenes capturadas en una sola nube de puntos tridimensional, la cual se asemeja a la habitación escaneada. Los resultados de las coordenadas (x, y) de las imágenes obtenidas por las webcams del proyecto son comparadas con las coordenadas (x, y) de las imágenes obtenidas por un Kinect el cual es un equipo que permite la creación de escenarios tridimensional, de esta comparación se obtiene un error de 6.21 %. El equipo desarrollado en este proyecto se encarga de realizar el escaneo de habitaciones mediante la técnica de extracción de coordenadas de la proyección de una luz láser para obtener una mayor aproximación de la nube de puntos a las habitaciones escaneadas.

ABSTRACT

This project aims to develop a team capable of making a three-dimensional scanning rooms , using two webcams , laser equipment , controlled by a host computer robot and robot-mounted secondary computer, the robot is used to mobilize cameras , laser equipment and the secondary computer across the room to the catching and imaging with laser projection, the images obtained are sent to a host computer where they are processed to extract the points coordinates (x , y) in units of pixels of the laser line , the third coordinate (z) is obtained by calculating the depth of stereoscopic viewing with the coordinates (x , y , z) obtained proceeds to attach the set of points captured images into a single three-dimensional cloud of points , which resembles the scanned room. The results of the coordinates (x , y) of the images obtained by the webcams project are compared with the coordinates (x , y) of the images obtained by a Kinect which is a computer that allows the creation of three-dimensional scenes of this comparison an error of 6.21% is obtained . The equipment developed in this project takes care of scanning rooms by the technique of extracting coordinates of the projection of a laser light for greater approximation of the point cloud to scanned rooms.

INTRODUCCIÓN

Los escáneres tridimensionales tienen el principio de poder mostrar los objetos reales en un software de computador, obtenido así los objetos reales en forma digital para poder ser manipulados y en modificados a gusto de las personas que tengan acceso a estos escáneres.

Los diseñadores de escáneres tridimensionales han ido evolucionando y mejorando sus diseños, hasta el punto que en la actualidad se puede tener objetos digitales en una computadora más aproximados a los objetos reales.

Estos escáneres tridimensionales en la actualidad son muy utilizados en la industria cinematográfica, para realizar una representación digital tridimensional de los actores y actrices para poder tener una representación en escenarios virtuales.

El objetivo de este proyecto es: Diseñar y construir un robot móvil, a través de un sistema de control remoto que permita registrar los datos de su trayectoria y capturar imágenes, escaneadas por un láser de un entorno con buena iluminación de forma bifocal usando el software de programación labview.

La metodología de investigación que se utilizó para la elaboración del proyecto son: investigación bibliográfica, desarrollo de hardware y software, construcción final y documentación del proyecto.

El procesamiento de imágenes es un tema que no se profundiza en la carrera de electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana Quito Campus Sur, por lo tanto este proyecto permitirá analizar imágenes mediante el software labview, aportando en el aprendizaje de los estudiantes con la finalidad de que conozcan el concepto y aplicación de la visión por computadora.

Esta investigación aportará en el campo de virtualización de imágenes en la Universidad Politécnica Salesiana, para el desarrollo de futuras implementaciones de escáneres tridimensionales mediante robots de manera autónoma.

En el capítulo 1: se analizó el problema que conlleva a la realización del proyecto y así como los objetivos, justificación, antecedentes, alcance y la metodología de investigación.

En el capítulo 2: se analizó los fundamentos teóricos y el estado del arte en los que se basa el desarrollo y aplicaciones de los conceptos utilizados acerca de visión artificial y así como también las comunicaciones inalámbricas que se emplea en el proyecto.

En el capítulo 3: se analizó los procesos de visión artificial y la programación basada en la herramienta IMAQ del software Labview para la adquisición, filtrado y procesamiento de imágenes, el diseño del hardware y el desarrollo del software para la comunicación entre software y hardware, el movimiento y cálculos de posición del robot móvil.

En el capítulo 4: se analizó los costos de diseño y construcción del hardware, desarrollo de software y el costo total que conllevó el proyecto de investigación.

En el capítulo 5: se indican Conclusiones y Recomendaciones del proyecto.

Este proyecto también consta de Anexos sobre características del microcontrolador, cámaras, equipo láser, sensor QRD114 y servomotores utilizado en la realización de este proyecto.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se da a conocer el problema a resolver para la realización del proyecto y así como los objetivos, justificación, antecedentes, alcance y la metodología de investigación.

1.1. Problema a resolver

Al momento de realizar una reconstrucción tridimensional a través de un escáner fijo, se presenta el problema de limitación de objetos, debido a que no se puede trasladar el escáner complicando la obtención de la nube de puntos de las imágenes limitándonos así a tener un escaneo a mayor escala, de objetos de mayor tamaño o de una habitación.

El presente proyecto surge como propuesta al proyecto anterior titulado “Sistema prototipo de scanner óptico tridimensional” (García, C y Narváez, E, 2007), para obtener un scanner tridimensional orientada a la reconstrucción de habitaciones y a crear un sistema capaz de mostrar las aplicaciones de visión artificial en la robótica móvil a estudiantes de la carrera de ingeniería electrónica, este problema surge debido a las pocos conocimientos y escasos materiales con los que se dispone para la aplicación de la visión artificial.

El anterior proyecto realizaba la reconstrucción tridimensional de objetos pequeños y de formas no tan irregulares ubicadas en un pedestal giratorio, principalmente la propuesta para la realización de este proyecto es la creación de un robot móvil capaz de dar solución al problema de limitación de los objetos enfocándose a un escaneo de objetos de mayor escala.

Por los motivos mencionados anteriormente se ha planteado la idea de diseñar y construir un robot móvil que obtenga datos de su trayectoria y adquiera imágenes escaneadas con un láser para su posterior procesamiento a través de un software.

1.2. Antecedentes

Debido a la necesidad de una empresa dedicado a simulaciones de objetos tridimensionales surge la idea de elaborar un escáner tridimensional para la reducción de costos y aplicaciones de la visión artificial realizaron un sistema prototipo de scanner óptico tridimensional. (García & Narváez 2007)

Este proyecto fue desarrollado para una empresa la cual se dedica al desarrollo de software y a la creación de soluciones de sistemas enfocados al uso de AutoCAD.

El empleo del scanner óptico tridimensional en la empresa se da para satisfacer las necesidades de los usuarios al momento de modelar objetos tridimensionales y para poder realizar simulaciones en computador.

Para resolver las necesidades de la empresa en este proyecto se desarrolla un prototipo fijo que consta de un pedestal rotatorio, un láser y una webcam, los cuales son instrumentos necesarios de la visión artificial.

La visión artificial es empleada en este proyecto para realizar la adquisición y procesamiento de imágenes, y así también como la reconstrucción tridimensional de los objetos.

Otro proyecto que analiza las aplicaciones de la visión artificial para la reconstrucción 3D de objetos pequeños fue desarrollado por estudiantes (Villa, Arranz, Álvaro & Sánchez, 2009) de la Universidad Pontificia Comillas quienes elaboraron un algoritmo que a partir de imágenes capturadas en 2D y aplicando técnicas de telemetría laser llegar a crear un modelo tridimensional de un objeto.

Este proyecto estudia los diferentes métodos para detección de puntos de interés los puntos de interés para la reconstrucción de imágenes tomados en cuenta en esta proyecto son los bordes y las esquinas.

La aplicación de este método sirve para separar un objeto del fondo, aplicando los métodos de detección de puntos de interés y de segmentación para tener así en las imágenes solo el objeto de interés para la reconstrucción.

Para la reconstrucción tridimensional en este proyecto se aplica el método de reconstrucción por triangulación y la se aplican conceptos de visión estéreo.

1.3. Objetivos

A continuación se presentan el objetivo principal y los objetivos específicos para la realización de este proyecto.

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y construir un robot móvil, a través de un sistema de control remoto que permita registrar los datos de su trayectoria y capturar imágenes, escaneadas por un láser de un entorno con buena iluminación de forma bifocal usando el software de programación labview.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar el firmware en el software bascom que controle el hardware del robot.
- Diseñar un sistema basado en encoders para registrar el recorrido del robot móvil.
- Desarrollar el firmware en el software labview que capture y procese imágenes e importar estas imágenes desde el robot a una PC remoto.
- Desarrollar la interface gráfica para el control del robot y adquisición de datos.

1.4. Justificación del trabajo

Las posibilidades que ofrecen los robots móviles en diversos campos son muy importantes, especialmente en la adquisición de imágenes, por lo que es primordial conocer detalles del ambiente en el que se encuentra el robot.

El procesamiento de imágenes es un tema que no se profundiza en la carrera de electrónica por lo tanto este proyecto permitirá analizar imágenes mediante el software labview, aportando en el aprendizaje de los estudiantes con la finalidad de que conozcan el concepto y aplicación de la visión por computadora.

Esta investigación aportará en el campo de virtualización de imágenes, para el desarrollo de futuras implementaciones en el campo de la navegación de robots de manera autónoma.

1.5. Alcance

El robot de scanner móvil será capaz de realizar lo siguiente:

- El robot será capaz de desplazarse en diferentes direcciones, el mismo que será controlado por un usuario.
- El robot se movilizará en un ambiente con la adecuada iluminación, y tomará fotos con un láser y dos webcams montadas en el robot, que luego serán enviadas por medio de un computador secundario montado en el robot a un computador principal.
- Se utilizará el computador principal para realizar el control del robot y para el procesamiento de imágenes en el software Labview.
- El robot estará diseñado para movilizarse en espacios no muy grandes de longitud aproximada de 20m², con pocos obstáculos para que el robot tenga una movilidad adecuada.
- Para la transmisión de datos se empleará comunicación bluetooth y una conexión a internet.

Este proyecto no realiza lo siguiente:

- El robot no será autónomo, tiene que ser manipulado por un usuario.
- Las imágenes tridimensionales no serán procesadas por triangulación.

1.6. Metodología

En este apartado del proyecto se detallará los pasos que se realizaron para la elaboración del proyecto comenzando por la investigación bibliográfica, posteriormente se desarrollara el software, la elaboración del proyecto, y finalmente la documentación del proyecto.

1.7. Investigación bibliográfica

Se realizó una investigación sobre los conceptos de visión artificial para su aplicación en el campo de la robótica.

Posteriormente se investigó sobre la visión estereoscópica para la aplicación en la reconstrucción tridimensional.

También se investigó las herramientas de visión artificial en el software Labview y Matlab para la adquisición y procesamiento de imágenes.

1.7.1. Desarrollo del hardware y software

Se diseñó y construyó un circuito de control el cual permitió el movimiento del prototipo del robot móvil, así como la comunicación serial alámbrica entre el computador montado en el robot y el circuito de control.

Se desarrolló aplicaciones en Labview para la adquisición de las imágenes capturadas por las webcam, y la interfaz gráfica para el control del prototipo del robot móvil, también se comprobó la comunicación entre la placa de control y la aplicación en labview.

Se desarrolló una aplicación en Labview para el filtrado y segmentación de imágenes que nos permitió encontrar los puntos generados por el láser en la imagen.

Finalmente se desarrolló una aplicación en Matlab para la creación de la nube de puntos tridimensional.

1.7.2. Construcción final

Se comprobó las conexiones finales entre los sensores y actuadores con la placa de control, y se comprobó la correcta comunicación alámbrica e inalámbrica entre el software labview y el circuito de control y se realizó las pruebas de manipulación de robot, así como también las pruebas de adquisición y filtrado de imágenes.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se analizará el estado de arte de artículos relacionados con el tema del proyecto y se presentará los fundamentos teóricos en los que se basa el diseño y construcción del robot móvil para el escaneo de habitaciones mediante el desarrollo de aplicación en el software Labview.

2.1 Estado del arte

Para la realización de este proyecto se ha recopilado información de varios proyectos de tesis y artículos relacionados con la reconstrucción tridimensional, de los cuales se ha obtenido información de ciertas técnicas de reconstrucción tridimensional y principalmente los fundamentos teóricos de visión artificial, los cuales han sido una guía para la realización de este proyecto.

A continuación se describen un ejemplo de los principales artículos utilizados en este proyecto:

- Técnicas de visión por computador para la reconstrucción en tiempo real de la forma 3D de productos laminados.

Este proyecto trata de la realización de un escáner tridimensional en tiempo real con reconstrucción y obtención de la nube de puntos del proceso de captura de imágenes mediante un láser de la superficie de objetos laminados, este proyecto utiliza métodos matemático para la obtención de las matrices de imágenes y métodos de visión artificial para la obtención de las curvaturas del láser para la realización de la reconstrucción de superficies, de este proyecto se utiliza la teoría y las matemáticas del proceso de segmentación, iluminación y adquisición de imágenes que ayudan en el proceso de escaneo tridimensional y así como algunos métodos de filtrado para el procesamiento de imágenes. (Molleda, Técnicas de visión por computador para la reconstrucción en tiempo real de la forma 3D de productos laminados, 2008)

- **Visión por Computadora.**

En este artículo se presenta los fundamentos teóricos de visión por computadora o visión artificial donde principalmente aborda temas de procesamiento adquisición, iluminación, técnicas de visión y segmentación de imágenes en dos dimensiones, este artículo proporciona y se enfoca en una base teórica acerca del procedimiento que se lleva a cabo en las imágenes para el modelamiento en tres dimensiones a partir de imágenes en dos dimensiones, este artículo presenta metodología matemática para la obtención de la matriz de imágenes para los procesos de filtrado y también presenta procesos matemáticos para la obtención de las coordenadas de imágenes con cierto grado de inclinación. (Mery, 2002)

2.2. Visión artificial

“El análisis de imágenes a través de computadoras para obtener una descripción de los objetos físicos que son captados por la cámara”. (Arturo de la Escalera hueso, 2001 pág. 2)

La visión artificial o visión por computadora es una rama de la inteligencia artificial que tiene como finalidad la digitalización de imágenes para emular la visión humana utilizando herramientas de computación, y hardware para la adquisición de imágenes.

2.3. Áreas de aplicación de la visión artificial

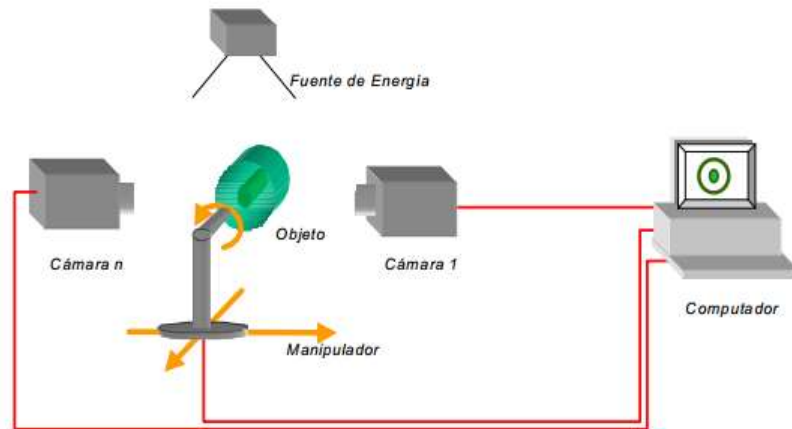
En la actualidad la visión artificial se la utiliza en diversas áreas como por ejemplo en el procesos Industriales, percepción remota, robótica.

“En el área de la robótica la visión artificial se la utiliza para el control de calidad e inspección de procesos de fabricación, así también como la aplicación en el seguimiento visual, guiado de vehículos móviles, y aplicaciones para procesamiento de imágenes”.(Somolinos, 2002 págs. 14,15,16).

2.4. Componentes de un sistema de visión artificial

Un sistema de visión artificial generalmente está compuesto por los siguientes elementos: fuente de iluminación; sensores de imagen; procesamiento de imágenes

Figura 1: Sistemas de visión por computadora



Fuente: (Visión por computadora, 2002 pág. 42)

2.4.1. Fuente de iluminación

La fuente de iluminación en visión artificial es utilizada para la extracción de información de los objetos, la iluminación resulta de suma importancia debido a que se trabaja en conjunto entre iluminación y cámaras para el proceso de adquisición de imágenes. Al tener un objeto correctamente iluminado se podrá observar la mayor parte de los detalles que conforman el objeto por medio de las cámaras sin tener problemas de partes oscuras o que no puedan ser visibles. Para la elección de la fuente de iluminación todo dependerá de la aplicación y tomando en cuenta características que estos equipos pueden proporcionar como intensidad lumínica, duración y flexibilidad al momento de realizar el diseño. Las fuentes de iluminación pueden ser de forma natural o mediante la utilización de equipos de iluminación.

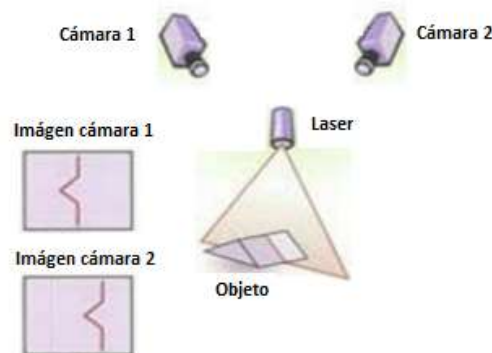
Las fuentes de luz mayormente utilizadas para visión artificial son: Fluorescente proporciona luz baja y es de costo económico; Halógena de alta luminosidad y

proporciona calor además tiene un costo más elevado; Xenón mayor luminosidad que la halógena; Led de iluminación eficiente y alto rendimiento; Laser utilizados para generar patrones de luz.

2.4.1.1. Iluminación por láser

“La iluminación mediante láser o luz estructurada se utiliza normalmente para resaltar o determinar la tercera dimensión de un objeto.” (Antiga, Nogué, 2012, pág. 15). La luz láser emite una luz de tipo monocromático y es empleada para saber la profundidad y la altura de los objetos. Al proyectar el láser sobre un objeto irregular, se puede observar la distorsión de luz que esta genera en el objeto, como se muestra en la figura 2, esta distorsión es utilizada mayormente para reconstrucciones tridimensionales.

Figura 2: Distorsión de la proyección de laser en captura de imágenes



Fuente: (Iluminación para las aplicaciones de Visión Artificial, 2005, pág. 12)

2.4.1.2. Láser CRAFTSMAN 4-IN-1

El láser craftsman es un equipo económico el cual se utiliza para nivelar objetos de forma horizontal o vertical por medio de la línea laser que emite el equipo. El láser craftsman emite una línea de luz infrarroja visible de 650nm a una potencia menor de 2.5mW, esto permite que las cámaras tengan visibilidad de la línea laser para realizar la captura de la imagen a una distancia menor a 5 metros.

En la figura 3 se muestra el equipo láser craftsman.

Figura 3: Láser Craftsman 4-in-1



Fuente: (www.yugster.com)

Las características completas del Láser Craftsman se indican en anexo 1.

2.4.2. Cámaras o Sensores de imagen

“Las cámaras o sensores de imágenes son elementos encargados de captar la información luminosa de la escena, y transmitirla al computador como una señal analógica o digital.”(Escalera, 2001, pág. 40). El sensor de imagen es una cámara que captura imágenes del mundo real y las transfiere a un software de computadora para su procesamiento. Existen dos tipos de tecnologías utilizadas para la fabricación de los sensores de imágenes los cuales se detallan a continuación.

2.4.2.1. Sensor CCD (Dispositivo de carga acoplada)

Este tipo de tecnología es menos sensible a la luz por tanto la tolerancia al incremento de iluminación es mejor. Una de las características importantes es la utilización de una matriz de pixeles uniformes, haciendo que sea menos propenso a sufrir fallos. Este tipo de sensor utiliza un chip dedicado para el tratamiento de información que procede del sensor, al usar este chip externo se reduce el ruido.

2.4.2.2. Sensor CMOS (Semiconductor complementario del óxido de metal)

En este tipo de sensor el tratamiento de la información procedente del sensor se lleva a cabo internamente provocando que el ruido pueda afectar el correcto tratamiento de la información. Esta tecnología es más sensible a la luz por lo que en condiciones de

iluminación baja responderá mucho mejor que un sensor ccd. La velocidad de respuesta del sensor ccd es mejor que un sensor de tecnología cmos.

2.4.2.3. Webcams Combo Hers & Hers KBU-9901

Es una cámara económica y robusta, de tamaño pequeño como se muestra en la figura 3, esta modelo de cámara es de peso liviano, posee conexión usb y es compatible con todas las versiones Windows, posee una resolución de 300.000 pixeles y una resolución de captura de imágenes de 640 x 480. Las características de este modelo de cámara se encuentran en el anexo 2.

Figura 4: Webcam Slip Xtreme



Fuente: (<http://www.lavisol.net>)

2.4.3. Procesamiento de imágenes

“Proceso mediante el cual se toma una imagen y se produce una versión modificada de esta imagen.”(Mery, 2002, pág. 1)

Una imagen capturada por la cámara es adquirida a través de una tarjeta de computadora la cual realiza el proceso de muestreo y cuantificación transformando una señal analógica en una señal digital. El procesamiento de imágenes es utilizado para obtener información de las imágenes capturadas por las cámaras para posteriormente ser tratadas por medio de un software especializado en donde dependiendo de la aplicación puede procesar la imagen para ser mejorada disminuyendo ruido y mejorando los pixeles y la calidad de la imagen o ser

segmentada para poder obtener una imagen monocromática la cual nos sirva para mostrar ausencia o presencia de un objeto en la imagen.

2.5. Etapas en un proceso de visión artificial

Existen seis etapas para el proceso de visión artificial, las cuales se muestra en la figura 5, estas etapas no necesariamente son aplicadas en su totalidad ya que dependen del proceso a realizar.

