

DISEÑO DE UN ROBOT MÓVIL RECOLECTOR DE OBJETOS BASADO EN UN SISTEMA VISIÓN ARTIFICIAL

ANGIE KATERINE BORDA RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
BOGOTÁ**

2016

DISEÑO DE UN ROBOT MÓVIL RECOLECTOR DE OBJETOS BASADO EN UN SISTEMA VISIÓN ARTIFICIAL

Trabajo de grado para optar el título de licenciado(a) en Electrónica

ANGIE KATERINE BORDA RODRÍGUEZ

2010203009

DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADO
AUGUSTO GUARIN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
BOGOTÁ

2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mi madre Ana Elvia por brindarme las herramientas necesarias para desempeñarme de forma exitosa en mis estudios y por su apoyo incondicional en los momentos difíciles en el transcurso de esta carrera universitaria.

A mi hermano Harlem por orientarme con sus conocimientos en pedagogía en función de hacerme una mejor profesional.

A Oscar Javier por el apoyo durante estos años y finalmente a mis maestros: Augusto Guarín, William Peña, Julio Bonilla, Diego Rivera entre otros, por su dedicación esfuerzo y compromiso con nuestra formación profesional.

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN-RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Diseño de un Robot Móvil Recolector de Objetos Basado en un Sistema de Visión Artificial.
Autor(es)	Borda Rodríguez, Angie Katerine.
Director	Guarín Rodríguez, Augusto.
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 98p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ROBOT MÓVIL, VISIÓN ARTIFICIAL, SOLIDWORKS, TRAYECTORIAS, POTENCIA, MATLAB.

2. Descripción
En este proyecto de grado se desarrolló un robot móvil, con la capacidad de planificar trayectorias a diferentes objetivos y recolectar estos mediante el uso técnicas de visión artificial. Las trayectorias son calculadas en tiempo real mediante el procesamiento de imágenes bidimensionales del entorno donde se encuentra el robot. El diseño de la estructura mecánica del robot se realizó en SolidWorks y la etapa de potencia en Proteus. La comunicación entre prototipo y el ordenador fue inalámbrica, mediante una red punto a punto construida con módulos XBee S2.

3. Fuentes
SolidWorks corporation. (2006). Conceptos básicos de SolidWorks: Piezas y ensamblajes. EE.UU: SolidWorks. Adimec. (2016). www.adimec.com. Obtenido de www.adimec.com: http://www.adimec.com/en/Service_Menu/Industrial_camera_products/CoaXPress_A_new_machine_vision_interface_standard

- Ana Gonzales, F. M. (2006). Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial. España: Servicio de publicación.
- applendiendo.wordpress.com. (23 de 10 de 2007). Obtenido de applendiendo.wordpress.com: <https://applendiendo.wordpress.com/2007/10/23/que-es-un-router-y-para-que-sirve/>
- Arduino. (31 de 5 de 2016). www.arduino.cc. Obtenido de www.arduino.cc: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Bambino. (2008). Una introducción a los robots móviles. Una introducción a los robots móviles, 86.
- Bases de datos para las Artes Electrónicas. (6 de 6 de 2012). Obtenido de www.ceiarteuntref.edu.ar: <http://www.ceiarteuntref.edu.ar/badarte/node/89>
- Borger, A. (4 de 3 de 2004). <http://www.industriaynegocios.cl/>. Obtenido de <http://www.industriaynegocios.cl/>: http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2004/Rob%C3%B3tica/seminario%202004%20robotica/Seminario_Robotica/Documentos/CINEM%C3%81TICA%20Directa.htm
- Calderón, R. (20 de 10 de 2011). ventas de seguridad. Obtenido de <http://www.ventasdeseguridad.com/201110206270/articulos/enfoques-miscelaneos/resolucion-de-camara-hd-y-megapixel.html>
- CEDOM. (2015). www.cedom.es. Obtenido de www.cedom.es: <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica>
- Chicala, J., Jacho, R., Atiencia, L., & Vintimilla, B. (2006). Reconocimiento y seguimiento de objeto móviles en un sistema de fútbol robótico. Revista Tecnológica ESPOL, 1.
- Conceptos básicos para el manejo de módulos XBee serie 2. (2016). 2.
- Cuentos cuanticos. (15 de 12 de 2011). Obtenido de Cuentos cuanticos: <https://cuentos-cuanticos.com/2011/12/15/robotica-estimacion-de-posicion-por-odometria/>
- EekFactory. (2016). www.geekfactory.mx. Obtenido de www.geekfactory.mx: <http://www.geekfactory.mx/tienda/radiofrecuencia/kit-modulos-rf-433-mhz-ask-transmisor-y-receptor/>
- El estándar Bluetooth IEEE 802.15.1. (s.f.). 5.
- Faludi, R. (2010). Building Wireless Sensor Networks. the United States of America: O'Reilly Media.
- Fields, L. E. (2013). Fields, L. E. Comparación de sistemas de comunicación inalámbrica para robots móviles. Prima tecnologico, 1,2.
- Fisicalab. (2013). www.fisicalab.com. Obtenido de www.fisicalab.com: <https://www.fisicalab.com/apartado/rozamiento#contenidos>
- García, I. D. (2008). Visión Artificial y Procesamiento Digital de imágenes por Matlab. En I. D. García, Visión Artificial y Procesamiento Digital de imágenes por Matlab (pág. 4). Ecuador.
- García, P. D. (2013). <http://www.uco.es/>. Obtenido de <http://www.uco.es/>: <http://www.uco.es/users/ma1fegan/2012-2013/vision/Temas/segmentacion.pdf>
- González, J. M. (2004). ROBÓTICA Y PRÓTESIS INTELIGENTES. Revista Unam, 8.
- González, T. P., & Bayona, G. (2010). REDES MESH. Universidad de Almería, 18.
- Grayeb, S., & Jose Alberto. (5 de 12 de 2008). losmicrocontroladores.blogspot.com.co. Obtenido de losmicrocontroladores.blogspot.com.co: <http://losmicrocontroladores.blogspot.com.co/>
- <http://saber.patagoniatec.com/>. (25 de 5 de 2016). Obtenido de <http://saber.patagoniatec.com/>: <http://saber.patagoniatec.com/modulos-emisor-y-receptor-rf-433mhz/>

ieespain. (2015). Proteus the Complete Electronics Desing System. Obtenido de [www.ieespain.com:](http://www.ieespain.com/ieeproteus/)
<http://www.ieespain.com/ieeproteus/>

IES Alfonso Romero Barcojo. (2 de 6 de 2016). cmapspublic2.ihmc.us. Obtenido de [cmapspublic2.ihmc.us:](http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H2F1807L-JP0SG2-J1J/encoder.pdf)
<http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H2F1807L-JP0SG2-J1J/encoder.pdf>

iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com. (31 de 3 de 2016). Obtenido de [iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com:](https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/transistores.pdf)
<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/transistores.pdf>

informecatronica-robotica.blogspot.com.co. (1 de 6 de 2012). Obtenido de [informecatronica-robotica.blogspot.com.co:](http://informecatronica-robotica.blogspot.com.co/p/sistemas-sensoriales.html)
<http://informecatronica-robotica.blogspot.com.co/p/sistemas-sensoriales.html>

Liarte, D. (18 de 12 de 2009). Atakafoto. Obtenido de <http://www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos>

Malpartida, E. A. (2003). Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos usando un brazo robotico.

Mata, J. A. (1 de 3 de 2010). Monografias. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos94/lampara-incandescente-o-bombilla/lampara-incandescente-o-bombilla.shtml>

Molina, N. H. (2013). El ABC de la comunicación XBee. M.Estevez OverSenses, 3.

National Instruments. (2 de 1 de 2004). digital.ni.com. Obtenido de [digital.ni.com:](http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1)
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>

National Instruments. (2 de 01 de 2004). [Digital.ni.com](http://digital.ni.com). Obtenido de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>

Nereida. (2012). nereida.deioc.ull.es. Obtenido de [nereida.deioc.ull.es:](http://nereida.deioc.ull.es/~pcgull/ihiu01/cdrom/matlab/contenido/node2.html)
<http://nereida.deioc.ull.es/~pcgull/ihiu01/cdrom/matlab/contenido/node2.html>

PCE. (2016). www.pce-iberica.es. Obtenido de [www.pce-iberica.es:](http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm)
<http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>

Pérez, D. (2006). SENSORES DE DISTANCIA POR ULTRASONIDO. 2.

Philips. (5 de 3 de 2015). Philips. Obtenido de <http://www.philips.es/c-m-li/bombillas-fluorescentes-compactas>

Pietrosemoli, E. (10 de 2011). www.eslared.org.ve. Obtenido de [www.eslared.org.ve:](http://www.eslared.org.ve/walcs/walc2011/material/track1/redes_mesh_presentacion_es.pdf)
http://www.eslared.org.ve/walcs/walc2011/material/track1/redes_mesh_presentacion_es.pdf

platea pntic. (3 de 12 de 2009). Obtenido de [Planeta pntic:](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm#definicion)
http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm#definicion

Plúa, A. E. (23 de 5 de 2008). pedrojoanmiro.webcindario.com. Obtenido de [pedrojoanmiro.webcindario.com:](http://pedrojoanmiro.webcindario.com/Desarrollo_de_Proyectos/Proyectos_Alumnos/Luchadores_Sumo/Popoly/Popoly.pdf)
http://pedrojoanmiro.webcindario.com/Desarrollo_de_Proyectos/Proyectos_Alumnos/Luchadores_Sumo/Popoly/Popoly.pdf

Porras, J. (2010). CLASIFICATION SYSTEM BASED ON COMPUTER VISION. Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, 2.

Puy, I. (5 de 5 de 2008). webuser.hs-furtwangen.de. Obtenido de <http://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/ebte-08ss-bluetooth-Ingo-Puy-Crespo.pdf>

RoboCup. (1 de 2 de 2016). RoboCup2016. Obtenido de [robotCup2016:](http://www.robocup2016.org/en/)
<http://www.robocup2016.org/en/>

Rodrigo, L. D. (1 de 4 de 2010). www.alcabot.com. Obtenido de [ww.alcabot.com:](http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/LuisDeSantiagoRodrigo.PDF)
<http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/LuisDeSantiagoRodrigo.PDF>

Sanchez, F., Rodríguez, O., Mazzeo, H., & Rapallini, J. (2013). uea2013.frbb.utn.edu.a. Obtenido de uea2013.frbb.utn.edu.a: http://uea2013.frbb.utn.edu.ar/wp-content/uploads/TE_1.pdf

Santiago. (2011). <http://firmware-santiago.blogspot.com.co/>. Obtenido de <http://firmware-santiago.blogspot.com.co/>: <http://firmware-santiago.blogspot.com.co/>

Santillán, I. D. (2008). Visión Artificial y Procesamiento Digital de. Ecuador: Escuela de Ingeniería de la PUCE-S.

sciatel.wikispaces.com. (22 de 8 de 2012). Obtenido de sciatel.wikispaces.com: <https://sciatel.wikispaces.com/CODIFICACI%C3%93N+Y+DECODIFICACI%C3%93N>

Speed-Test. (3 de 7 de 2014). www.speed-test.es. Obtenido de http://www.speed-test.es/qu_es_la_latencia

SuperRobotica. (18 de 07 de 2013). Obtenido de <http://www.superrobotica.com/S300160.htm>

support.microsoft.com. (12 de 05 de 2015). Obtenido de support.microsoft.com: <https://support.microsoft.com/es-es/kb/253680>

TecBolivia.com. (11 de 5 de 2016). TecBolivia.com. Obtenido de TecBolivia.com: <http://tecbolivia.com/index.php/venta-de-componentes-electronicos-11/comunicaciones/modulo-zigbee-xbee-serie-2-detail>

teleformacion.edu.aytolacoruna.es. (23 de 4 de 2015). Obtenido de teleformacion.edu.aytolacoruna.es: http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Ondasbachillerato/longOnda_Frec/longOnda_Fre.htm

Todo Robot. (4 de 2 de 2012). Obtenido de <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>

uControladores. (21 de 07 de 2011). Obtenido de <https://ucontroladores.wordpress.com/2011/07/12/centroide-de-una-imagen/>

Universidad Central. (2014). www.ucentral.edu.co. Obtenido de www.ucentral.edu.co: <https://www.ucentral.edu.co/images/documentos/eventos/2014-semana-ingenieria-competencia-robotica.pdf>

Universidad Miguel Hernandez. (2015). repositorio.innovacionumh.es. Obtenido de repositorio.innovacionumh.es: http://repositorio.innovacionumh.es/Proyectos/P_19/Tema_2/UMH_02.htm

Universidad Nacional de Quilmes . (2005). Aspectos de un Sistema de Visión Artificial . Ing. en Automatización y Control Industrial , 1.

upcommons.upc.edu. (2014). Obtenido de upcommons.upc.edu: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

Vicente. (1 de 4 de 2015). Obtenido de Electronica teoría y práctica : lectrónica-teoriaypractica.com/transistor-darlington

www.itlalaguna.edu.mx. (3 de 2 de 2010). Obtenido de www.itlalaguna.edu.mx: http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/optopdf2_archivos/unidad2tema4.pdf

www.lego.com. (29 de 5 de 2016). Obtenido de www.lego.com: <http://www.lego.com/es-ar/mindstorms/support>

www.robotica-dec.com.mx/. (25 de 5 de 2016). Obtenido de www.robotica-dec.com.mx/: http://www.robotica-dec.com.mx/index.php?route=product/product&product_id=144

www.sparkfun.com. (25 de 5 de 2016). Obtenido de www.sparkfun.com: <https://www.sparkfun.com/products/10414>

www.thewebfoto.com. (1 de 3 de 2015). Obtenido de www.thewebfoto.com:
<http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/205-sensor-y-sensibilidad>
 www.visiononline.es. (30 de 5 de 2016). Obtenido de www.visiononline.es:
<http://www.visiononline.es/es/actualidad-en-vision-artificial/la-vision-artificial-y-su-influencia-en-espana>
 XBee.cl. (11 de 4 de 2016). XBee.cl. Obtenido de XBee.co: <http://xbec.cl/que-es-xbee/>

4. Contenidos

Clasificación de robots
 Estructura mecánica

Diseño del prototipo en SolidWorks

- Diseño de piezas
- Ensamble
- Obtención de planos

Sensores y actuadores empleados en robots móviles.

Aspectos incidentes en la construcción de un robot recolector de objetos.

Desarrollo del proyecto

- Diseño y construcción
- Sistema de potencia
- Comunicación inalámbrica con módulos XBee S2.

Visión artificial

- Acondicionamiento del entorno
- Entorno
- Iluminación
- Procesamiento de imágenes
- Transmisión de datos desde el entorno de MatLab

5. Metodología

La metodología para el cumplimiento de los objetivos propuestos por el proyecto se dividió en tres fases:

- 1) Fase de diseño y construcción, 2) Fase de potencia y control, 3) fase de prueba.

FASE 1

En la primera fase se evaluó las dimensiones del prototipo, el sistema de recolección, materiales y costos.

A continuación se diseñó y construyó la estructura mecánica del robot recolector de los objetos teniendo en cuenta (dimensiones, peso, componentes, estructura y pruebas).

FASE 2

En esta fase se analizaron los requerimientos de los componentes y circuitos eléctricos del prototipo como la etapa de potencia, la tarjeta de adquisición de datos, sensores, motores y batería. Se determina los rangos de voltaje suministrados a motores, etapa de potencia, reguladores de voltaje. Realizando posteriormente el diseño del PCB y la prueba de los sensores.

Después se estableció un sistema de comunicación inalámbrica entre el PC y prototipo, el análisis del entorno y trayectorias mediante visión artificial.

FASE 3

Para finalizar el prototipo se expuso a pruebas mecánicas, electrónicas, comunicación inalámbrica, visión artificial y control, permitiendo identificar las dificultades que presenta el prototipo y realizar las correcciones pertinentes.

6. Conclusiones

El proyecto logro los objetivos propuestos; El sistema de visión artificial calcula las distancias que debe avanzar el prototipo hasta alcanzar los objetivos y a partir de esta información el prototipo ejecuta un algoritmo de interpretación, para finalmente realizar una rutina que le permita llegar hasta el objetivo.

Las principales conclusiones a las que se llegó con el desarrollo del proyecto fueron:

- 1) El diseño del prototipo en la ambiente de SolidWorks permitió anticiparse a algunas fallas mecánicas en la estructura del robot, también redujo los tiempos de ensamble debido al diseño de piezas a medida.
- 2) SolidWorks demostró ser una herramienta versátil y eficiente en el modelamiento mecánicos de robots, es importante profundizar en esta herramienta para posteriores proyectos en robótica.
- 3) En el diseño de robots se debe tener en cuenta diferentes aspectos como: la estructura del robot, el entorno donde desarrolla alguna actividad este y la relación entre ambas. En el caso particular del robot recolector de objetos, se tuvo que descartar una estructura, debido a que la estructura resulto ser muy pesada y necesitaba mayor cantidad de fuerza para iniciar y realizar cualquier desplazamiento afectando el hardware del robot.
- 4) En el transcurso de la realización del proyecto en pro de un mejor desempeño del prototipo tuvieron que descartarse algunos componentes como los módulos de radio frecuencia de 433 MHz, porque constantemente había perdida de información en el enlace de datos, por tal motivo fueron remplazados por módulos XBee S2 los cuales aumentaron considerablemente el costo del prototipo pero mejoraron la comunicación entre el sistema de visión artificial y el robot móvil, por esta razón la precisión y eficiencia en la etapa de desarrollo de prototipos significa un aumento de costos.
- 5) Las dimensiones del robot (25cm largo x 14cm ancho) es un aspecto a mejorar en prototipos futuros. Si el área de la estructura es menor, esta emplearía menos espacio para orientarse y desplazarse en la tarea de recolección; por lo tanto recolectaría un mayor número de objetos en el entorno establecido inicialmente.

- 6) Los motores paso a paso son idóneos para la tracción del prototipo móvil, puesto que estos motores son precisos en el posicionamiento y además tienen un gran rango de velocidades de operación, facilitando el recorrido de trayectorias en el entorno, a pesar de su peso y costo.
- 7) La construcción del entorno del prototipo también fue un desafío, porque la cámara ubicada a distancias por encima de dos metros, tenía un mayor campo de visión pero el sistema de visión artificial no respondía bien en el proceso de segmentación, por este motivo la cámara web se posiciono a diferentes alturas hasta lograr una buena relación entre campo de visión y el reconocimiento de objetos rojos con áreas ($9cm^2$).
- 8) La iluminación es vital para un buen desempeño del sistema de visión artificial, en la pruebas realizadas a lo largo del día, la iluminación natural mejoraba al inicio del día y se deterioraba con el pasar de las horas hasta el punto de afectar el proceso de binarización y segmentación, dando lugar a errores en el reconocimiento y el seguimiento de objetos rojos, por esta razón se construyeron dos lámparas led, garantizando la iluminación adecuada para el procesamiento de imágenes.
- 9) Los sistemas de visión artificial en tiempo real requieren de considerables recursos de máquina, debido al potencial de cálculo que requieren, posibilitando un gran número de aplicaciones en el sector científico e industrial, convirtiéndolo en un campo de la inteligencia artificial interesante para investigar.
- 10) El algoritmo para el cálculo de trayectoria cumple con el objetivo del proyecto pero podría mejorarse, orientando el robot en el ángulo (β) coincidiendo con el objeto a recolectar y utilizando la ecuación:

$$distancia = \sqrt{(xm - xt)^2 + (ym - yt)^2}$$

Para obtener la longitud a recorrer hasta el objetivo.

11) El mecanismo de recolección utilizando una pinza, permitió corregir errores de posición mínimos del robot y facilitó la tarea de agrupar los objetos sobre el robot, con la desventaja de aumentar los costos del prototipo debido al puente H y motores adicionales que no estaban contemplados en el diseño original.

Elaborado por:	Angie Katherine Borda Rodríguez
Revisado por:	Augusto Guarín Rodríguez

Fecha de elaboración del Resumen:	24	11	2016
--	----	----	------

Tabla de contenido

Introducción	18
1 Planteamiento del problema	19
2 Objetivos	21
2.1 Objetivo General	21
2.2 Objetivos específicos.....	21
3 Justificación	22
4 Antecedentes	23
5 Delimitaciones y alcances	25
5.1 Delimitaciones.....	25
5.2 Alcances	26
6 Marco teórico.....	26
6.1 Clasificación de los robots.....	27
6.1.1 robots industriales	28
6.1.2 Robots médicos.....	28
6.1.3 Robots móviles:.....	29
6.2 Estructura mecánica.....	32
6.2.1 Entorno:	32
6.2.2 Sistema de locomoción	32
6.2.3 Tipos de ruedas	33
6.2.4 Disposición de las ruedas	33
6.2.5 Tracción y dirección en un mismo eje.....	34
7 Diseño del prototipo en SolidWorks	34
7.1 Procedimiento.....	35
7.2 Diseño de las piezas	35
7.3 Ensamblaje	35
7.4 Obtención de planos	37
8 SENSORES.....	38
8.1 Clasificación de sensores.....	38
9 Actuadores	40
9.1 Motor paso a paso	41
10 Aspectos incidentes en la construcción de un robot recolector de objetos.....	44
10.1 Sistema de recolección	44

10.2 Tarjeta de desarrollo	46
10.3 Sistemas de comunicación móvil	47
10.3.1 Comunicación por radiofrecuencia	47
10.3.2 Comunicación ultrasónica	47
10.3.3 Comunicación laser	48
10.3.4 Visión artificial	48
11 Desarrollo del proyecto	50
11.1 Diseño y construcción	50
11.2 Sistema Mecánico	50
11.3 Primera versión del prototipo	52
11.4 Sistema de potencia	53
11.4.1 Arduino Nano	54
11.4.2 Integrado L298	55
11.4.3 Batería	57
11.5 Sistema de comunicación inalámbrica del prototipo	58
12 Sistema de visión artificial	68
12.1 Acondicionamiento del entorno.	68
12.2 Entorno	68
12.3 Características del entorno.	68
12.4 Cámara Web	72
12.5 Iluminación	73
12.6 Procesamiento de imágenes	74
12.6.1 Implementación de la visión artificial en MatLab.	75
12.6.2 Identificación de objetos	76
12.6.3 Interfaz gráfica del sistema de visión artificial	81
12.6.4 Transmisión de datos desde el entorno MatLab	82
Conclusiones	88
Bibliografía	94

Figura 1 Robot Industrial SCARA XG.....	28
Figura 2 Prótesis para miembro superior derecho	29
Figura 3 Robot móvil agrícola Fitorobot	30
Figura 4 Robot con cadenas	32
Figura 5 Robot con patas	32
Figura 6 Robot con dos ruedas.....	32
Figura 7 Estructura de un robot diferencial circular	34
Figura 8 Robot Tortuga diferencial	34
Figura 9 Pieza trasera de la pinza para recolectar objetos	35
Figura 10 Rueda del robot móvil.....	35
Figura 11 Ensamble en Solidworks de robot recolector de objetos	36
Figura 12 Piezas en SolidWorks del prototipo	38
Figura 13 Motores paso a paso de imán permanente	42
Figura 14 Diagrama de conexión de un Driver L298N a un motor PaP bipolar	43
Figura 15 Robot recolector con rodillo en Solidworks.....	44
Figura 16 Pala para recolección de objetos esféricos	45
Figura 17 Pinza para recolección de objetos con motor D.C	45
Figura 18 Prototipo recolector de objetos final.....	51
Figura 19 Primer prototipo simulado en Solidworks	52
Figura 20 Esquema electrónico del prototipo recolector de objetos diseñado en Proteus	54
Figura 21 Tarjeta de adquisición de datos Arduino Nano.....	55
Figura 22 Circuito Integrado L298N	55
Figura 23 Etapa de potencia del prototipo	56
Figura 24 Regulador 5v 7805	57
Figura 25 Batería de Li-Po 7.4 v.....	57
Figura 26 Tarjeta para el sistema de potencia.....	58
Figura 27 Módulos de radio frecuencia 433MHZ.....	59
Figura 28 Módulo XBee S2.	60
Figura 29 XBee Explorer USB.....	62
Figura 30 Breakout board para cambiar el espacio entre pines del módulo XBee.....	62
Figura 31 Conexiones Arduino Nano y módulo XBee S1 para comunicación serial	63
Figura 32 Tabla de configuración XBee ROUTER y COORDINADOR.....	65
Figura 33 Diagrama de la red punto a punto	66
Figura 34 Diagrama de flujo de la transmisión de datos por comunicación serial	67
Figura 35 Diagrama de flujo para la recepción de datos.	68
Figura 36 Entorno del robot recolector de objetos.	69
Figura 37 Acondicionamiento del ambiente del robot.	70
Figura 38 Objetos rojos para recolectar.....	71
Figura 39 FaceCam 1000x HD.....	73
Figura 40 Lámparas Led	74
Figura 41 Diagrama de flujo del sistema.....	76
Figura 42 Centroides de objetos para recolectar.....	77
Figura 43 Diagrama de flujo para el seguimiento de objetos rojos	78
Figura 44 trayectoria del robot recolector de objetos para alcanzar objetivo	79

Figura 45 Visualización de las distancias por medio del sistema de visión artificial en MatLab.	80
Figura 46 Interfaz gráfica del sistema de visión artificial en MatLab.....	81
Figura 47 trayectoria del caso 1	83
Figura 48 trayectoria del caso 2	84
Figura 49 trayectoria del caso 3.	84
Figura 50 trayectoria del caso 4	85
Figura 51 Trayectoria del caso 5	85
Figura 52 Trayectoria del caso 6	86
Figura 53 Distancias vs grados	87

Introducción

La licenciatura de electrónica forma estudiantes con las competencias disciplinares y pedagógicas con las cuales más tarde serán capaces liderar y desarrollar proyectos de índole tecnológico en el sector educativo, productivo a nivel industrial y de emprendimiento.

