

**PROTOTIPO DE ROBOT SUBMARINO CON LA CAPACIDAD DE
SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS, MEDIANTE TRATAMIENTO DE
IMÁGENES**

FRANCY MILENA RODRIGUEZ MORENO

CLAUDIA MILENA CÁRDENAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

BOGOTÁ

2014

**PROTOTIPO DE ROBOT SUBMARINO CON LA CAPACIDAD DE
SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS, MEDIANTE TRATAMIENTO DE
IMÁGENES**

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

FRANCY MILENA RODRIGUEZ MORENO

2007203059

CLAUDIA MILENA CÁRDENAS

2008103013

DIRECTOR DE TESIS

AUGUSTO GUARIN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

BOGOTÁ

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 2 de Junio de 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mis padres que siempre me apoyaron desde que inicie en mi carrera en licenciatura en electrónica, brindándome consejos y animo en las dificultades que se presentaron en el transcurso de esta.

A mis hermanos por estar presentes en los momentos difíciles, porque más que hermanos han sido mis amigos y confidentes.

A mis compañeros Francy, Jonathan, Álvaro, David, Jei, quienes estuvieron desde el inicio y finalización de mi carrera, compartiendo momentos agradables y de dificultad.

Al profesor Augusto Guarín, quien con su sabiduría y conocimientos, hizo posible la realización de este trabajo de grado.

Claudia Milena Cárdenas

Agradezco principalmente a Dios por darme la vida, la paciencia y la fortaleza necesaria para no rendirme en este duro camino; por traer a mi vida a mis ángeles guardianes mi mamá y mi hermanita mi razón para vivir

A mi mamá Rosario Moreno, por sus esfuerzos diarios, por la vida que me brindo, por llenarme día a día de amor y valentía. Por ser mi mejor amiga, mi conciencia, mi consejera, y mi más fiel compañera. Te admiro y te amo Gracias por todo tu apoyo.

A mi hermana Ginna Rodríguez por la infinita alegría que da a mi vida, por ser mi mejor amiga, por no permitir que me rinda nunca, por siempre subirme el ánimo. Gracias por acompañarme en los momentos más oscuros y no permitir que me hunda.

Francy Milena Rodríguez

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN- RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Titulo del documento	Prototipo de Robot Submarino con la Capacidad del Seguimiento de Trayectorias Mediante el Tratamiento de Imágenes
Autor(es)	Cárdenas Martínez, Claudia Milena; Rodríguez Moreno, Francy Milena.
Director	Guarín Rodríguez, Augusto.
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2014. 93 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Tratamiento de Imagen, Control Digital, Submarino, Potencia.

2. Descripción
<p>En este proyecto de grado se trabajó un prototipo de robot acuático, el cual tiene la capacidad de seguir trayectorias mediante el procesamiento de imágenes adquiridas en tiempo real a través del uso de una cámara web.</p> <p>Este prototipo es controlado en el eje x-y, sin tomar en cuenta el eje z.</p> <p>El tipo de control utilizado en este proyecto fue modelo Caja Negra en el cual solo se tenían en cuentas las entradas y salidas del sistema, el controlador se diseñó usando un control PID digital.</p> <p>La comunicación empleada fue inalámbrica y la tecnología utilizada fue Bluetooth.</p>

3. Fuentes
<p>Amini, N., Xu, W., Li, Z., Huang, M.-C., & Sarrafzadeh, M. (2011). <i>"Experimental Analysis of IEEE 204.15.4 for On/Off Body Communications"</i>. Beijing, China : IEEE.</p> <p>Arízaga, J. A., de la Calleja, J., Hernández, R., & Benitez, A. (2012). <i>"Automatic Control for laboratory Sterilization Process based on Arduino Hardware"</i>. IEEE. Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP), 22nd Internacional Conference.</p> <p>Bandala, A. A., & Dadios, E. P. (2012). <i>"Development and Design of Mobile Robot with IP-Based Vision System"</i>. TENCON IEEE Region 10 Conference.</p> <p>Barnes, N., & Liu, Z.-Q. (2004). <i>"Embodied categorisation for vision-guided mobile robots"</i> (Vols. 37, Issue</p>

2). Pattern Recognition.

Benitez, A., Moreno, C., & Vallejo, D. (2008.). *"Localization Control LEGO Robot's Navigation"*, 18th International Conference on Electronics Communications and Computers, IEEE Computer Society,. Puebla, Mexico.

Bernd, J. (2000). *"Computer vision and applications"*. Academic Press.

Berrio, L., & Zuluaga, C. (2012). *"Concepts, Standars and Communication Technologies in Smart Grid"*. Colombia: IEEE.

Brubaker, D. (1993). *"Two New Defuzzification Techniques"*. IEEE, WESCON/93. Conference Record.

Buygi, M., Shanechi, O., Balzer, G., Shahidehpour, G., & Pariz, N. (August 2006). *"Network planning systems"* (Vol. 21).

Cuevas, E., Saldivar, D., & Pérez, M. (2010). *Procesamiento Digital de Señales*. España: RA-MA.

de la Escalera Hueso , A. (2001). *"Visión por Computador. Fundamentos y métodos"*. Madrid: Prentice Hall.

Jiao, S., Khadra, Y., & Goutte, R. (2006). *"Genomic Architecture of 2D Images after Regions-Based segmentation"*. ICSP2006 Proceedings, 0-7803-9737-1 IEEE.

Juang, H.-S., & Lum, K.-Y. (June 12-14, 2013). *"Design and Control of a Two-Wheel Self-Balancing Robot using the Arduino Microcontroller Board"*. Hangzhou, China: IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA).

Katusic, D., Skocir, P., Bojic, I., Kusek, M., Jezic, G., Desic, S., et al. (2013). *"Universal Identification Scheme in Machine-to-Machine Systems"*. Croatia: IEEE.

Konolige, K., Augenbraun, J., Donaldson, N., Fiebig, C., & Shah, P. (2008). *"Low-Cost Laser Distance Sensor"*. USA: IEEE Internacional Conferencia Robotics and Automation.

Krivié, S., Hujdur, M., Marzié, A., & Konjicija, S. (2012). *"Design and Implementation of Fuzzy Controller on Embedded Computer for Water Level Control"*. Croatia: Faculty of Electrical Engineering, Department of Automatic Control and Electronics, Sarajevo.

Lutvica, K., Kadic , N., Dzampo, G., Muminovic, H., Velagic, J., & Osmic, N. (2011). *"Remote Position Control of Mobile Robot Based on Visual Feedback and ZigBee Communication"*. Internacional Symposium ELMAR IEEE.

Mahfouf, M., Abbod, M., & Linkens, D. (2001). *"A survey of fuzzy logic monitoring and control utilisation in medicine"* (Vols. 21, Issues 1-2). Artificial Intelligence in Medicine.

Naranjo, J. (2007). *"Using fuzzy logic in vehicle control"*. IEEE Intelligent systems.