Figura 5: Proceso de segmentación de imágenes



Fuente: (Visión por computadora, 2002, pág.-1)

2.5.1. Adquisición de imágenes

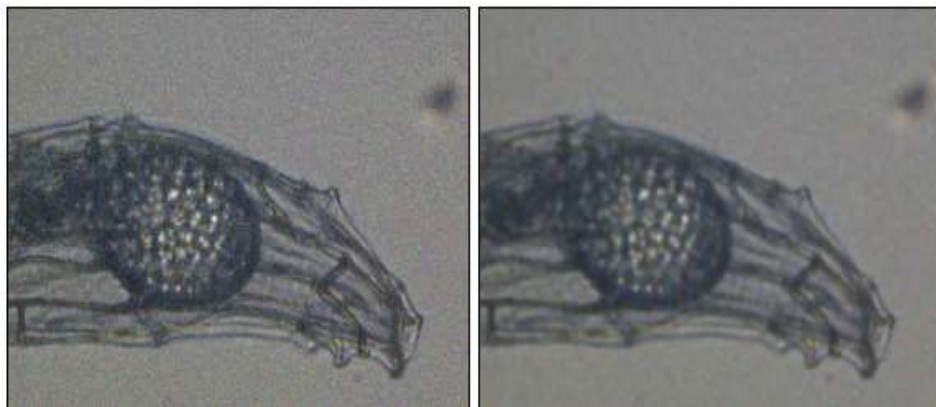
Es el proceso en el cual se obtiene una imagen en dos dimensiones del objeto de estudio para poder ser vista en un computador. La adquisición de imágenes se realiza utilizando los sensores de imágenes (cámaras) los cuales capturan una imagen del objeto real dependiendo de las características del sensor de imagen que se utilice, estas imágenes capturadas se le pasa a un computador de forma digital para poder ser manipulada por el usuario. Las imágenes en forma digital están compuestas por una matriz en la cual se identifica cada región de la imagen en coordenadas (x, y) y en magnitudes de pixeles.

2.5.2. Preprocesamiento

Esta etapa se aplica con la finalidad de conseguir una mejor apariencia de la imagen original. “Debido al sensor CCD de la cámara o al medio de transmisión de la señal. El ruido se manifiesta generalmente en píxeles aislados que toman un valor de gris diferente al de sus vecinos”. (Escalera, 2001, pág. 126). Uno de los métodos para eliminar el ruido generado es aplicar filtros pasa bajo ya que el ruido corresponde a frecuencias de onda altas y suavizando la imagen.

En la figura 6 se muestra una máscara para la eliminación de ruido.

Figura 6: Suavizado de imagen

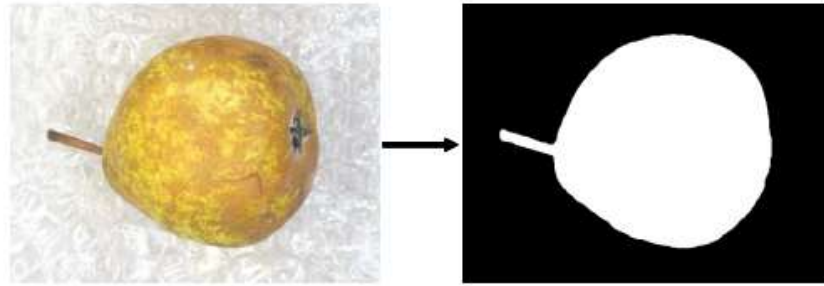


Fuente: (Visión Artificial Percepción de Profundidad, 2004, pág.-12)

2.5.3. Segmentación de imágenes

La segmentación es el proceso en cual se divide una imagen para obtener áreas de interés contenidos en la imagen, la segmentación dependerá de la aplicación que se quiera desarrollar. El proceso de segmentación en las reconstrucciones tridimensionales separa la el objeto el cual se quiera realizar la reconstrucción contenido en la imagen del fondo de la imagen, como se muestra en la figura 7.

Figura 7: Segmentación de imágenes



Fuente: (Visión por computadora, 2002, pág.1)

Para discriminar el haz de laser del resto de la escena se debe aplicar un método que permita visualizar de mejor forma la luz procedente del láser reflejada en el objeto, debido a esto se deben resaltar los bordes. “Los bordes de una imagen digital se pueden definir como transiciones entre dos regiones de niveles de gris significativamente distintos” (Satorres, 2005, pág. 1). Los bordes nos permiten distinguir dos secciones de una imagen diferenciadas por su color.

La aplicación de la detección de bordes es muy importante ya que ayudará en la segmentación de las imágenes y permitirá centrarnos en regiones que sean de interés para el estudio correspondiente. Los métodos utilizados para la detección de bordes emplean operadores de aproximaciones de la derivada. Estos operadores consisten en matrices utilizadas para el filtrado de imágenes y se aplicaran mediante el operador convolución en los pixeles de la imagen

2.5.3.1. Operadores de Prewitt, Sobel y Frei-Chen

“Los tres operadores pueden formularse de forma conjunta” (Satorres, 2005, pág. 2) en la figura 8 se muestra en forma generalizada las máscaras para aplicar los operadores Prewitt, Sobel y Frei-Chen.

Figura 8: Mascaras generalizadas fila/columna operadores Prewitt, Sobel y Frei-Chen

$\frac{1}{2+K}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th colspan="3" style="text-align: center;">Gradiente fila</th></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">-1</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">K</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">-K</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">-1</td></tr> </table>	Gradiente fila			1	0	-1	K	0	-K	1	0	-1	$\frac{1}{2+K}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th colspan="3" style="text-align: center;">Gradiente columna</th></tr> <tr><td style="text-align: center;">-1</td><td style="text-align: center;">-K</td><td style="text-align: center;">-1</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">K</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> </table>	Gradiente columna			-1	-K	-1	0	1	0	1	K	1
Gradiente fila																									
1	0	-1																							
K	0	-K																							
1	0	-1																							
Gradiente columna																									
-1	-K	-1																							
0	1	0																							
1	K	1																							

Fuente: (Detección de Bordes de una imagen, Universidad de Jaén)

- **Operador Prewitt (K=1)**

Se involucran a los vecinos de filas / columnas adyacentes para Proporcionar mayor inmunidad al ruido. (Satorres, 2005, pág. 2)

- **Operador Sobel (K=2)**

Se supone que es más sensible a los bordes diagonales que el de Prewitt aunque en la práctica hay poca diferencia entre ellos. (Satorres, 2005, pág. 2)

- **Operador Frei-Chen (K= $\sqrt{2}$)**

El gradiente es el mismo para bordes verticales, horizontales y diagonales. (Satorres, 2005, pág. 2)

2.5.4. Extracción de características

Son las técnicas que permiten extraer las partes de interés de una imagen, para luego poder ser utilizados en otros procesos como la extracción de la matriz de una imagen, extracción de píxeles, etc., que son procesos que depende de la aplicación de interés.

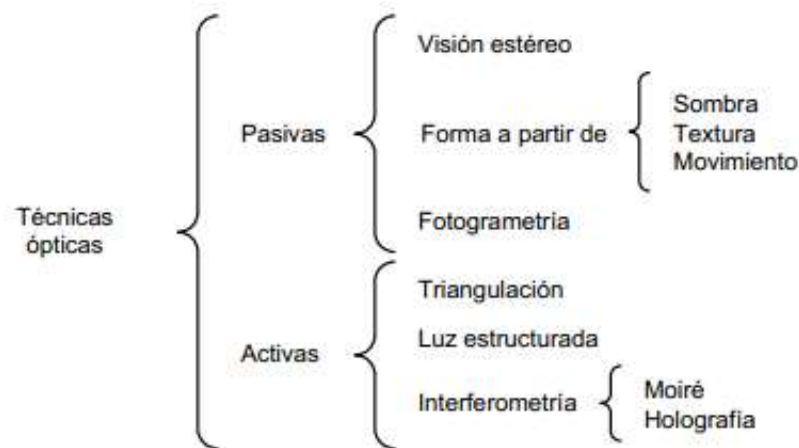
2.6. Técnicas ópticas

Son técnicas utilizadas para obtener información de una escena a través de la adquisición de una o varias imágenes, con estas técnicas se obtiene una mejor

visualización tridimensional de objetos. Las técnicas ópticas se clasifican en dos grupos: Técnicas Pasivas; Técnicas Activas

De estos grupos se desprenden una sub clasificación como se muestra en la figura 9 de técnicas ópticas para el mejoramiento en el proceso de adquisición de imágenes:

Figura 9: Clasificación de las técnicas ópticas



Fuente: (Técnicas de Visión por computadora, pág.-54)

2.6.1. Técnicas pasivas

“Las técnicas ópticas pasivas pueden ser aplicadas en un mayor número de situaciones que las técnicas ópticas activas. Sin embargo, al no utilizar una fuente de iluminación controlada el grado de incertidumbre con el que se realiza la correspondencia entre puntos de la escena y puntos de la imagen limitan, muchas ocasiones, la exactitud de la medida.” (Molleda, 2008, pág. 53)

2.6.1.1. Visión estéreo

Es la capacidad que tienen los seres humanos para percibir el entorno a través de imágenes tomadas de dos perspectivas diferentes, izquierdo y derecho, combinando similitudes entre ambas para generar una imagen donde se tiene la sensación de

profundidad. Cabe recalcar que la distancia de las cámaras a los objetos influye en el momento de encontrar similitudes entre ambas perspectivas.

Entre los métodos que se tienen para imitar la visión estéreo están:

Slider Bar: consiste en tomar imágenes de distintas posiciones desplazando una cámara que estará encima de una barra de desplazamiento graduada.

Twin Cameras: Se emplean dos cámaras situadas en un soporte físico, las imágenes adquiridas están sincronizadas para que sean tomadas un mismo instante de tiempo

Beam splitters: En este método se utiliza una cámara y sistema de espejos para visualizar la parte derecha e izquierda del objeto.

2.7. Toolbox NI-IMAQ Labview

Labview es un software de programación basado en un lenguaje visual o lenguaje G donde las líneas de código pasan a ser diagramas de bloques, por esta razón se convierte en un potente paquete debido a que permite desarrollar aplicaciones en diferentes campos; además este software tiene la ventaja de poder trabajar con tarjetas de otros fabricantes.

“IMAQ Vision para LabVIEW es una biblioteca de LabVIEW VIs que puede utilizar para desarrollar aplicaciones de visión artificial e imágenes científicas.”(National Instruments, 2004, pág. 1)

NI-IMAQ permite analizar imágenes ya que cuenta con varias herramientas que ayudan al procesamiento como filtros, coincidencia de patrones, segmentación.

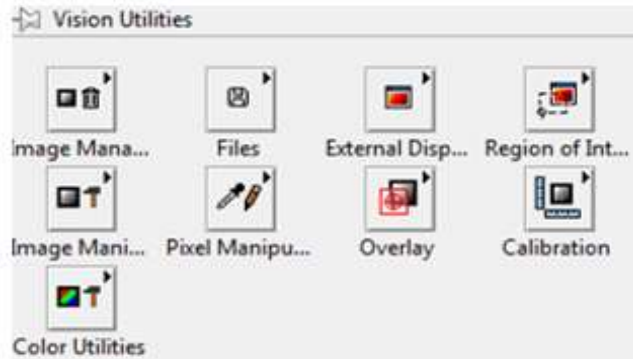
Este paquete es compatible con cámaras de diferentes fabricantes, evitando conflictos ocasionados por la incompatibilidad del hardware con el software.

IMAQ Vision para LabVIEW está organizado en tres grandes gamas de función:

2.7.1. Utilidades Visión

En la figura 10 se muestra las herramientas contenidas en utilidades de visión.

Figura 10: Visión utilidades IMAQ Labview



Fuente: (Labview 2011)

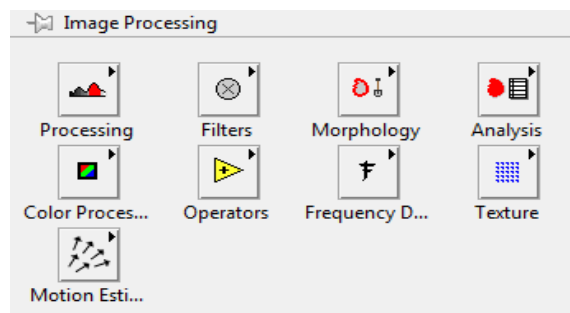
Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

Esta sección de utilidades de visión se proporcionan instrumentos para crear y manipular imágenes cambiar el formato a las imágenes, manipular pixeles, modificar tamaño de la imagen, regiones de interés, calibración.

2.7.2. Procesamiento de imágenes IMAQ Labview

En la figura 11 se muestra las herramientas contenidas en procesamiento de imágenes.

Figura 11: Procesamiento de imágenes IMAQ Labview



Fuente: (Labview 2011)

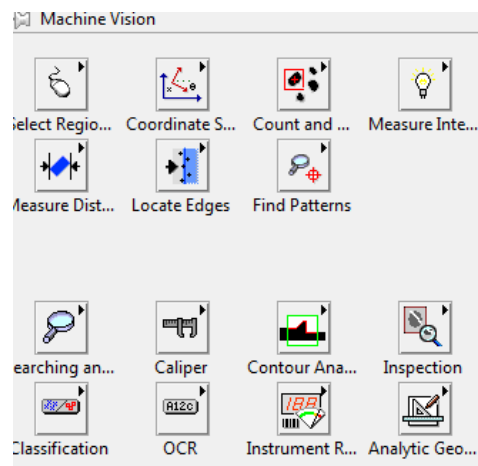
Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

Proporciona herramientas para procesar imágenes en escala de grises y binarios, filtrado para suavizar una imagen, eliminar el ruido, y encontrar los bordes de la imagen.

2.7.3. Visión artificial IMAQ Labview

En la figura 12 se muestran los instrumentos que se encuentran contenidos en visión artificial.

Figura 12: Visión artificial IMAQ Labview



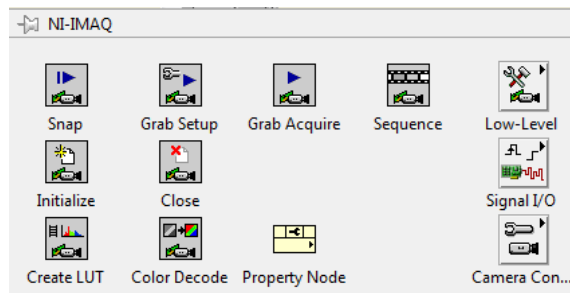
Fuente: (Labview 2011)

Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

Herramienta utilizada para llevar a cabo las tareas de inspección de visión artificial comunes, incluyendo la presencia o ausencia de partes en una imagen y la medición de las dimensiones de las piezas para ver si cumplen con las especificaciones. (NI Vision for LabVIEW Help)

Adicionalmente a estas herramientas también hay Vis (programas desarrollados con LabVIEW) que permiten controlar cámaras externas para configurar el sistema de adquisición de imágenes figura 13.

Figura 13: Útiles para la adquisición de imágenes IMAQ Labview



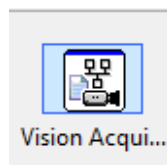
Fuente: (Labview 2011)

Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

2.7.4. Visión Express

Son herramientas adicionales que a través de un asistente se puede editar y configurar de manera rápida la adquisición de imágenes. En la figura 14 se muestra el icono para acceder al asistente de adquisición de visión.

Figura 14: Asistente de adquisición de imágenes IMAQ Labview



Fuente: (Labview 2011)

Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

2.8. Robots móviles con ruedas

Los robos con ruedas son diseñados para eliminar las limitaciones de los robos fijos, estos robots son utilizados para tener movilidad por superficies o terrenos complejos a altas velocidades y para transporte de materiales.

2.8.1. Robots omnidireccionales con cuatro ruedas

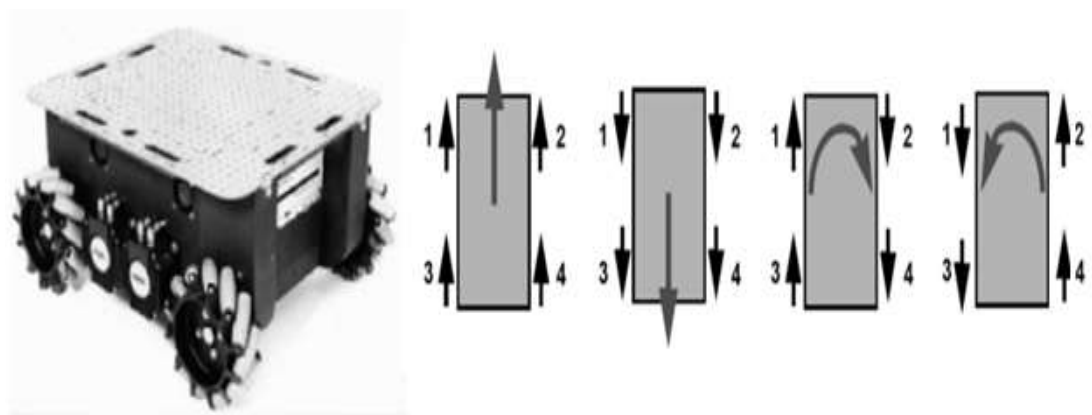
Son robots que poseen 3 grados de libertad, estos tipos de robot móviles se mueven en cualquier posición y en cualquier orientación en el plano (X, Y, Θ).

Los robots omnidireccionales pueden moverse en distintas direcciones utilizan una configuración de cuatro ruedas como se muestra en la figura 15, esta configuración utiliza un motor por cada rueda para obtener movimientos separados para girar en diversas direcciones o movimientos unidos para moverse en un mismo sentido como un solo sistema.

Estos tipos de robots pueden moverse de forma lineal o diagonal utilizando las siguientes configuraciones de movimientos:

- Movimientos hacia adelante o hacia atrás: Utiliza el movimiento de los motores a una misma dirección.
- Movimientos hacia la derecha o izquierda: Dos motores giran en un sentido y los otros dos en sentido contrario.

Figura 15: Robot omnidireccional y movimientos del robot



Fuente: (Autónomos Mobile Robots, pág.41)

Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

2.8.2. Servomotores

Los servomotores son pequeños motores acoplados a una caja de reducción constituida por engranajes que reducen la velocidad y multiplica la fuerza., estos motores son utilizados en el área de robótica por el torque que poseen. Estos motores vienen con un circuito para controlar el ángulo de giro de 0 a 180 grados, pero pueden ser modificados para obtener un ángulo de giro de 0 a 360 grados.

2.8.3. Servomotor Power Hd 1501mg

Este modelo de servomotor tiene en su interior una caja de reducción con engranajes de tipo metálicos como se muestra en la figura 16. Los engranajes metálicos permiten que el servomotor sea más sólido y fiable, este tipo de engranes metálicos permite mejorar su tiempo de vida útil e incrementa su rendimiento en fuerza.

Figura 16: Servomotor Power Hd



Fuente: (www.pololu.com)

Las características de este modelo de servomotor se muestran en el anexo 3.

2.9. Sensores

Para poder obtener información de las variables físicas como velocidad, temperatura cambio de posición, etc., se utiliza sensores los cuales no afectan la variable física solo captan la información y transforman en esta información en variables análogas o digitales para poder ser utilizadas por circuitos electrónicos.

2.9.1. Codificadores ópticos

“Estos sensores convierten un desplazamiento rotacional en una señal digital sin necesidad de convertidor analógico-digital”. (Olledo, 2001, pág. 170). Los codificadores ópticos más utilizados para el cálculo del movimiento de las ruedas de un robot móvil son los siguientes: Encoders y Sensores QRD.

2.9.2. Sensor QRD114

Son sensores infrarrojos de corto alcance están compuestos de un emisor de luz y un receptor los cuales se encuentran configurados verticalmente y apuntando a una misma dirección como se muestra en la figura 17, su funcionamiento está basado en la capacidad de reflexión de luz de los objetos. Por lo general estos sensores están diseñados para reconocer colores entre blanco y negro, se utilizan estos colores debido a su distinta forma de absorción de luz. El color negro absorbe toda la luz y no refleja ningún color, por otro lado el color blanco no absorbe la luz emitida y devuelve los colores reflejados. Por medio de esta configuración de ausencia o presencia de reflexión en el receptor el sensor qrd114 da a su salida variación de voltaje.

Figura 17: Sensor QRD114



Fuente: (www.pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/35354/QT/QRD1114.html)

Especificaciones técnicas del sensor QRD114 se muestra en el anexo 4.

2.9.3. Odometría con encoders incrementales

Debido a la existencia de una relación entre el posicionamiento del robot móvil y las técnicas de reconstrucción tridimensional se utiliza la técnica de odometría para el cálculo de posicionamiento del robot. La odometría es una técnica utilizada para la estimación del posicionamiento de robots, esta técnica es implementada comúnmente con codificadores ópticos los cuales se los ubica en las ruedas del robot para contabilizar el número de pulsaciones por giro de las ruedas que emite el codificador óptico. La odometría no determina el posicionamiento del robot, ya que acumula errores en la precisión de la medición durante el tiempo de recorrido, estos errores se deben a: Los diámetros de la ruedas no son iguales; Mal alineación de las ruedas; Resolución discreta del encoder. (Gonzales J, 2012, pág. 15)

2.9.3.1. Ecuaciones de recorrido con encoders incrementales

La ecuación (1) representa el factor de conversión para poder obtener las pulsaciones del encoder en centímetros, tanto de la rueda izquierda y derecha del robot, en esta ecuación se utiliza el radio de las ruedas, las constantes de segmentación por revolución de la rueda y la cantidad de pulsaciones que genera el encoder.