Los licenciados en electrónica cuentan con las competencias para analizar, desarrollar, simular e implementar proyectos en los campos de la automatización industrial, robótica, recursos didácticos en software y hardware para el aprendizaje de diferentes áreas del saber.

La robótica es un área interdisciplinaria conformada por la ingeniería eléctrica, mecánica, electrónica y sistemas computacionales. La mecánica se encarga del diseño, análisis dinámico y estático; la electrónica provee al artefacto de los medios para la transmisión y recepción de la información mediante impulsos eléctricos. La informática es la interfaz para coordinar los movimientos mecánicos, donde el sistema de control permite a la maquina adaptarse, tener cierto grado autonomía y realizar correctivos sobre este.

Las aplicaciones de la robótica son múltiples como: la exploración (submarina, terrestre y espacial); en educación (material didáctico); automatización (trabajos de fundición, operaciones de procesamiento, control de calidad, limpieza de los caudales de río, manipulación de residuos tóxicos); medica (prótesis humanas, nanotecnología, cirugías, instrumentación quirúrgica); agricultura (preparación de los suelos, siembra y recolección).

1 Planteamiento del problema

En la prehistoria los hombres vivían de la caza, la pesca y de la recolección de algunos productos. Se alimentaban con plantas y frutos comestibles que encontraban en su entorno. Con el paso de los años se establecieron en un sólo lugar y empezaron a cultivar la tierra para satisfacer la necesidad de alimento en las familias, con el tiempo los asentamientos se hicieron más grandes y desarrollaron actividades como la ganadería y la explotación de la tierra en mayor escala. El uso de herramienta como la piedra y madera para el arado se volvió habitual, más tarde los animales remplazaron al hombre en esta tarea y los cultivos crecieron gracias a la mecanización del labrado de la tierra.

Las herramientas aumentaron y especializaron en tractores, trilladora, remolques, cavadoras para mejorar la actividad agrícola.

Hoy en día la demanda de productos orgánicos ha aumentado y la oferta compite a precios muy bajos, estas circunstancias exigen el uso de tecnologías eficientes, para aumentar la producción.

El campo de acción de la automatización a nivel agrícola se ha ampliado permitiendo realizar actividades complejas como la recolección de frutos mediante sistemas de visión artificial y de ahí nace la importancia de desarrollar sistemas móviles para la realización de estas tareas.

El objetivo del presente proyecto es diseñar un robot capaz de recolectar objetos por medio de un sistema de visión artificial para identificar características de objetos como el color y posición.

Los objetos tendrán un área de $9cm^2$, el robot tendrá la capacidad de desplazarse por una superficie plana siguiendo una trayectoria hacia el objeto a recolectar.

El robot debe orientarse mediante técnicas basada en la adquisición de imágenes, para luego procesarlas digitalmente mediante algún tipo de CPU (computadora, microcontrolador, DSP, etc.) con el fin de extraer y medir determinadas propiedades como: ubicación de los objetos, centros de referencia de los mismos y las trayectorias a seguir (Universidad Nacional de Quilmes , 2005).

La robótica fue concebida para el apoyo en tareas y actividades que el ser humano realiza, tanto en entornos agrícolas o en entornos peligroso, como son la limpieza de residuos radiactivos, las misiones de rescate y la vigilancia.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar un robot móvil recolector de objetos basado en un sistema visión artificial.

2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un robot con la capacidad de recolectar objetos y desplazarse en un área plana.
- Integrar un sistema de comunicación inalámbrica unidireccional entre PC y robot.
- Desarrollar software que permita orientar al robot e identificar los objetos en el área.

3 Justificación

Este proyecto articula varios componentes curriculares de acuerdo con las áreas de formación de la licenciatura en electrónica como: sistemas de comunicaciones, potencia, diseño digital, robots móviles, control e informática. De ahí que actúe como herramienta integradora de conocimiento y apoye procesos de investigación.

La robótica se ha posicionado globalmente como un sinónimo de desarrollo en los países y la innovación en el campo de la tecnología y la ciencia trae grandes beneficios económicos para los países que invierten en estos ámbitos, por esta razón Colombia debe promover la investigación y participación de los estudiantes en proyectos que permitan el desarrollo de tecnologías.

Por ende la realización de este artefacto proporciona condiciones que facilitan el desarrollo del pensamiento tecnológico y sirven como plataforma para el desarrollo de tecnologías.

Este trabajo de grado podría desarrollarse a futuro como un proyecto de investigación en Colciencias orientados a la automatización en el campo, generando un impacto social en las actividades productivas en la agricultura.

El proyecto comprende un sistema de visión artificial¹ que ha tomado fuerza a partir del 2005 en todas las competencias de RobCup², además ha cobrado auge en el ámbito educativo con las

¹ Visión artificial: “campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales” (www.visiononline.es, 2016).

² RoboCup: “es una iniciativa científica internacional con el objetivo de avanzar en el estado del arte de los robots inteligentes. Establecida en 1997, la misión original era la de presentar un equipo de robots capaces de ganar contra la liga de fútbol humana campeones del mundo en 2050” (RoboCup, 2016).

aplicaciones de control y desplazamiento de robots LEGO NTX³ mediante comunicación Bluetooth⁴ con teléfonos inteligentes.

Uno de los objetivos del RoboCup es utilizar los sistemas de visión artificial como elemento integrador de conocimiento del plan de estudios de las carreras de ingeniería: electrónica, sistemas, telecomunicaciones, mecatrónica etc (RoboCup, 2016). Mediante la realización de sistemas de visión artificial, plataformas para la simulación cinemática de robots, algoritmos de planificación, control, comunicaciones inalámbricas y sistemas mecánicos, para establecer trayectorias.

La visión artificial no sólo limita su aplicación en competencias de robots móviles, si no también son ampliamente usadas en automatización, monitorización inteligente de pacientes, sistemas de ayuda al diagnóstico y pronóstico en salud, exploración submarina y rescate a víctimas.

4 Antecedentes

Los trabajos de doctorado, maestría y posgrado son diversos, también los libros a la venta relacionados con visión por computadora son muy variados.

La visión artificial es un área que complementa a la robótica, ya que ayuda a que esta logre cumplir uno de sus objetivos principales, el cual es presentar autonomía en la realización de las tareas encomendadas a los robots (Chicala, Jacho, Atiencia, & Vintimilla, 2006, pág. 1).

La visión por computadora es una disciplina que comprende otras ciencias e incluye estudios de física, matemáticas, ingeniería eléctrica y computación. “El continuo desarrollo de nuevos

³ “LEGO MINDSTORMS es un set de construcción de robots programables que te ofrece la oportunidad de construir, programar y controlar tus propios robots LEGO” (www.lego.com, 2016).

⁴ “La tecnología inalámbrica de Bluetooth utiliza un radio de corto alcance que ha sido optimizado para el ahorro de energía, operación adecuada de la batería, tamaño pequeño y para ser utilizada en aparatos personales de bajo peso” (El estándar Bluetooth IEEE 802.15.1, pág. 5)

algoritmos, funciones y aplicaciones, hacen de esta disciplina y del procesamiento digital de imágenes (PDI⁵) una tecnología en constante evolución” (Santillán, 2008, pág. 3).

La visión artificial intenta emular la capacidad que tienen algunos seres vivos para ver una escena.

En el año 2004 en México, Luis Martínez Gómez realizó un trabajo de grado titulado “*Sistema de visión para el Equipo de Robots Autónomos de ITAM*” donde describe la forma en que procesa las imágenes para la localización de robots y pelota, en base a la identificación de regiones de colores RGB⁶ en tiempo real.

Otras proyecto consultado es el realizado por Erik Valdemar Cuevas Jiménez denominado “*Visión por Computador utilizando MatLAB Y el Toolbox de Procesamiento Digital de Imágenes*

Daniel Zaldivar Navarro,

La visión local utiliza varias cámaras ubicadas a 2m por encima del campo de juego, para promover una retroalimentación constante de las posiciones del robot.

Los sistemas de visión artificial han sido implementados en las competencias de la RoboCup, los cuales se apoyan en dispositivos de hardware especializados, de difícil acceso y alto costo.

En la Universidad Pedagógica Nacional también se han realizado algunos trabajos de grado sobre visión artificial como el realizado en el año 2010 “*Desarrollo de un sistema Multiagente de robots Futbolistas con implementación en visión artificial*” realizada por: Ariza Guerrero, Holman Alexander, Suarez Camargo José Luis; donde se especifica el hardware utilizado para la visión

⁵ PDI está compuesto por seis fases: “captura y adquisición, preprocesamiento, segmentación, descripción, reconocimiento e interpretación” (Santillán, 2008, pág. 3).

⁶ RGB: siglas de red, green, y blue, (rojo, verde y azul). RGB es un modelo de color utilizado normalmente para presentar color en los sistemas de video, cámaras, y monitores de ordenadores. Representa todos los colores como combinaciones de rojo, verde y azul.

artificial (“*cámara Philips SPC1300Nc*”) y los aspectos que tuvieron en cuenta en el desarrollo de la visión como: corrección de distorsión radial, procesamiento de imágenes digitales, segmentación por umbrales, método Otsu y filtros para la eliminación de ruido.

Este proyecto de grado consistió en la realización de tres robots futbolistas y en el mencionar las características del hardware que son semejantes a la mayoría de robots móviles de competencia y especificaron el tipo de microcontrolador, puente H, motores, ruedas, PCB y dimensiones del robot.

El último trabajo consultado relacionadas con visión artificial fue: “MOVIL CON BUSQUEDA DE TRAYECTORIA EN LABERINTO” presentada por: Cristian Cortes, Julián Giraldo, Carlos Andrés Pérez, Ángela m. Torres, Carlos Andrés Vega. Realizada en el año 2008 en la Escuela Colombiana Julio Garabito. Este trabajo muestra el desarrollo de un robot laberinto en SolidWorks⁷, la descripción mecánica del robot, circuitos para el control de movimiento, fuentes de alimentación, transmisión y recepción de los datos, captura de imagen e identificación de móvil.

5 Delimitaciones y alcances

5.1 Delimitaciones

El prototipo se desplaza en un área plana por medio de coordenadas X-Y, los objetos recolectados son cubos con área 9cm^2 asemejándose a frutos pequeños con coloración roja.

⁷ “El software de automatización de diseño mecánico de SolidWorks es una herramienta de diseño de modelado sólido paramétrica y basada en operaciones que aprovecha la facilidad de aprendizaje de la interfaz gráfica de usuario de Windows™” (SolidWorks corporation, 2006)

Las dimensiones del ambiente son: 97cm de ancho por 70cm de largo y la plataforma es blanca para facilitar el procesamiento de imágenes.

Sobre el entorno se capturan los frames con la ayuda de la cámara web y la iluminación LED.

Para la recolección de objetos el robot dispondrá de un área mínima de (40cm x 40cm) debido a las dimensiones del robot y el espacio que necesita para desplazarse, girar y sujetar el objeto, asimismo los objetos deben estar alejados de los bordes del entorno para evitar entorpecer la trayectoria del robot.

El robot contara con la capacidad de recolectar tres objetos máximo, si se quiere aumentar este número es necesario ampliar las dimensiones del entorno.

5.2 Alcances

El control del prototipo se realizará usando una cámara web y la herramienta de procesamiento de imágenes en MatLab, la cual permitirá reconocer el entorno y la posición del objeto que recolectara el móvil.

El prototipo está sujeto a mejorar el mecanismo de recolección en áreas verticales, la tracción para recorrer terrenos irregulares y el desarrollo de un algoritmo que permita orientar al robot de manera más precisa y realizar la tarea de recolección en menor tiempo.

6 Marco teórico

La robótica está presente en la vida de las generaciones actuales. Es común encontrar robots con la capacidad de mover piezas de gran peso y diferentes características, también es habitual encontrarlos realizando trabajos de pintura y soldadura entre otras. Los robots de exploración ayudan con la desactivación de minas y buscan personas sobrevivientes en terrenos con derrumbes

o en zonas con desastres naturales; en los laboratorios farmacéuticos colaboran en la producción de medicamentos y ayudan a personas en condición de discapacidad; en agricultura realizan tareas de fumigación, cosecha, recolección de plantas y frutos.

La popularidad de la robótica en el sector industrial se debe a la excelente productividad y flexibilidad con calidad uniforme en los productos, además permite controlar una gran variedad de plantas según diferentes criterios y parámetros. Las principales ventajas que ofrecen los sistemas robotizados son: mayor productividad, flexibilidad, alta calidad, mejor seguridad.

La robótica permite mejorar las condiciones de trabajo, remplazando tareas que necesitan de un gran esfuerzo físico por otras en mejores condiciones.

El entorno controlado industrial brinda la posibilidad de navegar a vehículos con capacidad sensorial⁸ y de procesamiento mínimas. La sistematización de tareas permite al vehículo cumplir con el propósito para el que fue construido y programado. Si el entorno de trabajo de este vehículo es modificado, este se encontrara imposibilitado en ejecutar acciones alternativas que permitan retomar su trabajo. Por tal motivo se pensó en dotar a estos vehículos con diferentes sistemas, los cuales le permitieran desenvolverse en ambientes diversos, con una mayor sensibilidad y la capacidad de procesar mayor cantidad de datos en menor tiempo.

En los 90 se crea un robot móvil con la capacidad de planear movimientos sobre entornos no estructurados, esto es posible mediante la interpretación de la información suministrada por los sensores (Bambino, 2008).

6.1 Clasificación de los robots

⁸ “Los sensores son dispositivos físicos que miden cantidades físicas, tales como distancia, luz, sonido, olor, temperatura, etc” (informecatronica-robotica.blogspot.com.co, 2012)

Los robots a nivel general se clasifican en tres categorías:

- Industriales
- Médicos
- Móviles

6.1.1 robots industriales

Es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover piezas, herramientas y dispositivos según trayectorias variables. (platea pntic, 2009).

Estos robots pueden mover cargas pesadas a gran velocidad y con mucha precisión, las características estructurales de esto prototipos son: número de articulaciones, características geométricas y mecánicas de los eslabones, frecuencia de resonancia, rigidez estructural, rango articular, volumen de trabajo y accesibilidad. Un ejemplo de estos robots es SCARA con un alcance y carga desde (120 mm y hasta 1200 mm 1kg a 50kg).



Figura 1 Robot Industrial SCARA XG.

Fuente: 2016. X Scara [Figura] Recuperado <https://industrial.omron.eu/en/products/x-scara>

6.1.2 Robots médicos de cooperación y rehabilitación son prótesis inteligentes para personas con amputaciones de extremidades, también se pretende que este tipo de prótesis tengan una gran similitud con la extremidad real y realice las mismas funciones. Las prótesis más sofisticadas

funcionan con señales mioeléctricas, estas se producen con la contracción de los músculos, las cuales oscilan en rangos de (5 a 20 μ V).

Las prótesis pueden imitar 25 de 30 movimientos de un brazo humano, contando con la posibilidad de tomar objetos como granos y hasta platos con alimentos (González J. M., 2004).



Figura 2 Prótesis para miembro superior derecho

*Fuente: 2012. Prótesis Mioeléctricas para miembro Superior [Figura]. Recuperado
<http://gdortopedia.com.ar/2012/07/protesis-mioelectricas-para-miembro-superior/>*

En esta categoría también se incluyen los robots asistentes de procedimientos quirúrgicos de precisión, un ejemplar son los robots Da Vinci los cuales realizan cirugías menos invasivas. Estos prototipos son operados por cirujanos mediante el uso de un joystick y otros controles.

6.1.3 Robots móviles: Tienen grandes capacidades de desplazamiento, basados en la arquitectura de carros y dotadas de un sistema locomotor de tipo radiante: Siguen su camino por telemando ubicándose por medio de sensores para determinar su entorno, las aplicaciones de estos robots son amplias; algunos ejemplos son: robots para la realización de mantenimiento en reactores

nucleares, exploración submarina, competencias de minisumos⁹, cooperativas¹⁰, velocistas¹¹, laberinto¹², etc.

Los robots móviles son capaces de percibir, modelar, planificar y alcanzar uno o varios objetivos con poca supervisión humana. Sin embargo los automóviles autoguiados se refieren a máquinas que sólo siguen caminos determinados (Bambino, 2008).



Figura 3 Robot móvil agrícola Fitorobot

Fuente: David. 2012. Fitorobot con desplazamiento autónomo por el interior de invernaderos [Figura]. Recuperado <http://www.cuentamealgobueno.com/2012/07/robotica-agricola/>

En la figura 3 se muestra el robot móvil Fitorobot, es financiado por la FIAPA (asociación de propietarios de invernaderos). Este proyecto fue realizado en la Red Andaluza de automática, donde se agrupan los departamentos de ingeniería automática y sistemas. Este prototipo autónomo

⁹ Robot sumo es capaz de localizar, seguir, empujar y tirar a otro robot de similares condiciones. Para poder localizar al contrincante generalmente se emplean los Sensores Infrarrojos que miden la distancia a la que se encuentra su oponente, así puede atacar y tirar al otro robot del tatami (Plúa, 2008, pág. 4).

¹⁰ “La robótica colectiva busca diseñar sistemas compuestos de varios robots capaces de resolver problemas conjuntamente. Los robots que forman parte de un sistema multirobot son simples en términos de diseño y control.” (Rodrigo, 2010)

¹¹ “La categoría de robot velocista consiste en una competencia entre dos robots sobre una pista que consta de dos carriles (A y B), cada robot compite dos veces, una por el carril A y otra por el carril B. Los robots deberán desarrollar el recorrido de la pista en el menor tiempo posible y ganarle a su contrincante, sorteando los puentes y las curvas del recorrido.” (Universidad Central, 2014)

¹² “Robot autónomo que es capaz de desplazarse a través de un laberinto prediseñado, siguiendo trayectorias rectilíneas con desviaciones a 90 o 180° ante la detección de un borde o pared del laberinto, cuando se interpone en su camino recto.” (Sanchez, Rodríguez, Mazzeo, & Rapallini, 2013)

resuelve el riesgo de la fumigación de cultivos y los efectos que producen plaguicidas a largo plazo en el cuerpo humano.

Los robots móviles han evolucionado en el transcurso de los años gracias a los aportes de la mecatrónica, los sistemas y la electrónica. Pasaron de máquinas costosas y robustas a placas integradas y prototipos de menor tamaño.

Los robots móviles se enfrentan a ambientes los cuales generan incertidumbre al prototipo en cuanto a posicionamiento y localización de objetos. Esta incertidumbre complejiza la tarea de trasladarse desde un punto A hasta un punto B, por esta razón los robots móviles no igualan el nivel de precisión de los manipuladores industriales (Bambino, 2008).

El principal inconveniente con estos robots es la planificación de trayectorias y coordinación de desplazamientos para el seguimiento de estas, mediante la adquisición de información proveniente de sensores externos (ultrasonido¹³, visión artificial, láser). Como alternativa a estos desafíos es conveniente implementar un sistema de control en trayectorias: posición, velocidad y dirección.

Los robots móviles se caracterizan por su coordinación entre las operaciones de percepción y ejecución. El nivel de autonomía del robot depende la velocidad y procesamiento de la información del entorno convirtiéndolas en órdenes, las cuales se ejecutaran en los actuadores, alcanzando el propósito del robot.

Las dos principales cualidades de estos móviles son:

- **Percepción:** el robot debe determinar su entorno mediante el sistema de sensores.

¹³ “Los ultrasonidos son antes que nada sonido, exactamente igual que los que oímos normalmente, salvo que tienen una frecuencia mayor que la máxima audible por el oído humano. Ésta comienza desde unos 16 Hz y tiene un límite superior de aproximadamente 20 KHz” (Pérez, 2006).

- **Razonamiento:** El móvil debe determinar las acciones requeridas en cuestión de segundos para cumplir con la tarea requerida, (control local de trayectorias).

6.2 Estructura mecánica

6.2.1 Entorno:

Los entornos en los que se desplazaran los robots están definidos como **interiores** o **exteriores**, el prototipo realizado en este trabajo de grado traza trayectorias en un entorno interior, ya que el área de trabajo está definida por una superficie plana de color blanco y probablemente posea iluminación artificial (Bambino, 2008, pág. 16).

Los objetos en el entorno del robot serán estructurados, estos se encontraran estáticos y su forma no se modificada, tendrán características como: el color rojo y forma cubica.

6.2.2 Sistema de locomoción

Los robots se encuentran condicionados a su entorno, por este motivo, se expondrá específicamente los sistemas de locomoción para robots terrestres, estos sistemas pueden ser: con ruedas, con patas o cadenas.



Figura 6 Robot con dos ruedas
Fuente: Robot Chasis G2 [Figura].
Recuperado http://www.robotica-dec.com.mx/index.php?route=product/prochttp://www.superrobotica.com/S300uct&product_id=244



Figura 5 Robot con patas
Fuente: Robot Quadrapod [Figura]. Recuperado <http://www.superrobotica.com/S300160.htm>



Figura 4 Robot con cadenas
Figura: 2016. Robot Tri-Track sin electrónica S300167 [Figura]. Recuperado <http://www.superrobotica.com/S300167.htm>

6.2.3 Tipos de ruedas

En estructuras de robots se debe prestar atención al tipo de ruedas y su disposición sobre esta.

Las ruedas giran alrededor de su eje horizontal y la orientación con respecto a la estructura puede ser fija o variable, esta rueda tiene contacto con un único punto entre ella y el plano.

Entre las ruedas convencionales existentes en el mercado, se encuentran:

Rueda orientable centrada: Su rotación es con respecto a un eje vertical que atraviesa la rueda por el centro.

Rueda orientable no centrada: Es conocida por el nombre rueda castor, es una rueda orientable, puesta en la superficie inferior de la estructura, su principal función es proporcionar estabilidad.

6.2.4 Disposición de las ruedas

“Un robot móvil de cinemática¹⁴ diferencial es aquel que cuenta con dos ruedas motrices unidas por un eje. Cada una de estas ruedas tiene su propio motor que la hace girar en el plano perpendicular al eje”. (Cuentos cuanticos, 2011)

¹⁴ “La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares” (Borger, 2004)

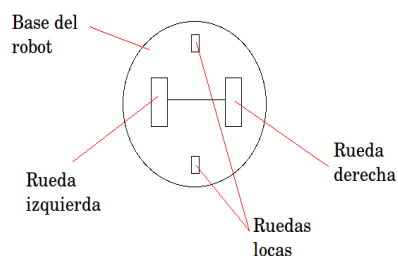


Figura 7 Estructura de un robot diferencial circular
 Fuente: 2011. Robot móvil con base circular y una cinemática diferencial [Figura]. Recuperado <https://cuentos-cuanticos.com/2011/12/15/robotica-estimacion-de-posicion-por-odometria/>



Figura 8 Robot Tortuga diferencial
 Fuente: Plataforma móvil "Tortuga" 2 ruedas [Figura]. Recuperado <http://www.suallabs.com/Plataforma-Movil-Tortuga-2-ruedas>

6.2.5 Tracción y dirección en un mismo eje.

Consta de dos motores independientes en un mismo eje y una rueda libre, es una estructura simple y el radio de giro del robot es equivalente al radio del vehículo móvil, uno de los inconvenientes con esta estructura, es el uso de dos motores con características similares para facilitar la implementación de un sistema de control.