Ning, H., Yuguang, H., & Chunhui, W. (2011). *"Comparative analysis on a vehicle's speed control systems stablity based on fuzz rules and PID method"*. Internacional Conference on Electronic & Engineering and

Information Technology.

Pakdaman, M., & Sanaatiyan, M. (2009). *"Design and Implementation of Line Follower Robot"*. Irán: IEEE.

Pratt, W. K. (2007). *"Digital Image Processing"*. 4th Edition, WILEY-INTERSCIENCE.

Ramírez, J., Gómez Gil, P., & Lòpez Larios, F. (2007). *"A robot vision system for autonomous vehicle navigation with fuzzy logic control using Lab-View"*. Cuernavaca, Morelos: Cuarto congreso de Electrónica, Robótica y Mecánica Automotriz.

Robayo Espinel, E. (2007). *"Control difuso - Fundamentos y aplicaciones"*. Ed. Uninorte.

in Sport Training". Biomedical Engineering. IEEE.

4. Contenidos

Robótica Submarina

- Clasificación de Robots Submarinos
- Partes de un ROV

Actuadores y Sensores Empleados en la Robótica Acuática.

Aspectos Incidentes en la Construcción de Robots Acuáticos.

Sistema de Control Visual.

Aspectos Metodológicos.

Desarrollo del Proyecto.

- Diseño y Fabricación
- Sistema Mecánico

Sistema de Potencia.

Sistema de Comunicación para Movilidad del Prototipo.

Sistema de Control.

- Acondicionamiento del Ambiente de Trabajo
- Tratamiento de la Imagen
- Diseño del Controlador

5. Metodología

Para el desarrollo del "Prototipo de robot Submarino con la Capacidad de Seguimiento de Trayectorias Mediante el Tratamiento de Imágenes" se aplicó una metodología acorde al tipo de objetivos propuestos.

El método utilizado se aplica en el diseño de prototipo de máquinas, el cual permite dividir el proyecto en 3

fases que se desarrollarán de forma sistemática, abarcando la totalidad del proceso que permitió alcanzar el objetivo final: Desarrollo del Prototipo de Robot Submarino.

Una vez conceptualizado el diseño del Prototipo, éste proyecto se organizó en tres fases: a) Fase de diseño y fabricación, b) Fase de control y potencia c) Fase de pruebas.

- FASE 1.

En la primera fase se trabajó la estructura del robot, para poder así evaluar las dimensiones, estructura física, materiales, procedimientos, tiempos y costos de construcción.

El siguiente paso fue el diseño y construcción de los sistemas que componen al Prototipo (partes, elementos, componentes).

En la fabricación y ensamble se determinó si es necesaria alguna modificación en los parámetros y las dimensiones de los componentes.

- FASE 2.

La segunda fase corresponde al control e implementación de la etapa de potencia donde se definió el circuito eléctrico que permitió controlar el movimiento, también se establecieron los requerimientos de los dispositivos eléctricos a utilizar (sensores, motores, cámara web etc.).

Se determinó la velocidad, sentido de giro, potencia, corriente y voltajes con los que trabajaron los motores. Realizando posteriormente la caracterización de cada uno de los sensores y otros dispositivos a utilizar.

El punto siguiente estableció la comunicación entre el prototipo y el ordenador, visualizando así la trayectoria y dirección del robot mediante una tarjeta de adquisición de datos.

Finalmente se implementó un sistema de control, que satisfacía las condiciones de desplazamiento necesarias para seguir un objeto preestablecido mediante el uso del control clásico.

- FASE 3.

La última fase tiene como finalidad la realización de pruebas de tipo mecánico, electrónico y de software (interfaz de comunicación, control de dispositivos, etc.) que permitió modificar y mejorar los modelos usados anteriormente para el diseño del prototipo.

6. Conclusiones

Este trabajo tiene como resultado el cumplimiento de los objetivos que fueron marcados con antelación. Dicho proyecto fue bastante interesante dado las diferentes técnicas que se tuvieron que aprender y/o desarrollar para lograr que el sistema funcione, entre las principales conclusiones a las que llegamos tenemos:

- Es fundamental dimensionar el alcance del proyecto; puesto que se deben tomar en cuenta aspectos tales como: costos, mecanismos, comunicación, control y tiempos dispuestos para alcanzar los objetivos propuestos.
- A través de la elaboración de diferentes prototipos en la primera etapa se logra determinar la forma adecuada, equipamiento y los adecuados materiales, esto permitió corregir las deficiencias que se tuvieron en versiones anteriores.
- El diseño y elaboración del prototipo acuático no fueron tareas sencillas, debido a la poca experiencia que se tenía en el diseño de este tipo de sistemas y al elevado costo que tienen los materiales propios para la elaboración de un submarino.
- Como se mencionó a lo largo del documento, uno de los factores que más influyen sobre el área de trabajo e inciden bastante sobre los resultados obtenidos, en especial sobre el proceso de binarización, es el grado de iluminación, por lo que se optó por colocar niveles de umbral manuales, que dependen de la hora del día en que se está trabajando, esta manipulación del umbral afecta por otro lado el tamaño de los objetos pequeños o aquellos no muy brillantes, al incrementar el umbral, son eliminados del área de trabajo.
- En la etapa de procesamiento de la imagen se uso una función que permitiera eliminar los objetos conectados con menor número de píxeles al deseado, obteniendo así el objeto a seguir.
- Para la elaboración de un carro acuático es de gran importancia escoger las hélices adecuadas que permitan el avance del prototipo.
- El trabajar en un ambiente diferente al terrestre como lo es el acuático, trae desventajas, la principal es la comunicación entre el prototipo y el pc a través del modulo bluetooth debido a la baja potencia
- La hermeticidad en este tipo de robot juega un papel muy importante, puesto que se necesita asegurar que no ingrese el agua y dañe los elementos electrónicos. Inicialmente se pensó en comprar motores a prueba de agua, pero debido a su elevado costo se utilizaron motoreductores sencillos que luego fueron impermeabilizados.

- Debido al poco alcance de la cámara web con la que se contaba se optó por emplear una piscina que estuviera al alcance de la misma con unas dimensiones determinadas y una profundidad no mayor a 80cm, lo que hacía que el área de trabajo tuviera que estar acondicionada y fuera reducida.
- Es fundamental asegurar el correcto acople entre las hélices y el motor, debido a que puede causar un alto nivel de turbulencia, afectando así el adecuado funcionamiento del control del prototipo.
- El principal inconveniente que se tuvo al momento de realizar el prototipo fue no poder sumergirlo debido a la pérdida de comunicación entre el pc y el prototipo. Aunque se tuvieron en cuenta varias ideas para poder lograr la inmersión (Entre ellas se pensó en un sistema de jeringas que actuaran como lastres para el submarino), se observa que el acople mecánico debe ser muy preciso, por tanto varias ideas fueron descartadas.
- Es indispensable lograr una sintonización que cumpla con nuestro objetivo y que corrija el error que se presenta, lo que permite que llegue de forma óptima a su objetivo. La sintonización se realizó de manera experimental debido a que nuestro control fue implementado en el modelo Caja Negra.