Ecuación 1: Desplazamiento del robot

$$S = \frac{R \times 2\pi \times C}{PPV}$$

Fuente: (Valencia, Montoya, 2009)

Donde:

- S= Distancia Recorrida (Facto de conversión).
- R= Radio de la rueda.
- PPV= Segmentación de la rueda.
- C= Pulsaciones por recorrido.

2.9.3.2. Ecuación de cambio de dirección con encoders incrementales

Para el cálculo de cambio de dirección del robot se utiliza la longitud entre las ruedas, y también se utiliza el número de pulsaciones del encoder en cada rueda. Para el cálculo de la orientación del robot se emplea la ecuación (2), obteniendo las siguientes ecuaciones de desplazamiento para cada llanta del robot respectivamente.

Ecuación 2: Desplazamiento del robot para cada rueda del robot

$$S_{izquierda} = \frac{R \times 2\pi \times C}{PPV}$$

$$S_{derecha} = \frac{R \times 2\pi \times C}{PPV}$$

Fuente: (Valencia, Montoya, 2009)

Al combinar las ecuaciones (1) y (2) se obtiene la ecuación 3 que representan la rotación del robot.

Ecuación 3: Rotación del robot

$$\theta = S \times \frac{S_{derecha} - S_{izquierda}}{2l}$$

Fuente: (Valencia, Montoya, 2009)

Donde:

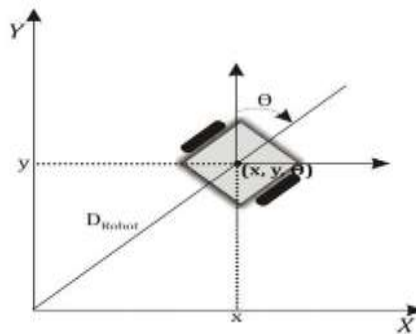
- θ = Angulo de rotación del robot.
- S = Distancia Recorrida (Facto de conversión).
- $S_{Derecha}$ = Desplazamiento rueda derecha.

- $S Izquierda$ = Desplazamiento rueda izquierda.
- l = Longitud entre ruedas.

2.9.3.3. Posicionamiento del robot en el plano

La orientación del robot móvil se encuentra representada en el plano cartesiano x, y con un ángulo de inclinación θ , como se muestra en a figura 3.

Figura 18: Posición del robot en el plano cartesiano



Fuente: (Mújica, 2008)

Para el cálculo de la posición del robot en el plano cartesiano se utiliza las ecuaciones de odometría (1), (2) y (3). Obteniendo la ecuación (4) que representan el posicionamiento del robot en coordenadas (x, y) en el plano.

Ecuación 4: Ecuaciones de posicionamiento del robot en el plano

$$x = \left(\frac{S izquierda + S derecha}{2} \right) \times \sin \theta + x_0$$

$$y = \left(\frac{S izquierda + S derecha}{2} \right) \times \cos \theta + y_0$$

Fuente: (Mújica, 2008)

2.9.3.4. Traslación y Rotación del robot

Los movimientos efectuados por un robot, así como el movimiento de algunas de sus piezas, conlleva a aplicar métodos que requieren de una representación conjunta de la posición y de la orientación, para ello se utilizan matrices que representan la traslación y rotación efectuadas por el robot. (Pertuz, 2012). La traslación consiste en mover el robot a cierta distancia en una determinada dirección.

Por lo tanto la matriz homogénea que determina la traslación está dada por la ecuación 5.

Ecuación 5: Matriz de traslación del robot

$$T(P) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x \\ 0 & 1 & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Fuente: (Pertuz, 2012)

La matriz de rotación utilizadas para calcular la rotación del robot alrededor de los ejes en coordenados (x, y, z) se calcula utilizando la ecuación 6.

Ecuación 6: Matriz para el cálculo de rotacion del robot

$$R(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$R(y, \varnothing) = \begin{bmatrix} \cos \varnothing & 0 & \sin \varnothing \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varnothing & 0 & \cos \varnothing \end{bmatrix}$$

$$R(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Fuente: (Pertuz, 2012)

2.9.3.5. Ecuación para el cálculo del ángulo de rotación de las cámaras

Debido a que existe una relación matemática entre el ángulo de rotación de las cámaras y el procesamiento de las imágenes, se utiliza el método de odometría con la ecuación 7, para calcular el ángulo de giro de las cámaras por medio de encoders.

Ecuación 7: Ecuación para cálculo de rotación de las cámaras

$$\varnothing = \frac{360 \times C}{PPV}$$

Fuente: (Valencia, Montoya, 2009)

Con la ecuación 7, se obtiene el ángulo de giro de las cámaras, girando sobre un propio eje con un grado de libertad de 360 grados, las medidas del ángulo de giro depende de la cantidad de segmentos por revolución de la rueda de sentido del encoder.

2.10. Microcontrolador

En el proyecto se utilizó el microcontrolador AVR de la familia ATMEGA, debido principalmente a la experiencia de programación manejo y control de estos microcontroladores a comparación de otras marcas como PIC, FREESCAL y MOTOROLA.

Tabla 1: Comparación entre familias de microcontroladores

CARACTERÍSTICAS	PIC MICROCHIP	AVR ATMEGA	FREESCAL E68HC705	MOTOROLA MC68B701S
Facilidad de Adquisición	X	X		
Bajo Costo	X	X	X	X
Aprendizaje de programación	X	X		
Bajo consumo de energía	X	X	X	X
Disponibilidad de información en la web	X	X	X	X

Fuente: (López & Oñate, 2014)

Refiriéndose a la tabla 1 la facilidad de adquisición de los microcontroladores PIC y AVR en nuestra ciudad Quito, Ecuador, resulta de muy fácil adquisición ya que tiendas de electrónica disponen mayormente de estas dos marcas de microcontroladores.

Los costos en el mercado internacional de los microcontroladores mencionados en la tabla 1 son muy bajos estos microcontroladores varían entre 6 a 10 dólares en el mercado internacional, los costos en nuestro mercado son muy bajos referidos a los microcontroladores AVR y PIC ya que en nuestra ciudad Quito, Ecuador no es de muy fácil adquisición los microcontroladores FREESCAL y MOTOROLA.

El aprendizaje del lenguaje de programación de los microcontroladores AVR y PIC resulta de fácil programación ya que en la carrera de electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana se dicta la materia de Sistemas Microprocesados y Programación Básica donde se estudia el manejo y control de microcontroladores PIC y AVR.

El consumo de energía para los cuatro microcontroladores de la tabla 1 resulta bajo, ya que estos microcontroladores funcionan en un rango de voltaje entre 3.5v a 8v, esta energía se la puede suministrar utilizando simplemente baterías u otra fuente de alimentación.

Como último punto de comparación entre los microcontroladores en la tabla 1 es la disponibilidad de recursos e información en la web, para los cuatro microcontroladores mencionados en la tabla 1 resulta de muy fácil recopilación de información para la creación de proyectos o aplicaciones ya que se puede recopilar información en toda la web de tutoriales, manuales, creación de aplicaciones con estas clases de microcontroladores, la información que se puede recopilar hoy en día se puede encontrar en foros, blogs y en video guías lo cual resulta de gran ayuda al momento de realizar proyectos.

Para la realización de este proyecto se escogió el microcontrolador AVR de la familia ATMEGA, debido a la experiencia que se tiene en el manejo, control y programación con estos microcontroladores.

2.10.1. ATMEGA16

Es un microcontrolador conformado por 40 pines y una velocidad de procesamiento cercano a 1 MIPS por MHZ, es uno de los microcontroladores de la familia ATMEGA economico y mas completos ya que posee mas puertos de entrada y salida que los microcontroladores atmega de numeracion inferio, posee puertos de entrada analogos, conversion analogo digital, puertos de modulacion pwm, etc.

Este microcontrolador presenta diferentes funcionalidades para la realizacion de una variedad de proyectos y facilidad de programacion en la actualidad existe gran cantidad de libros y paginas dedicadas a la programacion y construccion de circuitos electronicos basados en programacion con este miconcontrolador. (Chicaiza & Reyes, 2013)

Las características y datasheet del microcontrolador ATMEGA16 se observan en el anexo 5.

2.11. Comunicación entre dispositivos

A continuación se presenta los medios utilizados en este proyecto.

2.11.1. Comunicación Serial

Se denomina comunicación serial o serie debido a que se realiza la trasmisión y recepción de bits uno tras de otro a través en intervalos de tiempo sobre un canal de comunicación o sobre un bus de computadora. Las comunicaciones seriales más comunes utilizan el protocolo RS-232 con conector DB9 Las velocidades que comúnmente son utilizadas para la trasmisión de bits entre un microcontrolador y un pc es de 9600 baudios, con una tensión del protocolo RS-232 de -12V que representa digitalmente como (1) y +15V que se representa digitalmente como (0).

El protocolo RS-232 utiliza 3 cables para su comunicación:

- TXD: Señal de salida o escritura de datos.

- RXD: Señal de entrada o lectura de datos.
- SG: Tierra de referencia.

2.11.2. Comunicación inalámbrica Bluetooth

Bluetooth es un protocolo de comunicación inalámbrico de las redes WPAN que son redes inalámbricas de área personal. La comunicación bluetooth utiliza radiofrecuencia para su comunicación, esta tecnología es utilizada para realizar intercambio de datos a grandes velocidades y corto alcance su distancia va entre 10 a 20 metros dependiendo la antena y el modulo utilizados, estas comunicaciones se las realiza sin necesidad de cables ni conectores físicos. (Rodil & Pardo de Vega, 2010)

La comunicación por bluetooth ofrece diferentes ventajas a la hora de realizar intercambio de datos:

- Eliminación de cables.
- Facilidad de transmisión de datos.
- Fácil control de dispositivos.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE HARDWARE Y SOFTWARE

En este capítulo se analizará los procesos de visión artificial y la programación basada en la herramienta IMAQ del software Labview para la adquisición, filtrado y preprocesamiento de imágenes.

También se presenta el diseño del hardware y el desarrollo del software para la comunicación entre software y hardware, el movimiento y cálculos de posición del robot móvil.

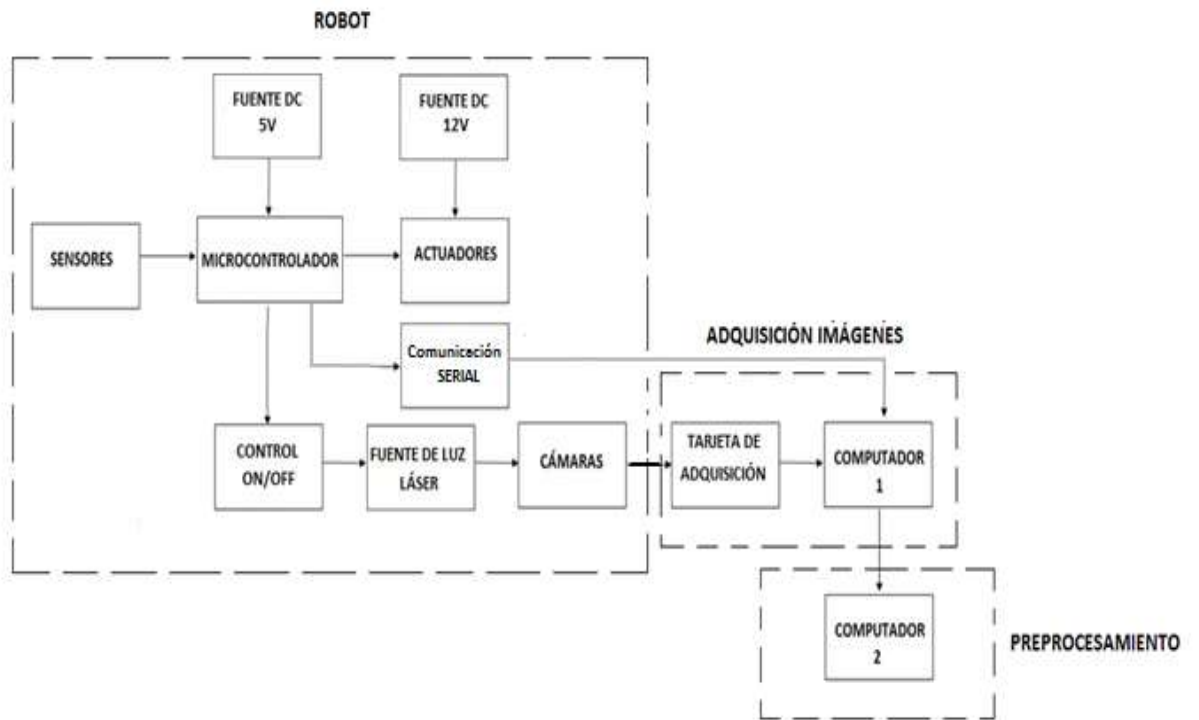
3.1. Diseño de hardware

Se analizará el diagrama de bloques del sistema del robot móvil y del escáner tridimensional para describir el funcionamiento de cada una de las etapas que conforman y permiten su funcionalidad.

3.1.1. Diagrama de bloques

Las etapas que forman parte del diagrama de bloques del hardware del robot móvil y escáner tridimensional son: Fuentes de alimentación continua, microcontrolador para el control de movimiento del robot y movimiento de cámaras, sensores para el cálculo de recorrido del robot, actuadores, control on/off para encendido y apagado del láser, comunicación serial para control de movimiento, fuente de luz láser, cámaras, tarjeta de adquisición para obtener la captura de imágenes de las cámaras, computador 1 para el control del robot y adquisición de imágenes, computador 2 para procesamiento de imágenes, todos los sistemas mencionados se presentan en la figura 19.

Figura 19: Sistema de robot móvil escáner tridimensional



Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

3.1.2. Robot

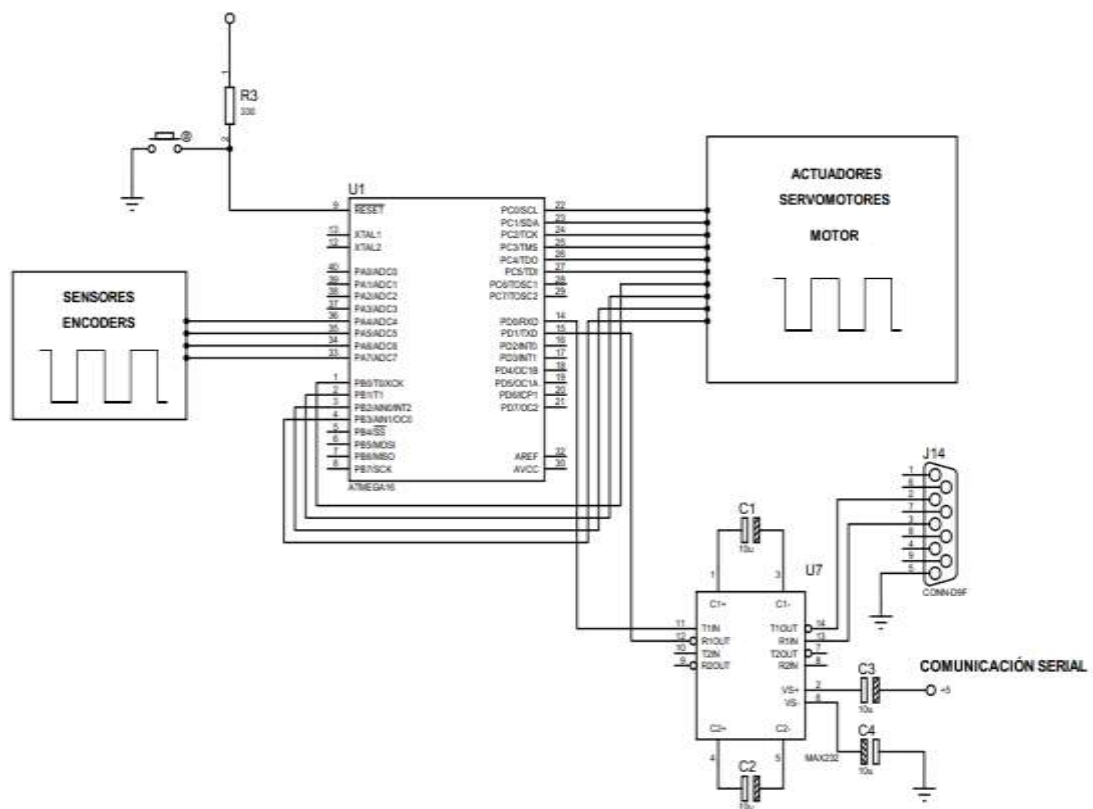
A continuación se describe la etapa que conforma al robot móvil con sus respectivos elementos que permiten su funcionamiento en el diagrama de bloque de hardware general.

3.1.2.1. Microcontrolador

El microcontrolador es el encargado de recibir la señal digital de los sensores ópticos por los pines 4, 5, 6 y 7 del puerto A, estos sensores son utilizados para contabilizar el número de pulsaciones recibidas cuando el robot móvil se traslada o rota y para el número de pulsaciones de rotación de las cámaras, estos datos contabilizados de los sensores son enviados a través del pin 15 del puerto D del microcontrolador, los pines 14 y 15 del puerto D del microcontrolador trabajan como puerto de comunicación serial para la lectura y escritura de datos. Los datos de contabilización de los sensores

son receptados por el computador principal a una velocidad de 9600 baudios, estos datos son utilizados para el cálculo de la traslación y rotación del robot móvil, y el cálculo del ángulo de rotación de las cámaras. Además el microcontrolador recibe datos de forma de cadena de texto a una velocidad de 9600 baudios del computador principal para el control del movimiento y rotación del robot móvil y de las cámaras. Los pines 22, 23, 24, 25, 26 y 27 del puerto C, y los pines 1, 2, 3 y 4 del puerto B, son utilizados de salida de señal digital para el movimiento control de los servomotores los cuales son utilizados para realizar los movimientos del robot móvil y de las cámaras, tal como se muestra en la figura 20.

Figura 20: Puertos utilizados en el microcontrolador ATMEGA 16



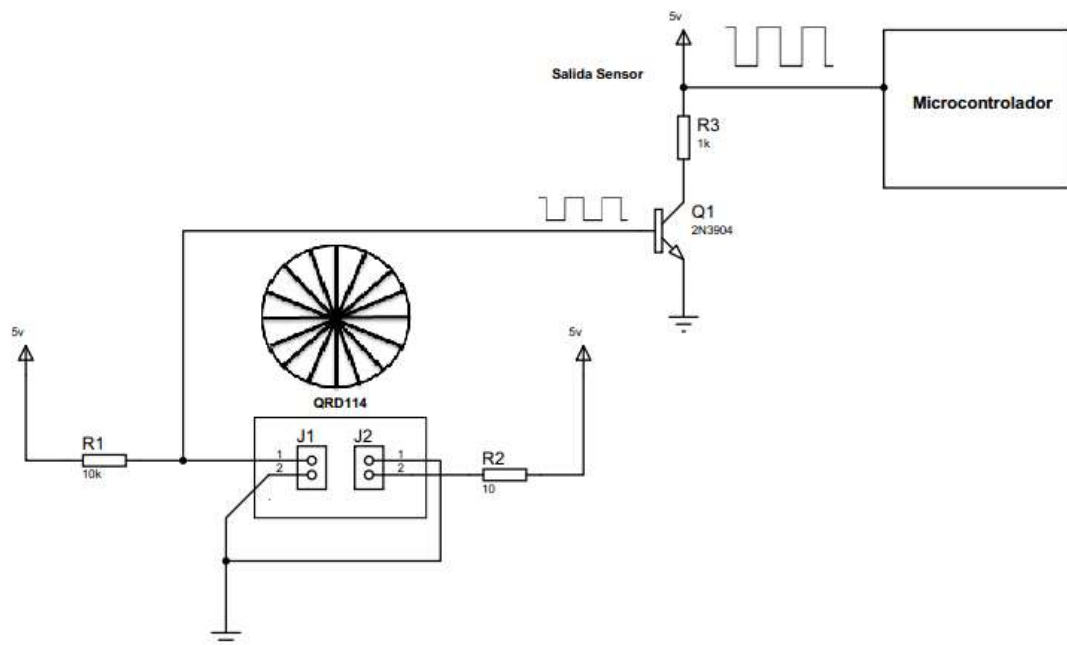
Elaborado por: Juan Musuña & Ricardo Zapata

3.1.2.2. Sensores

Se utilizó cuatro sensores QRD114 para el cálculo de la distancia de recorrido y cambio de posición del robot, estos sensores brindan una distancia máxima de sensado de 5cm, estos sensores se encuentran ubicados atrás de las cuatro ruedas de robot para la transmisión de pulsos y generación de onda cuadrada (1 o 0 digital).

Para la transmisión de pulsos de sensor QRD 114 se utilizó la configuración de la figura 21 para la polarización del sensor y amplificación de voltaje de salida, que a continuación se describe.

Figura 21: Circuito de polarización y switch para sensor QRD114



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

El circuito consta de un transistor 2N3904 configurado de forma switch, el cual permite amplificar la señal de salida del sensor QRD114 de 2.3 voltios a un valor de voltaje de 5 voltios de corriente continua, este circuito también utiliza las resistencias de 10 K Ω para polarizar al diodo receptor y de 10 Ω para polarizar el diodo emisor, la resistencia

de 10Ω permite aumentar el flujo de corriente que circula al receptor para obtener una distancia de censado de 4 cm.