7 Diseño del prototipo en SolidWorks

Solidworks es un software para diseñar modelos sólidos paramétricos sencillos, potente e intuitivo, esta herramienta posee un entorno de trabajo 3D y abarca todos los aspectos de desarrollo en productos. Es una herramienta muy popular entre diseñadores e ingenieros, permite diseñar piezas con precisión milimétrica, para consecutivamente realizar el ensamblaje de estas en el entorno 3D y finalizar con la exportación de piezas acotadas para corte laser.

Otro aspecto importante a destacar es la compatibilidad con MatLab¹⁵ y más específicamente con SimMechanics que permite simular el comportamiento del sistema mecánico.

¹⁵ "MATLAB es un entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para cálculo numérico y visualización. Integra: análisis numérico, cálculo matricial, procesamiento de señales, gráficos." (Nereida, 2012)

7.1 Procedimiento

Para la construcción del robot recolector de objetos se realizaron una serie de procedimientos que serán descritos a continuación.

7.2 Diseño de las piezas

El robot consta de una estructura diferencial con una ruda libre en la base del prototipo para generar mayor estabilidad a la estructura, también consta de dos depósitos para los circuitos electrónicos y una pinza con la capacidad de efectuar la labor de recolección.

La estructura está compuesta por 17 piezas diseñadas y acotadas en el SolidWorks-

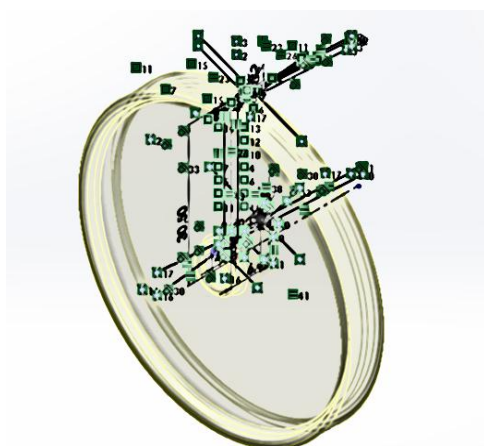


Figura 10 Rueda del robot móvil
Fuente: Autor. 2016. Diseño de la rueda del robot recolector en el entorno SolidWorks [Figura].

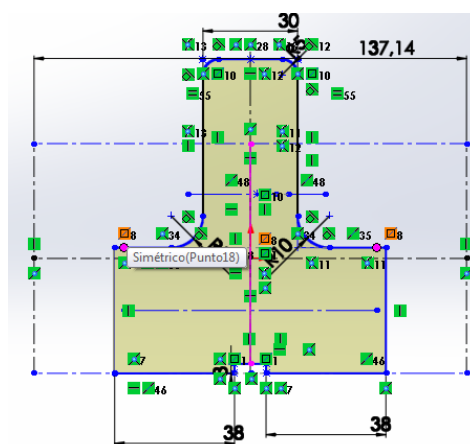


Figura 9 Pieza trasera de la pinza para recolectar objetos
Fuente: Autor. 2016. Diseño de pieza trasera de sistema de recolección en el entorno SolidWorks [Figura]

7.3 Ensamblaje

Las piezas desarrolladas anteriormente fueron ensambladas mediante relaciones de

posición¹⁶; concéntricas¹⁷, coincidentes¹⁸, perpendiculares y paralelismo entre superficies.

A continuación se muestra el ensamblaje del robot recolector de objetos en el entorno de SolidWorks.

Este ensamble se divide en cuatro áreas principales.

Base: Está compuesta por una pieza de (14cm de ancho por 12cm de largo), donde se apoyan los motores PaP Nema 14 y se aloja la batería.

Depósito central: en este se encuentran toda la electrónica del prototipo.

Deposito superior: se puede apreciar a simple vista y sirve para colocar lo objetos recolectados.

Sistema de recolección: está compuesta por una pinza de sujeción y un brazo que permite trasladar los objetos desde la plataforma hasta el depósito superior.

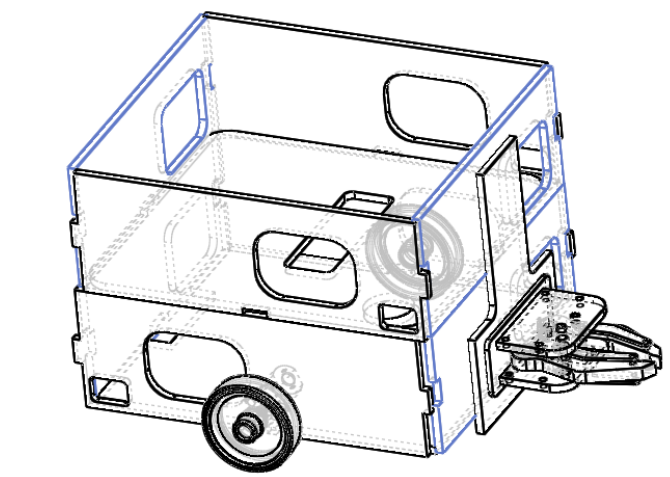


Figura 11 Ensamble en Solidworks de robot recolector de objetos
Fuente: Autor. 2016. Vistas laterales del ensamblaje del prototipo en SolidWorks [Figura].

¹⁶“Las relaciones de posición crean relaciones geométricas entre los componentes de un ensamblaje. A medida que se agregan las relaciones de posición, se definen las direcciones permisibles del movimiento lineal o rotacional de los componentes. Se puede mover un componente dentro de sus grados de libertad, visualizando el comportamiento del ensamblaje.” (SolidWorks corporation, 2006)

¹⁷“Relación de posición concéntrica hace que dos caras cilíndricas se conviertan en concéntricas. Las caras se pueden mover a lo largo de un eje común, pero no se pueden separar de este eje.” (SolidWorks corporation, 2006)

¹⁸“Relación de posición coincidente hace que dos caras planas se conviertan en coplanares. Las caras se pueden mover una a lo largo de la otra, pero son inseparables.” (SolidWorks corporation, 2006)

Las dimensiones del robot son:

Altura total: 13cm.

Ancho: 25cm.

Largo: 12cm.

Radio rueda: 3.1cm.

Ancho de la pinza: 11cm.

Largo de la pinza abierta: 15cm.

Depósito: 12cm largo x 14cm ancho x 4cm de alto.

Depósito central: donde se aloja los circuitos de potencia, microcontrolador y módulo XBee S2, 12 cm largo x 14cm ancho x 5cm de alto.

Base diferencia: 12cm largo x 14cm ancho x 4cm de alto.

7.4 Obtención de planos

El material elegido para las piezas que componen la estructura, es acrílico de 2mm; este material es resistente y liviano.

Las piezas acotadas en mm que componen la estructura del prototipo se pueden observar en la figura 12.

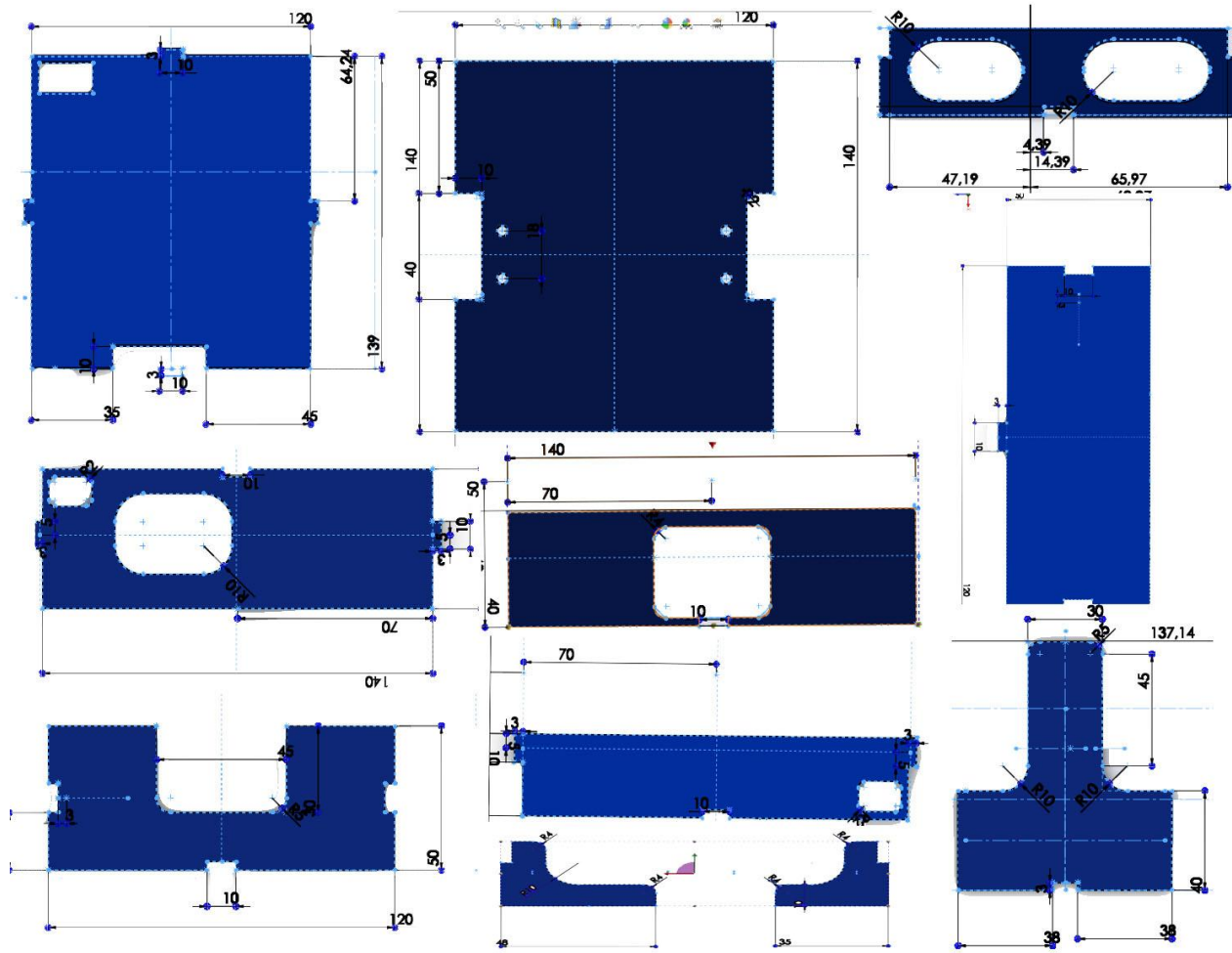


Figura 12 Piezas en SolidWorks del prototipo
Fuente: Autor.2016. Piezas del robot recolector acotada [Figura].

8 sensores

8.1 Clasificación de sensores

La clasificación de sensores empleados en robótica móvil son: la propiocepción refiriéndose a la percepción del estado interno del robot; por ejemplo, posición, orientación, etc. Y los

sensores indicadores de la percepción de aspectos externos al robot; por ejemplo, temperatura y la localización de objetos.

- **CÁMARA:** Las cámaras digitales son dispositivos que capturan la imagen proyectada por el sensor y la transfieren a un sistema electrónico, la interfaz de conexión de las cámaras son el USB y Coaxpress¹⁹, las cámaras Coaxpress necesitan la aplicación Frame Grabber Coaxpress para mejorar la velocidad de captura.

El sensor de imagen es el elemento de la cámara fotográfica, el cual registra más de 15 fotogramas por segundo, este chip posee miles de componentes sensibles a la luz, que son expuestos para capturar una imagen fotográfica (www.thewebfoto.com, 2015).

- **INFRARROJO:** El sensor infrarrojo está compuesto de un fototransistor²⁰, la diferencia con los transistores²¹ comunes radica en la base²² que es sustituida por un cristal fotosensible, regulando la intensidad de corriente al colector²³ y emisor²⁴ de acuerdo a la luz infrarroja que recae en él. Este sensor tiene una gran variedad de propósitos como medir distancias, detectar objetos y la detención de franjas negras en los seguidores de línea entre otros.
- **ULTRASONIDO:** este sensor emite y recibe ondas acústicas, su principio de funcionamiento se basa en emitir un pulso ultrasónico a un objeto y al interceptar el pulso,

¹⁹ “CoaxPress es un estándar de interfaz digital que permite la transmisión de datos de alta velocidad desde un dispositivo, por ejemplo una cámara, a un huésped tal como un capturador de fotogramas en un PC, a una velocidad alta de hasta 6.25Gbps sobre un solo cable coaxial.” (Adimec, 2016)

²⁰ “Los fototransistores combinan en un mismo dispositivo la detección de luz y la ganancia. Su construcción es similar a la de los transistores convencionales, excepto que la superficie superior se expone a la luz a través de una ventana o lente” (www.itlalaguna.edu.mx, 2010).

²¹ “Un transistor es un componente que tiene, básicamente, dos funciones:

Deja pasar o corta señales eléctricas a partir de una PEQUEÑA señal de mando.

Funciona como un elemento AMPLIFICADOR de señales.

²² Base (B): Controla el paso de corriente a través del transistor. Es el cristal de en medio (iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com, 2016).

²³ Colector (C): Se encarga de recoger portadores de carga (iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com, 2016).

²⁴ Emisor (E): Se encarga de proporcionar portadores de carga (iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com, 2016).

se detiene un contador de tiempo que inicio con la emisión del pulso. El sensor tiene un punto ciego o zona muerta que depende de la duración de los pulsos emitidos.

La distancia mínima corresponde con el intervalo de tiempo en el cual la cola del pulso emitido interfiere con el eco esperado. De este modo siendo T_p la duración del pulso emitido, la distancia mínima se puede determinar por medio del desarrollo de la siguiente ecuación.

$$d_{min} = (C * T_p)/2$$

Dónde:

C = Velocidad de propagación = 343 m/s .

T_p = La duración del pulso emitido = 0.2 ms

$$dm = \frac{343 \text{ m/s} * 0.2 * 10^{-3} \text{ s}}{2}$$

$$dm = 0.03443 \text{ m}$$

$$dm = 3.443 \text{ cm}$$

9 Actuadores

Los actuadores realizan una función mecánica en respuesta a una señal eléctrica de entrada, el prototipo usa específicamente actuadores eléctricos, pero estos también pueden ser hidráulicos y neumáticos. Estos dispositivos son capaces de transformar la energía eléctrica, neumática o hidráulica en energía mecánica.

Los elementos que componen un actuador son:

- Sistema de accionamiento: realiza un movimiento.
- Sistema de transmisión: transmite el movimiento del actuador a los elementos.
- Sistema reductor: adecua el torque a la velocidad del actuador.

- Sistema de control: interviene enviando órdenes a los actuadores

9.1 Motor paso a paso

Los actuadores empleados para la tracción del robot recolector de objetos son motores paso a paso (Nema 14), los motores son un tipo de transductor²⁵ que convierte la energía eléctrica en mecánica, en la industria es muy común emplear estos motores, en mecanismos que requieren movimientos precisos.

La principal característica de los motores PaP²⁶ es el hecho de avanzar un paso a la vez por cada pulso que se induzca sobre él.

Este paso puede ser un pequeño movimiento de tan solo 1.8° , donde el motor deberá efectuar 200 pasos para completar una vuelta completa.

$$1 \text{ vuelta} = \frac{(360^\circ)(1\text{paso})}{1.8^\circ} = 200\text{pasos}$$

Estos motores pueden quedar enclavados en una posición o girar libremente.

Los motores PaP de imán permanente,” están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas²⁷ excitadoras en su estator. Así, las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) debe ser externamente manejada por un controlador”. (Todo Robot, 2012)

²⁵ “Los transductores son aquellas partes de una cadena de medición que transforman una magnitud física en una señal eléctrica. Los transductores son especialmente importantes para que los medidores puedan detectar magnitudes físicas. Normalmente, estas magnitudes, como por ejemplo temperatura, presión, humedad del aire, presión sonora, caudal, o luz, se convierten en una señal normalizada (20 mA).” (PCE, 2016)

²⁶ PaP: motor paso a paso.

²⁷ La bobina ideal es un elemento pasivo, que almacena energía eléctrica en forma de campo magnético. Se define: $u(t) = L \frac{di}{dt}$

Hay dos tipos de motores PaP de imán permanente:

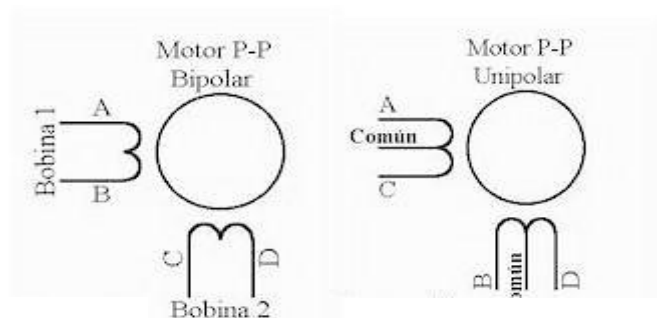


Figura 13 Motores paso a paso de imán permanente
 Fuente: 2014.Motores Paso a Paso [Figura]. Recuperado
<http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>

Unipolar: Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida. Se caracteriza por ser más fáciles de controlar, el driver más común para controlar estos motores unipolares es el ULN2803, el cual está compuesto por un array de 8 transistores tipo Darlington²⁸ capaces de manejar cargas de hasta 500mA.

Bipolares: Son motores con cuatro cables de salida, necesitan de un puente H para ser controlados, debido a que necesitan cambios del flujo de corriente sobre las bobinas en una secuencia determinada para desplazarse N pasos. Para el control de un motor paso a paso bipolar (2 bobinas) son necesario dos puentes H²⁹.

En la figura 14 se puede observar el diagrama de conexión entre un integrado (L298N) y un motor bipolar, controlado por medio de una tarjeta Arduino Nano.

²⁸ "El transistor Darlington es una pareja de transistores que están configurados para que proporcionen una gran ganancia de corriente y al integrarlos en una misma capsula, requiere menos espacio que dos transistores normales en la misma configuración. La ganancia total del Darlington es el producto de la ganancia de los transistores individuales" (Vicente, 2015)

²⁹ El puente H es un circuito electrónico que permite a un motor PaP y D.C girar en ambos sentidos, (avanzar y retroceder). Los puentes H pueden estar en integrados o se pueden construir a partir de componentes discretos.

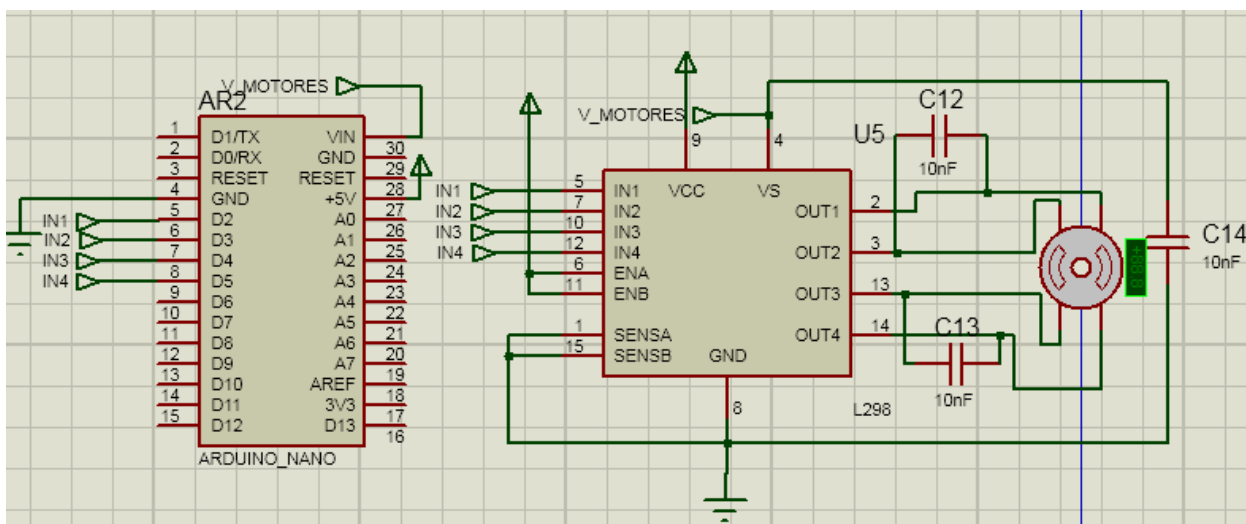


Figura 14 Diagrama de conexión de un Driver L298N a un motor PaP bipolar

Fuente: 2016.Motores Paso a Paso [Figura _Electronilab.png]

Para el control de los motores PaP bipolares se requiere invertir el sentido de las corrientes que circulan por las bobinas, cada inversión de la polaridad genera un movimiento del eje en un paso.

El sentido de giro del motor PaP está determinado por la siguiente secuencia para lograr una revolución a la derecha o invirtiéndola para obtener una revolución hacia la izquierda:

Paso	Terminal A	Terminal B	Terminal C	Terminal D
1	V+	V-	V+	V-
2	V+	V-	V-	V+
3	V-	V+	V-	V+
4	V-	V+	V+	V-

Los motores PaP bipolares utilizados para la tracción del prototipo son los motores (Nema 14), esto motores son controlados por dos driver L298N.

En el anexo A están las características técnicas del motor Nema 14.

10 Aspectos incidentes en la construcción de un robot recolector de objetos

Los Sigüientes elementos son fundamentales en la construcción del robot recolector de objetos.

10.1 Sistema de recolección

En Robótica se emplean diferentes métodos de recolección de objetos, para el diseño y construcción de este prototipo se tuvo en cuenta tres métodos de recolección.

Rodillos: Los rodillos permiten arrastrar los objetos dispuestos en una superficie, el movimiento se puede transmitir mediante cadenas, engranajes o cintas. Para el desarrollo de este sistema se debe realiza un control del velocidad al motor dc acoplado al rodillo.

Para este sistema se realizaron rodillos de pruebas y se diseñó una estructura en SolidWorks.

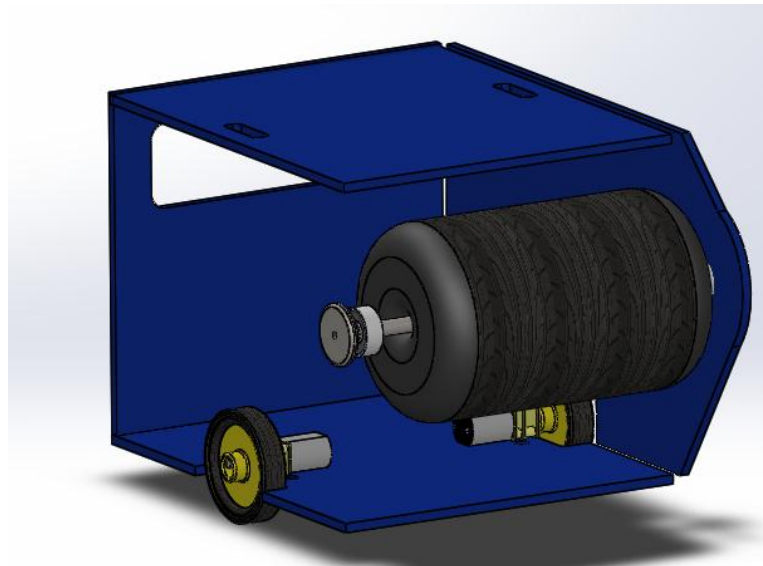
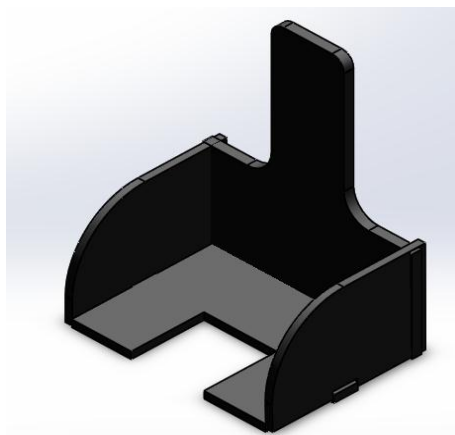


Figura 15 Robot recolector con rodillo en Solidworks

Fuente: Autor. 2016. Prototipo para la labor de recolección de objetos realizada en SolidWorks [Figura]

Pala de carga: Este sistema permite la recolección de objetos mediante el uso de una pala con un orificio de (3cm x 3cm) al borde, utiliza un motorreductor para trasladar los boques de la plataforma al depósito, este motor debe tener un control de velocidad para trasladar los objetos sin sufrir daños.