Elaborado por:	Claudia Milena Cárdenas Martínez Francy Milena Rodríguez Moreno
Revisado por:	Augusto Guarín Rodríguez

Fecha de elaboración del Resumen:	10	06	2014
--	----	----	------

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	18
2. OBJETIVOS	19
2.1. OBJETIVO GENERAL:.....	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	20
4. ANTECEDENTES	21
5. DELIMITACIONES Y ALCANCES	26
5.1. DELIMITACIONES.....	26
6. MARCO TEÓRICO.....	27
6.1. ROBÓTICA SUBMARINA.....	27
6.1.1. Clasificación de Robots Submarinos.....	27
6.1.2. Partes de un ROV	29
6.1.3. Historia de los ROV	30
6.2. ACTUADORES Y SENSORES EMPLEADOS EN LA ROBÓTICA ACUÁTICA	
32	
6.2.1. Actuadores	32
6.2.2. Sensores.....	34
6.3. ASPECTOS INCIDENTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE ROBOTS	
ACUÁTICOS.....	36
6.3.1. Propulsores (Hélices)	36
6.4. SISTEMA DE CONTROL VISUAL.....	38
7. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	41
8. DESARROLLO PROYECTO	43
8.1.1. Diseño y Fabricación.....	43
8.1.2. Sistema Mecánico	43
8.2. SISTEMA DE POTENCIA.....	56
8.3. SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA MOVILIDAD DEL PROTOTIPO	59

8.4. SISTEMA DE CONTROL.....	61
8.4.1. Acondicionamiento del Ambiente de Trabajo.	61
8.4.2. Tratamiento de la Imagen	67
8.4.3. Diseño del Controlador	75
CONCLUSIONES	81
Bibliografía.....	89

ANEXOS

ANEXO A. Planos en Solid Edge de la Hélice.

ANEXO B. Datos Técnicos de los Dos Motores Iguales

ANEXO C. Prototipo del robot en 3D.

ANEXO D. Especificaciones Bluetooth Modem - BlueSMiRF Silver

ANEXO E. Esquemático Tarjeta Arduino-Uno

INTRODUCCIÓN

La Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional, permite que los docentes en formación sean profesionales capaces de gestar proyectos de desarrollo productivo tecnológico en el área de la Electrónica. Además estén en la capacidad de analizar, diseñar, simular e implementar soluciones de calidad en sistemas electrónicos análogos, digitales, de comunicaciones y de control automático.¹

Estos desempeños son los que nos conducen al desarrollo de artefactos, que permiten ser empleados como herramientas para impartir un conocimiento más acorde a las necesidades actuales en la Licenciatura en Electrónica.

En el presente la robótica es una de las ramas con mayor importancia en el campo de la electrónica, debido a sus múltiples áreas de trabajo; algunas de estas pueden ser: educación (kits educativos), exploración (espacial, marina, terrestre, aérea), investigación científica (inteligencia artificial, nano robótica, neurobótica), medicina, aplicaciones industriales (almacenamiento, carga y descarga de objetos, operaciones industriales de mecanización, inspección de lugares inaccesibles, manipulación de residuos tóxicos o peligrosos, manipuladores en la industria alimentaria, limpieza de ríos, puertos y mares), agricultura (preparación de cultivos/suelos, siembra,

¹ “Perfil Profesional Universidad Pedagógica Nacional”, [En línea]. Diciembre 2013.
<http://cienciaytecnologia.pedagogica.edu.co/vercontenido.php?idp=373&idh=378&idn=8033>

producción y recolección), inspección (tanques, tuberías y conductos), defensa (vigilancia aérea, reconocimiento de entornos, desactivación de elementos peligrosos), rescate, construcción, minería, vigilancia, seguridad.²

El prototipo que se presenta en este trabajo de grado, permitirá al docente en formación de la Licenciatura en Electrónica un acercamiento directo al trabajo que se puede realizar con robots acuáticos; sus diferentes aplicaciones, manipulación y posterior recolección de datos. Esto se realiza con el fin de conocer las ventajas y desventajas del uso de robots en este medio en específico.

Los ROV (Remote Operated Vehicles por sus siglas en inglés) son vehículos de operación remota, pequeños submarinos no tripulados que se utilizan para operaciones submarinas, peligrosas y de difícil acceso para los seres humanos. Están comunicados a un punto de apoyo externo, siendo controlados por un operador humano en tiempo real.³

Mediante este documento se observará una de las tantas aplicaciones que se le puede dar al tratamiento de imágenes, las cuales son adquiridas a través de una cámara web.

El Procesamiento Digital de Imágenes ha sido ampliamente utilizado por diversas disciplinas tales como: Medicina, Biología, Física e Ingeniería.

Mediante el procesamiento digital es posible manipular imágenes en un computador con el fin de obtener información objetiva de la escena captada por una cámara. Son dos las tareas fundamentales del Procesamiento Digital de Imágenes. Primero: el mejoramiento de una imagen digital con fines interpretativos y Segundo: toma de decisiones de manera automática de acuerdo al contenido de la imagen digital.

² "Aplicaciones de Robots en la Industria", [En línea.]. Diciembre 2013.
http://co.utn.edu.ar/tecnologia/tema/aplicaciones-robots-industria.html?x=0070821klpingin_f_96.Kes&ap=0

³ "ROV", [En línea.]. Diciembre 2013. <http://centrodeartigos.com/articulos-enciclopedicos.html>

Como aplicaciones típicas se puede mencionar: detección de presencia de objetos, inspección visual automática, medición de características geométricas y de color de objetos, clasificación de objetos, restauración de imágenes y mejoramiento de la calidad de las imágenes.⁴

De esta manera el documento presenta los siguientes tópicos: Un planteamiento del problema donde se evidencia la necesidad de la incursión de la robótica en un ambiente acuático; Objetivos que muestran la finalidad del trabajo de grado; los Antecedentes se trabajan de forma organizada en fichas bibliográficas, El marco teórico, la Metodología del Proyecto, el Desarrollo del Proyecto y por últimos las Conclusiones del trabajo de grado.

⁴ "Procesamiento de Imagen y Voz", [En línea]. Diciembre 2013.
<http://fraba.galeon.com/imagenvoz.htm>

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La robótica y su aplicabilidad son un tema de creciente importancia, puesto que se ha encontrado que son capaces de cumplir diferentes tareas de gran utilidad en trabajos que no pueden ser realizados directamente por seres humanos o que deben ser desarrollados en medios hostiles y representan un riesgo a la vida humana.

Específicamente en el campo de la robótica acuática, algunas de las misiones que pueden cumplir este tipo de robots son: exploración, reconocimiento, identificación (de lugares y/o de especies marinas), salvamento, control medioambiental, recolección de información (temperatura, presión, turbiedad, profundidad etc.), manipulación y detección de objetos.