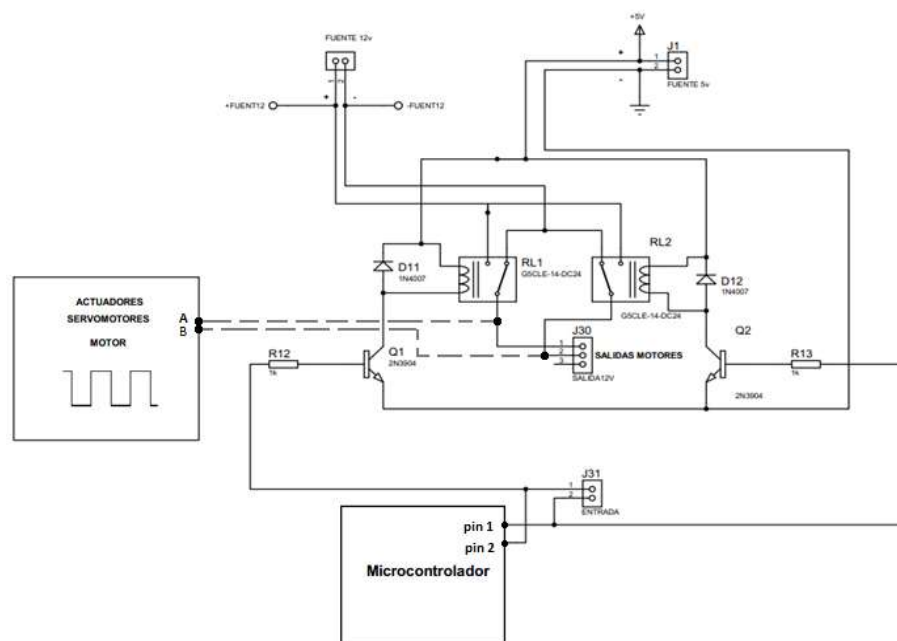
3.12.3. Actuadores

Se utilizó como actuadores 5 servomotores los cuales hacen mover al robot, y hace rotar las cámaras. Para el control de movimiento de los motores se utilizó puentes H con relés que a continuación se describe y se muestra el esquema electrónico del puente H con relés.

3.1.2.4. Puente H con relés

Los servomotores que permiten el movimiento del robot se encuentran acoplados con un circuito de puente H que se muestra en a figura 22, este circuito se utilizó para suministrar 12 voltios DC a los servomotores con lo cual se puede controlar grandes cantidades de corriente, y también para tener mayor velocidad de los servomotores, este circuito también se utilizó para poder cambiar el sentido de rotación de los servomotores, con lo cual se puede cambiar la orientación del robot.

Figura 22: Esquema de puente H



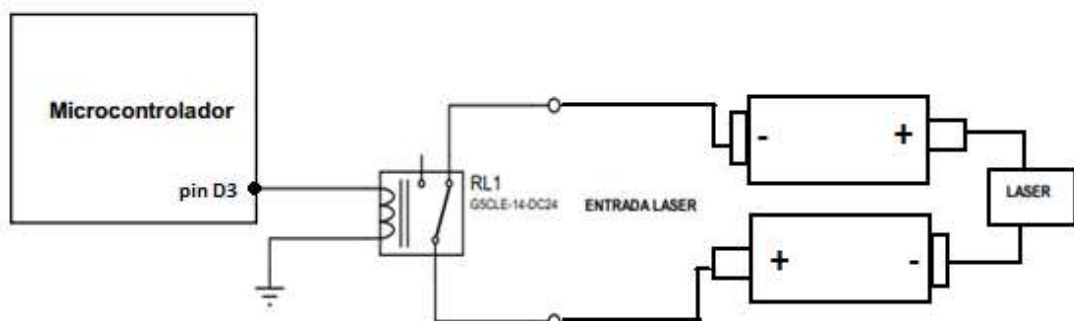
Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

El circuito de puente H se encuentra formado por 2 resistencias, 2 transistores TBJ NPN configurados en modo switch, 2 relés para incrementar el voltaje y 2 Diodos rectificadores para protección de regreso de corriente, el circuito al no recibir la señal del pin 1 y pin 2 del microcontrolador no se cierran los transistores Q1 y Q2 por lo tanto el circuito se encuentra en reposo y no envía ninguna señal a los relés RL1 y RL2 para el control del actuador, cuando el microcontrolador activa el pin 1 el transistor Q1 recibe la señal y hace conmutar al relé RL1 el cual envía a su salida 12 voltios al terminal A y 0 voltios al terminal B del servomotor, haciendo girar hacia adelante al servomotor, cuando el microcontrolador activa el pin 2 el transistor Q2 se activa y hace conmutar al relé RL2 enviando 12 voltios al terminal B y 0 voltios al terminal A del servomotor, haciendo girar hacia atrás al servomotor.

3.1.2.5. Control On/Off para control de láser

El circuito que se muestra en la figura 23 se utilizó para el control de encendido y apagado del láser, este circuito está compuesto por un relé de 5 voltios a 10 amperios, al enviar la señal el microcontrolador por el pin D3 el relé conmuta y cierra su switch interno, cerrando el circuito de las baterías que se encuentran configuradas opuestamente para sumar sus voltajes, al cerrar el circuito el láser queda energizando y encendido.

Figura 23: Circuito control on/off

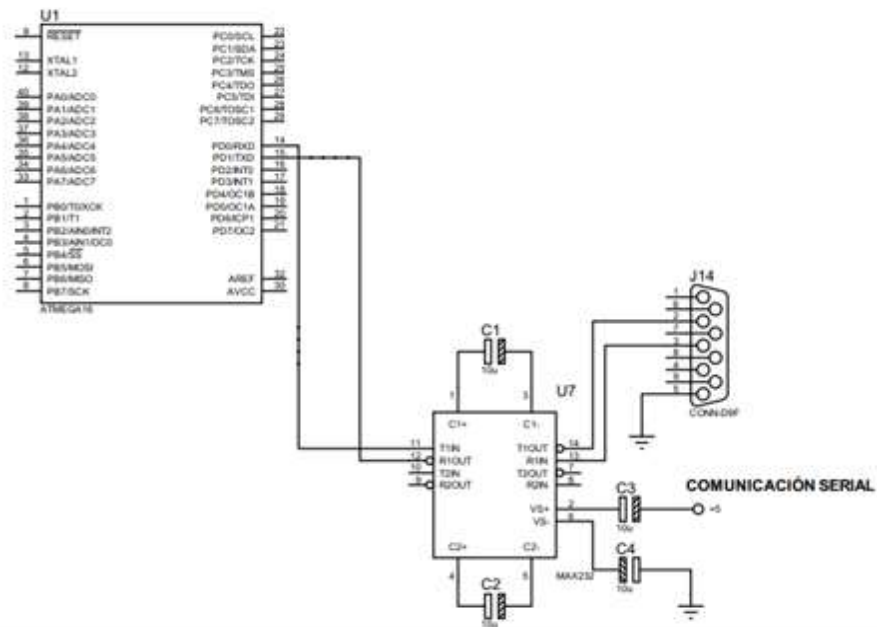


Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

3.1.2.6. Transmisión Serial

Para la transmisión serial se utilizó las líneas de lectura y escritura de datos del circuito integrado MAX 232, el circuito de comunicación serial de la figura 24 está conformada por 4 capacitores, 1 circuito integrado MAX 232 y un puerto DB9 hembra, a continuación se describe el funcionamiento del circuito.

Figura 24: Circuito de comunicación serial



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

El circuito integrado MAX 232 recibe y envía señales con un protocolo de comunicación RS-232, que es un protocolo de comunicación serial que trabaja a ± 12 voltios, el microcontrolador envía una señal por el puerto RX de 5 voltios en su trama de comunicación la cual recibe el integrado MAX 232 por su puerto TX, e incrementa su valor de voltaje por medio de la carga y descarga del capacitor C1, enviando luego la señal con el protocolo RS-232 al conector DB9 para la comunicación con el computador 1, el computador 1 envía una trama de escritura por el puerto DB9 y la pasa al integrado el cual por medio del capacitor C2 reduce el voltaje y trasmite la trama del puerto TX del integrado MAX 232 al puerto RX del microcontrolador.

3.1.3. Adquisición y Procesamiento de Imágenes

A continuación se menciona y se describe los elementos utilizados en las etapas de adquisición procesamiento de imágenes, también se describe la su funcionalidad de los elementos en el sistema que conforma el escáner tridimensional.

3.1.3.1. Cámaras

Las cámaras o sensores ópticos se encuentran conectadas a los puertos USB de la computadora 1 y acopladas a lo servomotor que se encuentra en la parte superior del robot, para la adquisición de imágenes.

Figura 25: Base para rotación de cámaras



Imagen: Juan Musuña & Byron Zapata

La figura 25 muestra la base para el soporte de las cámaras que se utilizó para la etapa de adquisición de imágenes, la separación entre las cámara 1 y cámara 2 se utilizó para la medición de la distancia focal y la distancia entre la cámara 1 y el láser y la distancia entre cámara 2 y laser, se utilizado para la ecuación de la etapa de captura y cálculo de profundidades.

3.1.3.2. Computadoras

Se utilizó el computador 1 para la etapa de adquisición de imágenes y el computador 2 para la etapa de procesamiento de imágenes, el computador 1 y el computador 2 se encuentran conectados por medio de una red Bluetooth y por una red Wifi como se muestra en a figura 26, en el computador 1 se encuentran conectadas las cámaras por el puerto USB, en el computador 1 se almacena las imágenes y son transferidas al computador 2 por medio de la red Wifi (ad hoc), el computador 2 es el encargado de recibir las imágenes y procesarlas, el computador 2 también realiza la función de interfaz con el usuario para el control de los movimientos del robot utilizando la red Bluetooth para enviar la orden de movimiento al computador 1 y este al microcontrolador para efectuar los movimientos del robot.

Figura 26: Computadores de adquisición y procesamiento de imágenes



Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

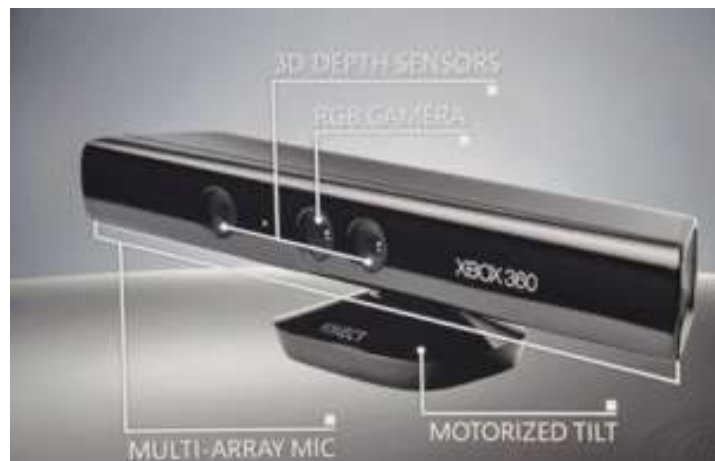
Las características de los computadores se indican en los anexo 6 y anexo 7 respectivamente.

3.1.3.3. Kinect

Es un dispositivo desarrollado para captar comandos de voz mediante micrófonos, y movimientos del cuerpo humano por medio de cámaras, permitiendo la interacción de usuario con la máquina sin necesidad de cables o mandos conectados al dispositivo, este dispositivo está conformado principalmente por: Proyector de laser infrarrojo el cual emite una serie de puntos invisibles al ojo humano, sensor de imagen CMOS IR el cual detecta los puntos proyectados por la emisión del láser infrarrojo, y un sensor de imagen CMOS RGB el cual permite obtener los colores de las imágenes adquiridas. Mediante la alineación en el eje x del Proyector de laser infrarrojo y el sensor CMOS IR, separados a una distancia de 75mm permite el cálculo de profundidad de los objetos. (Lumbier, 2012)

En la figura 27 se muestra el dispositivo Kinect y la ubicación de los sensores.

Figura 27: Dispositivo Kinect

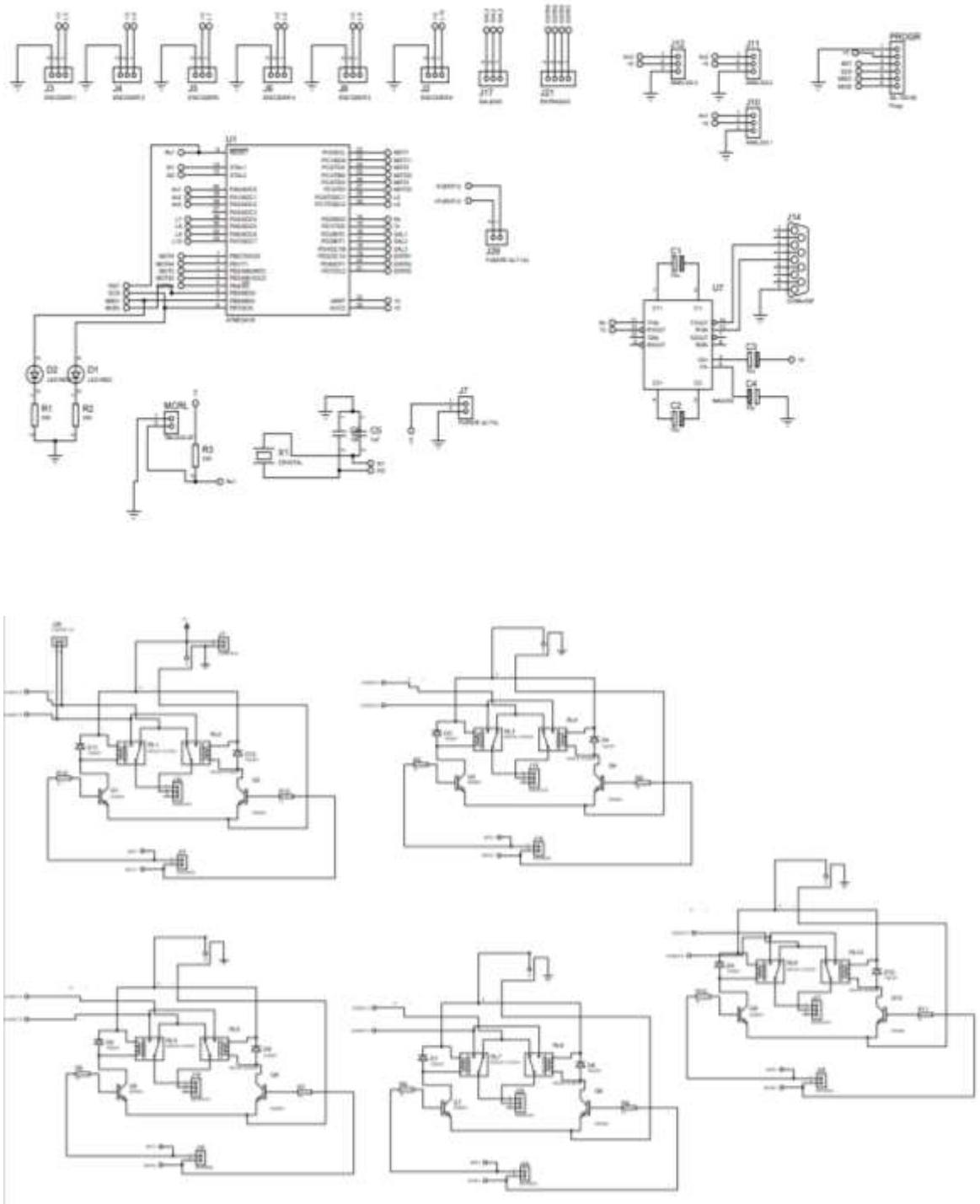


Fuente: (Reconocimiento de objetos mediante sensor 3d kinect , 2012, pág.-30)

3.1.4. Diagrama Esquemático de control del robot completo

En la figura 28 se muestra la circuitería completa correspondiente al control del robot, esta circuitería se encuentra conformada por los elementos antes mencionados en este capítulo de la etapa de robot.

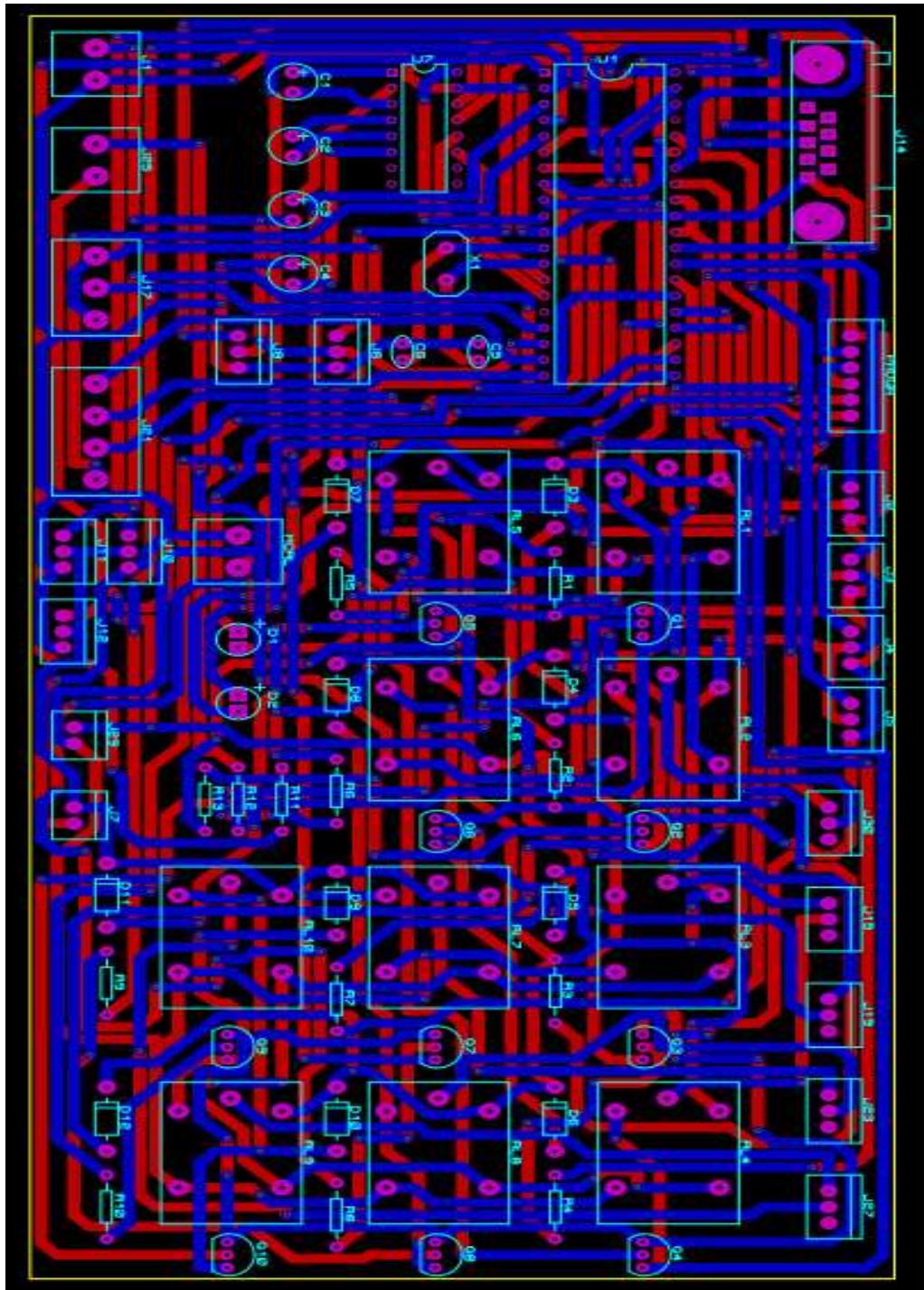
Figura 28: Diseño completo de circuito que conforma el robot



Elaborador por: Juan Musuña, Byron Zapata

En la figura 29 se muestra el ruteo de pistas elaborado en el software ARES para la fabricación de la placa electrónica.