*Figura 16 Pala para recolección de objetos esféricos
Fuente: Autor. 2016. Pieza realizada en software SolidWorks
[Figura]*

Pinza robótica: Es un sistema constituido por un juego de tres engranajes, donde la transmisión de movimiento se da por medio de dos engranajes de igual tamaño, accionados por uno más pequeño. El actuador de este sistema mecánico es un motorreductor.

Las ventajas de este sistema es la sujeción de una gran variedad de objetos con diversas características en tamaño y forma.



*Figura 17 Pinza para recolección de objetos con motor D.C
Fuente: Autor. 2016. Pinza del robot recolector [Figura]*

10.2 Tarjeta de desarrollo

La tarjeta empleada en este proyecto es un Arduino³⁰ Nano, de dimensiones (43.18mm x 17,78mm) con un microcontrolador³¹ ATmega328 y con un puerto mini USB.

Esta tarjeta posee 14 puertos digitales (6 PWM³²) y 8 análogos con un cristal oscilador³³ de 16 Mhz.

La alimentación de la tarjeta se conecta al pin Vin usando una batería externa, con rangos de voltaje entre los 7v a 12v.

La plataforma Arduino se denomina IED (Integrated Development Environment), este software tiene una licencia libre y puede ser descargado de su página oficial, incluyendo los driver de todas las placas Arduino disponibles a la venta.

Este software permite programar y editar el código fuente, la compilación y programación de los microcontroladores. Arduino tiene algunas ventajas en las comunicaciones vía serial³⁴ ya que sólo necesita un cable USB, en comparación con otros microcontroladores con el requerimiento de una tarjeta externa para este fin.

³⁰Arduino es una plataforma de creación de prototipos de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino son capaces de leer entradas - sensores - la activación de un motor, encender un LED, publicar algo en línea, entre otras aplicaciones (Arduino, 2016)

³¹ “Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de una computadora completa en un solo circuito integrado programable y se destina a gobernar una sola tarea con el programa que reside en su memoria.” (Grayeb & Jose Alberto, 2008)

³² “La modulación por ancho o de pulso (o en inglés pulse width modulation PWM) es un tipo de señal de voltaje utilizada para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Este tipo de señales es muy utilizada en circuitos digitales que necesitan emular una señal analógica.” (Arduino, 2016)

³³ Todo microprocesador o microcontrolador requiere de un circuito que le indique a qué velocidad debe trabajar. Este circuito es conocido como un oscilador de frecuencia. Los tipos de osciladores son: Oscilador tipo "XT" para frecuencias no mayores de 4 Mhz, oscilador tipo "LP" (Low Power) para frecuencias entre 32 y 200 Khz, oscilador tipo "HS" (High Speed) para frecuencias comprendidas entre 4 y 20 MHz, oscilador tipo "RC" (Resistor/Capacitor) para frecuencias no mayores de 5.5 Mhz.

³⁴ “La comunicación serial es un protocolo muy común (no hay que confundirlo con el Bus Serial de Comunicación, o USB) para comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora. La mayoría de las computadoras incluyen dos puertos seriales RS-232.” (National Instruments, 2004)

10.3 Sistemas de comunicación móvil

En robótica móvil es habitual el uso de comunicaciones inalámbricas, debido a los limitantes de la comunicación cableada en cuanto a movilidad. Los sistemas de comunicación inalámbrica más habituales son:

- Comunicación por radiofrecuencia.
- Comunicación ultrasónica.
- Comunicación laser.

10.3.1 Comunicación por radiofrecuencia

Es la tecnología inalámbrica más común. Este sistema se compone de un integrado transmisor y receptor, este sistema debe cumplir con ciertas condiciones como: la frecuencia³⁵ de onda y el sistema de codificación/decodificación³⁶ en la conversión análoga digital. La banda de 2.4 GHz se utiliza en las comunicaciones locales.

La dificultad que experimenta esta comunicación es la limitación del alcance de la señal y alto costo energético de esta comunicación.

10.3.2 Comunicación ultrasónica

Este método de comunicación tiene ventajas en medios acuáticos debido a que las ondas sonoras viajan más rápido y tienen un mayor alcance en ese medio.

En el aire esta comunicación no es igual de eficiente. Las ventajas de estos sistemas son:

³⁵ “La frecuencia es el número de oscilaciones (vibraciones completas) que efectúa cualquier partícula, del medio perturbado por donde se propaga la onda, en un segundo.” (teleformacion.edu.aytolacoruna.es, 2015)

³⁶ “La codificación y la decodificación son dos procesos involucrados en la transmisión de datos. La codificación consiste en adaptar la información que se desea transmitir en señales que puedan viajar por un medio de transmisión. La decodificación es el proceso inverso, es tomar las señales captadas en el receptor y convertirlas en información útil.” (sciatel.wikispaces.com, 2012)

- Identifican con mayor facilidad las el ruido ambiente
- Posibilidad de aislar el ruido.

10.3.3 Comunicación laser

El láser es un haz de fotones, al concentrar su haz en un punto específico, tiene un mayor alcance. Actualmente está pensada para ser empleada en comunicaciones espaciales.

Este sistema requiere alinear el emisor y receptor mediante el uso GPS y la tecnología de visión artificial. Este sistema no tiene interferencias con ondas sonoras o electromagnéticas, pero otras fuentes de ruido la afectan como: el aire caliente, la niebla, lluvia, aves y otras fuente lumínicas (Fields, 2013)

10.3.4 Visión artificial

La visión artificial establece una relación entre el mundo tridimensional y sus vistas bidimensionales tomadas de él. Con esta herramienta se puede hacer una reconstrucción del espacio tridimensional a partir de sus vistas y por otro lado lleva a cabo la simulación de una proyección tridimensional desde un plano bidimensional.

Las imagines pueden ser monocromáticas y proviene de una o varias cámaras, la ubicación de las cámaras pueden ser fijas o móviles.

El mundo tridimensional posee propiedades que se desean hallar mediante visión artificial como: geometrías, tamaños, localización, colores, iluminación, composición y textura.

Los sistemas de VA³⁷ está compuesto por una imagen obtenida por un sensor de captación para obtener en la salida una descripción de la escena capturada.

³⁷ VA: Visión artificial

Las aplicaciones en visión artificial son el análisis de información espectral, espacial y temporal de diferentes objetos.

La información espectral se refiere a la frecuencia del color e intensidad y tonalidades de grises.

La información espacial incluye aspecto como la forma y posición (dos o tres dimensiones). La información temporal tiene relación con aspectos estacionarios (presencia o ausencia) y dependientes del tiempo (eventos, movimientos, procesos) (Malpartida, 2003).

Para que un robot alcance un objeto mediante VA, debe procesar la información del entorno y efectuar los movimientos precisos que le permitan realizar la tarea para la cual ha sido programado.

Para lograr este objetivo se deben desarrollar las siguientes funciones:

- Iluminación del entorno a capturar por la cámara.
- Captura de la imagen del entorno del robot, su conversión Análogo/Digital y su adquisición por computadora.
- Mejoramiento de las características geométricas de la imagen.
- Segmentación³⁸ de la imagen.
- Descripción de la imagen o extracción de características.
- Identificación de objetos.
- Realización del sistema de control³⁹.

Aplicaciones VA en robots sensoriales:

³⁸ El análisis de la imagen requiere una reducción de la cantidad de información. La segmentación permite identificar las partes significativas de la imagen (García P. D., 2013).

³⁹ “Sistema de control es un sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores preestablecidos.” (upcommons.upc.edu, 2014)

- Manipulación de objetos aislados acarreados por bandas transportadoras.
- Manipulación de objetos acomodados aleatoriamente.
- Ensamble

11 Desarrollo del proyecto

11.1 Diseño y construcción

El prototipo desarrollará la tarea de recolectar objetos en una superficie plana, este constara de una comunicación inalámbrica y un sistema de visión artificial para determinar la posición del prototipo y los objetos a recolectar.

11.2 Sistema Mecánico

Para el desarrollo del robot móvil se tuvieron en cuenta diferentes aspectos como las arquitecturas de los robots móviles y se realizaron diferentes pruebas para seleccionar el mejor sistema mecánico de recolección de objetos.

El prototipo fue expuesto a varias pruebas para asegurar un buen desempeño, en cuanto al desplazamiento, recolección y comunicación (PC-robot).

Para este objetivo el artefacto paso por las siguientes etapas.

- Elección de materiales: se tuvo en cuenta materiales resistentes, donde la fricción⁴⁰ y el peso no produjeran desgaste en la estructura.

Los materia que se tuvieron en cuenta fueron: planchas de PVC 3mm, aluminio y acrílico.

⁴⁰ “La fuerza de rozamiento se caracteriza por: se opone al movimiento de un cuerpo que se desliza en contacto con otro y depende de 2 factores: la naturaleza de los materiales que se encuentran en rozamiento y el tratamiento que han seguido. Este factor queda expresado por un valor numérico llamado coeficiente de rozamiento o de fricción.” (FisicaLab, 2013)

Des los materiales considerados se eligió las láminas de acrílico ya que estas pueden ser cortadas con maquinaria especializada brindando un mejor acabado y precisión en las dimensiones de las piezas.

- Es importante aclarar que las piezas fueron anteriormente diseñadas en Solidworks y ensambladas en el mismo software permitiendo identificar futuros problemas en la estructura.

El prototipo consta de tres partes fundamentales: la estructura de locomoción diferencial permitiendo la movilidad del robot, dos depósitos donde se alojara el circuito eléctrico y los objetos recolectados y por último el sistema de recolección.

En la figura 18 se puede apreciar la estructura mecánica del robot móvil.

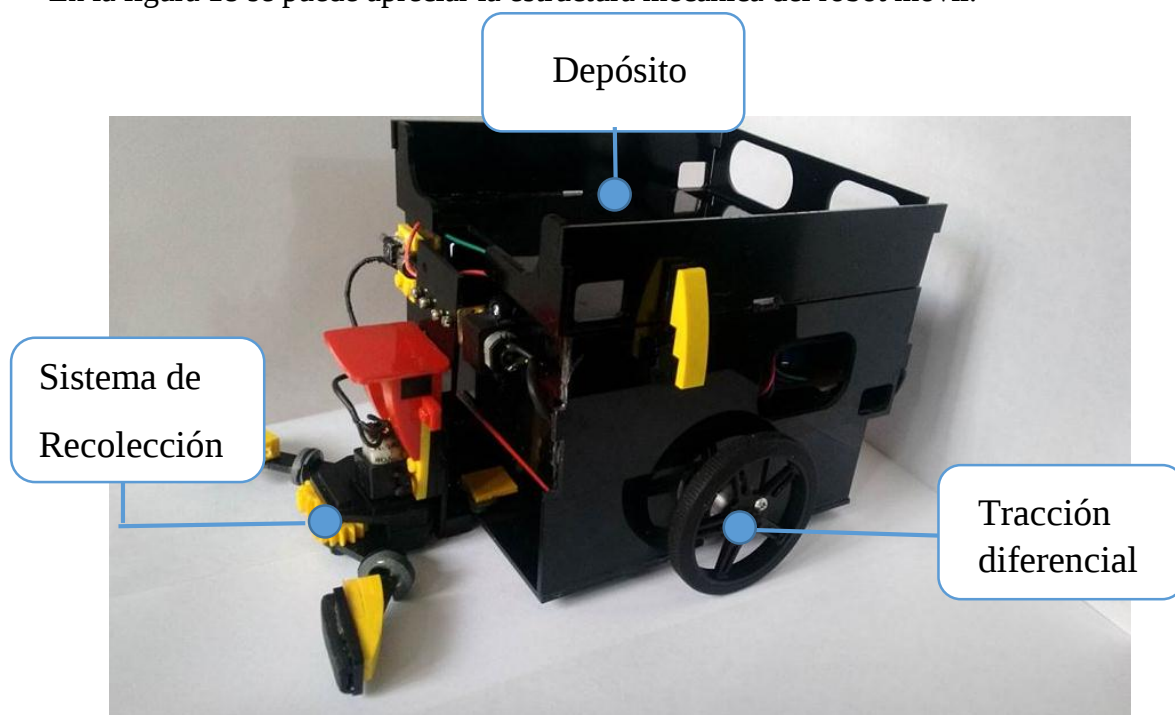


Figura 18 Prototipo recolector de objetos final
Fuente: Autor.2016 .Descripción mecánica del prototipo [Figura]

En la base esta la tracción diferencial de (12cm x 14cm), dos motores paso a paso Nema 14⁴¹, ruedas Pololu de radio 3.1cm y una rueda libre.

El depósito del vehículo móvil posee las siguientes dimensiones: 12cm de ancho, 14cm de largo y 2cm de alto, en los laterales tiene perforaciones para conectar la batería y observar las luces leds.

El sistema de recolección tiene las siguientes dimensiones 10cm de alto y 12cm ancho, donde se sujeta el objeto a recolectar, este será trasladado al depósito por un motorreductor ajustado al depósito.

11.3 Primera versión del prototipo

Los primeros prototipos fueron diseñados y ensamblados en Solidworks. El ensamble incluye la totalidad de piezas. En este proceso se llegó a la conclusión que el prototipo de recolección con rodillo representaba mayores costos por la cantidad de piezas requeridas para el ensamble.

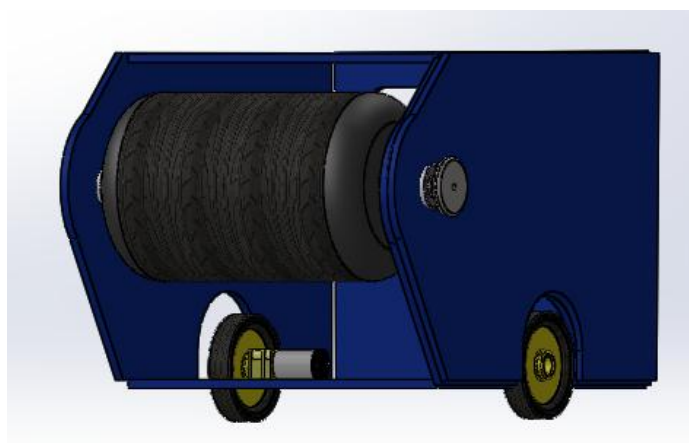


Figura 19 Primer prototipo simulado en Solidworks

Fuente: Autor. 2016. Prototipo número uno diseñado y ensamblado en SolidWorks [Figura].

⁴¹ “Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique” (Todo Robot, 2012)

El primer prototipo ensamblado en físico tuvo problemas estructurales en el sistema de recolección, ya que el motor debía ser empalmado con la estructura en acrílico de recolección y esta no permitía trasladar al depósito los objetos recolectados, otro obstáculo con el prototipo fue el peso, debido a que las láminas de acrílico usadas eran de 3mm y por este motivo los motores consumían mayor tensión.

Motores: Para el proyecto fueron utilizados dos motores paso a paso (Nema 14) en la tracción del prototipo, el tercer y cuarto motor hace parte del sistema electromecánico de recolección.

Los motores están conectados a un voltaje de 7.4v, aunque en general estos motores pueden funcionar por encima de este voltaje, su operación está determinada en rangos de voltaje (7v a 24v) para los motores paso a paso y (6v a 9v) en los motorreductores.

11.4 Sistema de potencia

“Proteus es un entorno integrado para la realización de proyectos electrónicos, en las fase de diseño, simulación depuración y construcción.” (ieespain, 2015)

Para desarrolla un producto electrónico con la Suite de Proteus, este debe atravesar por las siguientes fases:

- Diseño del circuito electrónico.
- Diseño del circuito impreso.
- Construcción del prototipo en físico.
- Desarrollo de software.
- Pruebas de funcionamiento.

En el entorno ISIS se realizó el diseño del esquema electrónico de prototipo recolector de objetos el cual se puede apreciar en la figura 20.

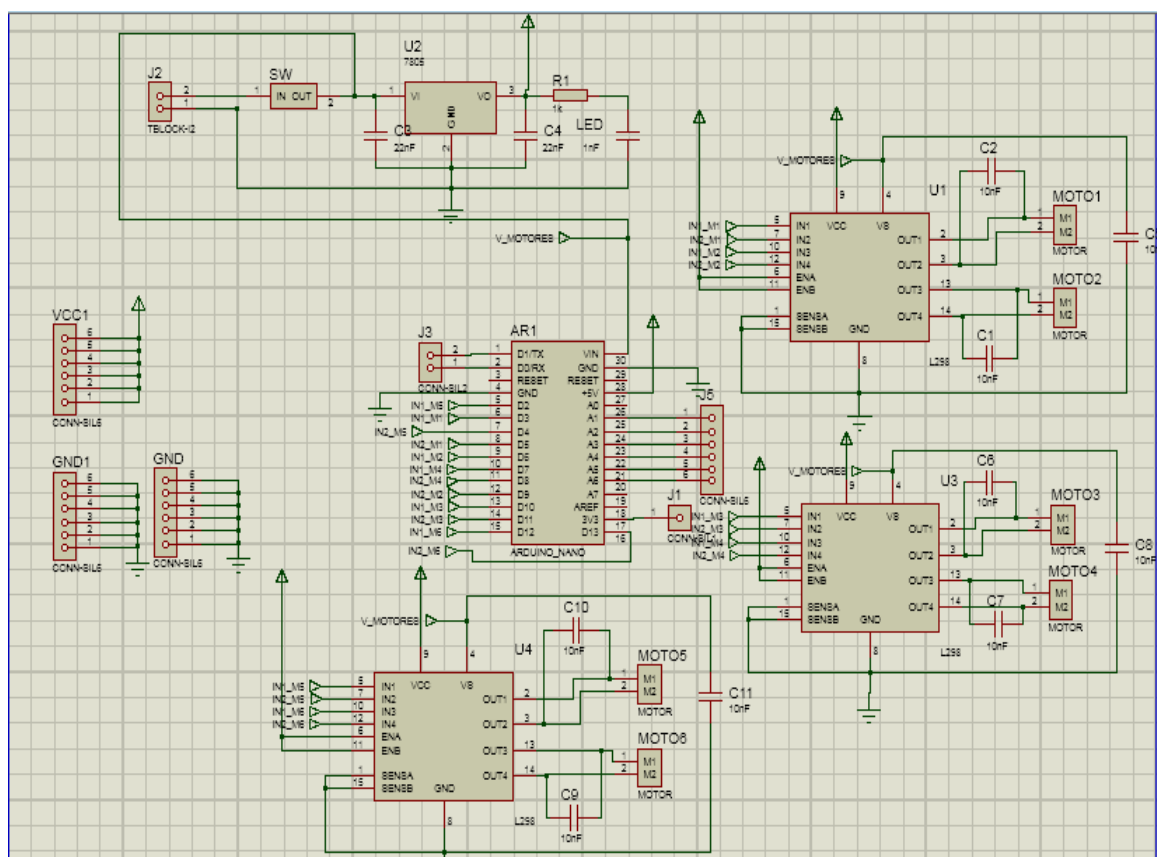


Figura 20 Esquema electrónico del prototipo recolector de objetos diseñado en Proteus
Fuente: Autor.2016. Descripción de circuito electrónico del prototipo [Figura].

En el anexo B está el diseño del PCB del prototipo.

En el anexo C se puede observar la vista en 3D del PCB para el prototipo

11.4.1 Arduino Nano

La tarjeta de adquisición de datos elegida fue un Arduino Nano, está compone el sistema de potencia del prototipo, Arduino posee un software open source IED, facilitando la escritura de código fuente, sin la necesidad de adquirir una licencia previamente, las placa Arduino Nano posee

seis puertos digitales PWM, los cuales se encargaran de controlar los motores PaP del prototipo (Adimec, 2016). También consta de un oscilador de 16MHz.

La tarjeta Arduino Nano se puede apreciar en la figura 21.

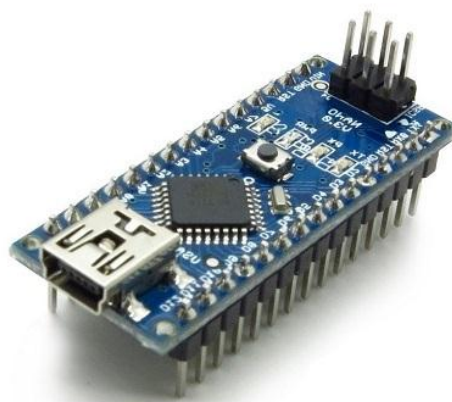


Figura 21 Tarjeta de adquisición de datos Arduino Nano

Fuente: Arduino Nano 3.0. [Figura]. Recuperado de <http://electrotec.pe/tienda/arduino-nano-30>

En el anexo D se halla el esquemático de la tarjeta Arduino Nano.

11.4.2 Integrado L298

El circuito integrado L298N controla simultáneamente la velocidad y dirección de dos motores D.C o un motor PaP y puede manejar cargas de dos amperios constantes, contiene dos puentes H⁴² independientes en su interior y es ideal para aplicaciones en robótica. El dispositivo empleado se puede apreciar en la figura 22.



Figura 22 Circuito Integrado L298N

Fuente: CIRCUITO INTEGRADO L298 [Figura]. Recuperado <http://www.electronicaembajadores.com/Productos/Detalle/31/SMCIL298/circuito-integrado-l298>

⁴² Un puente en H es un mecanismo que nos permitirá variar el sentido de giro a un motor de corriente continua, se basa en la utilización de interruptores, los cuales los permitirán pasar o cortar la corriente en un determinado sentido.

Es primordial el uso de este dispositivo ya que las salidas digitales PWM de Arduino suministran corrientes de 40mA, insuficientes para los motorreductores y motores PaP con consumo de corriente en los rangos de 120mA a 1600mA, por esta razón es importante emplear el integrado L298N ya que este permite usar tensiones hasta de 46v a 2A en motores D.C .

El prototipo emplea tres integrados L298N para la tracción y recolección de objetos, la etapa de potencia se puede observar en la figura 23.