Este proyecto surge gracias al interés personal que se tiene por parte de sus proponentes en el desarrollo de proyectos de investigación en robótica, puntualmente en el tema de la robótica acuática, el comportamiento y aplicación de este tipo de robots en el medio ambiente.

La implementación de robots en un ambiente acuático, no ha sido un tema de exploración y producción en la Universidad Pedagógica Nacional. A través del presente trabajo se pretende incursionar en esta área con el desarrollo de un prototipo capaz de desplazarse en el agua y que adicionalmente permita su uso posterior por estudiantes del programa de Licenciatura en Electrónica, para la implementación de diferentes misiones.

2. OBJETIVOS

2.1. *OBJETIVO GENERAL:*

Diseñar y construir un prototipo de robot submarino con la capacidad de seguir una trayectoria en el plano X-Y, a través de la adquisición y posterior tratamiento de imágenes.

2.2. *OBJETIVOS ESPECÍFICOS:*

- Ensamblar el sistema mecánico que constituya la estructura del prototipo submarino.
- Implementar una etapa de potencia capaz de suministrar la energía necesaria para la propulsión del prototipo submarino.
- Diseñar una interfaz gráfica que permita la visualización de la trayectoria del ROV (Vehículo de Operación Remota) y la implementación de un algoritmo para seguimiento de trayectorias obtenidas de información en tiempo real mediante el procesamiento de imágenes.
- Implementar un sistema de control que permita al prototipo el desplazamiento en los ejes X-Y, manteniéndose a profundidad constante.

3. JUSTIFICACIÓN

El estudio de la robótica en un ambiente diferente al terrestre influye a la hora de construir artefactos que permitan al ser humano conocer e interactuar de forma segura con ambientes de difícil acceso.⁵

Es por esto que este tipo de robots se han convertido en objeto de estudio y desarrollo en una gran cantidad de países ya que sus aplicaciones varían dependiendo del ambiente en el cual se desea trabajar; estas abarcan un amplio rango de misiones, desde la educación, investigación, estudios de inteligencia artificial hasta aplicaciones móviles militares implementadas en la navegación.

Con base en lo anterior, se hace importante establecer estrategias que permitan, no sólo conocer este tipo de robots por parte de los estudiantes sino también asociar posibles soluciones que se puedan aplicar a medios diferentes al terrestre.

Lo anterior repercute en la construcción de robots que funcionen específicamente en ambientes acuáticos y realicen diferentes misiones programadas por los seres humanos, evitando así riesgos para la vida.

Es por esto que se hace necesario realizar un prototipo de robot submarino el cual estará en un ambiente con características específicas que permitirán el adecuado funcionamiento del robot, de acuerdo a la misión preestablecida.

⁵ “Robótica Acuática y Aérea”, [En Línea]. Diciembre 2013.
<http://fomentodelmar.blogspot.com/2013/05/fuve-e-robotica-acuatica-y-aerea.html>

4. ANTECEDENTES

Para el desarrollo de este proyecto de grado se tuvo en cuenta una serie de fuentes de investigación; Estos son trabajos que están dirigidos al desarrollo de prototipos de robots acuáticos. Se decidió organizar la información en fichas Bibliográficas.


FICHA BIBLIOGRÁFICA DE PROYECTOS DE GRADO	
<div>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</div>	
TESIS:	Diseño de un sistema de monitoreo submarino por video para el estudio científico de artes de pesca pasivos de poca profundidad en el Perú.
AÑO:	2009,Perú
AUTOR (RES):	Hidalgo, Franco
RESUMEN:	Realizaron una interacción real entre los recursos y las artes de la pesca. Este evidencio la necesidad de complementar la información obtenida por los equipos actuales, con sistemas de video submarino para observar directamente el comportamiento de los peces frente a las artes de la pesca.

Tabla 1. Ficha Proyecto de Grado 1


FICHA BIBLIOGRÁFICA DE PROYECTOS DE GRADO	
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;">  <div style="text-align: center;"> BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA </div> </div>	
TESIS:	Prototipo de robot acuático explorador.
AÑO:	México.
AUTOR (RES):	Palacios, Ana Cristina
RESUMEN:	<p>En este trabajo diseñaron, construyeron y programaron un vehículo submarino autónomo capaz de realizar tareas tales como sumergirse, emerger, evadir obstáculos, cambiar de dirección, explorar y detectar ciertas marcas localizadas en el fondo.</p> <p>El aporte más representativo de este trabajo de grado es el seguimiento que el autor plantea en el diseño y la construcción del Artefacto, ya que muestra por etapas y mediante metodologías de ingeniería el desarrollo del proyecto.</p>

Tabla 2. Ficha Proyecto de Grado 2


FICHA BIBLIOGRÁFICA DE PROYECTOS DE GRADO	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Pontificia Universidad JAVERIANA Colombia</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA</p> </div> </div>	
TESIS:	Control de inmersión para plataforma robótica submarina.
AÑO:	2004, Bogotá
AUTOR(ES):	Benavides Cuellar, Daw Pérez, Prieto Rosario.
RESUMEN:	<p>En este proyecto se realizó la construcción e implementación de una plataforma acuática, con la capacidad de recibir órdenes externas que determinen la profundidad a la a cual se va sumergir este modelo.</p>

Tabla 3. Ficha Bibliográfica Proyecto de Grado 3


FICHA BIBLIOGRÁFICA DE PROYECTOS DE GRADO	
<div>  <div> PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA </div> </div>	
TESIS:	Plataforma robot subacuática propulsada por aletas pectorales.
AÑO:	2004, Bogotá
AUTOR(ES):	Alba Ayala, Castiblanco Mossos, Mancera Guevara.
RESUMEN:	<p>En este trabajo de grado se observa la emulación de los movimientos de una mantarraya, tomando como referencia el modelo biométrico de este animal. Ésta tenía como propósito llevar a cabo un conjunto de operaciones delimitadas como lo es el movimiento en sentido horizontal.</p>

Tabla 4. Ficha Proyecto de Grado 4


FICHA BIBLIOGRÁFICA DE PROYECTOS DE GRADO	
 UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID	
TESIS:	Aplicaciones del tratamiento inteligente de imágenes.
AÑO:	2009. Madrid.
AUTOR(ES):	Kalbakdij Sánchez, Lebrero Villar, Sánchez Rodriguez.
RESUMEN:	<p>En este proyecto se muestra como a partir del tratamiento de imágenes obtenidas en tiempo real por una cámara, se capta el movimiento de un objeto seleccionado para posteriormente llevar a cabo tres aplicaciones. La primera de ellas consiste en representar la evolución o trayectoria del objeto captado, de manera gráfica. La segunda se refiere a la simulación del entorno del escritorio de un ordenador donde a través de la cámara se selecciona una carpeta y se desplaza a otro punto del escritorio. Por último la tercera aplicación consiste en el teclado de un teléfono en donde se puede marcar un número, llamar y colgar; todas estas acciones de manera simulada sobre un formulario gráfico.</p>

Tabla 5. Ficha Proyecto de Grado 5

5. DELIMITACIONES Y ALCANCES

5.1. DELIMITACIONES

El control del prototipo se realizará en dos dimensiones sobre el plano X-Y, no se realizará el control para cambio de profundidad (plano Z), ya que éste permanecerá a una profundidad constante; pero su diseño será susceptible de evolucionar para la implementación de controles en tres dimensiones y trabajos posteriores.