Figura 29: Ruteado de pista del circuito de control del robot



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

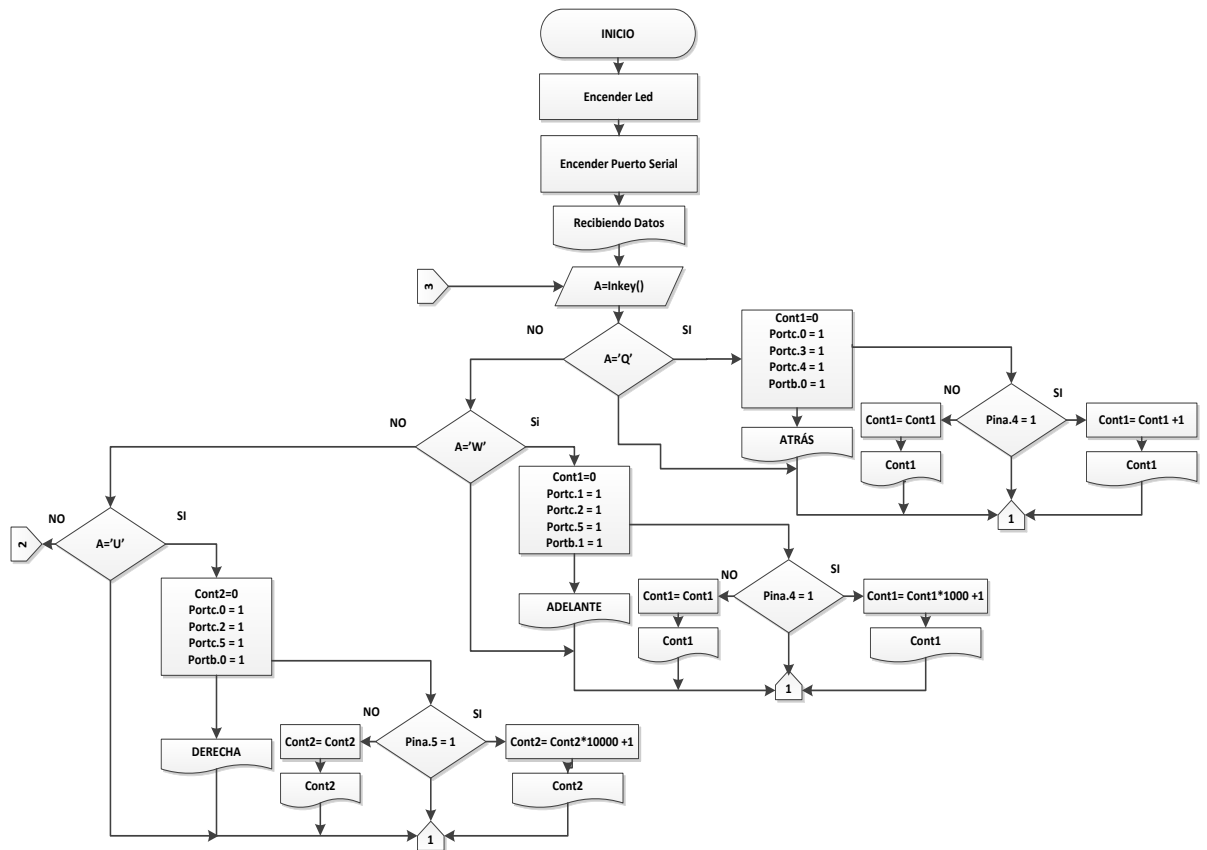
3.2. Desarrollo del software

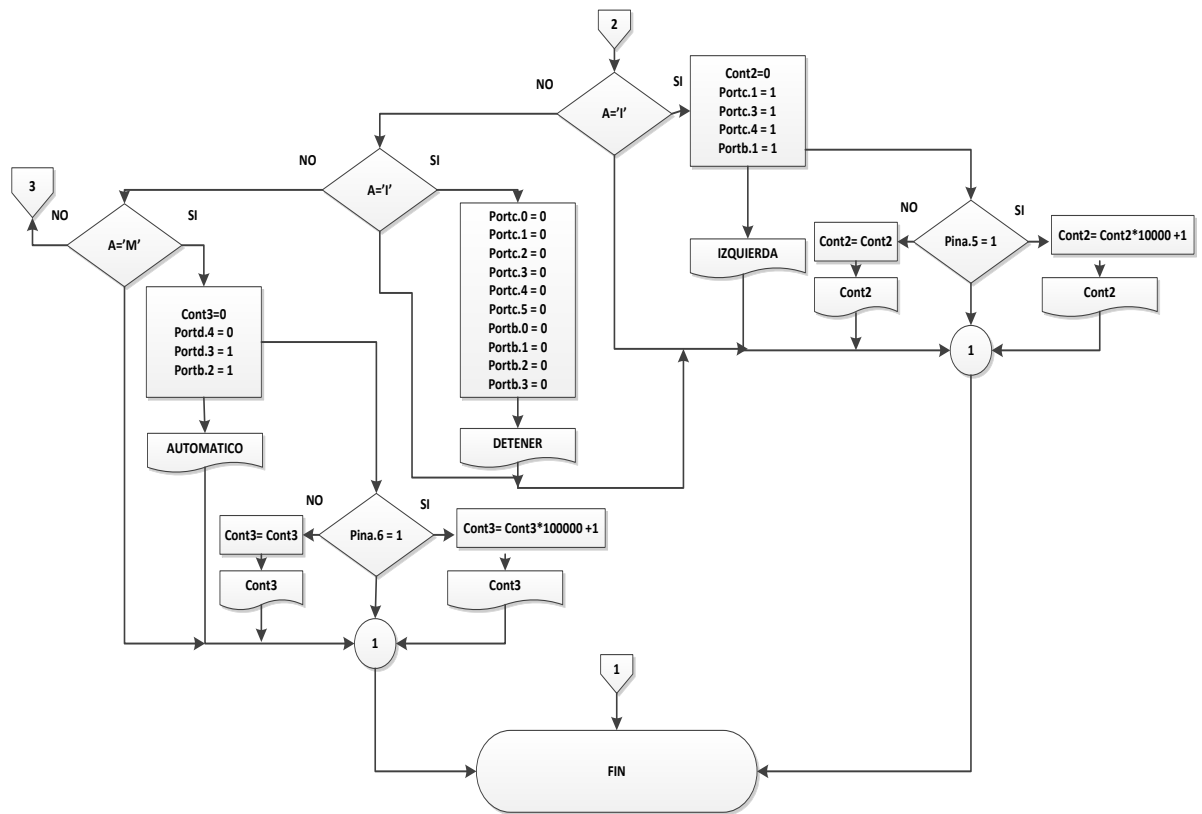
Se analizaron los diagramas de flujo de las 3 etapas que forman parte del sistema de escáner tridimensional, se describirá el diagrama de flujo del microcontrolador ATMEGA 16, el diagrama de flujo para la adquisición de imágenes y finalmente el diagrama de flujo para el procesamiento y reconstrucción tridimensional de imágenes

3.2.1. Diagrama de flujo general del sistema de control del robot

A continuación se describe la programación de software mediante el diagrama de flujo que se muestra en la figura 30, el diagrama de flujo muestra la programación que se desarrolló para el control de movimiento del robot y las cámaras, adquisición de señales de los sensores y para transmisión y recepción de datos por comunicación serial entre el microcontrolador y el computador.

Figura 30: Diagrama de flujo de la etapa de control del robot





Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

- 1.- Se da inicio al algoritmo, se configura la velocidad del oscilador interno a 4 MHZ y la velocidad de transmisión serial baud a 9600 baudios, se configura el puerto B, puerto C, puerto D.3 y puerto D.4 del microcontrolador como salidas, se declara las variables A para almacenar los datos de la comunicación serial, Cont1, Cont2, Cont3, para el contabilizar los pulsos que envían los encoders.
- 2.- Se enciende un led correspondiente al pin B.6 del microcontrolador para alertar que el robot se encuentra listo para su funcionamiento.
- 3.- Al dar paso a la siguiente instrucción se activa el puerto de comunicación serial RX en espera de un dato para dar funcionamiento al robot.
- 4.- Por medio del encendido del puerto de comunicación serial, se comprueba la comunicación enviando el siguiente mensaje por el puerto TX; “Recibiendo Datos”,

este mensaje sirve para dar aviso al usuario que el robot está listo para recibir las instrucciones.

5.- Cuando el microcontrolador ha recibido datos por el puerto TX, estos datos de forma string son almacenados en una variable A.

6.- La variable A tipo string se utiliza para realizar comparaciones, si la variable A es igual a 'Q' se enciende los puertos: Portc.0, Portc.3, Portc.4 y Portb.0 y el contador 1 toma el valor de 0.

7.- Se muestra en consola la orientación hacia adelante del robot.

8.- Si el pinA.4 que pertenece al encoder 1 recibe un 1 lógico Cont1 incrementa su valor en 1 cada vez que el encoder envía un 1 lógico, caso contrario Cont1 toma el último valor registrado.

9.- El valor del contador se indica en pantalla y se envía el valor por el puerto TX.

10.- Si la variable A tipo string es igual a 'W' se enciende los puertos: Portc.1, Portc.2 Portc.5, Portb.1, y el contador Cont1 toma el valor de 0.

11.- Después de haber recibido el valor del string se muestra en consola la orientación hacia adelante del robot.

12.- Si el pinA.4 recibe un 1 lógico el contador 1 se multiplica por 1000, el valor resultante de la multiplicación de Cont1 se suma 1 cada vez que el encoder envía un 1 lógico, caso contrario Cont1 toma el último valor

13.- Se muestra en consola y se envía por el puerto TX el valor del contador Cont1.

14.- Para el giro hacia la derecha se compara la variable A, si igual a 'U' se enciende los puertos: Portc.0, Portc.2 Portc.5, Portb.0, y se inicializa el contador Cont2 en el valor de 0.

15.- Al comparar la variable A si es igual a 'U' se muestra en consola la orientación del robot hacia la derecha.

16.- Si con la comparación y el pinA.5 recibe un 1 lógico Cont2 se multiplica por 10000 y se suma 1 cada vez que el encoder envía un 1 lógico, caso contrario Cont2 toma el último valor.

17.- El valor de Cont2 es mostrado en pantalla y enviado por el puerto TX.

18- Para el giro hacia la izquierda se compara la variable A si igual a 'I' se enciende los siguientes puertos: Portc.1, Portc.3, Portc.4, Portb.1, y se inicializa el contador Cont2 en el valor de 0.

19.- Si la variable A es igual a 'I' se muestra en consola la orientación del robot hacia la izquierda.

20.- Si el pinA.5 que pertenece el encoder 2 recibe un 1 lógico Cont2 se multiplica por 100000 y se suma 1 cada vez que el encoder envía un 1 lógico, caso contrario Cont2 toma el último valor.

21.- El valor de Cont2 es mostrado en pantalla y enviado por el puerto TX.

22- Se realiza la rotación de las cámaras en sentido de giro de las manecillas del reloj al comparar la variable A si igual a 'M' se enciende el puerto Portb.2, y se inicializa el contador Cont3 en el valor de 0.

23.- Al ser comparado la variable A con 'M' se muestra en consola la palabra 'automático' que representa la rotación de las cámaras.

24.- Si el pinA.6 que pertenece el encoder 3 recibe un 1 lógico Cont3 se multiplica por 1000000 y se suma 1 cada vez que el encoder envía un 1 lógico, caso contrario Cont3 toma el último valor.

25.- Se muestra el valor de Cont3 en pantalla y se envía por el puerto TX.

26.- Para detener a los actuadores se compara la variable A con 'T' y se enciende el apagan los puertos Portc.0, Portc.1, Portc.2, Portc.3, Portc.4, Portc.5, Portb.0, Portb.1, Portb.2 y Portb.3.

27.- Si la variable A es igual a 'T' se muestra en pantalla 'Detener'.

28.- Si la variable A no es comparable con ninguna función se regresa enlaza con la línea de código que pertenece a la comparación de strings.

29.- Fin del proceso.

3.2.2 Diagrama de flujo para adquisición de imágenes

En la figura 31 se muestra el diagrama de flujo desarrollado en Labview para la parte de adquisición de imágenes y envío de datos para el control de movimiento del robot y de las cámaras.

- 3.- Visualización de las capturas de imágenes en vivo.
- 4.- Creación de botones para el control de los procesos de movimiento del robot y rotación de las cámaras.
- 5.- El algoritmo queda en espera de la siguiente instrucción, si se presiona el botón de Play el programa pasa a la etapa de captura de imagen.
- 6.- Si el botón de Play toma el valor de 1, se procede a enviar la letra 'M' por el puerto de comunicación serial TX, captura las imágenes con un tiempo de espera de 1 segundo.
- 7.- Con la captura de la primera imagen se toma los valores del desplazamiento y rotación del robot y se incrementa en 1 en cada el valor del ángulo, contador y desplazamiento,
- 8.- Se guarda las imágenes con los valores del ángulo, contador y desplazamiento registrados por el robot.
- 9.- Si el valor de contador almacenado en la variable Despla registrado por los encoder es menor que 100 se identifica que es un valor de desplazamiento para adelante, se aplica la fórmula de cálculo de recorrido odometrico y se almacena el valor en la variable SenDes.
- 10.- Cuando el valor de la variable Despla toma valores entre 101 y 1000 se identifica que es un valor de desplazamiento para atrás, se aplica la fórmula de cálculo de recorrido odometrico, se le asigna el signo negativo y se almacena en la variable SenDes para identificar el tipo de desplazamiento.
- 11.- Para el cálculo de rotación del robot se toma el valor de la variable Ang que pertenece a valor registrado por los encoder de rotación y se compara, si el valor es mayor que 1000 y menor que 10000, se asigna a un valor de rotación en sentido de

giro de las manecillas del reloj, se aplica la fórmula de cálculo de rotación odometrico y se almacena el valor en la variable SenAng.

12.- Si el valor de la variable Ang se encuentra en un valor entre 10001 y 100000, estos valores son representados para una rotación en sentido contrario a las manecillas del reloj, los valores pertenecientes al rango se les aplica la fórmula de cálculo de rotación odometrica, se le asigna el signo negativo y se almacena en la variable SenAng para identificar el tipo de desplazamiento.

13.- Para el movimiento del robot se asigna un string (letra) diferente para cada movimiento que se desee que el robot realice, y se escribe el valor del string en la variable Write Buffer la cual envía el string por el puerto de comunicación serial TX.

14.- Si se presiona el botón Adelante se asigna al string la letra 'Q' a la variable Write Buffer para luego ser enviado el string por el puerto serial al microcontrolador.

15.- Se muestra en pantalla 'ADELANTE' para identificar el movimiento.

16.- Al presionar el botón Atrás se le asigna al string la letra 'W' a la variable Write Buffer y se envía el string por el puerto serial al microcontrolador.

17.- Después de presionar el botón atrás y enviar la letra 'W' por el puerto serial se muestra en pantalla 'ATRAS' para identificar el movimiento.

18.- Si se presiona el botón Izquierda se asigna la letra 'I' al string y se guarda en la variable write buffer y esta letra del string es enviada por el puerto serial al microcontrolador.

19.- Se muestra en pantalla 'IZQUIERDA' representando el movimiento del robot.

21.- Cuando se presiona el botón Derecha, a la variable string se asigna la letra 'U' y después es guardada en la variable write buffer, esta letra del string es enviada por el puerto serial al microcontrolador.

22.- Para el reconocimiento del movimiento hacia la derecha se muestra en pantalla 'DERECHA'.

23.- Al se presiona el botón STOP se asigna la letra 'T' al string, después la letra del string se almacena en la variable write buffer, esta letra del string es enviada por el puerto serial al microcontrolador.

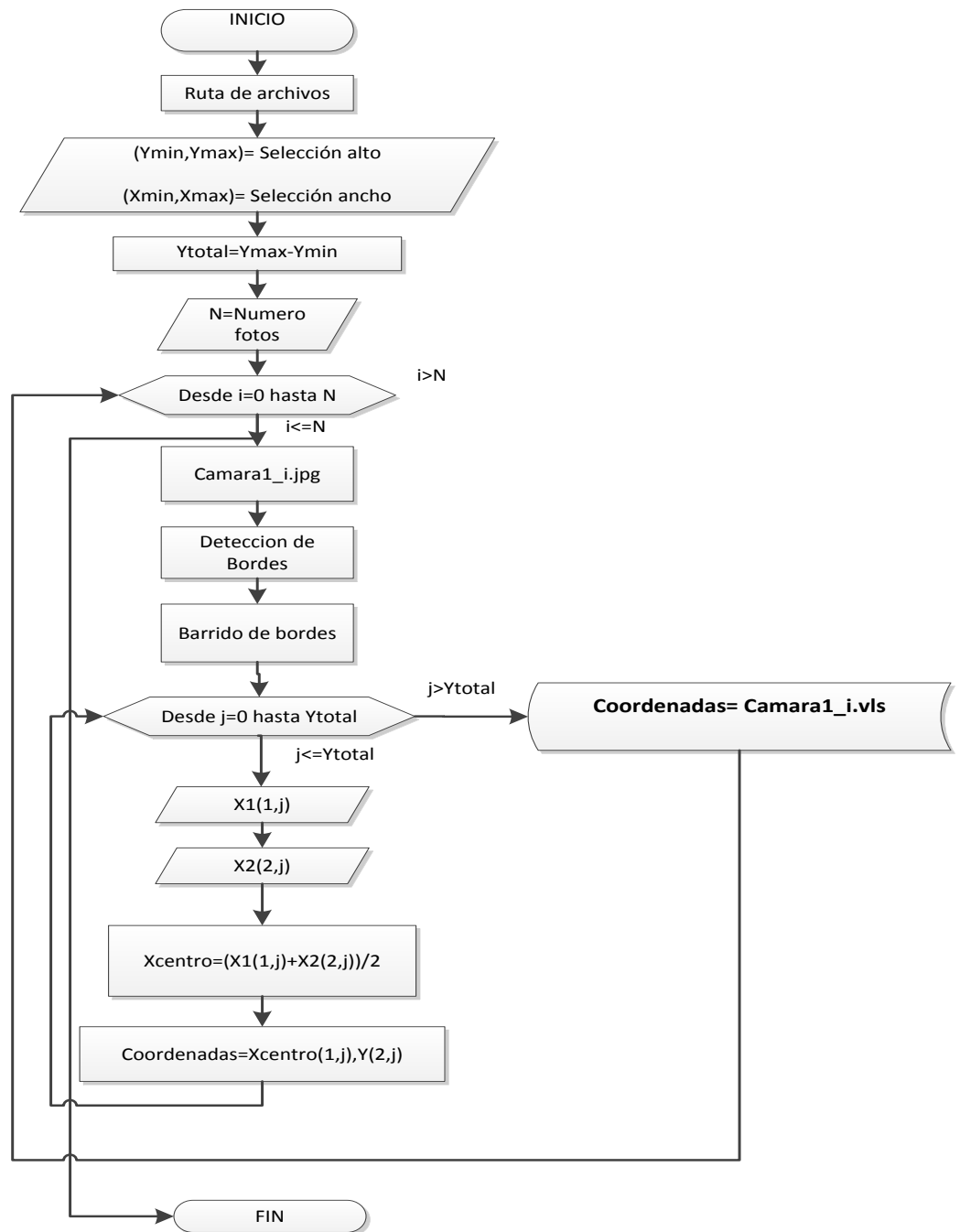
24.- Se muestra al usuario la detención del robot mostrando en pantalla 'DETENER'.

25.- Fin del proceso.

3.2.3 Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes

El diagrama de flujo mostrado en la figura 32, muestra el algoritmo que se desarrolló para realizar el procesamiento de las imágenes adquiridas a través de las dos cámaras que se colocaron en el robot, los datos calculados en esta etapa serán almacenados en archivos con el formato vls.

Figura 32: Diagrama de flujo de procesamiento de imágenes



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

- 1.- Inicio del algoritmo.
- 2.- Se selecciona el directorio que contiene las imágenes a ser procesados.
- 3.- Se elige el área de la imagen donde se visualice el haz de láser donde (Y_{min}, Y_{max}) corresponde a la altura en pixeles, del mismo modo (X_{min}, X_{max}) es el ancho en pixeles.
- 4.- La altura total de la escena Y_{total} resulta de la resta entre $Y_{max} - Y_{min}$
- 5.- Se Ingresa el número total de imagenes a procesar
- 6.- Se realiza un lazo que empieza en $i=1$ se incrementa hasta N
- 7.- Se procede a leer individualmente las imágenes `Camara1_i.jpg`.
- 8.- Esta etapa consiste en utilizar la herramienta NI Vision Assistant donde se aplica una modificación de gamma brillo y contraste además se extraer el plano de color rojo para observar el haz de láser.
- 9.- Se utiliza la herramienta de labview IMAQ Rake 3 VI que permite hacer un barrido horizontal para determinar las coordenadas de los pixeles.
- 10.- Se realiza un lazo que empieza en $j=1$ se incrementa hasta Y_{total}
- 11.- Al efectuar el barrido horizontal para cada coordenada en Y se obtendrá $X1(1, i)$ correspondiente al pixel izquierdo
- 12.- Se obtiene la coordenada $X2(2, i)$ perteneciente al pixel derecho
- 13.- En esta etapa el algoritmo consiste en calcular el punto medio entre los dos pixeles $X1(1, j)$ e $X2(2, j)$ para ello se utiliza la ecuación 8.

Ecuación 8: Cálculo de centroide

$$X_{centro} = \frac{X_1(1,j) + X_2(2,j)}{2}$$

Elaborado por: Juan Musuña & Byron Zapata

14.- Se ordenan las coordenadas, así a la primera columna se asignara a valores calculados en $X_{centro}(1,j)$ mientras que la segunda columna será de los valores en $Y(2,j)=j$ de los puntos del láser.

15.- Se exportaran las coordenadas X_{centro}, Y en un archivo de nombre `Camara1_i.xls` este formato de archivo puede abrirse con Excel al igual que con un bloc de notas y se procede a leer el siguiente archivo .