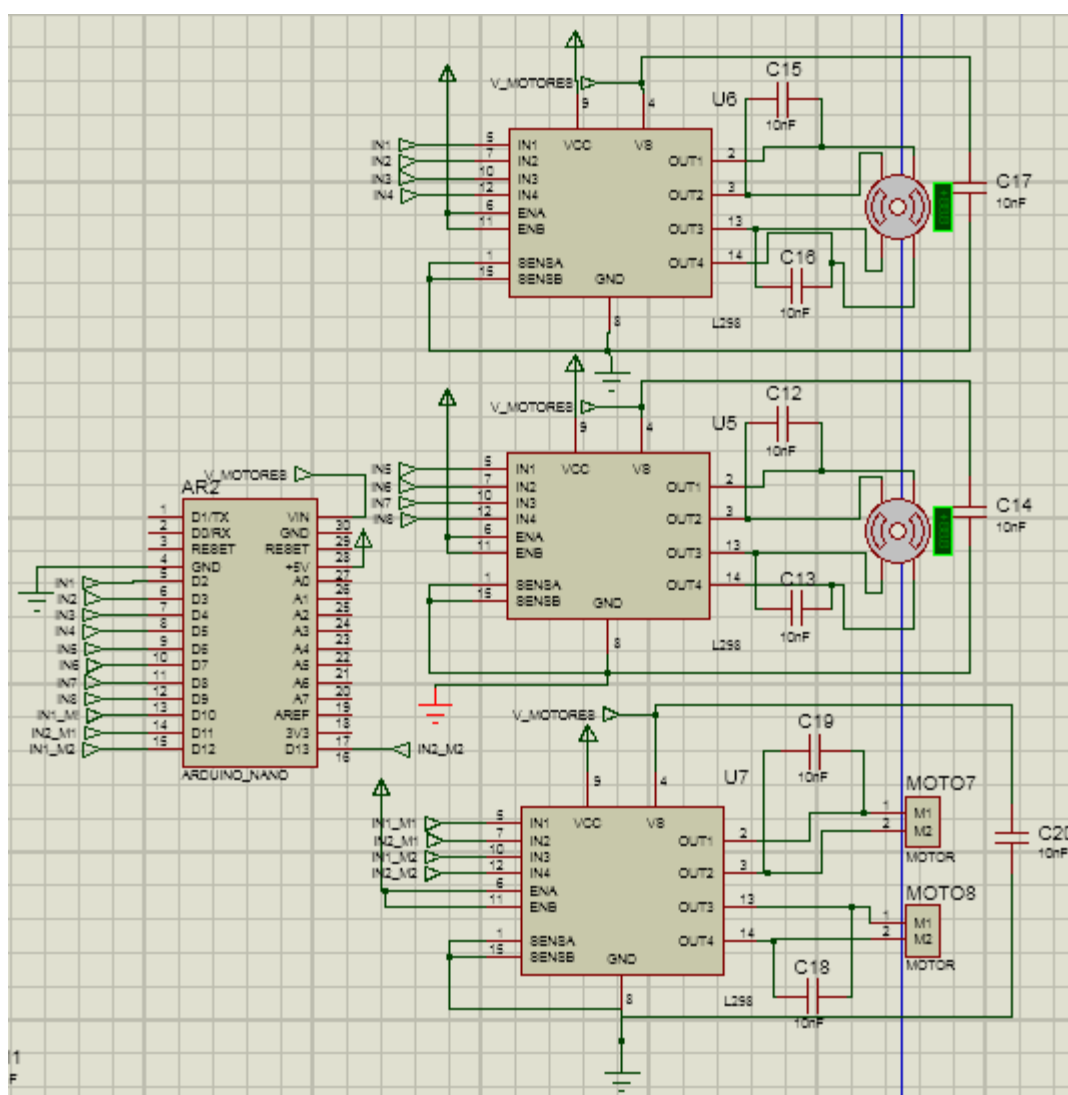


Figura 23 Etapa de potencia del prototipo
Fuente: Autor. 2016. Etapa de potencia con integrados L298N [Figura].

En la entrada hay un regulador de tensión 7805 de tres terminales, V_i voltaje de entrada, V_o voltaje de salida y la terminal central común, el integrado tiene la capacidad de regular voltajes positivos de 5v a 1A, en la mayoría de proyectos con microcontroladores y Arduino se debe garantizar una fuente de tensión constante, generalmente 5v, debido a que las oscilaciones de tensión por encima del voltaje de operación podrían dañar el microcontrolador o Arduino. (www.robotica-dec.com.mx/, 2016)



Figura 24 Regulador 5v 7805

Fuente: REGULADOR 7805 [Figura]. Recuperado

http://www.roboticadec.com.mx/index.php?route=product/product&product_id=144

La entrada del regulador 7805 es conectada a la terminal Vin del Arduino nano, garantizando el funcionamiento de la tarjeta Arduino mediante el uso de una batería externa y al pin OUT regulados a 5v se enlazaron con las terminales VCC del PCB para la conexión de sensores y los módulos de comunicación.

11.4.3 Batería

Una batería transforma energía química en energía eléctrica mediante un proceso electroquímico el prototipo utiliza una batería Li-Po (baterías de polímero de litio) de 7.4 v 1600 mAh eliminando el uso de cableado externo al prototipo.



Figura 25 Batería de Li-Po 7.4 v

Fuente: Autor. 2016. Batería Li-Po 7.4 a 1600 mAh [Figura].

El sistema de potencia anteriormente expuesto fue diseñado, ensamblado y probado.

El resultado final se puede apreciar en la figura 26.

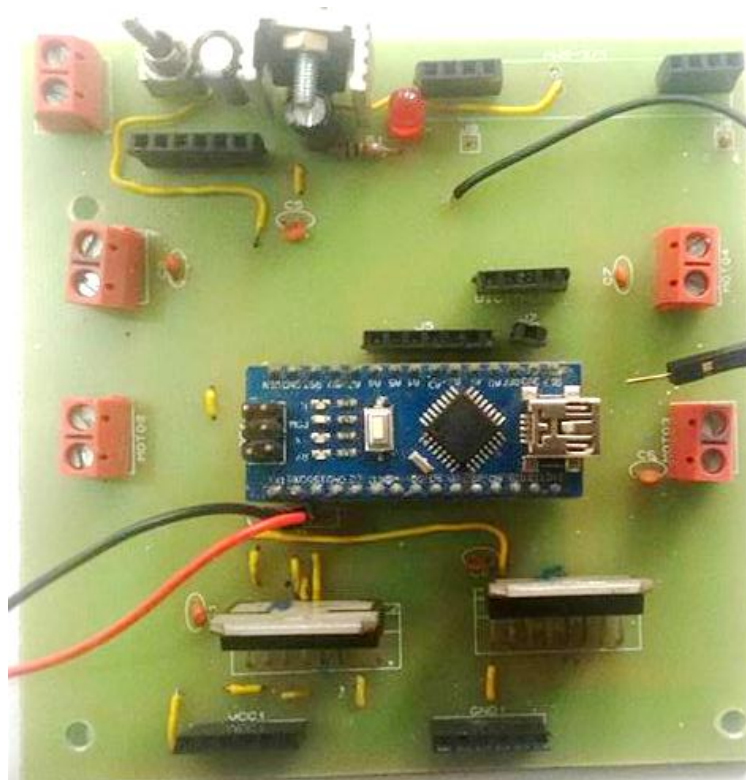


Figura 26 Tarjeta para el sistema de potencia

*Fuente: Autor.2016. Circuito impreso en físico realizado en fibra de vidrio
[Figura]*

11.5 Sistema de comunicación inalámbrica del prototipo

En el mercado se encuentra una amplia variedad de sistema de comunicación inalámbricas debido a las ventajas que presentan en cuanto a movilidad, porque no existe una dependencia del cableado, algunos de estos sistemas son: Bluetooth⁴³, modulos RF⁴⁴ y tarjetas WiFi.

⁴³ “Bluetooth es un estándar utilizado en enlaces de radio de corto alcance de, destinado a reemplazar conexiones con cables entre dispositivos electrónicos como teléfonos celulares, ordenadores y muchos otros dispositivos.” (Puy, 2008).

⁴⁴ Los módulos RF funcionan como un enlace de datos simplex, es decir, solamente transmiten información en un solo sentido. Aun así resultan extremadamente útiles en aplicaciones sencillas que no requieren una comunicación bidireccional. (EekFactory, 2016)

Inicialmente el sistema de comunicación inalámbrico empleado para la transmisión y recepción de datos entre el prototipo y el ordenador fueron un kit módulos RF 315 MHz y 433 MHz, los cuales se enlazaron con Matlab mediante la comunicación vía serial.

En este ejercicio se identificaron varios inconvenientes con la capacidad de los módulos de aislar señales, el alcance en la recepción y transmisión de datos.



Figura 27 Módulos de radio frecuencia 433MHZ

Fuente: Módulos Emisor y Receptor RF 433mhz [Figura]. Recuperado <http://saber.patagoniatec.com/modulos-emisor-y-receptor-rf-433mhz/>

Por estas razones se tomó la decisión de optar por un modelo de comunicación eficiente, utilizando los módulos XBee S2, ya que representan una solución excepcionalmente potente para las redes inalámbricas. Las aplicaciones de los productos XBee se hallan en sensores remotos, control y manipulación de robots, domótica⁴⁵, sistemas inteligentes de energía, control de maquinaria y automatización industrial.

Para las comunicación inalámbrica fue necesario adquirir dos módulos XBee serie 2, estos son unos pequeños chips azules, capaces de comunicarse inalámbricamente con otros, remplazando cables en comunicaciones seriales y usándolos en aplicaciones como vehículos radio controlados.

XBee son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para interconexión y comunicación entre dispositivos. Los módulos XBee utilizan un protocolo de comunicación

⁴⁵ “Un sistema domótico es capaz de recoger información proveniente de unos sensores o entradas, procesarla y emitir órdenes a unos actuadores o salidas. El sistema puede acceder a redes exteriores de comunicación o información.” (CEDOM, 2015)

IEEE 802.15.4 para crear redes (punto a multipunto) o (punto a punto), fueron diseñados para aplicaciones robustas, que requieran un alto tráfico de datos, baja latencia⁴⁶ y una sincronización predecible. (XBee.cl, 2016)

ZigBee es un estándar de redes MESH de eficiencia energética.

Módulo XBee Serie 2



Figura 28 Módulo XBee S2.

Figura: XBee 2mW Wire Antenna - Series 2 (ZigBee Mesh) [Figura]. Recuperado <https://www.sparkfun.com/products/10414>

Son módulos Znet 2.5 con un nuevo firmware, funcionan en modo transparente AT, por comandos API⁴⁷ y en redes MESH⁴⁸.

Características

- Antena de cable.
- Compatible con otros módulos de la Serie 2.
- Bajo consumo de energía en modo de suspensión (sleep).

⁴⁶ “El término “latencia” es un término general que significa cualquier tipo de retraso en la ejecución de las operaciones seleccionadas, especialmente en los sistemas de información en sentido amplio. Entrando un poco más en los detalles, es decir pasando a los temas de redes informáticas, la “latencia” se refiere a cualquier tipo de periodos de inactividad y retrasos producidos durante la transmisión de paquetes de datos y el procesamiento de datos recibidos o preparados para ser enviados.” (Speed-Test, 2014)

⁴⁷ Los modos API 1 y 2: permiten enviar y recibir datos a través del envío de “paquetes” por medio de estructuras de datos predefinidas.

⁴⁸ Las redes Mesh o malladas resuelven los dos problemas principales que se presentan cuando se quiere desplegar una red en un área densamente poblada, La interferencia resultante de usar espectro libre, La necesidad de que todas las estaciones de usuario tengan línea de vista con la estación base, Otras ventajas es que las estaciones transmiten a menor potencia y por lo tanto pueden emplear mayores velocidades de transmisión, y además se facilita distribuir el acceso a Internet en varios puntos (Pietrosemoli, 2011).

- Alcance de 133 pies (40m) para ambientes interiores/urbanos y 400 pies (120m) en exteriores.
- Configuración con comandos API o AT, localmente o por aire.
- 10 E / S digitales y 4 entradas ADC de 10 bits.
- Interfaz de datos con velocidad de 1200 bps - 1 Mbps
- Banda⁴⁹ de 2,4 GHz de frecuencia (aceptada en todo el mundo).
- Rango de temperatura de funcionamiento industrial (-40C a 85C).
- Potencia de transmisión de 1,25 mW (1 dBm).
- Funciona con voltaje de 2,1 a 3,6 VCC; corriente de transmisión de 35 mA, corriente de recepción de 38 mA.
- Nivel de interfaz UART⁵⁰ de 3.3V CMOS.

(TecBolivia.com, 2016)

XBee Explorer USB

⁴⁹ “Se puede ver fácilmente que el ancho de banda que definimos aquí está muy relacionado con la cantidad de datos que puedes transmitir dentro de él: a más lugar en el espacio de frecuencia, más datos caben en un momento dado. El término ancho de banda es a menudo utilizado erróneamente para describir lo que se conoce por tasa de transmisión de datos” (González & Bayona, 2010)

⁵⁰ “El corazón del sistema de comunicaciones serie es la UART, acrónimo de Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. Es un chip cuya misión principal es convertir los datos recibidos del bus del PC en formato paralelo, a un formato serie que será utilizado en la transmisión hacia el exterior.”



Figura 29 XBee Explorer USB

Fuente: XBee explorer USB [Figura]. Recuperada <http://xbee.cl/xbee-explorer-usb/>

Para la conexión de los módulos XBee serie dos, fue necesario adquirir dos adaptadores XBee explorer USB, este adaptador permite programar los módulos XBee y establecer comunicación entre la computadora y otro módulo a distancia. Funciona con todos los módulos XBee S1, S2 y PRO.

La tarjeta incorpora un regulador de 1A para usar módulos XBee PRO, posee un botón de RESET, para reiniciar los XBee en configuración y programación.

Voltaje de operación 5v DC del USB o 3.3v DC generados por la board⁵¹.

Comunicación: Serial pass-through to XBee module/USB to Host PC.

Placa base para XBee

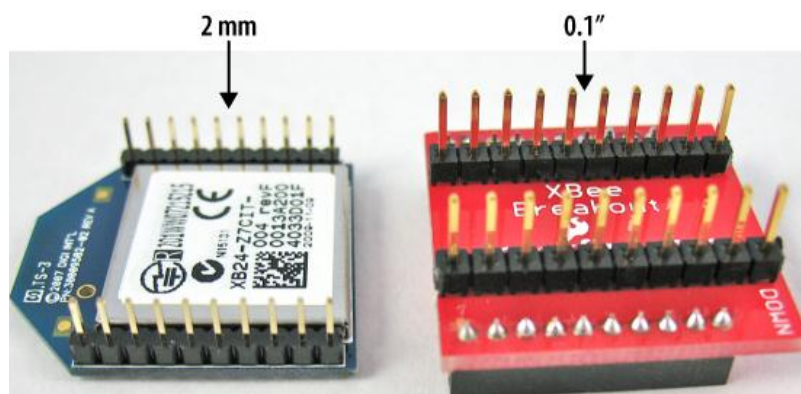


Figura 30 Breakout board para cambiar el espacio entre pines del módulo XBee

Fuente: Robert Faludi (2010). *Bulding Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and processing* "O'Reilly Media". pág 11.

⁵¹ En electrónica Board (Hardware) hace referencia a un circuito impreso PCB.

Esta placa está diseñada para los productos XBee de MaxStream, sirve para cambiar la separación de los pines XBee de 2.0mm a 2.54mm, permitiendo usar los módulos sobre protoboard (Faludi, 2010, pág. 11).

A continuación se explicara el diagrama de conexión entre la tarjeta de adquisición de datos y el módulo XBee S2 configurada como Router AT.

Plano de conexión Arduino Nano con el módulo XBee S2 Router

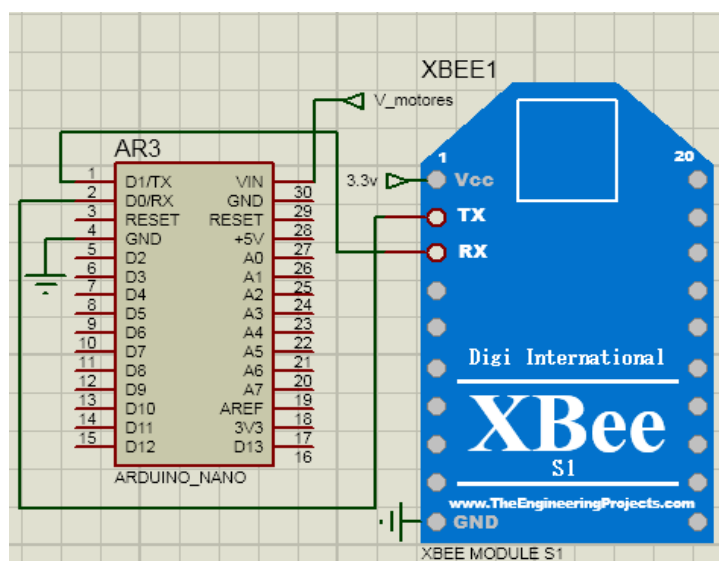


Figura 31 Conexiones Arduino Nano y módulo XBee S1 para comunicación serial
Fuente: Autor.2016.diagrama de coneccion entre el microcontrolador y el modulo XBee S2 empleando el software Proteus

- Pin Dout de XBee S2 a RX Arduino.
- Pin Din de XBee S2a TX Arduino.
- Vcc XBee S2 a 3.3v Arduino.
- GND XBee S2 con GND Arduino.

Software X-CTU

La compañía Digi desarrolló una pieza de software agradable para probar y configuración los módulos XBee's, este software se denomina X-CTU y funciona en todas la versiones de Windows.

Este programa permite realizar test de comunicación con los módulos para verificar el correcto funcionamiento, firmware y número serial del dispositivo.

El software X-CTU permite actualizar el firmware de los módulos XBee en modo transparente AT o modo API.

Los comandos AT permiten al usuario configurar los XBee's, con parámetros específicos, para establecer la comunicación entre dos módulos (Conceptos básicos para el manejo de módulos XBee serie 2, 2016).

El modo API se extiende al nivel de interacción entre una aplicación Host y un módulo en la red. La aplicación host puede enviar tramas de datos al módulo que contiene información de dirección y la carga útil en lugar de utilizar el modo de comando para modificar las direcciones. El módulo enviará tramas de datos a la aplicación que contiene los paquetes de estado, así como de origen, y la información de carga útil de los paquetes de datos recibidos (Molina, 2013).

Configuración módulos XBee S2

Para la configuración de una red punto a punto, fueron necesarios XBee's S2, XBee explorer USB y el software XCTU.

El modulo se configuro a 9600 baudios. Los parámetros esenciales para crear una red son:

- Pan ID: Dirección de identificación de la red (todos los XBees de la red debe compartir el mismo identificador).

- DH (Destination Address High): esta dirección se encuentra en la etiqueta de los módulos XBee S2 y generalmente son 13A200 del módulo de destino.
- DL (Destination Address Low): parte baja en el número serial de módulo XBee destino, compuesta por ocho dígitos.
- SH (Serial number High): dirección alta del número de serie en el módulo a configurar, generalmente es 13A200 para los módulos XBee Serie 2.
- SL (Serial number Low): dirección baja del número serial compuesta por los últimos 8 dígitos.

La tabla a continuación muestra la configuración del ROUTER⁵² y COORDINADOR

COMANDOS AT	COORDINADOR	ROUTER
PAN ID	1234	1234
DH	13A200	13A200
DL	40C1BB6E	40B38ABA

Figura 32 Tabla de configuración XBee ROUTER y COORDINADOR
Fuente: Autor. 2016. Tabla de direcciones de red y los módulos XBee S2 [Figura]

El firmware⁵³ seleccionado para el módulo XBee coordinador fue:

- Modem XBee: XB24-ZB
- Función Set: Zigbee Coordinator AT
- Versión: 20A7

Firmware seleccionado para el módulo XBee Router en modo transparente:

⁵² “Un “Router” es como su propio nombre lo indica y fácilmente se puede traducir, un enrutador o encaminador que sirve para interconectar redes de ordenadores. Actualmente implementan puertas de acceso a internet como son los router para ADSL,” (applendiendo.wordpress.com, 2007).

⁵³ “El firmware es un programa de ordenador que se inserta en un dispositivo de hardware, por ejemplo, un microcontrolador. También puede ser proporcionado en ROMS de flash o como un archivo de imagen binaria que se puede cargar en el hardware existente por un usuario.” (Santiago, 2011)

- Modem XBee: XB24-ZB
- Función set: Zigbee Router AT
- Versión: 22A7

Comunicación por puerto serial Arduino - MatLab

En MatLab es necesario enviar las instrucciones que permitirán al prototipo desplazarse en el entorno hasta encontrar su objetivo y por esta razón es necesario realizar una función en MatLab que envíe por puerto serial las instrucciones que ejecutara el microcontrolador de Arduino Nano.

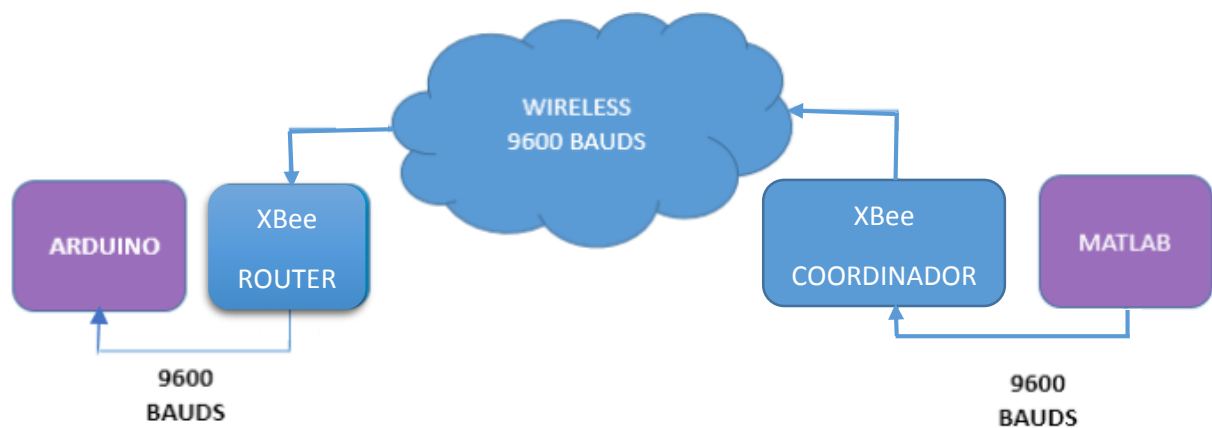


Figura 33 Diagrama de la red punto a punto

Fuente: Autor, 2016. Red punto a punto usando el protocolo AT de los módulos XBee [Figura]

El algoritmo para el envío de datos a través del puerto serial a una velocidad de 9600 baudios desde MatLab se describe a continuación:

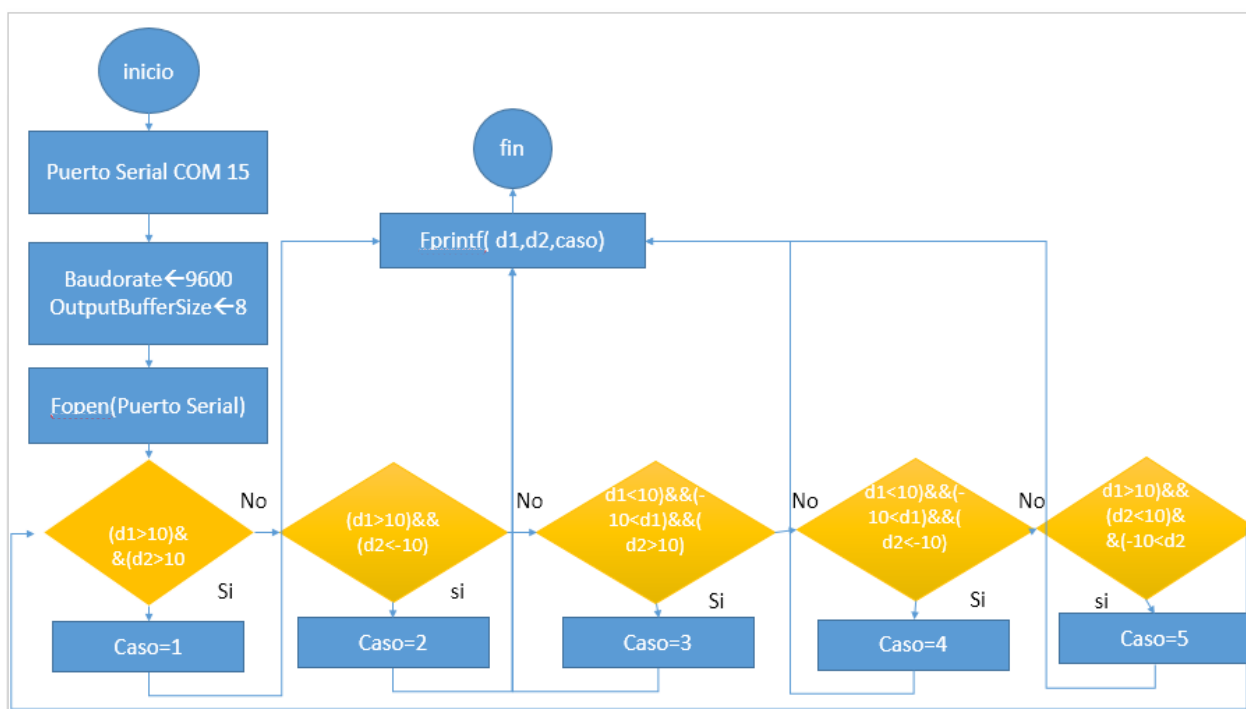


Figura 34 Diagrama de flujo de la transmisión de datos por comunicación serial
Fuente: Autor. 2016. Comunicación serial desde el software Matlab [Fuente]

El algoritmo para la recepción de datos desde el Sketch de Arduino se puede observar en el siguiente diagrama de flujo

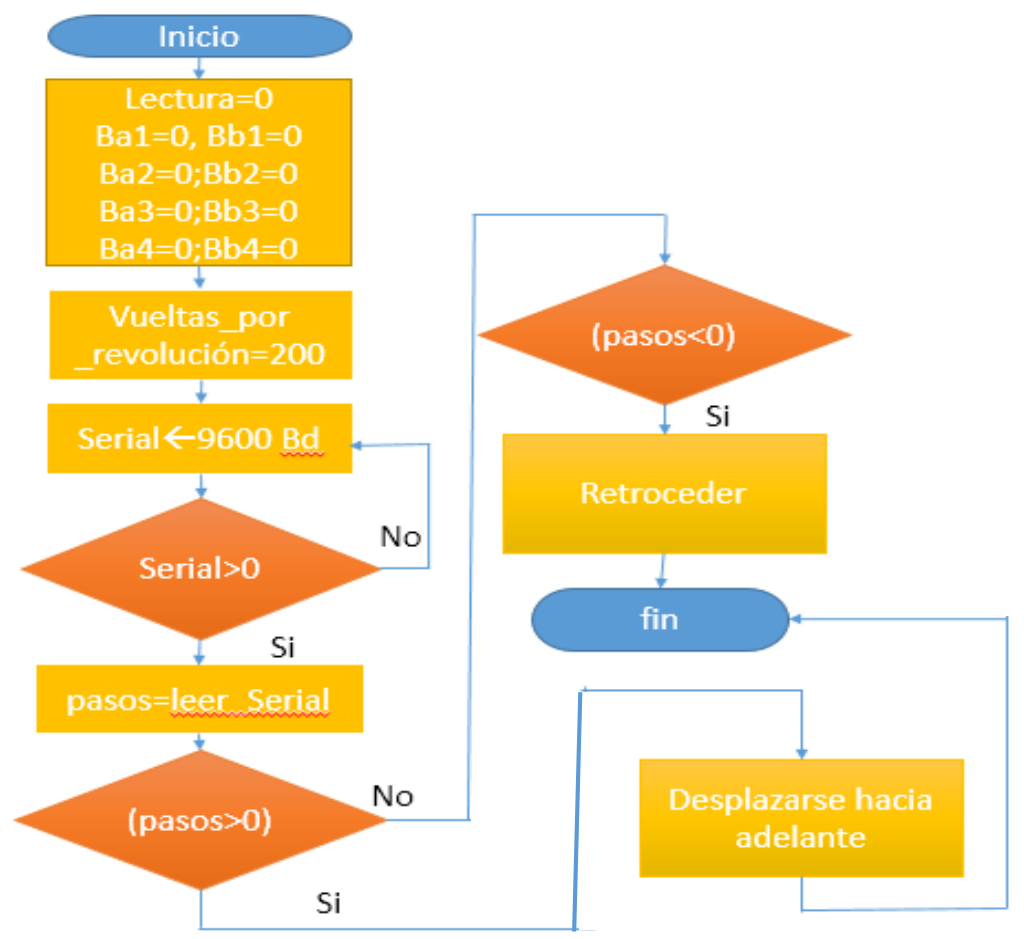


Figura 35 Diagrama de flujo para la recepción de datos.