Las dimensiones máximas del ambiente serán de 80cm de alto, 170cm de ancho y 210cm de largo. Este ambiente será el utilizado para permitir la captura adecuada de imágenes y reconocimiento de patrones.

5.2. ALCANCES

El prototipo quedará a disposición del programa de Licenciatura en Electrónica, permitiendo la posibilidad de posteriores modificaciones y/o adiciones, que resultarán de la estructura mecánica.

El control del prototipo se realizará por medio de una cámara web la cual le permitirá el reconocimiento de la trayectoria seguida por un objeto particular, y/o el reconocimiento de una trayectoria preestablecida a seguir dentro del ambiente.

La determinación del tipo de control que satisfaga los requerimientos para el seguimiento de una trayectoria por el dispositivo forma parte del trabajo y evaluación que las proponentes realizarán dentro del desarrollo del presente trabajo de grado.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. *ROBÓTICA SUBMARINA*

Los robots submarinos son vehículos submarinos controlados desde la superficie por medio de un cable llamado umbilical, por el cual se transmiten las órdenes emanadas por su piloto, desde la superficie. Son altamente maniobrables y al menos, llevan una cámara de video y luces. Dependiendo del tipo de robot, pueden llevar accesorios tales como sonares, brazos manipuladores y sensores de variados tipos.⁶

6.1.1. Clasificación de Robots Submarinos

Los robots submarinos o UUV (Unmanned underwater vehicles) se pueden dividir en tres grandes tipos:

6.1.1.1. ROV: Los ROVs (Remotely operated vehicle) son vehículos manejados por control remoto de forma directa. La energía además les llega a través del cable por lo que nunca se les gasta la energía, pero tienen como inconveniente que no son autónomos. Dentro de este apartado nos encontramos con dos tipos de ROVs:

- Tele-operados: El operador va observando por las pantallas lo que el ROV ve, y va dándole unas pautas ya programadas de lo que debe hacer, como por ejemplo subir a tantos metros, u otras operaciones ya programadas, por lo que el ROV ya tiene predefinidas unas operaciones y el operador sólo se encarga de introducir qué operación debe realizar en ese momento.

⁶ “Robótica Submarina”, [En línea]. Diciembre 2013.
http://www.skyringmarine.cl/index_archivos/page0001.htm

- Operados con mando a distancia: El operador dirige completamente al ROV con un joystick y ve en cada momento lo que está realizando el ROV por lo que el ROV no realiza ninguna operación de forma automática o programada.

6.1.1.2. Los AUV (Autonomous underwater vehicle) los cuales operan sin una intervención humana directa, y por lo tanto no están conectados mediante ningún cable a un panel desde el cual controlar el robot. Esto les da la ventaja de una autonomía total, algunos incluso se programan para que recorran grandes distancias y vayan recogiendo muestras del mar durante su recorrido.

La principal desventaja es que estos robots no pueden realizar operaciones que requieran mucha energía ya que agotarían sus baterías rápidamente.

Dentro de este apartado nos encontramos con dos tipos de AUVs:

- Autónomos totalmente: Hasta que el robot no ha completado completamente la misión, ésta no puede ser modificada, los datos se recogen al finalizar la misión para la que ha sido programado en el caso de que sea necesario recogerlos.
- Semiautónomos: El robot tiene predefinidas unas operaciones y a medida que las va realizando va transmitiendo los datos de estas operaciones, en función de los resultados obtenidos en dichas operaciones se puede cambiar la siguiente operación a realizar. El robot no dispone de una cámara que vaya mostrando las cosas en tiempo real.

6.1.1.3. Mixtos: Son robots los cuales tienen la capacidad de conectarse y desconectarse del cable umbilical. La principal ventaja de esto es que pueden ser autónomos, y en el caso que se requiera que hagan tareas que consuman

mucha energía se conecta el robot al cable umbilical. De esta manera sus baterías se recargan y no se agotan.⁷

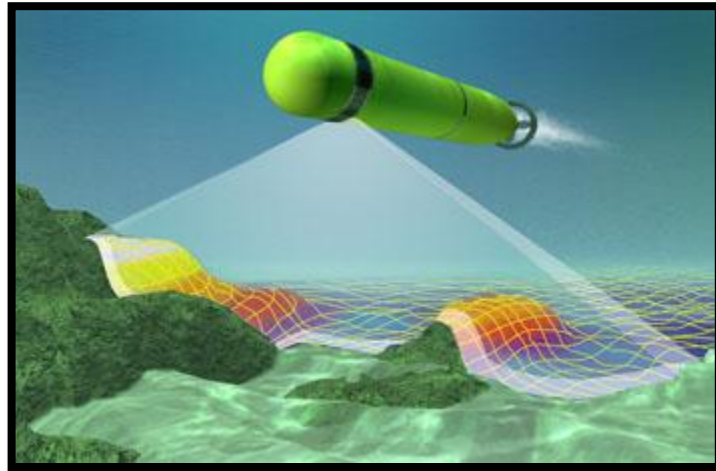


Figura 1 AUV mapeo al fondo marino.⁸

6.1.2. Partes de un ROV

En vista que las funciones específicas de cada equipo determinan sus características, podemos identificar a estos vehículos como dispositivos con múltiples variables a los cuales se llega como resultado de un diseño concurrente de sus sistemas. Es así que el rendimiento del sistema ROV es un equilibrio entre diseño y requerimientos operacionales.⁹

⁷ "Propuesta de Nuevos Dispositivos", [En línea]. Diciembre 2013.
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/13626/1/Propuesta%20de%20nuevos%20dispositivos,%20mejoras%20de%20circuitos%20y%20sistemas%20implementados%20en%20ROVs%20para%20trabajos%20de%20b%C3%BAsqueda%20y%20rescate..pdf>

⁸ "The sonar System", [En línea]. Diciembre 2013.
<http://www.mbari.org/auv/MappingAUV/sonars.htm>

⁹ "ROV", [En línea]. Junio 2013. <http://blogs.laverdad.es/somosciencia/2011/09/27/19/>

Un equipo completo puede dividirse en una serie de subsistemas principales: Estos son:

- Herramientas y sensores
- Control/pantalla de consola
- Sistema de distribución de energía
- Línea umbilical
- Sistema de control

6.1.3. Historia de los ROV

En la década de 1950 la Royal Navy utiliza "chuleta", un sumergible operado remotamente, para recuperar torpedos.