16.- Si $i > N$ entonces quiere decir que todos los archivos fueron procesador por lo tanto finaliza la etapa de lectura de archivos

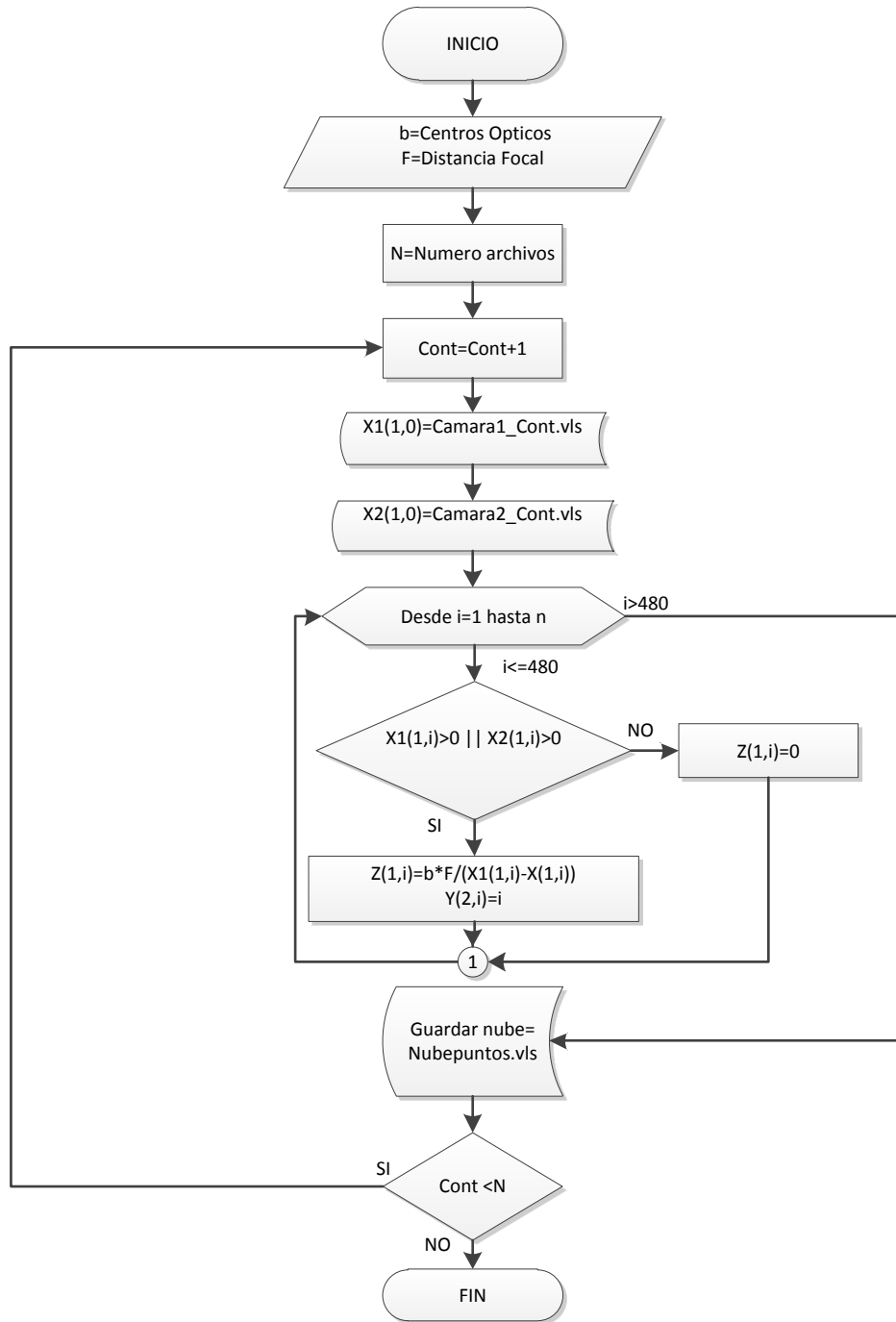
17.-Fin del lazo

Hay que recordar que este procedimiento se realiza de forma similar para procesar las imágenes de Cámara 2

3.2.4. Diagrama de flujo nube de puntos

Se puede observar en la figura 33 el procedimiento realizado para generar la nube de puntos partiendo de los archivos generados en la etapa de procesamiento de imágenes.

Figura 33: Diagrama de flujo para creación de nube de puntos



Elaborador por: Juan Musuña, Byron Zapata

1.- Inicialización de las variables y punto de partida del algoritmo

- 2.- Se ingresa la constante b : que corresponde a la distancia entre centros ópticos calculado cuando se realiza la calibración del sistema; la constante f corresponde al eje focal calculado en el momento de la calibración.
- 3.- En esta etapa se ingresa el número de archivos a ser procesados
- 4.- Se inicial el contador $Cont$ utilizado para la lectura de cada uno de los archivos a ser procesados.
- 5.- $X1(1,0)$ corresponde a la lectura de la columna uno del archivo `Camara1_Cont.vls` que se refiere a las coordenadas en X del láser de la cámara izquierda.
- 6.- $X2(1,0)$ corresponde a la lectura de la columna uno del archivo `Camara2_Cont.vls` que corresponde a las Coordenadas en X del láser de la cámara derecha.
- 7.- Hace referencia a un lazo que empieza en $i=1$ se incrementa hasta 480(resolución de la imagen medida verticalmente)
- 8.- Se identifica el valor que se encuentra en $X1(1,i)$ se compara si es mayor a cero o el valor en $X2(1,i)$ es mayor a cero.
- 9.- SI $X1(1,i)$ o $X2(1,i)$ son mayores a cero entonces se aplicara la ecuación de cálculo de profundidad estereoscópica. Tomando en cuenta que $Y(2,i)=i$ será la coordenada en Y para cada uno de los $Z(1,i)$. El valor de $Z(1,i)$ se almacenara en la columna 1 por lo tanto el valor de $Y(2,i)$ se colocara en la columna 2.
- 10.- SI $X1(1,i)$ o $X2(1,i)$ son iguales a cero entonces el valor para $Z(1,i)$ será 0 para $Y(2,i)$.
- 11.- Se procede a guardar todas las coordenadas de $Z(1,i), Y(2,i)$ almacenadas durante el proceso en el archivo `Nubepuntos.vls`
- 12.- Se compara la variable $Cont$ con N (número de archivos a procesar)

13.-Si $Cont < N$ entonces el contador se incrementa en 1 y se procesa el siguiente archivo.

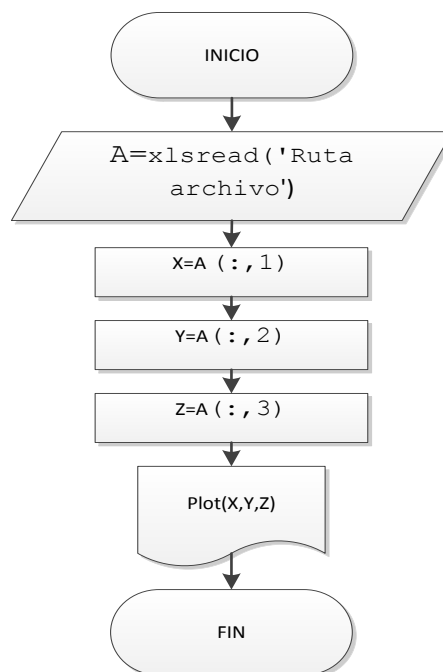
14.- Si $Cont > N$ entonces no se leen más archivos.

15.- Fin del algoritmo

3.2.5. Diagrama de flujo para la visualización de la nube de puntos

La figura 34 muestra la programación realizada para la toma de datos de la nube de puntos de la etapa de procesamiento para poder mostrar al usuario una nube de puntos representada en una gráfica en tres dimensiones (X, Y, Z), mediante el software de programación matlab.

Figura 34: Diagrama de flujo para la visualización de la nube de puntos en matlab



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

1.- Inicio del algoritmo.

2.- En este campo se ingresa la ruta del archivo de la nube de puntos.

- 3.- En esta etapa se lee la columna 1 que corresponde a los puntos en el eje Z
- 4.- Se lee la columna 2 que hace referencia a los puntos en el eje X
- 5.- Se lee la columna 3 que hace referencia a los puntos en el eje Y
- 6.- En esta etapa se grafican las columnas X Y Z y se visualiza la nube de puntos con la ayuda del comando plot3.
- 7.- Finaliza el algoritmo

3.3. Construcción del robot para el escaneo tridimensional

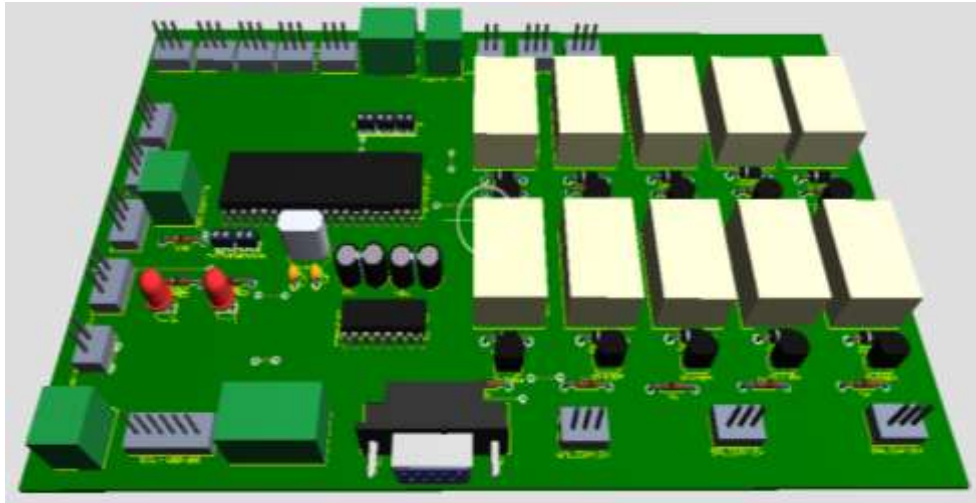
Se analiza el proceso de construcción del robot para el escaneo tridimensional de habitaciones, este proceso cumple con los siguientes pasos:

- Elaboración de placas electrónicas de control del robot y de sensores.
- Construcción de estructura del robot.
- Ensamblado de la carcasa del robot con unión de las placas electrónicas.

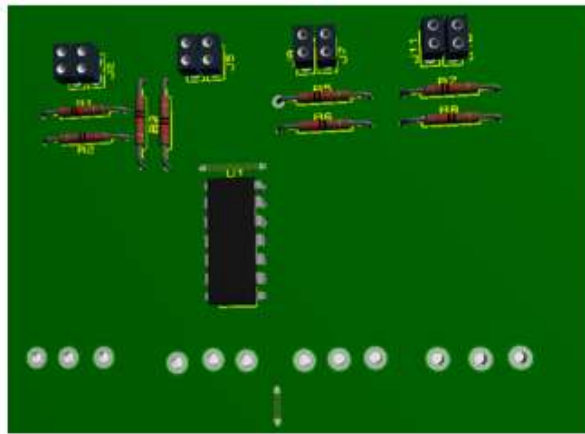
3.3.1. Elaboración de placa electrónica para el control del robot y de sensores

El diseño de la placa electrónica de control del robot se la desarrolla primeramente el programa de simulación de circuitos PROTEUS, una vez realizado la simulación con todos los elementos que conforma la placa de control y sensores, se la pasa al software ARES para el diseño de la placa y el ruteo de pistas, en el software ARES se crea un cuadrado donde se pone las dimensiones de la placa electrónica y se ubica dentro del cuadrado de dimensiones de la placa los materiales para el funcionamiento del control de robot y la captura de señal de los sensores, en la figura 35(a) se muestra una vista preliminar de la placa electrónica con los elementos ubicados en dentro de la placa de control con su respectiva dimensión e igual en la figura 35(b) se muestra la vista preliminar de la placa de sensores.

Figura 35: Vista previa de la placa electrónica de control del robot



(a)

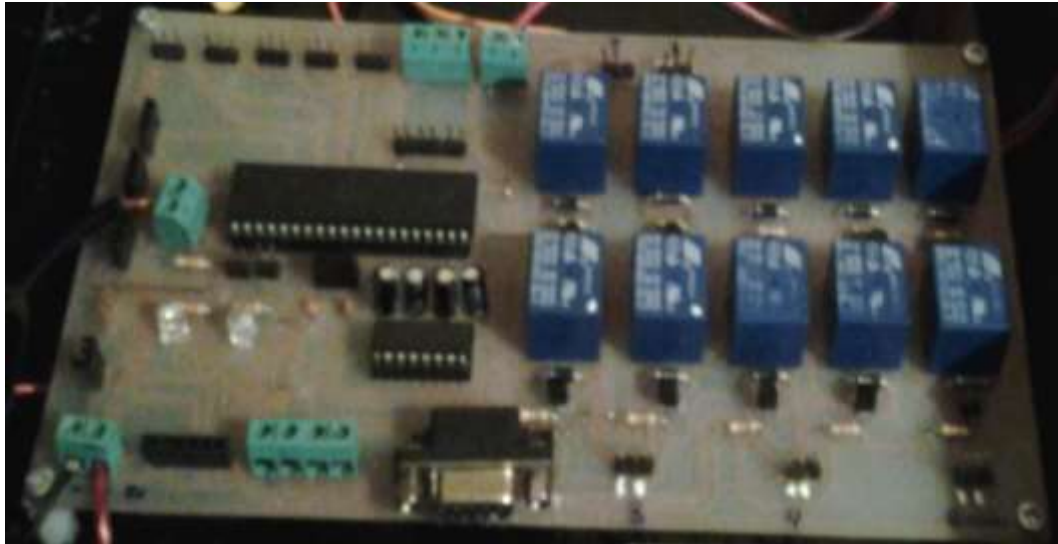


(b)

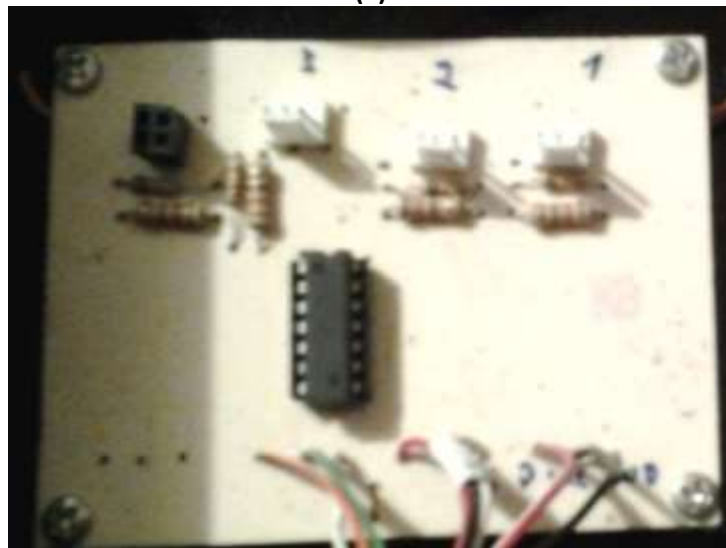
Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

Después de realizar el dimensionamiento de la placa y el ruteo de pistas de conexión se procesa a elaborar la placa electrónica de control física y la placa de sensores por medio de la impresión a láser en papel termotransferible del ruteo de las pistas de la placa de control y de sensores, las pistas del papel termotransferible son pasadas a la baquelita de cobre por medio de ácido de cloruroférico el cual permite retirar el cobre de la baquelita exceptuando las pistas de ruteo, una vez terminado el proceso de traslado de pistas a la baquelita de cobre se procede a perforar la baquelita para la unión y el soldado de los elementos, dando como resultado final la placa de control que se muestra en la figura 36(a), y la placa de sensores en la figura 36(b).

Figura 36: Placa electrónica física de la etapa de control



(a)



(b)

Imagen: Juan Musuña & Byron Zapata

3.3.2. Construcción de la estructura del robot

La estructura del robot y la base de soporte de las cámaras están elaboradas por acrílico de color negro, el cual resulta de un material óptimo para las necesidades de construcción del robot, esta estructura está diseñada para contener las placas y fuentes de alimentación antes mencionadas, además cuenta con perforaciones para la colocación de los 4 servomotores y de un motor que hace rotar a las cámaras, también

cuenta con fijaciones pegadas a la estructura para transportar el computador 1 y el láser, tal como se muestra en la figura 37.

Figura 37: Estructura del robot y base de elevación de cámaras



Imagen: Juan Musuñá & Byron Zapata

La estructura del robot consta con bisagras para el acceso a la parte electrónica que controla al robot y un soporte de acrílico acopladas a un motor para la rotación y elevación de las cámaras, y rotación del equipo laser. Las dimensiones de la estructura del robot se detallan a continuación en la tabla 2.

Tabla 2: Dimensiones de la estructura del robot y base de elevación de cámaras

Partes de la estructura	Dimensiones
Estructura	Longitud = 44 cm Ancho = 26 cm Altura = 8 cm
Base de las cámaras	Longitud = 42 cm Ancho = 12 cm Altura = 21 cm

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

3.4. Obtención de las ecuaciones para la reconstrucción tridimensional

Se analizará la deducción de ecuaciones para obtener valores de profundidad de la línea de láser en las habitaciones, valores de traslación y rotación del robot móvil para conseguir que el conjunto de imágenes se vea visualizado en nube de puntos, se analizará también los resultados de las mediciones que se obtenga con el sistema de escaneo tridimensional.

3.4.1. Transformada de Hough

“La transformada de Hough está orientada a la detección de contornos cuya forma básica es conocida y que puede ser representada como una curva paramétrica, tales como líneas, círculos, elipses, cónicas, etc.” (Sucar, 2008, pág. 98)

Considerando la línea recta del láser se obtiene 2 puntos en la imagen un punto máximo y un mínimo de donde se aplica la ecuación 9 para unir los dos puntos de la imagen.

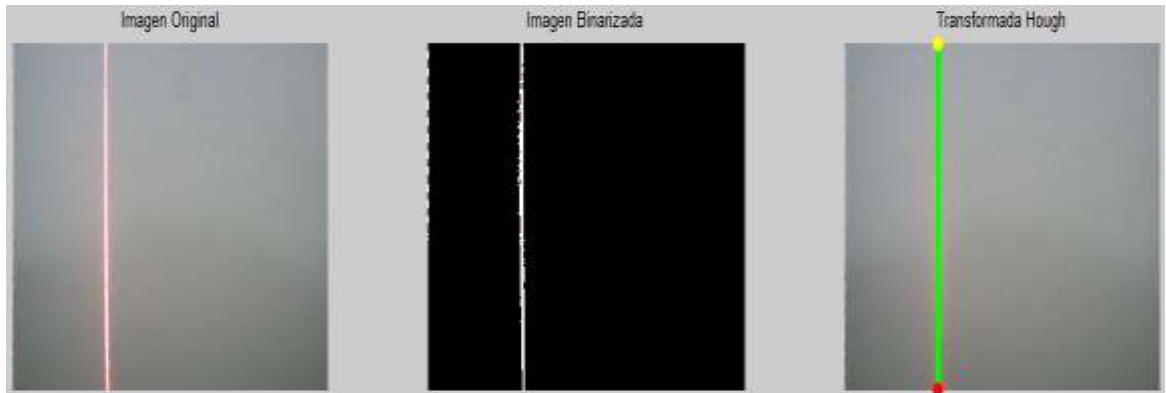
Ecuación 9: Ecuación de la recta

$$(y_1 - y_2) = m \times (X_1 - X_2) + b$$

Fuente: (Sucar, 2008)

Se utilizó la transformada de hough para encontrar el centro de la línea del láser, y los puntos que conforman toda la línea del láser que se captura con la cámara 1 y cámara 2 como se muestra en la figura 38.

Figura 38: Transformada de hough matlab



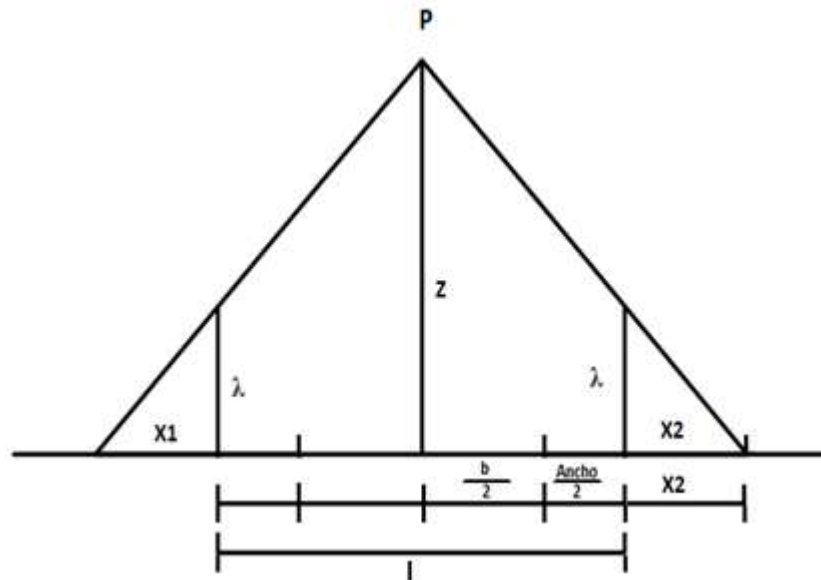
Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

3.4.2. Ecuación para disparidad entre imágenes

La disparidad se produce al ocupar técnicas estereométricas, la disparidad se utiliza para encontrar la posición de un punto en un par de imágenes capturadas desde la misma posición.

Para el cálculo de disparidad entre las imágenes capturadas se utiliza el método de triángulos semejantes como se muestra en la figura 39, también se toma los valores obtenidos del centro de la transformada de hough de las imágenes capturadas con la cámara 1 y cámara 2.

Figura 39: Triángulos semejantes para el cálculo de profundidad



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

De la figura 38 se deduce la ecuación 10 de disparidad.

Ecuación 10: Ecuación de profundidad para sistemas bifocales

$$d = X_i - X_d$$

Fuente: (Pire, 2012)

Donde:

- **d** = disparidad.
- **X_i**= posición horizontal de puntos en la cámara izquierda.
- **X_d**= posición horizontal de puntos en la cámara derecha.

3.4.3. Ecuación para el cálculo de profundidad con visión estereoscópica

La finalidad de la proyección laser en las paredes de una habitación es encontrar el desplazamiento de la proyección laser en las imágenes capturadas por medio de la cámara 1 y cámara 2 que se encuentran montadas en el robot móvil. Para la obtención del cálculo de profundidad se utilizó el método de triángulos semejantes que se utiliza en el cálculo de disparidad.

De la figura 38 se deduce la ecuación 11, de donde se obtiene los valores de profundidad en centímetros.

Ecuación 11: Ecuación de profundidad para sistemas bifocales

$$Z = \frac{b \times F}{X_i - X_d}$$

Fuente: (Cabrera Pérez, 2002)

Donde:

- b = Distancia entre centros ópticos.
- F = Foco.
- X_i = Posición Izquierda.
- X_d = Posición Derecha.