Fuente: Autor, algoritmo para la recepción de datos por medio de comunicación serial [Fuente]

12 Sistema de visión artificial

12.1 Acondicionamiento del entorno.

12.2 Entorno.

12.3 Características del entorno.

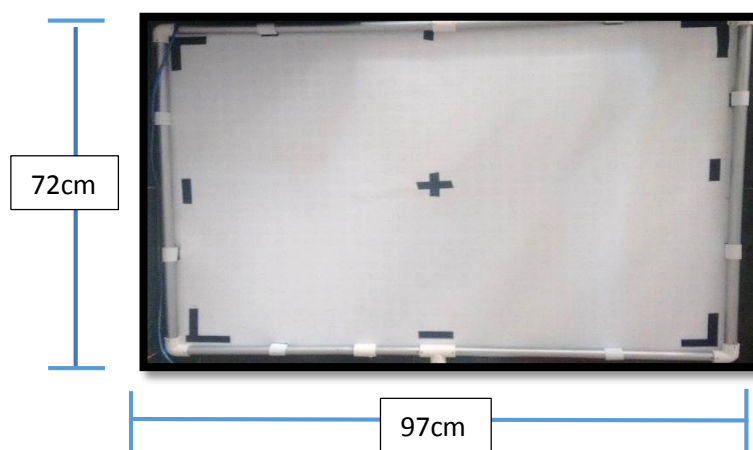
Las dimensiones de la plataforma en la que se trasladara el robot recolector son de 97cm de ancho por 72cm de alto.

El entorno está compuesto de un fondo blanco para mejorar el contraste entre los objetos rojos a recolectar y el espacio donde se trasladara el prototipo.

Para delimitar el entorno se dispusieron tubos de pvc de $\frac{1}{2}$ pulgada, unidos por medio de cuatro codos pvc 90.

El área para realizar desplazamientos por el robot se ajusta al ángulo de visión de la cámara web.

En la figura 36 se puede observar la estructura dispuesta para este propósito.

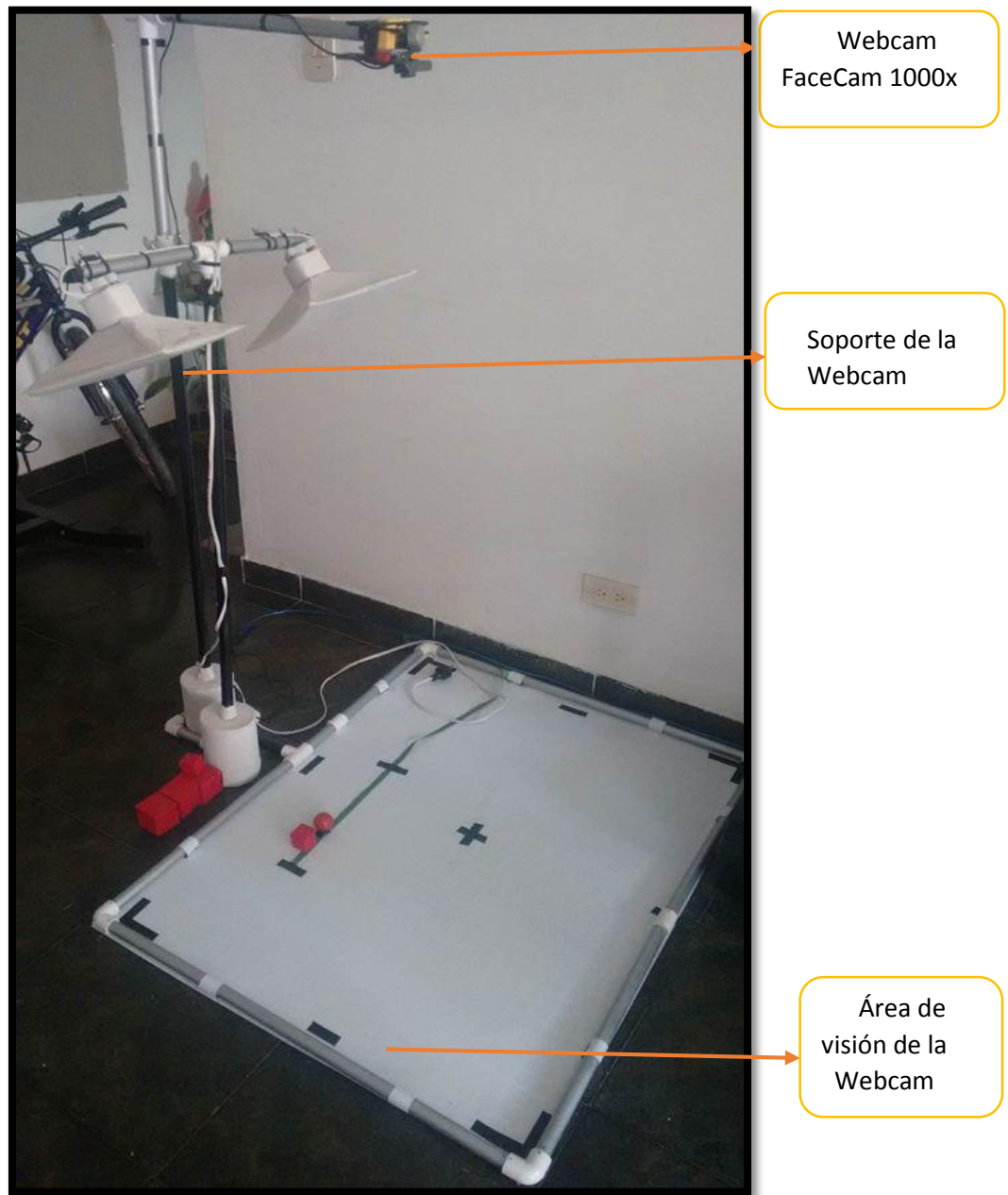


*Figura 36 Entorno del robot recolector de objetos⁵⁴.
Fuente: Autor.2016. Entorno para la recolecion de objetos. [Fuente]*

Para identificar adecuadamente las coordenadas (X,Y) de los objetos y la trayectoria del robot recolector, el entorno fue acondicionado.

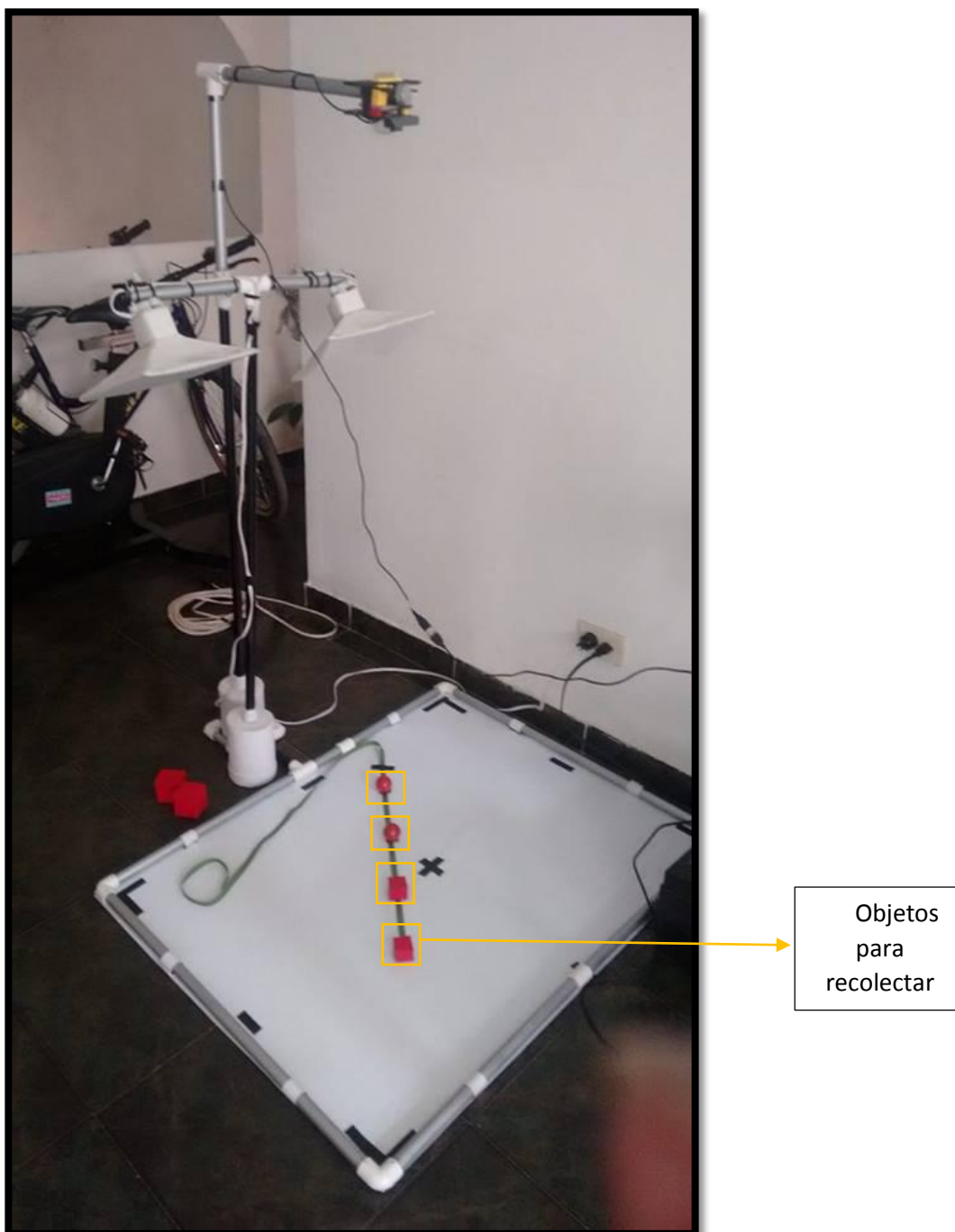
En la figura 37 se observa la ubicación de la cámara web (FaceCam1000x) sobre el entorno del robot.

⁵⁴ “Dimensiones del entornos donde el prototipo se desplazara “. Septiembre 14 2016. Autor.



*Figura 37 Acondicionamiento del ambiente del robot.
Fuente: Autor.2016. Ubicación de la web cam sobre el entorno del robot
recolector. [Fuente]*

La figura 37 muestra la disposición de los objetos de color rojo sobre el entorno.



*Figura 38 Objetos rojos para recolectar.
Fuente: Autor.2016.Objetos a reconocer por el sistema de visión
artificial. [Fuente]*

12.4 Cámara Web

La función de la cámara web es capturar la imagen proyectada en el sensor, vía las ópticas, para poder transferirla a un sistema electrónico. Las cámaras utilizadas en visión artificial requieren de características que permitan el control del disparo de la cámara para capturar piezas situadas al frente de sensor.

La cámara web (faceCam1000x) visualiza el entorno del robot recolector, esta cámara cumple con características entre las más destacables están su alta definición (HD⁵⁵) con una resolución máxima de (1280 x720) píxeles⁵⁶, el control del tiempo de disparo desde el interface de Matlab, zoom digital 3X, enganche universal que se adapta a cualquier pantalla LCD o notebook y un foco manual.

Este sensor tiene tecnología CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), este digitaliza los píxeles internamente por medio de transistores (Liarte, 2009).

Es más sensibles a la luz, por lo que en condiciones pobres de iluminación se comportan mucho mejor, también posee una alta velocidad de captura de imágenes, tiene un bajo consumo de energía (30mw y 50mw) y el costo es menor en comparación a la tecnología CCD (Charge Coupled Device).

⁵⁵ “HD hace referencia a cámaras con una resolución estandarizada de 720p o 1080p. Los números 720 y 1080 indican la resolución horizontal. Por lo tanto, la resolución de cámara HD de 720p proporciona imágenes de 1280 x 720 píxeles (921.600 píxeles, no megapixel)” (Calderón, 2011).

⁵⁶ “El pixel es la parte más pequeña de la pantalla del monitor es un punto cuadrado o rectangular que recibe el nombre de píxel. La palabra píxel surge de la combinación de dos palabras inglesas comunes, picture (imagen) y element (elemento).” (support.microsoft.com, 2015)



Figura 39 FaceCam 1000x HD

Fuente: Genius.2011. Cámara web 720p [Figura].
Recuperado

<http://www.geniusnet.com/Genius/wSite/ct?xItem=55882&ctNode=1304>

12.5 Iluminación

En las pruebas realizadas con el sistema de visión artificial se identificaron inconvenientes en el proceso de binarización⁵⁷ y segmentación⁵⁸ debido a las condiciones lumínicas del entorno, por estas razones se consideró realizar una estructura la cual garantizara la iluminación adecuada para el entorno.

En este ejercicio la primera bombilla que se puso a prueba fue la incandescente⁵⁹, pero esta fue ineficiente debido a las marcadas sobras que creaba sobre los objetos dispuestos en el entorno y una importante pérdida de datos debido a los puntos donde se encontraba una mayor concentración de luz.

⁵⁷“La binarización consiste en deja en cero todos los pixeles menores de un humbral y en uno aquellos mayores o iguales, quedando constituida la imagen final por unos y ceros.” (Ana Gonzales, 2006)

⁵⁸“Segmentar significa dividir en zonas disjuntas e individualizadas. Es decir diferencias los distintos objetos y dónde se encuentran del fondo, que puede ser más o menos complejo, de la imagen” (Ana Gonzales, 2006)

⁵⁹“La lámpara incandescente o bombilla es un dispositivo que desprende luz a base del calentamiento del efecto Joule de un filamento metálico (wolframio hasta la actualidad), al ponerlo al rojo blanco mediante la corriente eléctrica producirá luz tanto como calor.” (Mata, 2010)

Con las bombillas fluorescentes⁶⁰ las sombras se suavizaron y la luz fue distribuida de forma homogénea, mejorando notablemente la adquisición de datos de la cámara web, pero a pesar del buen desempeño de estas se decidió optar por la iluminación LED, debido a que posee las mismas ventajas de la bombilla anteriormente mencionada, pero además proporciona una mejor iluminación con tonalidad blanca sobre el entorno y mejora el índice de representación del color, garantizando que los objetos se vean con sus color real y natural.

En la figura 40 se puede observar el sistema de iluminación dispuesto para este fin.



Figura 40 Lámparas Led
Fuente: Autor.2016. Lámparas led para la iluminación del entorno.

12.6 Procesamiento de imágenes

La visión artificial (o visión por computador) intenta emular la capacidad que tienen algunos seres vivos para ver una escena y comprenderla; esta tecnología ha experimentado una rápida evolución en las dos últimas décadas (García I. D., 2008).

La visión artificial está compuesta por seis fases principales las cuales son:

- Captura
- Adquisición

⁶⁰“La luz de una bombilla fluorescente usa una corriente eléctrica que se conduce a través de un gas inerte para producir luz ultravioleta, que es imperceptible a la vista. La luz ultravioleta, a su vez, interactúa con mezclas especiales de fósforos que revisten la superficie interior del tubo de la lámpara fluorescente, que convierte de la luz invisible en luz blanca visible”. (Philips, 2015)

- Preprocesamiento
- Segmentación
- Descripción
- Reconocimiento
- Interpretación.

Pero no todas las aplicaciones requieren de los procesos anteriores.

El sistema de visión artificial permite reconocer y ubicar el robot y los objetos rojos dispuestos sobre el entorno en coordenadas (X, Y), por medio de la captura frames desde la cámara web.

La adquisición de las imágenes fue realizada por medio del software MatLab

El primer paso es configurar el adaptador de vídeo en MatLab, para este fin se debe conectar el cable USB de la webcam al ordenador y abrir MatLab.

En el **Command Window** introducimos la instrucción **IMAQTOOL** y se desplegara una ventana con los dispositivos para la adquisición de imágenes listos para usar.

En esta ventana se observa todas las resoluciones en las que se puede configurar la cámara Web desde (640x480) pixeles hasta (1280x720) pixeles.

12.6.1 Implementación de la visión artificial en MatLab.

Para facilitar la visualización de las coordenadas (X, Y) de los objetos, las distancias a recorrer por el robot entre objeto a objeto y la comunicación serial entre MatLab y Arduino se desarrolló un interfaz gráfica.

En la figura 41 se presenta un diagrama de flujo de las tareas que realizara el sistema y su interacción con los dispositivos externos para cumplir con el objetivo del robot recolector de objetos.

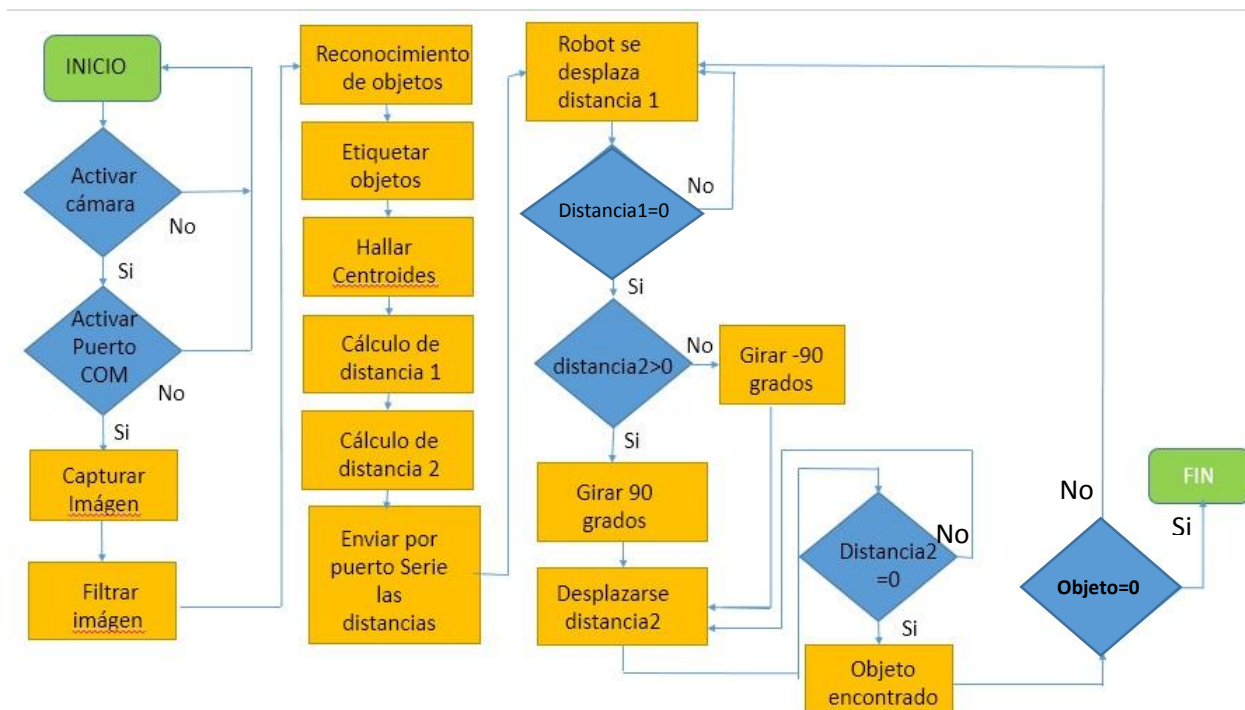


Figura 41 Diagrama de flujo del sistema

Fuente: Autor.2016.Diagrama de flujo para describir el sistemade. [Fuente]

12.6.2 Identificación de objetos

Para lograr identificar los objetos de color rojo en el entorno del robot es necesaria pasar por tres fases:

Captación: Proceso para la obtención de una imagen de calidad, considerando que esta, no altere las condiciones originales del entorno.

Pre procesamiento: Métodos para eliminar características no deseadas propias de la imagen como el ruido y al mismo tiempo realzar y mejorar las regiones de mayor interés (Porrás, 2010).

Segmentación: Consiste en dividir una imagen en áreas que sean de interés, una de las técnicas más conocidas es la umbralización. Este método separa dos o más regiones a partir del histograma (Porras, 2010).

Para sustraer la matriz de color roja de la imagen capturada por la cámara web se utilizó el comando **imsubtract**.

- **medfilt2:** permite eliminar un porcentaje de ruido en la imagen.
- **im2bw:** Convierte una imagen en escala de grises a una imagen binaria.
- **bwareaopen:** Descarta pixeles rojos aislados e inferiores a los determinados por el usuario.
- **bwlabel:** Etiqueta las regiones con mayor número de pixeles rojos.



Figura 42 Centroides de objetos para recolectar
Fuente: Autor.2016.Objetos rojos reconocidos por visión artificial. [Fuente]

El algoritmo para poder hallar los objetos rojos sobre el entorno se aprecia en la figura 43.



Figura 43 Diagrama de flujo para el seguimiento de objetos rojos
Fuente: Autor.2016.Diagrama del sistema de visión artificial para ubicar objetos. [Fuente]

Distancias para llegar al objetivo

Para llegar a un objetivo, el prototipo realiza la siguiente trayectoria:

1. Trasládase la primera longitud (d_1) sobre el eje **X**.
2. Girar noventa grados para posicionarse sobre el eje **Y**.
 - 2.1. Si la longitud dos es positiva, el robot gira 90° a la derecha.
 - 2.2. Si la longitud dos es negativa, el robot gira 90° a la izquierda.
3. Trasládase la segunda longitud (d_2) sobre el eje **Y**.