La Marina de EE.UU. financió la mayor parte de los principios de desarrollo de la tecnología ROV en la década de 1960 en lo que entonces se llamaba un "Cable-Controlled Recuperación de Vehículos submarino". Esto creó la capacidad para llevar a cabo la operación de rescate en alta mar y recuperar objetos del fondo del mar, como una bomba nuclear perdida en el mar Mediterráneo después de las 1966 Palomares B-52 de choque. Partiendo de esta base tecnológica, la industria de petróleo y gas crearon los ROV para ayudar en el desarrollo de campos de petróleo en alta mar.

A mediados de la década de 1980 la industria ROV marina sufrió un estancamiento grave en el desarrollo tecnológico causado en parte por una caída en el precio del petróleo y la recesión económica global. Desde entonces, el desarrollo tecnológico en la industria ROV se ha acelerado y hoy los ROV realizan numerosas tareas en muchos campos. Sus tareas van desde la simple inspección de estructuras submarinas, oleoductos y plataformas para conectar tuberías y colocación de colectores submarinos.

Los ROV sumergibles se han utilizado para localizar muchos naufragios históricos, como la del RMS Titanic, el Bismarck, USS Yorktown y SS América Central. En algunos casos, tales como el SS América Central, los ROV se han utilizado para recuperar el material del fondo del mar y llevarlo a la superficie.¹⁰

Mientras que la industria del petróleo y gas utiliza la mayoría de los ROV, existen otras aplicaciones en campos como la ciencia, inteligencia militar y rescate.

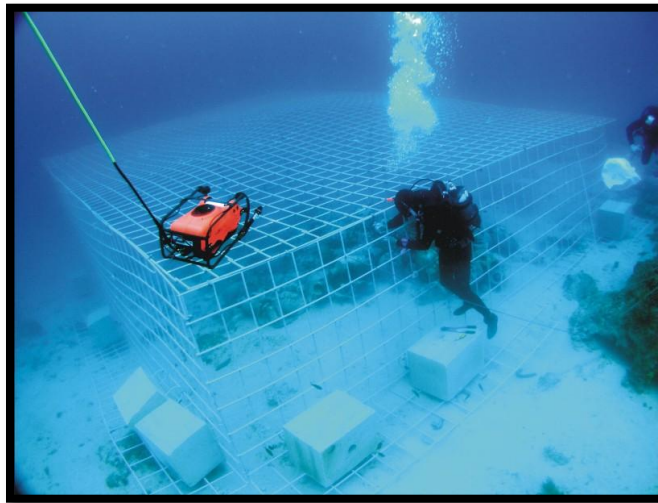


Figura 2 : Yacimiento de Cavtat del siglo III –IV, Croacia.¹¹

¹⁰ “Vehículo Submarino”, [En línea]. Junio 2013. http://centrodeartigos.com/articulos-enciclopedicos/article_80232.htm

¹¹ “Manual de actividades bajo el agua”. [En línea]. Diciembre 2013. <http://www.unesco.org/new/es/culture/themes/underwater-cultural-heritage/unesco-manual-for-activities-directed-at-underwater-cultural-heritage/unesco-manual/objectives-techniques/working-methods-and-techniques/>.

6.2. ACTUADORES Y SENSORES EMPLEADOS EN LA ROBÓTICA ACUÁTICA

Los sensores y actuadores son los elementos de un sistema que lo conectan con su entorno físico, excluido el usuario. La función de los sensores es obtener señales eléctricas en respuesta a magnitudes de entrada no eléctrica. La función de los actuadores es realizar una acción mecánica en respuesta a una señal de entrada, que en caso de los actuadores eléctricos es eléctrica, pero que puede ser también neumática, hidráulica o mecánica.¹²

6.2.1. Actuadores

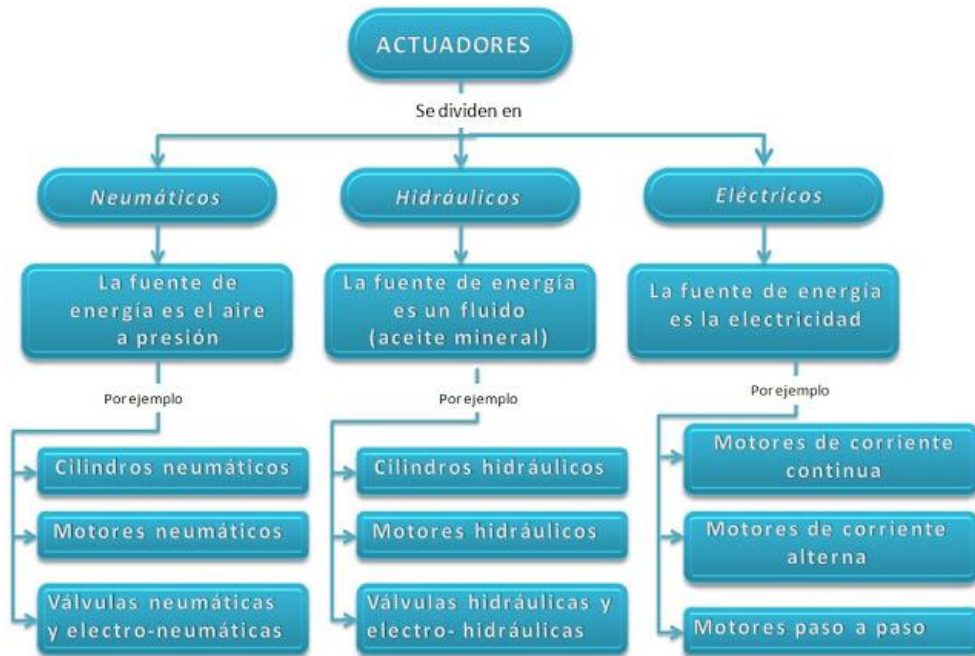


Figura 3 Clasificación de actuadores según la energía aplicada¹³

¹² Pallas Ramón. Adquisición y Distribución de Señales. Barcelona (España).1993 Marcombo S.A. P.27

¹³ "Actuadores en Robótica". [En línea].Diciembre 2013.