3.4.4. Ajuste de líneas mediante mínimos cuadrados

El ajuste de líneas por mínimos cuadrados consiste en encontrar una línea recta la cual se ajuste a un conjunto de puntos $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, este ajuste de la línea con los puntos tiene que tener un error mínimo de ajuste.

Para ajustar el conjunto de puntos a la línea recta se utiliza la ecuación 9 y la ecuación 12.

Ecuación 12: Ecuación de mínimos cuadrados

$$\begin{bmatrix} \sum v^2 & \sum v \\ \sum v & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum u \times v \\ \sum u \end{bmatrix}$$

$$u = a \times v + b$$

Fuente: (Cabrera Pérez, 2002)

Aplicando la ecuación 12 de ajuste de mínimos a la ecuación 11 de profundidad se obtiene una ecuación 13 para el cálculo final de profundidad en centímetros.

Ecuación 13: Ecuación de mínimos cuadrados aplicado a la ecuación de profundidad

$$Z = F \times \frac{l}{(Xi - Xd)} + b$$

Fuente: (Cabrera Pérez, 2002)

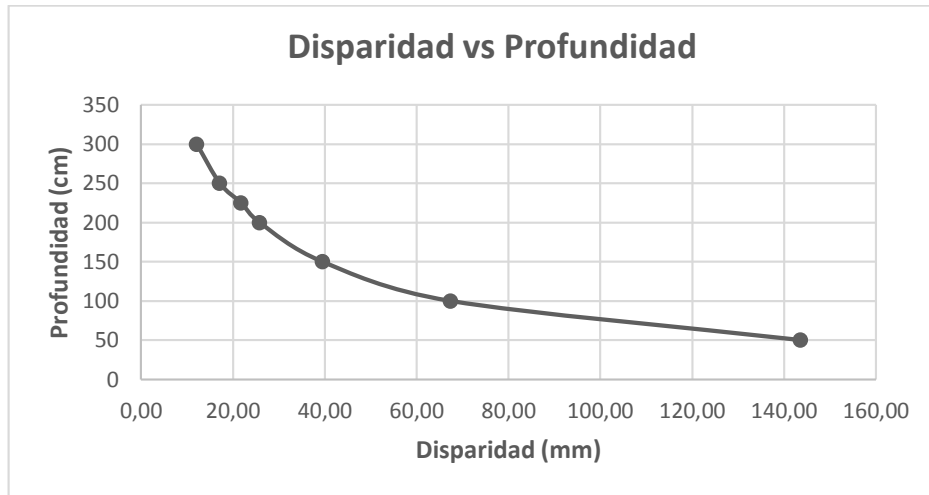
Donde:

- Z = Profundidad
- F = Foco
- L = longitud de separación entre cámaras.
- Xi = Posición Izquierda
- Xd = Posición Derecha
- b = error

3.4.5. Disparidad vs Profundidad

Con el análisis realizado hasta el momento se concluye que existe una relación directa y límites umbral entre la relación de distancia y profundidad.

Figura 40: Curva de disparidad vs profundidad



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

De la gráfica de disparidad vs profundidad que se muestra en la figura 40 se observa y se deduce que:

“Pequeñas variaciones en la disparidad producen grandes variaciones en la profundidad, en cambio, si el valor de disparidad es grande, pequeñas variaciones en la disparidad no producen diferencias de profundidad, por lo tanto, si el valor de disparidad es muy pequeño o muy grande, la disparidad no brinda información sobre la distancia a la que se encuentra un objeto.” (Pire, 2013, pág. 3)

Mientras la separación de los objetos a las cámaras tenga una distancia pequeña o una distancia grande los errores de profundidad son mayores.

3.4.6. Calibración del sistema

Para los cálculos experimentales se realizó la captura de 10 imágenes con valores de distancia conocidos y aplicando las ecuaciones y los análisis mencionados hasta el momento, de donde se obtuvo la tabla 3, que se muestra a continuación.

Tabla 3: Mediciones reales de profundidad y centro de línea del láser de las cámaras

X DERECHA	X IZQUIERDA	X1	X2	Z	u = Z	v = 35/(xI-xD)	v ²	μ*v	
92	630	310	228	50	50	0,065055762	0,00423225	3,2527881	
187	536	216	133	75	75	0,100286533	0,01005739	7,52148997	
240	487	167	80	100	100	0,141700405	0,020079	14,1700405	
269	456	136	51	125	125	0,187165775	0,03503103	23,3957219	
288	436	116	32	150	150	0,236486486	0,05592586	35,472973	
302	421	101	18	175	175	0,294117647	0,08650519	51,4705882	
314	410	90	6	200	200	0,364583333	0,13292101	72,9166667	
322	403	83	-2	225	225	0,432098765	0,18670934	97,2222222	
328	395	75	-8	250	250	0,52238806	0,27288928	130,597015	
334	390	70	-14	275	275	0,625	0,390625	171,875	
						1625	2,968882767	1,19497536	607,894506

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

La tabla 4 muestra los valores obtenidos del cálculo del centro de la línea laser con relación a la medida real de profundidad para la calibración del sistema, de donde se obtuvo los valores que se necesitan para el cálculo el ajuste de líneas mediante mínimos cuadrados y los valores de profundidad de distintas capturas de imágenes en distintas posiciones.

De los resultados mostrados en tabla x se aplica las ecuaciones de ajuste de mínimos cuadrados de donde se obtiene el valor de profundidad experimental que se muestra en la tabla 4.

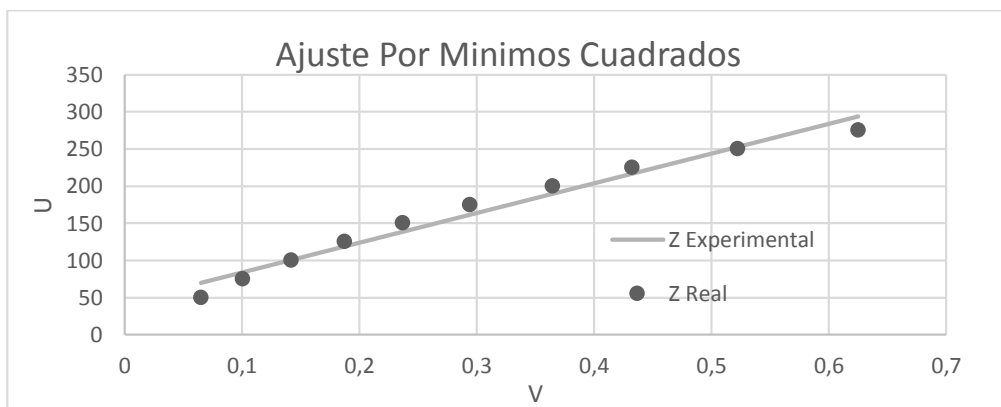
Tabla 4: Calculo de profundidad

X DERECHA (pixeles)	X IZQUIERDA (pixeles)	Z Real (cm)	Z Experimenta (cm)
92	630	50	69,74
187	536	75	83,83
240	487	100	100,41
269	456	125	118,6
288	436	150	138,33
302	421	175	161,39
314	410	200	189,58
322	403	225	216,6
328	395	250	252,72
334	390	275	293,78

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

Graficando los valores de la tabla 4 se obtiene la figura 41 en la cual se muestra los valores de la profundidad real y experimental ajustados a una línea recta por mínimos cuadrados.

Figura 41 Ajuste por mínimos cuadrados para el cálculo de la profundidad experimental



Elaborador por: Juan Musuña, Byron Zapata

El ajuste de mínimos cuadrados que se muestra en la figura 41 muestra la existencia de errores que se produce por la aproximación de puntos a la recta que representa el

cálculo de la profundidad experimental, el error que se presenta por el ajuste da un error de 6.21% como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Calculo de errores

Z Real (cm)	Z Experimenta (cm)	Error Absoluto (cm)
50	69,74	19,74
75	83,83	8,83
100	100,41	0,41
125	118,6	6,4
150	138,33	11,67
175	161,39	13,61
200	189,58	10,42
225	216,6	8,4
250	252,72	2,72
275	293,78	18,78
1625	1624,98	100,98
	Error Porcentual %	6,21

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

Una vez obtenido la calibración con la profundidad experimental se procede a encontrar los límites en el que el sistema puede funcionar manteniendo el error de 6.21%, para saber los límites de trabajo del escáner tridimensional se procedió a calcular los valores de disparidad aplicando la ecuación 4 y se utilizó los valores de la tabla 5, de donde se obtiene la tabla 6.

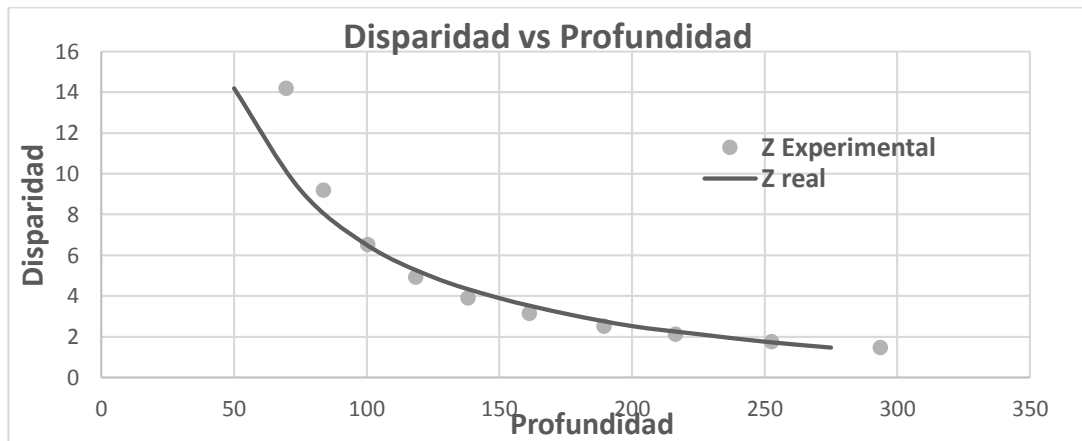
Tabla 6: Cálculo de disparidad

Disparidad (mm)	Z Real (cm)	Z Experimenta (cm)	Disparidad en pixeles
14,18101934	50	69,74	538
9,199211428	75	83,83	349
6,510616684	100	100,41	247
4,929090364	125	118,6	187
3,901098256	150	138,33	148
3,136693868	175	161,39	119
2,530442112	200	189,58	96
2,135060532	225	216,6	81
1,766037724	250	252,72	67
1,476091232	275	293,78	56

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

Con los valores de disparidad obtenidos en la tabla 7, se traza la curva característica que se muestra en la figura 42, de esta grafica se obtiene los límites de trabajo del sistema.

Figura 42: Curva de disparidad vs profundidad



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

Con la figura 42 se obtiene el rango umbral u óptimo de trabajo que está entre los valores de 100 a 250 centímetros para los valores de la tabla 7 este rango umbral de

valores es variable dependiendo del procedimiento de calibración y de la cantidad de imágenes que se utilice en el proceso de calibración.

3.4.7. Cálculo de error de traslación y rotación del robot móvil

Para el cálculo del error producido en la traslación del robot se realizó 7 medidas experimentales y fueron comparadas por 7 medidas reales, en este proceso de cálculo de errores de la traslación del robot se obtuvo un error de 4.25% como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7: Cálculo de error producido en la traslación del robot

Traslación Real (centímetros)	Traslación Medida (centímetros)	Error Absoluto
100	94,24	5,76
150	169,64	19,64
200	207,34	7,34
300	320,44	20,44
350	358,14	8,14
400	414,69	14,69
500	508,93	8,93
	Σ	84,94

Error Porcentual % Traslación
4,25

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

Al igual que el cálculo de error en la traslación del robot se realizó 7 medidas experimentales de la rotación del robot, y fueron comparados con 7 medidas reales, el cálculo de error de rotación del robot dio como resultado un error de 4.87% como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8: Cálculo de error producido en la rotación del robot

Rotación Real (grados)	Rotación Medida (grados)	Error Absoluto
45	40,48	4,52
90	87,23	2,77
135	136,4	1,40
180	185,24	5,24
225	231,46	6,46
270	290,14	20,14
315	335,86	20,86
	Σ	61,39

Error Porcentual % Rotación
4,87

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

3.4.8. Repetitividad y linealidad del sistema

La repetitividad del sistema se lo calculó utilizando 10 capturas de imágenes de la proyección del láser, estas capturas de las imágenes se las realizó en la misma posición del robot, de estas capturas se obtuvo las coordenadas de la proyección del láser en el eje x de los 10 primeros puntos en pixeles, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9: Cálculo de repetitividad del sistema

Imagen 1 (pixeles)	Imagen 2 (pixeles)	Imagen 3 (pixeles)	Imagen 4 (pixeles)	Imagen 5 (pixeles)	Imagen 6 (pixeles)	Imagen 7 (pixeles)	Imagen 8 (pixeles)	Imagen 9 (pixeles)	Imagen 10 (pixeles)	Media	Repetitividad %
525,60	525,46	525,62	525,51	525,57	525,41	525,64	525,34	525,71	525,72	525,56	0,13
525,66	525,51	525,58	525,54	525,58	525,50	525,79	525,44	525,72	525,85	525,62	0,13
525,65	525,51	525,59	525,56	525,58	525,60	525,80	525,58	525,72	525,85	525,64	0,11
525,51	525,53	525,61	525,60	525,59	525,71	525,79	525,72	525,64	525,73	525,64	0,09
525,34	525,57	525,65	525,66	525,64	525,74	525,74	525,75	525,48	525,53	525,61	0,13
525,30	525,60	525,71	525,71	525,68	525,70	525,71	525,72	525,39	525,46	525,60	0,16
525,58	525,62	525,78	525,76	525,71	525,73	525,74	525,76	525,52	525,67	525,69	0,09
525,84	525,69	525,86	525,88	525,60	525,71	525,75	525,79	525,78	525,94	525,79	0,10
525,96	525,79	525,93	525,97	525,72	525,79	525,86	525,86	525,95	526,06	525,89	0,10
525,95	525,92	525,99	526,04	525,87	525,87	525,94	525,90	526,01	526,01	525,95	0,06
											0,11

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

Al realizar los cálculos de repetitividad se obtuvo que las capturas de imágenes en la misma ubicación del robot da como valor 0.11% de repetitividad del sistema.

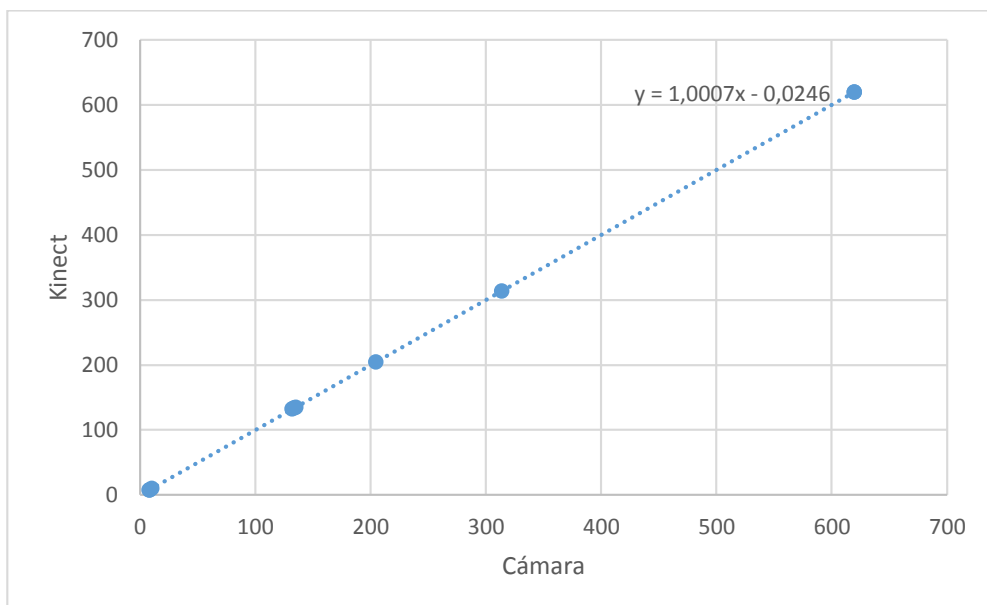
Tomando las medidas en pixeles de las imágenes capturadas por un equipo Kinect el cual es un dispositivo que realiza capturas de imágenes para el procesamiento tridimensional y las cámaras montadas en el robot que se muestran en la tabla 10, se aplicó las fórmulas de linealidad por mínimos cuadrados para obtener la linealidad del sistema como se muestra en la figura 42.

Tabla 10: Puntos generados en los ejes (x, y) mediante el escaneo con el robot móvil y nube de puntos generado con el sensor Kinect

Cámara 1 Eje X	Kinect Eje X	Kinect Eje Y	Cámara 1 Eje Y
314,015814	314,05	38	39
132,020028	132,01	38	39
135,140961	135,012	38	39
133,858983	134,01	38	39
8,14421769	8,013	38	39
7,95479918	8,01	38	39
10,0485154	10,05	38	39
619,66921	620,08	38	39
619,687491	620,04	38	39
204,561869	205,013	38	39

Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

Figura 43: Linealidad del sistema en los ejes x del kinect y de la cámara



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

3.5. Resultados de reconstrucción tridimensional

A continuación se presentan los resultados obtenidos en nube de puntos del proceso de escaneo tridimensional.

3.5.1. Nube de puntos de habitación obtenida con robot móvil estático

Se realizó un primer escaneo a una habitación de medidas 5 x 8 metros, con el robot ubicado en una posición estática de 3 metros referente a la pared, la figura 44 muestra la habitación procesada.

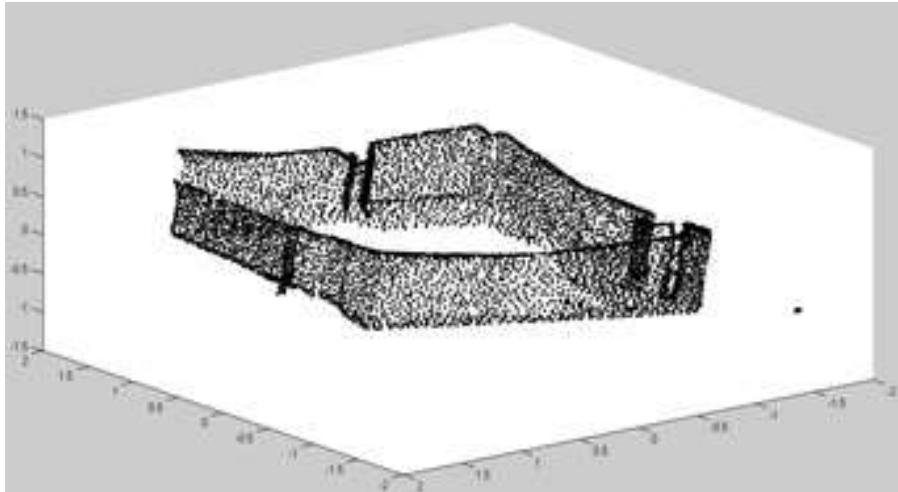
Figura 44: Conjunto de imágenes de la habitación escaneada con proyección de láser



Imagen: Juan Musuña & Byron Zapata

La figura 45 muestra la nube de puntos obtenida en el proceso de reconstrucción de la habitación al procesar las imágenes.

Figura 45: Nube de puntos de la habitación MATLAB



Elaborador por: Juan Musuña & Byron Zapata

3.5.2 Nube de puntos de habitación obtenidas al rotar y trasladar el robot móvil

Se realizó un segundo escaneo a un pasillo el cual tiene como medidas 4 x 20 metros, para este proceso se trasladó al robot de su posición inicial (0, 0, 0) a la posición de (3.80, 0, 0) metros, después se realizó la rotación en grados a la posición (0, 3.80, 90).

En la figura 46 se presenta las imágenes capturadas en el proceso de rotación y traslación del robot en el pasillo.

Figura 46: Captura de imágenes de un pasillo con traslación y rotación del robot móvil

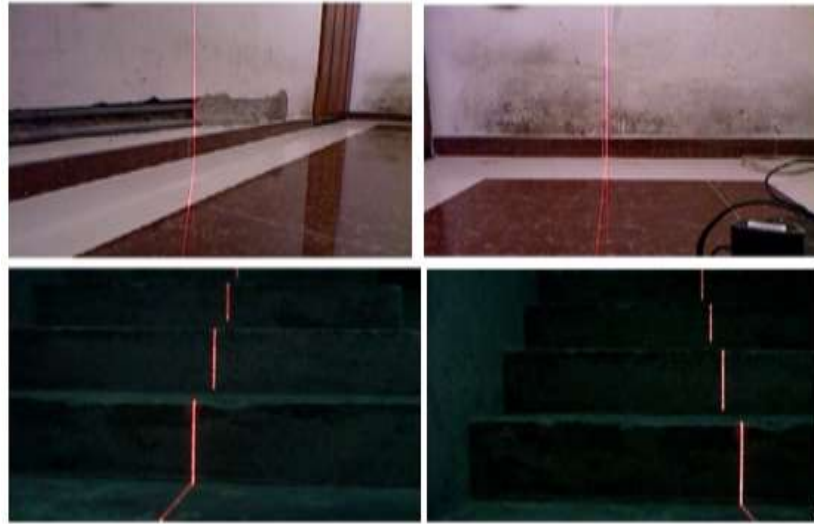


Imagen: Juan Musuña & Byron Zapata

En la figura 47 se muestra los resultados obtenidos en nube de puntos, en el proceso de traslación y rotación del robot, la nube de puntos que se muestra en la figura 47 está representada por 3 colores los cuales representan las nubes de puntos obtenidas en los procesos de rotación y traslación del robot, de color negro se representa la nube de puntos del robot ubicado en la posición $(0, 0, 0)$, de color azul se representa la nube de puntos del proceso de traslación $(0, 3.80, 0)$ y en color verde se presenta la nube de puntos obtenida en el proceso de rotación $(0, 3.80, 90)$.