La figura 44 muestra las variables y la trayectoria que debe seguir el prototipo para encontrar un objetivo.

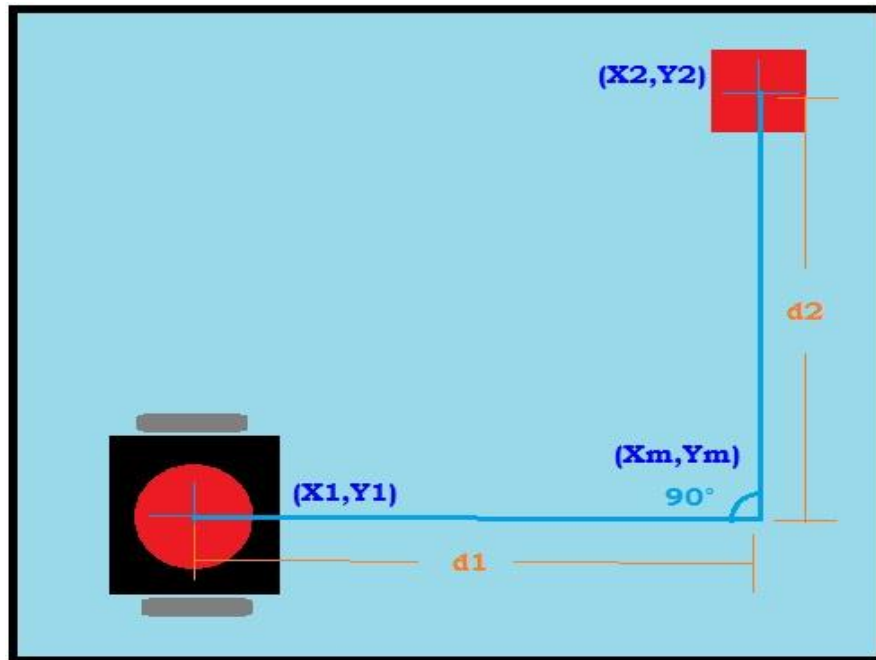


Figura 44 trayectoria del robot recolector de objetos para alcanzar objetivo
Fuente: Autor.2016.Trayectoria. [Fuente]

Para hallar la distancia ($d1$) se empleó la siguiente ecuación:

$$d1 = x2 - x1 \quad (1)$$

Para hallar la distancia ($d2$) ecuación empleada fue:

$$d2 = y2 - y1 \quad (2)$$

Para hallar el número de steps que debe efectuar el motor paso a paso Nema14 para lograr posicionarse cierta cantidad de grados se revisaron las especificaciones técnicas del motor.

Pasos por revolución: 200 pasos.

$$posición_{90^\circ} = \frac{(90^\circ)(200pasos)}{360^\circ} = 50 \text{ pasos} \quad (3)$$

En Matlab las distancias (d1) y (d2) están calculadas por medio de las coordenadas (x1, y1) del primer centroide y (x2, y2) del segundo centroide⁶¹, donde la unidad es equivalente a un píxeles.

Estas distancias deben ser traducidas a cm y para este fin se tomó la resolución configurada en el sistema de visión artificial, que para este caso fue (640 x 480) píxeles y las dimensiones del entorno del robot.

$$FactorCorrección = \frac{(1 \text{ pixel})(98\text{cm})}{640 \text{ pixel}} = 0.153125 \quad (4)$$

En la figura 44 puede apreciar cómo se visualizan las distancias (d1) y (d2) en el sistema de visión artificial.

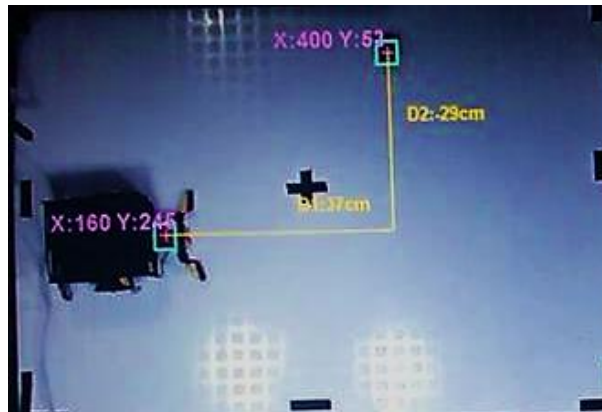


Figura 45 Visualización de las distancias por medio del sistema de visión artificial en MatLab.

Fuente: Autor.2016. Visualización de trayectoria . [Fuente]

⁶¹ "MATLAB podemos calcular el centroide de una imagen binaria o el "centro de masa" de una imagen en escala de grises" (uControladores, 2011)

12.6.3 Interfaz gráfica del sistema de visión artificial

Para la transmisión de las trayectorias del ordenador hacia el robot recolector, fue necesario implementar un interfaz (GUI), la cual permita facilitar la visualización de información relevante y enviar los datos referentes a las longitudes a recorrer por medio del módulo XBee coordinador.

En la figura 46 se exhibe el interfaz gráfico desarrollado para el sistema de visión artificial y la transmisión de datos.

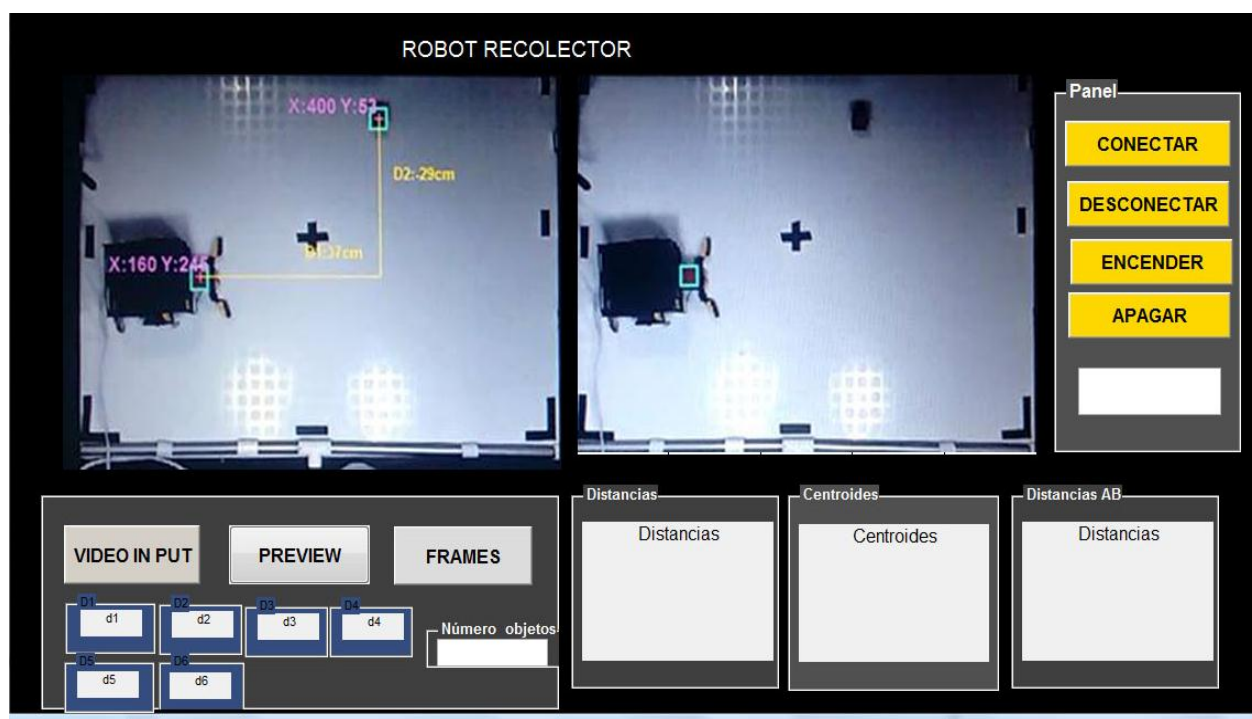


Figura 46 Interfaz gráfica del sistema de visión artificial en MatLab.

Fuente: Autor.2016. Interfaz para el sistema de visión artificial y la comunicación serial en MatLab . [Fuente]

El botón **VIDEO IN PUT** configura y selecciona la faceCam 1000x con una resolución de (640x480) pixeles.

El botón **PREVIEW** configura una ventana de pre visualización del entorno de robot en el axes⁶² derecho, con un modelo de color RGB.

El botón **FRAMES** toma fotografías del entorno por intervalos de tiempo y procesa la información de la imagen.

Procesa: (centroides), bounding box⁶³, número de objetos rojos en el entorno y trayectorias; para posteriormente mostrarlas en el axes izquierdo.

En el panel **Centroides** se encuentran las coordenadas [x, y] de los objetos identificados.

El panel **Distancia AB** está las longitudes (d1), (d2), (d3), (d4), etc.

En el recuadro **Número de objetos** se encuentra la cantidad de objetos identificados.

En los recuadros **D1, D2, D3, D4, D5, D6** están ordenadas las distancias según el número de objetos identificados.

El número máximo de objetos que puede identificar y procesar el sistema de visión artificial es cuatro.

12.6.4 Transmisión de datos desde el entorno MatLab

Para transmitir las longitudes que debe recorrer el robot para alcanzar un objetivo se programaron los botones amarillos: Conectar, Desconectar, Encender.

El botón **Conectar** define el puerto serie del módulo XBee con la función de coordinador, la velocidad de transmisión⁶⁴, el tamaño del buffer⁶⁵ a enviar y abre el puerto serie.

⁶² Axes en Matlab son objetos gráficos, lo cuales por medio de comandos permiten graficar funciones o visualizar imágenes.

⁶³ Bounding es un comando con las función de graficar un rectángulo alrededor de un objeto o una región de interés.

⁶⁴ “Velocidad de transmisión (baud rate): Indica el número de bits por segundo que se transfieren, y se mide en baudios (bauds). Por ejemplo, 300 baudios representa 300 bits por segundo.” (National Instruments, 2004)

⁶⁵ Buffer: Memoria de almacenamiento temporal de información, que transmitir datos entre unidades funcionales.

El botón **Desconectar** cierra el puerto serie.

El botón **Encender** evalúa la posición del objeto a recolectar y lo clasifica en uno de cinco en cinco posibles casos.

Para evaluar cada caso se usaron operadores lógicos AND.

Caso 1: cuando las dos distancias son positivas y mayores a diez cm.

La distancia debe ser mayor un rango de (0cm a 10cm), porque la pinza tiene una longitud de 10cm, generando un error de la estimación de las distancias, igualmente pasa con las longitudes negativas entre (-10cm y 0cm), por esta razón los valores entre 10cm y -10cm son iguales a cero, porque el robot ya se encuentra en posición para recolectar el objeto en estos rangos de distancia.

$$caso1 = (d1 > 10) \&\& (d2 > 10) \quad (5)$$

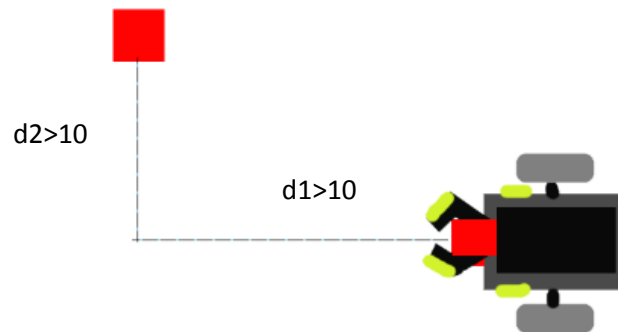


Figura 47 trayectoria del caso 1
Fuente: Autor.2016. Primer caso. [Fuente]

Caso 2

- Cuando la distancia (d1) es positiva y mayor a diez.
- Cuando la distancia (d2) es negativa y menor a menos diez cm.

$$\text{caso2} = (d1 > 10) \ \&\& \ (d2 < -10) \ (5)$$

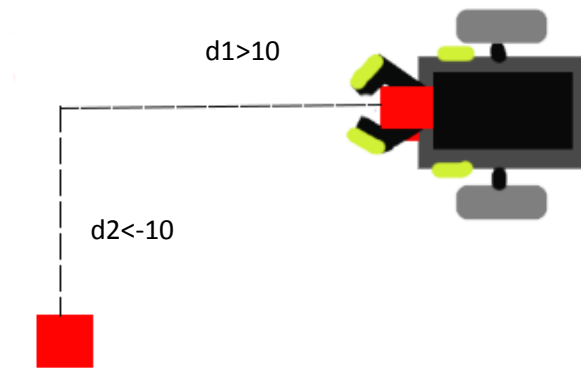


Figura 48 trayectoria del caso 2
Fuente: Autor.2016. Segundo caso. [Fuente]

Caso 3

- Si diez cm es mayor a la distancia ($d1$) y ($d1$) es mayor a menos diez cm.
- Si la distancia ($d2$) es mayor a 10 cm.

$$\text{caso3} = (d1 < 10) \ \&\& \ (-10 < d1) \ \&\& \ (d2 > 10) \ (6)$$

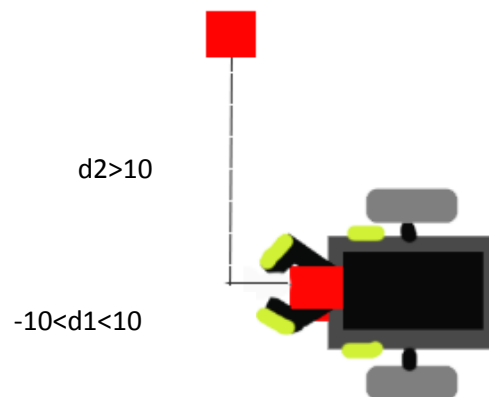


Figura 49 trayectoria del caso 3.
Fuente: Autor.2016. Tercer caso. [Fuente]

Caso 4

- Si diez cm es mayor a la distancia ($d1$) y ($d1$) es mayor a menos diez cm.
- Si la distancia ($d2$) es menor a -10 cm.

$$\text{caso4} = (d1 < 10) \ \&\& \ (-10 < d1) \ \&\& \ (d2 < -10) \ (7)$$

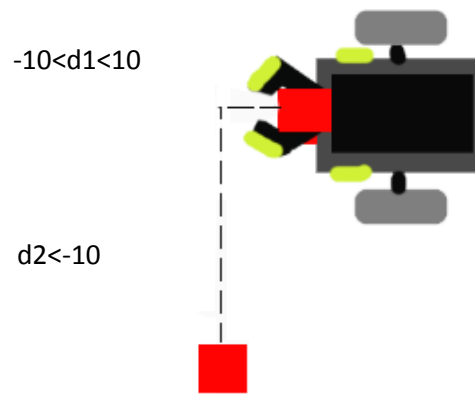


Figura 50 trayectoria del caso 4
Fuente: Autor.2016. Cuarto caso. [Fuente]

Caso 5

- Cuando la distancia ($d1$) es positiva y mayor a diez.
- Si diez cm es mayor a la distancia ($d2$) y ($d2$) es mayor a menos diez cm.

Los valores de 0 a 10cm son

$$\text{caso5} = (d1 > 10) \ \&\& \ (d2 < 10) \ \&\& \ (-10 < d2) \ (8)$$

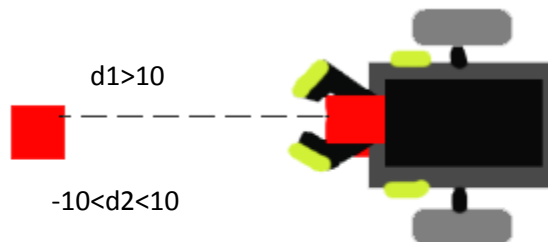
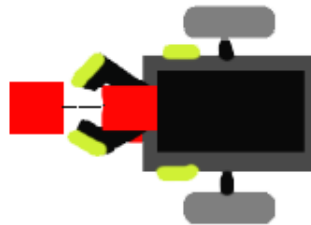


Figura 51 Trayectoria del caso 5
Fuente: Autor.2016. Quinto caso. [Fuente]

Caso 6

- Si diez cm es mayor a la distancia (d1) y (d1) es mayor a menos diez cm.
- Si diez cm es mayor a la distancia (d2) y (d2) es mayor a menos diez cm.

Caso6: $(-10 < d1) \ \&\& \ (d1 < 10) \ \&\& \ (-10 < d2) \ \&\& \ (d2 < 10)$ (9)



*Figura 52 Trayectoria del caso 6
Fuente: Autor.2016. Sexto caso. [Fuente]*

Un vez es evaluada la posición inicial del robot con respecto al objetivo, el botón conectar enviara una trama de datos con la longitud uno (d1), longitud dos (d2) y el caso.

Recepción de la trama de datos

El robot recibe una trama de datos separados por coma:

$$trama = [d1, d2, caso] \quad (8)$$

Cada distancia debe ser traducida al número de grados que debe rotar los motores paso a paso hasta recorrer las correspondientes longitudes.

Para lograr esto, primero se estableció el perímetro de la rueda:

$$P = 2\pi r \quad (9)$$

(P) corresponde al perímetro y (r) al radio de las ruedas del robot móvil.

$$P = 2\pi(3.1cm)=19.4778cm$$

Para transformar las distancias a grados se aplicó la siguiente formula:

$$grados = \frac{(360^\circ)(d1)}{Perimetro} \quad (10)$$

La figura 52 se encuentra en número de grados vs las distancias recorridas.

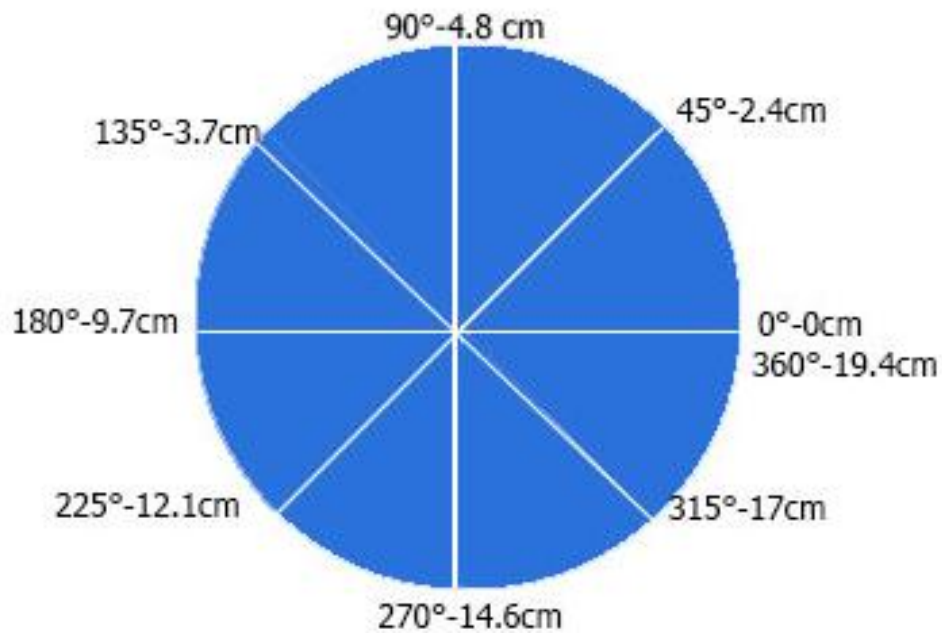


Figura 53 Distancias vs grados

Fuente: Autor.2016. Transformacion de longitudes a grados. [Fuente]

Por último la librería de Arduino (Stepper.h) solicita los valores en (número de pasos) para posicionar los motores paso a paso, por este motivo se calculó un factor de corrección para realizar la conversión de grados a pasos.

$$factorCorrección = \frac{(1^\circ)(200pasos)}{360^\circ} = 0.555555555pasos \quad (11)$$

$$paso = (Valor\ en\ Grados)(0.555555555paso)$$

Ejemplo:

$$(90^\circ)(0.555555555) = 50\ pasos$$

Conclusiones

El proyecto logro los objetivos propuestos; El sistema de visión artificial calcula las distancias que debe avanzar el prototipo hasta alcanzar los objetivos y a partir de esta información el prototipo ejecuta un algoritmo de interpretación con los datos, para finalmente realizar una rutina que le permita llegar hasta el objetivo.

Las principales conclusiones a las que se llegó con el desarrollo del proyecto fueron:

- El diseño del prototipo en la ambiente de SolidWorks permitió anticiparse a algunas fallas mecánicas en la estructura del robot, también redujo los tiempos de ensamble debido al diseño de pieza a medida.
- SolidWorks demostró ser una herramienta versátil y eficiente en el modelamiento mecánicos de robots, es importante profundizar en esta herramienta para posteriores proyectos en robótica.
- En el diseño de robots se debe tener en cuenta diferentes aspectos como: la estructura del robot, el entorno donde desarrolla alguna actividad este y la relación entre ambas. En el caso particular del robot recolector de objetos, se tuvo que descartar una estructura realizada debido a que la estructura resulto ser muy pesada y necesitaba mayor cantidad de fuerza para iniciar y realizar cualquier desplazamiento afectando el hardware del robot.
- En el transcurso de la realización del proyecto en pro de un mejor desempeño del prototipo tuvieron que descartarse algunos componentes como los módulos de radio frecuencia de 433 MHz, porque constantemente había perdida de información en el enlace de datos, por tal motivo fueron remplazados por módulos XBee S2 los cuales aumentaron

considerablemente el costo del prototipo pero mejoraron la comunicación entre el sistema de visión artificial y el robot móvil, por esta razón la precisión y eficiencia en la etapa de desarrollo de prototipos significa un aumento de costos.

- Las dimensiones del robot (25cm largo x 14cm ancho) es un aspecto a mejorar en prototipos futuros. Si el área de la estructura es menor necesitaría menos espacio para orientarse y desplazarse en la tarea de recolección; por lo tanto recolectaría un mayor número de objetos en el mismo entorno.
- Los motores paso a paso son idóneos para la tracción del prototipo móvil, puesto que estos motores son precisos en el posicionamiento y además tienen un gran rango de velocidades de operación, facilitando el recorrido de trayectorias en el entorno, a pesar de su peso y costo.
- La construcción del entorno del prototipo también fue un desafío, porque la cámara ubicada a distancias por encima de dos metros, tenía un mayor campo de visión pero el sistema de visión artificial no respondía bien en el proceso de segmentación, por este motivo la cámara web se posiciono a diferentes alturas hasta lograr una buena relación entre campo de visión y el reconocimiento de objetos rojos con áreas ($9cm^2$).
- La iluminación es vital para un buen desempeño del sistema de visión artificial, en la pruebas realizadas a lo largo del día, la iluminación natural mejoraba al inicio del día y se deterioraba con el pasar de las horas hasta el punto de afectar el proceso de binarización y segmentación, dando lugar a errores en el reconocimiento y el seguimiento de objetos rojos, por esta

razón se construyeron dos lámparas led, garantizando la iluminación adecuada para el procesamiento de imágenes.

- Los sistemas de visión artificial en tiempo real requieren de considerables recursos de máquina, debido al potencial de cálculo que requieren, posibilitando un gran número de aplicaciones en el sector científico e industrial, convirtiéndolo en un campo de la inteligencia artificial interesante para indagar e investigar.
- El algoritmo para el cálculo de trayectoria cumple con el objetivo del proyecto pero podría mejorarse, orientando el robot en el ángulo (β) coincidiendo con el objeto a recolectar y utilizando la ecuación:

$$distancia = \sqrt{(xm - xt)^2 + (ym - yt)^2}$$

Para obtener la longitud a recorrer hasta el objetivo.

- El mecanismo de recolección utilizando una pinza, permitió corregir errores de posición mínimos del robot y facilitó la tarea de agrupar los objetos sobre el robot, con la desventaja de aumentar los costos del prototipo debido al puente H y motores adicionales que no estaban contemplados en el diseño original.