<http://solorobotica.blogspot.com/2011/08/actuadores-en-robotica.html>

- Los actuadores neumáticos: transforman la energía acumulada, el aire comprimido en trabajo mecánico de movimiento circular o movimiento rectilíneo. Los actuadores neumáticos se clasifican en dos grandes grupos: cilindros neumáticos y motores neumáticos.
- Los actuadores hidráulicos: obtienen su energía de un fluido a presión, generalmente algún tipo de aceite mineral. Los actuadores hidráulicos se clasifican en tres grandes grupos: cilindros hidráulicos, motores hidráulicos y válvulas hidráulicas. La principal ventaja de estos actuadores es su relación potencia/peso.
- Los actuadores eléctricos: transforman la energía eléctrica en energía mecánica rotacional. Podemos encontrar tres grandes grupos de actuadores eléctricos: motores de corriente continua, motores de corriente alterna y motores de paso a paso.¹⁴

TIPO DE ACTUADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<i>Neumático</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Rapidez, • Sencillos • Robustos 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren de instalaciones especiales • Ruidosos
<i>Hidráulico</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rápidos • Alta capacidad de carga • Presentan estabilidad frente a cargas estáticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren instalaciones especiales. • Son de difícil mantenimiento. • Resultan poco económicos.
<i>Eléctrico</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Precisos y fiables. • Silenciosos. • Su control es sencillo • Son de una fácil instalación 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia limitada

Figura 4 Cuadro comparativo ventajas y desventajas de cada tipo de actuador¹⁵

¹⁵ "Actuadores en Robótica". [En línea]. Diciembre 2013.
<http://solorobotica.blogspot.com/2011/08/actuadores-en-robotica.html>

6.2.2. Sensores

- **Cámara:** Una cámara digital es un dispositivo electrónico usado para capturar y almacenar fotografías electrónicamente en un formato digital, en lugar de utilizar películas fotográficas como las cámaras convencionales, o imágenes grabadas en cinta magnética usando un formato analógico como muchas cámaras de video.

El sensor de imagen es el elemento de una cámara fotográfica digital que capta la luz que compone la fotografía. Se trata de un chip formado por millones de componentes sensibles a la luz que al ser expuestos capturan la imagen fotográfica.

- **Ultrasónico:** Los sensores ultrasónicos tienen como función principal la detección de objetos a través de la emisión y reflexión de ondas acústicas. Funcionan emitiendo un pulso ultrasónico contra el objeto a censar, y al detectar el pulso reflejado, se para un contador de tiempo que inicio su conteo al emitir el pulso. Este tiempo es referido a distancia y de acuerdo con los parámetros elegidos de respuesta con ello manda una señal eléctrica digital o analógica.
- **Infrarrojo:** El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender. la señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez esto es muy utilizado en la robótica en casos en que se necesita tener más de un emisor infrarrojo y solo se quiera tener un receptor.

- **Fin de Carrera:** El final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite") o limit switch, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.
- **Manómetros:** Los manómetros nos indican la presión del agua marina y con una simple deducción nos permiten conocer la profundidad. Generalmente hay un tipo de manómetro muy sensible que mide una escala de profundidad muy reducida (de superficie a cota periscópica), mientras que otro de menor capacidad de discriminación determina un espectro mucho más amplio: desde la superficie hasta la profundidad máxima.
- **Barómetros:** Los Barómetros proporcionan la medida de la presión interna del submarino. Los submarinos con Snorkel presentan un barómetro especial que mide 250 milibares por debajo y por encima del nivel normal, pues las fluctuaciones de presión son muy importantes.
- **Densímetros:** Basado en el principio de Arquímedes, este sensor nos permite conocer la flotabilidad del submarino a partir del agua que lo envuelve. Un densímetro, es un instrumento que sirve para determinar la densidad relativa de los líquidos sin necesidad de calcular antes su masa y volumen. Normalmente, está hecho de vidrio y consiste en un cilindro hueco con un bulbo pesado en su extremo para que pueda flotar en posición vertical. El densímetro se introduce gradualmente en el líquido para que flote libremente y verticalmente. Los densímetros generalmente contienen

una escala de papel dentro de ellos para que se pueda leer directamente la densidad específica.¹⁶

6.3. ASPECTOS INCIDENTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE ROBOTS ACUÁTICOS

Los siguientes elementos son considerados partes fundamentales en la elaboración de un robot acuático:

6.3.1. Propulsores (Hélices)

La hélice es un dispositivo constituido por un número variable de aspas o palas (2, 3, 4...) que al girar alrededor de un eje producen una fuerza propulsora. Cada pala está formada por un conjunto de perfiles hidrodinámicos que van cambiando progresivamente su ángulo de incidencia desde la raíz hasta el extremo (mayor en la raíz, menor en el extremo).

La hélice está acoplada directamente o a través de engranajes o poleas (reductores) al eje de salida de un motor (de pistón o turbina), el cual proporciona el movimiento de rotación.

6.3.2. Tarjeta de desarrollo

- Arduino:

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó

¹⁶ “Sensores en Submarinos”, [En línea]. Diciembre 2013.
<http://subnacho.blogspot.com/2010/08/algunos-sensores-basicos-en-submarinos.html>

para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta.¹⁷

6.3.3. Tipos de Comunicación Subacuática

Los sistemas actuales de comunicación subacuática utilizan esencialmente tres métodos de transmisión de información. Estos métodos se basan en ondas sonoras, en ondas electromagnéticas (EM) y las señales ópticas. Cada una de estas técnicas tiene ventajas y desventajas, principalmente debido a las limitaciones físicas.

Las señales se propagan a través del agua gracias a las propiedades fisicoquímicas del agua y las propiedades físicas de la luz. Los factores físico-químicos que influyen en las propiedades de la luz son la transparencia, es

¹⁷ "Arduino", [En línea]. Diciembre 2013 <http://www.arduino.cc/es/>

decir, la cantidad de luz transmitida en el agua de mar, la absorción, la cantidad de radiación que se retiene y la turbidez, lo que reduce la claridad del agua por la presencia de materia en suspensión.

En cuanto a las propiedades físicas de la luz, distinguimos la reflexión, refracción y extinción, que mide el grado de la luz que puede penetrar en el medio marino. Además, los dos factores más importantes en el mar son la temperatura y la salinidad, que determinan la densidad del agua. En el océano, la densidad tiende a aumentar con la profundidad, por lo que las capas superiores del agua siempre tienen una densidad más alta. Todos estos factores son muy importantes para conocer la forma de difundir la luz y el sonido en el océano.¹⁸

6.4. SISTEMA DE CONTROL VISUAL

6.4.1. Sistema de visión y procesamiento de imágenes:

Un sistema de visión y procesamiento de imagen se compone de una serie de subsistemas que operan sobre una escena con el objetivo de interpretar alguna característica notable.¹⁹

6.4.2. Configuración básica de un sistema de visión artificial

Los dos pilares del sistema físico de visión artificial son: el sistema de formación de las imágenes y el sistema de procesamiento de éstas. En el primer momento estaría constituido por el subsistema de iluminación, de captación de la imagen y de adquisición de la señal en el computador. Una vez introducida la señal en el computador, ésta es procesada mediante los algoritmos para transformarla en

¹⁸ Compte Sandra. Comunicaciones inalámbricas subacuáticas a 2,4 GHz para la transmisión de datos con altas tasas de transferencia. Tesis de Grado. 2011