Figura 47: Nube de puntos obtenida en el proceso de traslación y rotación del robot

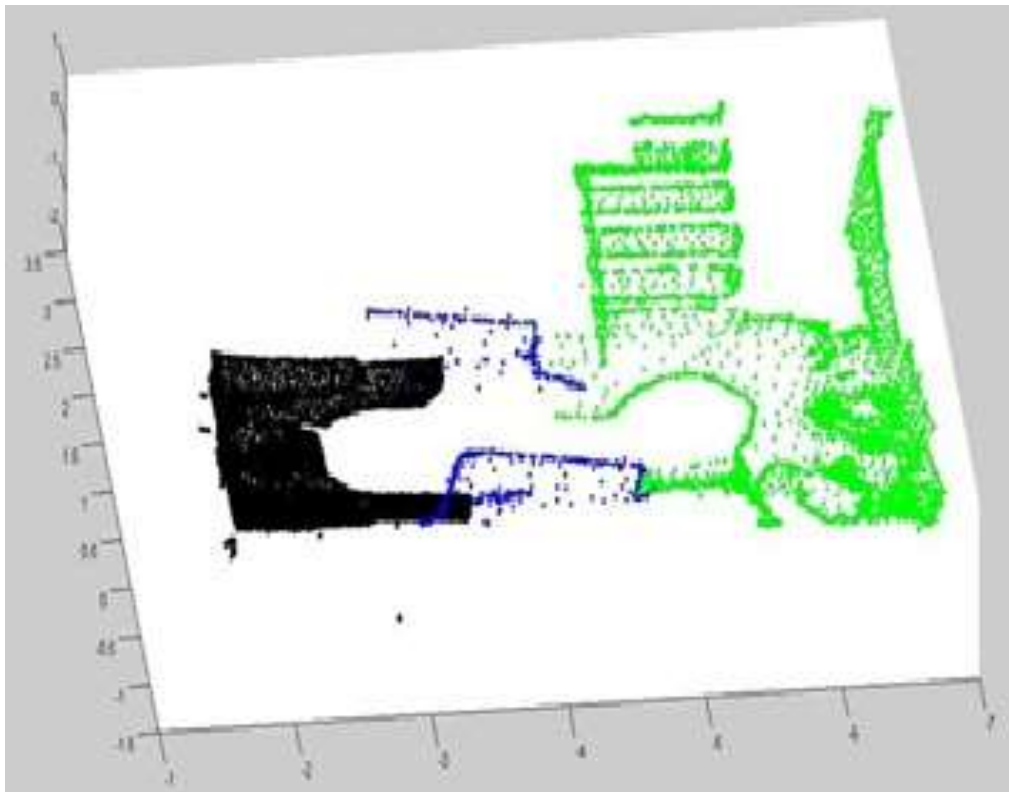


Imagen: Juan Musuña & Byron Zapata

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se analiza los costos de: diseño y construcción del hardware, desarrollo de software y el costo total que conllevó el proyecto de investigación.

4.1. Costos de Hardware

La tabla 10 señala los costos de los materiales que se utilizaron en la construcción del robot móvil, tanto la parte electrónica y ensamblaje del equipo.

Tabla 10: Costos de Hardware

CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO	TOTAL
5	Relés	0,80	4,00
2	Pulsadores	0,20	0,40
2	Atmega 48	4,50	9,00
10	Resistencia de 330 ohms	0,02	0,20
10	Resistencia de 1k ohms	0,02	0,20
5	Diodo 4007	0,08	0,40
5	Led de alta intensidad	0,25	1,25
1	Batería de 12 V	21,87	21,87
1	Batería de 5 V	7,00	7,00
1	Cargador Fuente de 5 V	3,00	3,00
2	Max 232	1,95	3,90
4	Capacitores Cerámicos	0,08	0,32
10	Capacitores Electrolíticos	0,12	1,20
5	Borneras	0,25	1,25
10	Pines de Conexión Macho	0,60	6,00
10	Pines de Conexión Hembra	0,65	6,50
2	Sócalos de 40 pines	0,39	0,78
2	Sócalos de 20 pines	0,20	0,40
2	Sócalos de 10 pines	0,18	0,36
2	Baquelita 20x30	2,36	4,72
4	Funda de Acido	0,36	1,44

2	Cautines	2,50	5,00
2	Rollos de Estaño	5,00	10,00
3	Papel termotransferible	0,80	2,40
1	Cable Serial USB	12,50	12,50
4	Servos 1501 MG-15,5 KG	35,00	140,00
1	Estructura de Acrilico	95,00	95,00
1	Conector DB9	0,79	0,79
1	Laser	300,00	300,00
1	Laptop I7 Hacer	1000,00	1000,00
1	Laptop Atom HP	700,00	700,00
4	Llantas	9,00	36,00
		TOTAL	2375,88

Elaborado por: Juan Musuña, Byron Zapata

4.2. Costos de diseño de hardware

A continuación en la tabla 11 se especifica los costos, de mano de obra y se detalla el valor por hora de trabajo para el diseño del circuito electrónico y construcción del robot móvil.

Tabla 11: Costos de diseño de hardware

Descripción	Cantidad (personas)	Tiempo (horas)	Precio. Cada Hora. \$	Precio. Total del Trabajo. \$
Diseño de ingeniería.	2	20	15	600
Mano de obra	2	100	4	800
TOTAL				1400 \$

Elaborado por: Juan Musuña, Byron Zapata

4.3. Costo de Desarrollo del Software

A continuación la tabla 12 se especifica el costo por hora intervenido en el desarrollo del software en los siguientes paquetes de programación: Bascom Avr, Labview, Matlab, Proteus.

Tabla 12: Costo de Desarrollo de Software

Descripción	Cantidad (personas)	Tiempo (horas)	Precio. Cada Hora. \$	Precio. Total del Trabajo. \$
Desarrollo de Software	2	50	10\$	1000\$
TOTAL				1000 \$

Elaborado por: Juan Musuña, Byron Zapata

4.4. Costo Total del Proyecto

A continuación se detalla el precio total para el diseño construcción del robot, en la tabla 13 se especifican los costos del hardware y desarrollo del software.

Tabla 13: Costos Total del Proyecto

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>COSTO</i>
HARDWARE	2375,88\$
DISEÑO DE HARDWARE	1400 \$
DESARROLLO DE SOFTWARE	1000 \$
TOTAL	4775,88\$

Elaborado por: Juan Musuña, Byron Zapata

El costo de hardware que se menciona en la tabla 1 es financiado por la Universidad Politécnica Salesiana.

CONCLUSIONES

- Las mediciones hechas durante la etapa de calibración mostraron que el robot móvil alcanza una distancia mínima de 50 cm y una máxima de 4 metros por lo cual es recomendable estar en este rango para evitar obtener datos erróneos.
- La grafica de distancia vs disparidad muestra que la existencia de disparidad entre la cámara 1 y cámara 2 tienen un margen umbral para el cálculo de profundidades de 50 cm a 4 metros, el margen de error del cálculo de profundidad entre estos límites es de 6.72% el cual es un error aceptable ya que no se tiene una mayor diferencia a la hora de la creación de la nube de puntos.
- En el proceso de tratamiento de imágenes la luz de la escena debe influir de manera reducida a la proyección del láser para no afectar la obtención de puntos. La separación horizontal de las cámaras en el proceso de calibración influye en que a mayor separación se necesita tener más datos para calcular la distancia focal.
- El escaneo tridimensional se limita por la visión de las cámaras al capturar la línea del láser produciendo oclusiones o pérdidas de visión de espacios de la habitación, en este caso se necesita el desplazamiento y rotación del robot para incluir secciones no capturadas en la primera etapa del escaneo tridimensional.
- Al unir las imágenes tanto de rotación como traslación se puede observar variaciones en el plano de la nube de puntos, este error se produce debido a los cálculos matemáticos que se realizan y al error que se produce al rotar y trasladar el robot, los errores producen un desfase y solapamiento entre nube de puntos.

RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de cámaras con mayor resolución para que la captura de la proyección del láser sea mejor y así al momento de digitalizar la imagen para obtener la mayor cantidad de coordenadas de la proyección del láser.
- Aplicar un sistema de posicionamiento mejor que los encoders para poder obtener las posiciones exactas de traslación y rotación del robot móvil para facilitar la unión de las nubes de puntos.
- Utiliza mayor segmentación en la rueda del encoder del motor que realiza la rotación de las cámaras para poder obtener ángulos más pequeños y así obtener la nube de puntos de las habitaciones más cercana a la realidad.
- Construir e implementar un sistema de rotación vertical aplicado al movimiento de las cámaras para poder capturar imágenes a distintas alturas y poder obtener imágenes del techo de las habitaciones.
- Utilizar un sistema de conexión a internet con mayor velocidad para que la transmisión de la captura de imágenes sea a mayor velocidad para que el usuario tenga un mayor control de las imágenes capturadas.
- Desarrollar un software para el control del robot por medio de equipos Android para que los usuarios tengan una mayor facilidad y movilidad a la hora de realizar el control del robot para el escaneo de las habitaciones.

LISTA DE REFERENCIAS

- Cabrera, B. (2002). *Cálculo de profundidad con imágenes estereoscópicas*. Puebla: SOMI.
- Camarena, J. F. (2009). *Análisis Cinemático, Dinámico y Control en Tiempo Real de un*. Cuernavaca: (Tesis de posgrado).
- Chicaiza, N., & Reyes, F. (2013). *Diseño y construcción de un módulo de entrenamiento basado en el microcontrolador XMEGA de ATMEL para los laboratorios de sistemas microprocesadores de la Universidad Politécnica Salesiana*. Quito: (Tesis de pregrado).
- Chirinos, M. G. (2004). *Visión Artificial: Percepción de Profundidad*. Yucatan: (Tesis de pregrado).
- Escalera, A. (2001). *Visión por computadora, Fundamentos y métodos*. Madrid: Pearson Educación.
- García, C., & Narváez, E. (2007). *Sistema prototipo de scanner óptico tridimensional*. Quito: (Tesis de pregrado).
- González, J. A. (2012). *Rutas de navegación y evasión de obstáculos de robots móviles en terrenos exteriores*. México: (Tesis de posgrado).
- Herrera, P. (2010). *Correspondencia estereoscópica en imágenes obtenidas con proyección omnidireccional para entornos forestales*. Madrid: (Tesis de posgrado).
- Instruments, N. (2004). *IMAQ Vision for LABVIEW*. Austin, Texas: National Instrument.
- Islas, L. (13 de mayo de 2005). <http://catarina.udlap.mx/>. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_lf/capitulo3.pdf
- López, V., & Oñate, W. (2014). *Diseño e implementación de un glucometro no invasivo basado en la ley de lambert beer de onda cercana al infrarrojo nir, con interfaz bluetooth a dispositivos con sistema operativo android*. Quito: (Tesis de pregrado).

- Lumbier, A. (2012). *Reconocimiento de objetos mediante sensor 3d*. Madrid: (Tesis de pregrado).
- Mery, D. (2002). *Visión Artificial*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Molleda, J. (2008). *Técnicas de visión por computador para la reconstrucción en tiempo real de la forma 3D de productos laminados*. Gijón: Universidad de Oviedo. Obtenido de http://www.teamviewer.com/images/pdf/TeamViewer_brochure_es.pdf
- Molleda, J. (2008). *Técnicas de visión por computador para la reconstrucción en tiempo real de la forma 3D de productos laminados*. Gijón: (Tesis de posgrado).
- Ollero, A. (2001). *Robótica Manipuladores y robots móviles*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Pertuz, J. (2012). *Curso de robótica avanzada*. Bogotá: UNAD.
- Pire, T. (2012). *Evasión de obstáculos en tiempo real usando visión estéreo*. Buenos Aires: (Paper de pregrado).
- Rodil, I., & Pardo de Vega, C. (2010). *Operaciones auxiliares con tecnologías de la información y la comunicación*. Madrid: Paraninfo.
- Satorres, S. (2006). *Detección de bordes en una imagen*. Jaén: Universidad de Jaén.
- Siegwart, R., & Nourbakhsh, I. (2004). *Autonomous Mobile Robots*. London: A Bradford Book.
- Somolinos, J. A. (2002). *Avances en Robótica y Visión por Computador*. Murcia: Universidad de Castilla-La Mancha.

Anexo 1. LASER CRAFTSMAN 4-IN-1

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.

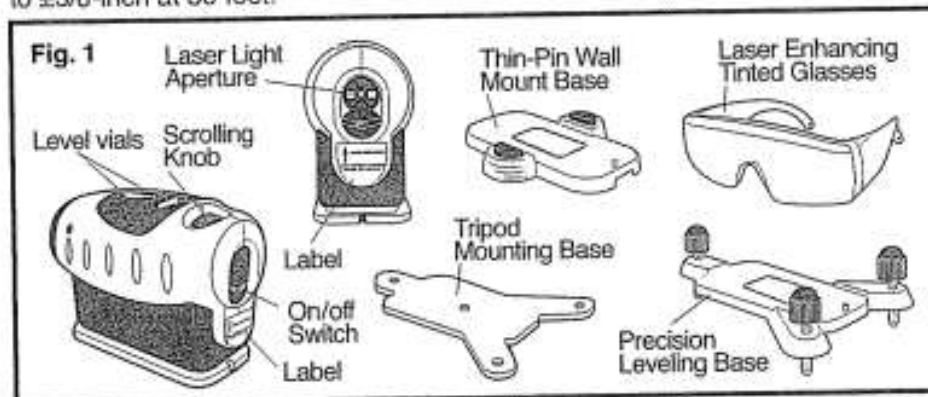
It projects a laser line that sweeps a full 90°, horizontal to vertical and all angles in between.

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 ≤ 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 2. Cámaras Hers & Hers KBU-9901



CARACTERÍSTICAS

KLIP XTREME Dúo de cámaras de diseño único, 300K píxeles, color violeta y rosa. Ideales para regalar.

AWB (Balance de Blancos Automático)

Micrófono digital integrado: 48dB

Enfoque manual

Plug and Play

300k píxeles

Velocidad de hasta 30 fps

Distancia de enfoque: 30mm ~ infinito (VGA)

Formato de imagen: RGB24

Interfaz: USB 2.0

**KLIP
XTREME**

Anexo 3. Servomotor Power Hd 1501mg

Power HD HD-1501MG - Standard Servo

Basic Information

Modulation:	Analog
Torque:	4.8V: 215.3 oz-in (15.50 kg-cm) 6.0V: 236.1 oz-in (17.00 kg-cm) 7.2V: 284.0 oz-in (20.45 kg-cm)
Speed:	4.8V: 0.16 sec/60° 6.0V: 0.14 sec/60°
Weight:	2.12 oz (60.0 g)
Dimensions:	Length: 1.65 in (41.9 mm) Width: 0.81 in (20.6 mm) Height: 1.56 in (39.6 mm)
Motor Type:	? (add)
Gear Type:	Metal
Rotation/Support:	Dual Bearings



Additional Specifications

Rotational Range:	? (add)
Pulse Cycle:	20 ms
Pulse Width:	500-2100 μ s
Connector Type:	? (add)

Anexo 4. Sensor óptico QRD114



June 2013

QRD1113 / QRD1114 Reflective Object Sensor

Features

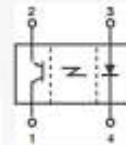
- Phototransistor Output
- No-Contact Surface Sensing
- Unfocused for Sensing Diffused Surfaces
- Compact Package
- Daylight Filter on sensor

Description

The QRD1113 and QRD1114 reflective sensors consist of an infrared emitting diode and an NPN silicon phototransistor mounted side by side in a black plastic housing. The on-axis radiation of the emitter and the on-axis response of the detector are both perpendicular to the face of the QRD1113 and QRD1114. The phototransistor responds to radiation emitted from the diode only when a reflective object or surface is in the field of view of the detector.



Schematic



PIN 1. Collector PIN 3. Anode
PIN 2. Emitter PIN 4. Cathode

Ordering Information

Part Number	Operating Temperature	Package	Top Mark	Packing Method
QRD1113	-40 to +85°C	Custom 4L	QRD1113	Bulk
QRD1114		Custom 4L	QRD1114	Bulk

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Min.	Unit
T_{OPR}	Operating Temperature	-40 to +85	°C
T_{STG}	Storage Temperature	-40 to + 100	
T_{SOL-I}	Lead Temperature (Solder Iron) ^(1,2,3)	240 for 5 s	
T_{SOL-F}	Lead Temperature (Solder Flow) ^(1,2)	260 for 10 s	
EMMITER			
I_F	Continuous Forward Current	50	mA
V_R	Reverse Voltage	5	V
P_D	Power Dissipation	100	mW
SEMSOR			
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	30	V
V_{ECO}	Emitter-Collector Voltage		V
P_D	Power Dissipation ⁽⁴⁾	100	mW

Notes:

1. RMA flux is recommended.
2. Methanol or isopropyl alcohols are recommended as cleaning agents.
3. Soldering iron tip 1/16 inch (1.6 mm) minimum from housing.
4. Derate power dissipation linearly 1.33 mW/°C.

Anexo 5. Microcontrolador ATMEGA 16

Features

- High-performance, Low-power 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 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - 512 Bytes EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 1K Byte Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC 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
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega16L
 - 0 - 16 MHz for ATmega16



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 16K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega16
ATmega16L

Preliminary

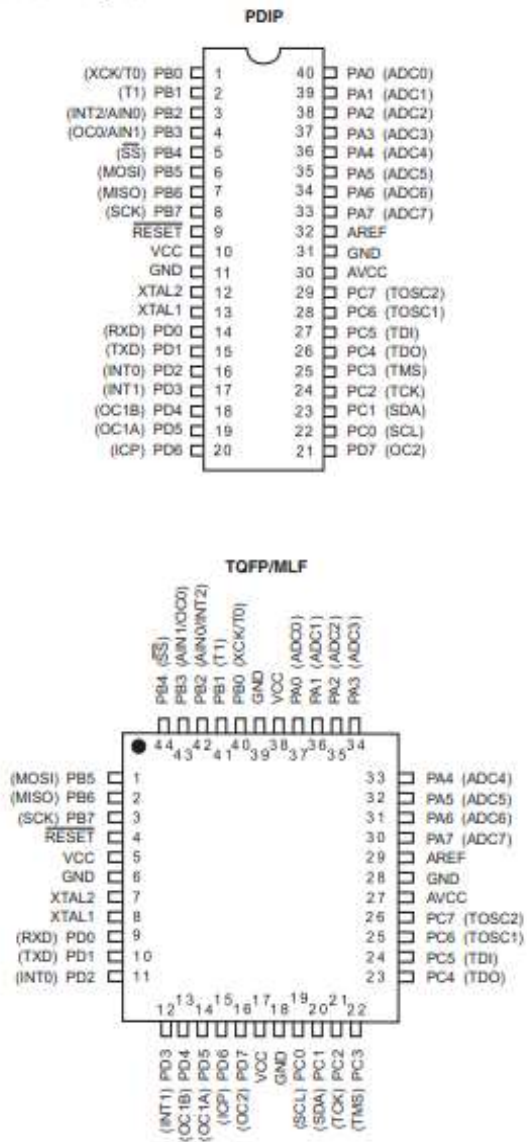
Rev. 2466E-AVR-10/02





Pin Configurations

Figure 1. Pinouts ATmega16



Disclaimer

Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

Anexo 6. Computador 1 HP PAVILION DM1-4150LA



Especificaciones del producto

Nombre del producto	HP Pavilion DM1-4150la
Número del producto	A7J75LA
color	Rojo rubí
procesador	Procesador Tecnología VISION E2 de AMD con procesador acelerado AMD de doble núcleo E-300
Memoria	2GB de SDRAM DDR3 (1 DIMM) expandible hasta 8Gb
Disco duro	HDD 500 GB (5400 rpm)
Gráficos de video	Gráficos discretos AMD Radeon™ HD 6310
Unidad Óptica	No
Webcam	webcam con Micrófono incorporado
Pantalla	Pantalla de 11,6 pulgadas de diagonal HD BrightView con luz de fondo LED (1366 x 768)
Conectividad inalámbrica	Conexión en red inalámbrica Bluetooth
Tarjeta de red	Red 10/100/1.000
Puertos externos	Lector de tarjetas: 4-en-1, HDMI VGA
Batería	Batería: 6-Cell Lithium-Ion Battery
Sistema operativo:	Win 7 Home Basic
GARANTIA	1 Año

Anexo 7. Computador 2 ACER

Ultrabook 14": Dell Inspiron 14z [5423] (899 €)



FICHA TÉCNICA

Procesador: Intel Core i7-3517U (1,9 Ghz / 4 Mb. Cache L3)

Memoria: 8 Gb. DDR3 a 1600 Mhz.

Disco duro: 256 Gb. SSD.

Sistema operativo: Windows 8 (64 bits).

Red: Gigabit Ethernet y Wifi-N.

Tarjeta Gráfica: AMD Radeon HD 7570M (1 Gb DDR3)

Pantalla: 14" HD (1366x768) TrueLife con tecnología LED.

Dimensiones: 347x240x21 mm.

Peso: 1,87 Kg.

Otros: 2 puertos USB 3.0, salida HDMI, lector de tarjetas 3 en 1 (SD / MMC / MS), touchpad multi-táctil y webcam HD (1 Mpx.).