ANEXOS

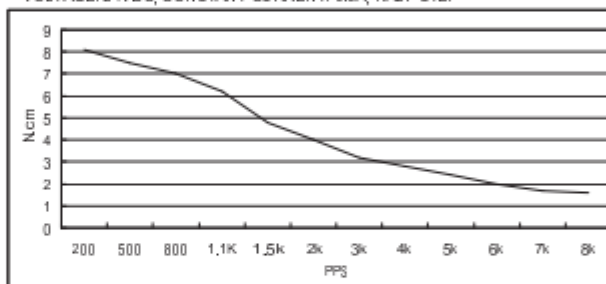
ANEXO A

HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

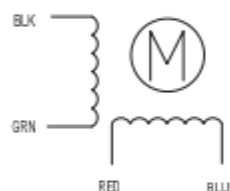
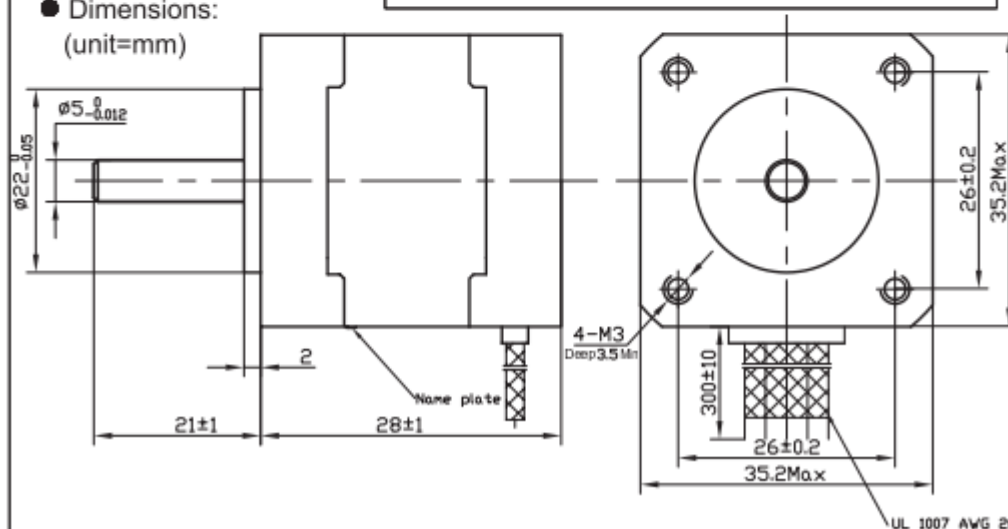
General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	10
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	0.5
Ambient temperature (°C)	-20~+50	Resistance Per Phase ($\pm 10\%$)	20 (25°C)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase ($\pm 20\%$ mH)	13.5
Insulation Resistance	100M Ω , Min (500VDC)	Holding Torque (Kg.cm)	1
Insulation Class	Class B	Detent Torque (g.cm)	80
Max.radial force (N)	28 (20mm from the flange)	Rotor Inertia (g.cm ²)	10
Max.axial force (N)	10	Weight (Kg)	0.125

● Pull out torque curve:

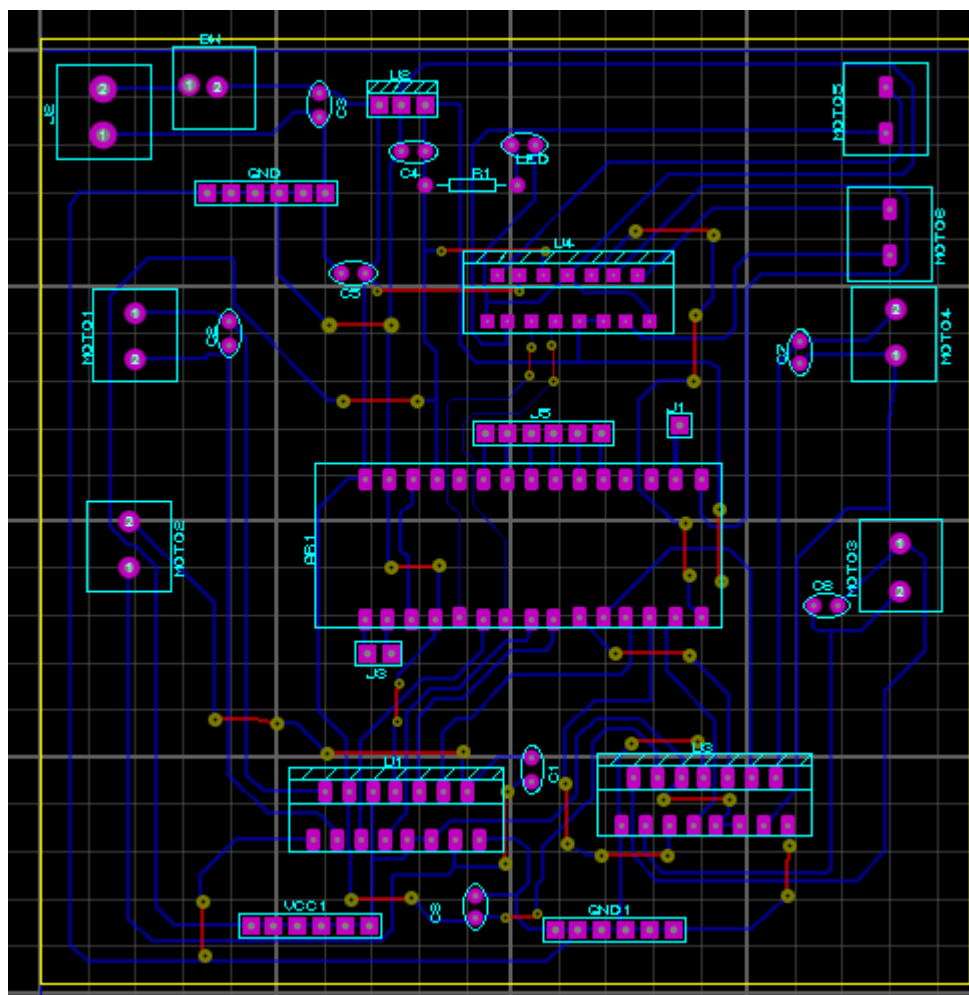
VOLTAGE: 24VDC, CONSTANT CURRENT: 0.5A, HALF STEP



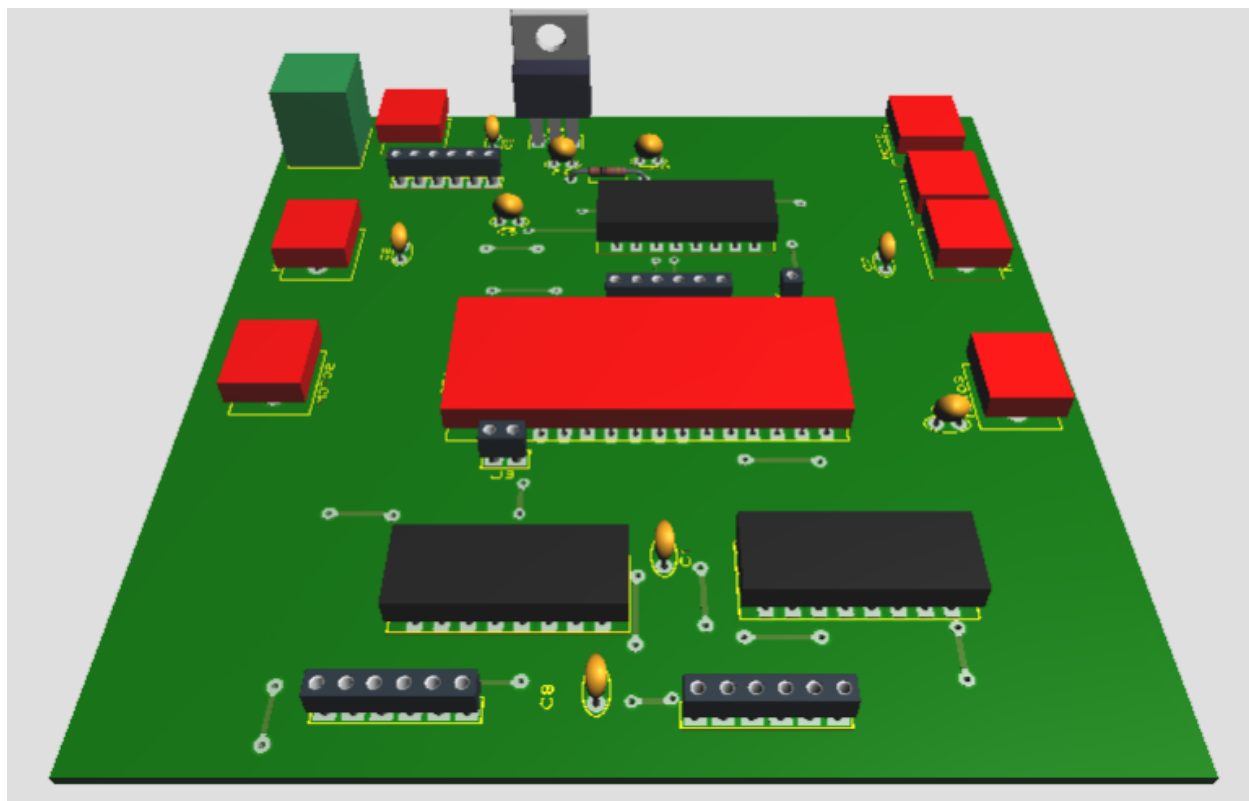
● Wiring Diagram:

● Dimensions:
(unit=mm)

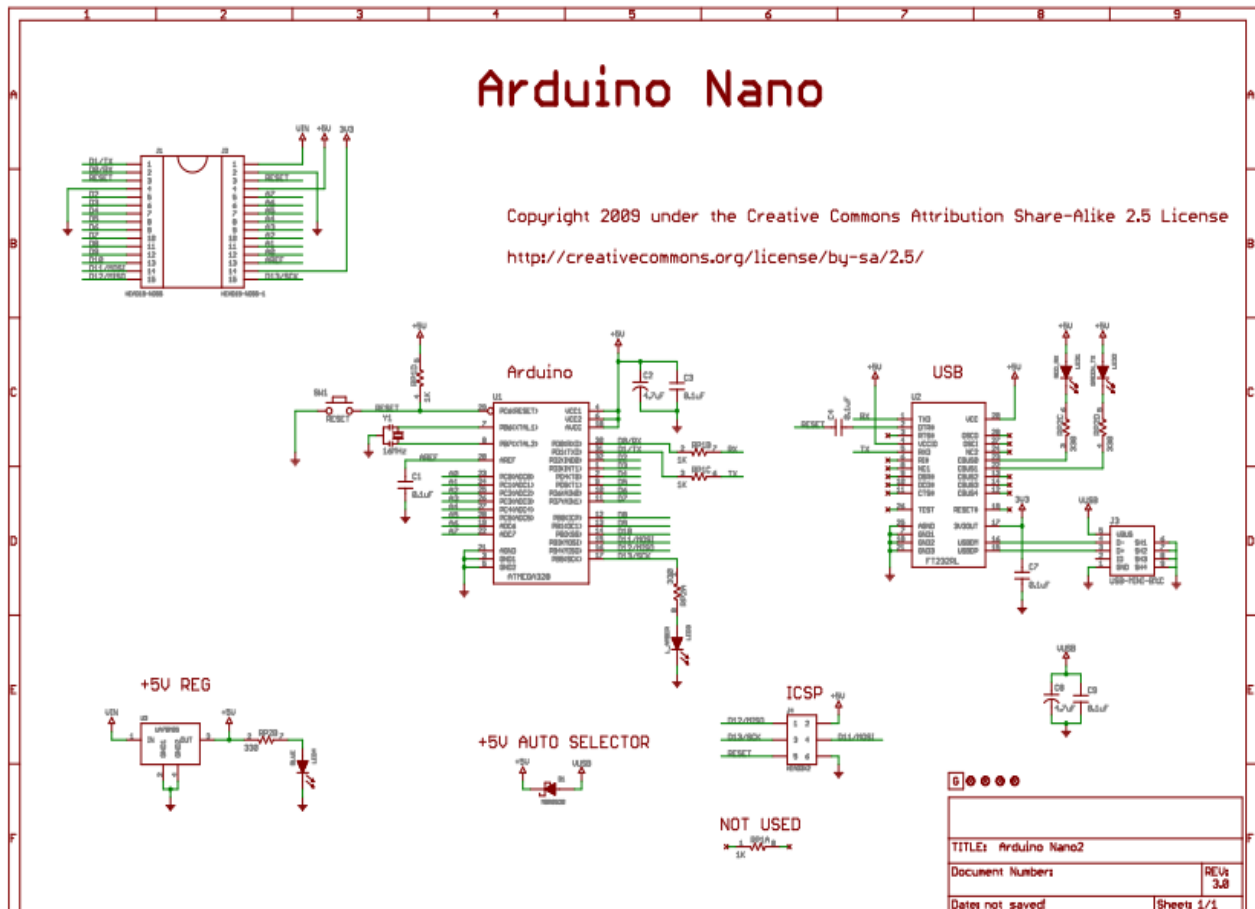
ANEXO B



ANEXO C



ANEXO D



Bibliografía

SolidWorks corporation. (2006). *Conceptos básicos de SolidWorks: Piezas y ensamblajes*. EE.UU: SolidWorks.

Adimec. (2016). www.adimec.com. Obtenido de www.adimec.com:
http://www.adimec.com/en/Service_Menu/Industrial_camera_products/CoaXPress_A_new_machine_vision_interface_standard

- Ana Gonzales, F. M. (2006). *Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial*. España: Servicio de publicación.
- applendiendo.wordpress.com*. (23 de 10 de 2007). Obtenido de *applendiendo.wordpress.com*:
<https://applendiendo.wordpress.com/2007/10/23/que-es-un-router-y-para-que-sirve/>
- Arduino. (31 de 5 de 2016). *www.arduino.cc*. Obtenido de *www.arduino.cc*:
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Bambino. (2008). Una introducción a los robots móviles. *Una introducción a los robots móviles*, 86.
- Bases de datos para las Artes Electrónicas*. (6 de 6 de 2012). Obtenido de *www.ceiarteuntref.edu.ar*:
<http://www.ceiarteuntref.edu.ar/badarte/node/89>
- Borger, A. (4 de 3 de 2004). *http://www.industriaynegocios.cl/*. Obtenido de
<http://www.industriaynegocios.cl/>:
http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2004/Rob%C3%B3tica/seminario%202004%20robotica/Seminario_Robotica/Documentos/CINEM%C3%81TICA%20Directa.htm
- Calderón, R. (20 de 10 de 2011). *ventas de seguridad*. Obtenido de
<http://www.ventasdeseguridad.com/201110206270/articulos/enfoques-miscelaneos/resolucion-de-camara-hd-y-megapixel.html>
- CEDOM. (2015). *www.cedom.es*. Obtenido de *www.cedom.es*: <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica>
- Chicala, J., Jacho, R., Atencia, L., & Vintimilla, B. (2006). Reconocimiento y seguimiento de objeto móviles en un sistema de fútbol robótico. *Revista Tecnológica ESPOL*, 1.
- Conceptos básicos para el manejo de módulos XBee serie 2. (2016). 2.
- Cuentos cuanticos*. (15 de 12 de 2011). Obtenido de *Cuentos cuanticos*: <https://cuentos-cuanticos.com/2011/12/15/robotica-estimacion-de-posicion-por-odometria/>
- EekFactory. (2016). *www.geekfactory.mx*. Obtenido de *www.geekfactory.mx*:
<http://www.geekfactory.mx/tienda/radiofrecuencia/kit-modulos-rf-433-mhz-ask-transmisor-y-receptor/>
- El estándar Bluetooth IEEE 802.15.1. (s.f.). 5.
- Faludi, R. (2010). *Bulding Wireless Sensor Networks*. the United States of America: O'Reilly Media.
- Fields, L. E. (2013). Fields, L. E. Comparación de sistemas de comunicación inalámbrica para robots móviles. *Prima tecnologico*, 1,2.
- FisicaLab. (2013). *www.fisicalab.com*. Obtenido de *www.fisicalab.com*:
<https://www.fisicalab.com/apartado/rozamiento#contenidos>
- García, I. D. (2008). Visión Artificial y Procesamiento Digital de imágenes por Matlab. En I. D. García, *Visión Artificial y Procesamiento Digital de imágenes por Matlab* (pág. 4). Ecuador.

- García, P. D. (2013). <http://www.uco.es/>. Obtenido de <http://www.uco.es/http://www.uco.es/users/ma1fegan/2012-2013/vision/Temas/segmentacion.pdf>
- González, J. M. (2004). ROBÓTICA Y PRÓTESIS INTELIGENTES. *Revista Unam*, 8.
- González, T. P., & Bayona, G. (2010). REDES MESH. *Universidad de Almería*, 18.
- Grayeb, S., & Jose Alberto. (5 de 12 de 2008). *losmicrocontroladores.blogspot.com.co*. Obtenido de losmicrocontroladores.blogspot.com.co: <http://losmicrocontroladores.blogspot.com.co/http://saber.patagoniatec.com/>. (25 de 5 de 2016). Obtenido de <http://saber.patagoniatec.com/modulos-emisor-y-receptor-rf-433mhz/>
- ieespain. (2015). *Proteus the Complete Electronics Desing System*. Obtenido de www.ieespain.com: <http://www.ieespain.com/ieeproteus/>
- IES Alfonso Romero Barcojo. (2 de 6 de 2016). *cmapspublic2.ihmc.us*. Obtenido de cmapspublic2.ihmc.us: <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H2F1807L-JP0SG2-J1J/encoder.pdf>
- iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com*. (31 de 3 de 2016). Obtenido de iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/transistores.pdf>
- informecatronica-robotica.blogspot.com.co*. (1 de 6 de 2012). Obtenido de informecatronica-robotica.blogspot.com.co: <http://informecatronica-robotica.blogspot.com.co/p/sistemas-sensoriales.html>
- Liarte, D. (18 de 12 de 2009). *Atakafoto*. Obtenido de <http://www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos>
- Malpartida, E. A. (2003). Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos usando un brazo robotico.
- Mata, J. A. (1 de 3 de 2010). *Monografias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos94/lampara-incandescente-o-bombilla/lampara-incandescente-o-bombilla.shtml>
- Molina, N. H. (2013). El ABC de la comunicación XBee. *M.Estevez OverSenses*, 3.
- National Instruments. (2 de 1 de 2004). *digital.ni.com*. Obtenido de digital.ni.com: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>
- National Instruments. (2 de 01 de 2004). *Digital.ni.com*. Obtenido de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>
- Nereida. (2012). *nereida.deioc.ull.es*. Obtenido de nereida.deioc.ull.es: <http://nereida.deioc.ull.es/~pcgull/ihui01/cdrom/matlab/contenido/node2.html>
- PCE. (2016). *www.pce-iberica.es*. Obtenido de www.pce-iberica.es: <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>
- Pérez, D. (2006). SENSORES DE DISTANCIA POR ULTRASONIDO. 2.

- Philips. (5 de 3 de 2015). *Philips*. Obtenido de <http://www.philips.es/c-m-li/bombillas-fluorescentes-compactas>
- Pietrosemoli, E. (10 de 2011). *www.eslared.org.ve*. Obtenido de www.eslared.org.ve:
http://www.eslared.org.ve/walcs/walc2011/material/track1/redes_mesh_presentacion_es.pdf
- platea pntic. (3 de 12 de 2009). Obtenido de Planeta pntic:
http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm#definicion
- Plúa, A. E. (23 de 5 de 2008). *pedrojoanmiro.webcindario.com*. Obtenido de pedrojoanmiro.webcindario.com:
http://pedrojoanmiro.webcindario.com/Desarrollo_de_Proyectos/Proyectos_Alumnos/Luchadores_Sumo/Popoly/Popoly.pdf
- Porras, J. (2010). CLASIFICATION SYSTEM BASED ON COMPUTER VISION. *Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, 2*.
- Puy, I. (5 de 5 de 2008). *webuser.hs-furtwangen.de*. Obtenido de <http://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/ebte-08ss-bluetooth-Ingo-Puy-Crespo.pdf>
- RoboCup. (1 de 2 de 2016). *RoboCup2016*. Obtenido de [robotCup2016](http://www.robocup2016.org/en/):
<http://www.robocup2016.org/en/>
- Rodrigo, L. D. (1 de 4 de 2010). *www.alcabot.com*. Obtenido de [ww.alcabot.com](http://www.alcabot.com):
<http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/LuisDeSantiagoRodrigo.PDF>
- Sanchez, F., Rodríguez, O., Mazzeo, H., & Rapallini, J. (2013). *uea2013.frbb.utn.edu.a*. Obtenido de uea2013.frbb.utn.edu.a: http://uea2013.frbb.utn.edu.ar/wp-content/uploads/TE_1.pdf
- Santiago. (2011). <http://firmware-santiago.blogspot.com.co/>. Obtenido de <http://firmware-santiago.blogspot.com.co/>: <http://firmware-santiago.blogspot.com.co/>
- Santillán, I. D. (2008). *Visión Artificial y Procesamiento Digital de*. Ecuador: Escuela de Ingeniería de la PUCE-S.
- sciatel.wikispaces.com*. (22 de 8 de 2012). Obtenido de sciatel.wikispaces.com:
<https://sciatel.wikispaces.com/CODIFICACI%C3%93N+Y+DECODIFICACI%C3%93N>
- Speed-Test. (3 de 7 de 2014). *www.speed-test.es*. Obtenido de [http://www.speed-test.es](http://www.speed-test.es/qu_es_la_latencia):
http://www.speed-test.es/qu_es_la_latencia
- SuperRobotica*. (18 de 07 de 2013). Obtenido de <http://www.superrobotica.com/S300160.htm>
- support.microsoft.com*. (12 de 05 de 2015). Obtenido de [support.microsoft.com](https://support.microsoft.com/es-es/kb/253680):
<https://support.microsoft.com/es-es/kb/253680>
- TecBolivia.com. (11 de 5 de 2016). *TecBolivia.com*. Obtenido de [TecBolivia.com](http://tecbolivia.com/index.php/venta-de-componentes-electronicos-11/comunicaciones/modulo-zigbee-xbee-serie-2-detail):
<http://tecbolivia.com/index.php/venta-de-componentes-electronicos-11/comunicaciones/modulo-zigbee-xbee-serie-2-detail>

teleformacion.edu.aytolacoruna.es. (23 de 4 de 2015). Obtenido de *teleformacion.edu.aytolacoruna.es*:
http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Ondasbachillerato/longOnda_Frec/longOnda_Fre.htm

Todo Robot. (4 de 2 de 2012). Obtenido de <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>

uControladores. (21 de 07 de 2011). Obtenido de
<https://ucontroladores.wordpress.com/2011/07/12/centroide-de-una-imagen/>

Universidad Central. (2014). *www.ucentral.edu.co*. Obtenido de *www.ucentral.edu.co*:
<https://www.ucentral.edu.co/images/documentos/eventos/2014-semana-ingenieria-competencia-robotica.pdf>

Universidad Miguel Hernandez. (2015). *repositorio.innovacionumh.es*. Obtenido de *repositorio.innovacionumh.es*:
http://repositorio.innovacionumh.es/Proyectos/P_19/Tema_2/UMH_02.htm

Universidad Nacional de Quilmes . (2005). Aspectos de un Sistema de Visión Artificial . *Ing. en Automatización y Control Industrial* , 1.

upcommons.upc.edu. (2014). Obtenido de *upcommons.upc.edu*:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

Vicente. (1 de 4 de 2015). Obtenido de *Electronica teoría y práctica : lectrónica-teoriaypractica.com/transistor-darlington*

www.itlalaguna.edu.mx. (3 de 2 de 2010). Obtenido de *www.itlalaguna.edu.mx*:
http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/optopdf2_archivos/unidad2tema4.pdf

www.lego.com. (29 de 5 de 2016). Obtenido de *www.lego.com*: <http://www.lego.com/es-ar/mindstorms/support>

www.robotica-dec.com.mx/. (25 de 5 de 2016). Obtenido de *www.robotica-dec.com.mx/*:
http://www.robotica-dec.com.mx/index.php?route=product/product&product_id=144

www.sparkfun.com. (25 de 5 de 2016). Obtenido de *www.sparkfun.com*:
<https://www.sparkfun.com/products/10414>

www.thewebfoto.com. (1 de 3 de 2015). Obtenido de *www.thewebfoto.com*:
<http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/205-sensor-y-sensibilidad>

www.visiononline.es. (30 de 5 de 2016). Obtenido de *www.visiononline.es*:
<http://www.visiononline.es/es/actualidad-en-vision-artificial/la-vision-artificial-y-su-influencia-en-espana>

XBee.cl. (11 de 4 de 2016). *XBee.cl*. Obtenido de *XBee.co*: <http://xbec.cl/que-es-xbec/>