¹⁹ Cuevas Eric, Saldivar Daniel, Pérez Marco. Procesamiento Digital de Imágenes. España. 2010. RA-MA. P.25

información de alto nivel. La cual puede ser utilizada para su representación visual, para actuar en el planificador de un robot o ser fuente de datos para un autómata programable. En definitiva, múltiples periféricos pueden ser receptores de esta información y vincularse con el sistema de procesamiento de las imágenes. Desgranado las peculiaridades de cada subsistema, éstas tienen las siguientes reflexiones introductorias:

- Subsistema de iluminación: conjunto de artefactos que producen radiación electromagnética para que incidan sobre los objetos a visualizar. Se puede citar algunos elementos como lámparas, pantallas fotográficas, filtros de luz, láseres.
- Subsistema de captación: son los transductores que convierten la radiación reflejada luminosa en señales eléctricas. Fundamentalmente se habla de las cámaras, no sólo en el espectro visible, sino que van desde la radiación gamma hasta la radiofrecuencia o microondas, dando paso a sensores de ultrasonidos, sonar, radar.
- Subsistema de adquisición: la señal eléctrica procedente de las cámaras forman la señal de vídeo. Hay una tendencia creciente a que su naturaleza sea de tipo digital, pero todavía existen muchas señales de vídeo de carácter analógico (CCIR, PAL, RS170, NTSC,...). Para ser tratadas hay que muestrearlas y cuantificarlas. Ambas tareas son realizadas por las tarjetas de adquisición.
- Subsistema de procesamiento: Suele ser un computador o un cluster de computadores, dependiendo de las necesidades de los algoritmos de Visión Artificial. Parten de una representación digital de las imágenes y procesan esta información hasta alcanzar otro tipo de información de más alto nivel. La transformación dependerá del algoritmo empleado.

- Subsistemas de periféricos: conjunto de elementos receptores de la información de alto nivel. Puede ser un monitor de altas prestaciones gráficas, un automatismo, una impresora sacando las características.²⁰

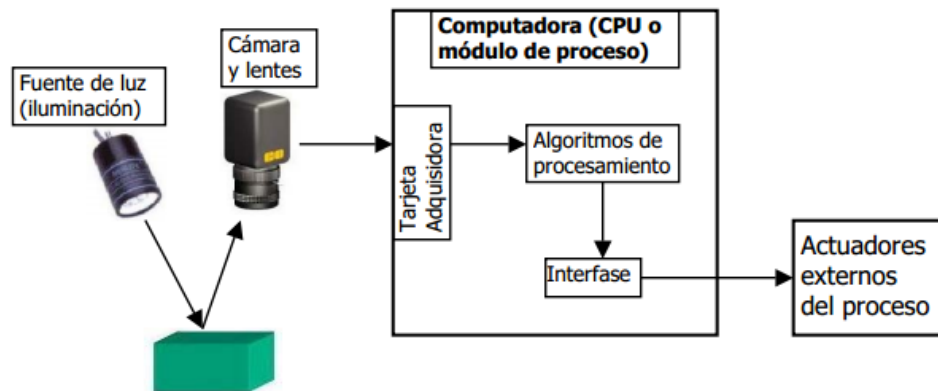


Figura 5 Elementos de un sistema de visión artificial²¹

²⁰ "Introducción a la Visión Artificial", [En línea]. Diciembre 2013.

<http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf>

²¹ "Sistemas de visión artificial".[En línea]. Diciembre 2013.

<http://formacion.faico.org/Proyectos/ROBINDUSTRIA/SistemasDeVisionArtificial.htm>

7. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para el desarrollo del “Prototipo de robot Submarino con la Capacidad de Seguimiento de Trayectorias Mediante el Tratamiento de Imágenes” se aplicó una metodología acorde al tipo de objetivos propuestos.

El método utilizado se aplica en el diseño de prototipo de máquinas, el cual permite dividir el proyecto en 3 fases que se desarrollarán de forma sistemática, abarcando la totalidad del proceso que permitió alcanzar el objetivo final: Desarrollo del Prototipo de Robot Submarino.

Una vez conceptualizado el diseño del Prototipo, éste proyecto se organizó en tres fases: a) Fase de diseño y fabricación, b) Fase de control y potencia c) Fase de pruebas.

- **FASE 1.**

En la primera fase se trabajó la estructura del robot, para poder así evaluar las dimensiones, estructura física, materiales, procedimientos, tiempos y costos de construcción.

El siguiente paso fue el diseño y construcción de los sistemas que componen al Prototipo (partes, elementos, componentes).

En la fabricación y ensamble se determinó si es necesaria alguna modificación en los parámetros y las dimensiones de los componentes.

- FASE 2.

La segunda fase corresponde al control e implementación de la etapa de potencia donde se definió el circuito eléctrico que permitió controlar el movimiento, también se establecieron los requerimientos de los dispositivos eléctricos a utilizar (sensores, motores, cámara web etc.).

Se determinó la velocidad, sentido de giro, potencia, corriente y voltajes con los que trabajaron los motores. Realizando posteriormente la caracterización de cada uno de los sensores y otros dispositivos a utilizar.

El punto siguiente estableció la comunicación entre el prototipo y el ordenador, visualizando así la trayectoria y dirección del robot mediante una tarjeta de adquisición de datos.

Finalmente se implementó un sistema de control, que satisfacía las condiciones de desplazamiento necesarias para seguir un objeto preestablecido mediante el uso del control clásico.

- FASE 3.

La última fase tiene como finalidad la realización de pruebas de tipo mecánico, electrónico y de software (interfaz de comunicación, control de dispositivos, etc.) que permitió modificar y mejorar los modelos usados anteriormente para el diseño del prototipo.

Como muestra el siguiente esquema del proceso.



Figura 6 Esquema de Metodología²²

8. DESARROLLO PROYECTO

8.1.1. Diseño y Fabricación

El robot con el que se llevarán a cabo las pruebas es un vehículo acuático con conectividad “bluetooth”, donde se visualiza la trayectoria del prototipo en un computador.

8.1.2. Sistema Mecánico

El diseño del prototipo pasó por varias etapas y mejoras en la estructura física con el fin de asegurar un óptimo funcionamiento; avance, flotabilidad, impermeabilidad,

²² “Esquema de Metodología”. Diciembre 2013. Autor

comunicación (computador-prototipo). Para lograr dicho objetivo se organizo de la siguiente manera esta etapa:

- Elección de materiales: Para esta etapa se evaluaron diferentes materiales que permitieran que el prototipo permaneciera a flote, algunos de los que se tuvieron en cuenta fueron acrílico, PVC.

De los dos materiales que se pensaron, fue seleccionado el PVC (tubos) debido al bajo costo que tiene éste material y a características propias de este elemento: su forma cilíndrica permite que se adecue a la estructura básica de un ROV, lo que facilita la elaboración tanto de los brazos de avance como del cuerpo central del prototipo; éste contendrá y protegerá el circuito electrónico, batería y modulo de comunicación.

El prototipo está compuesto por 3 componentes principales: el cuerpo central, los propulsores (brazos de avance), y toberas.

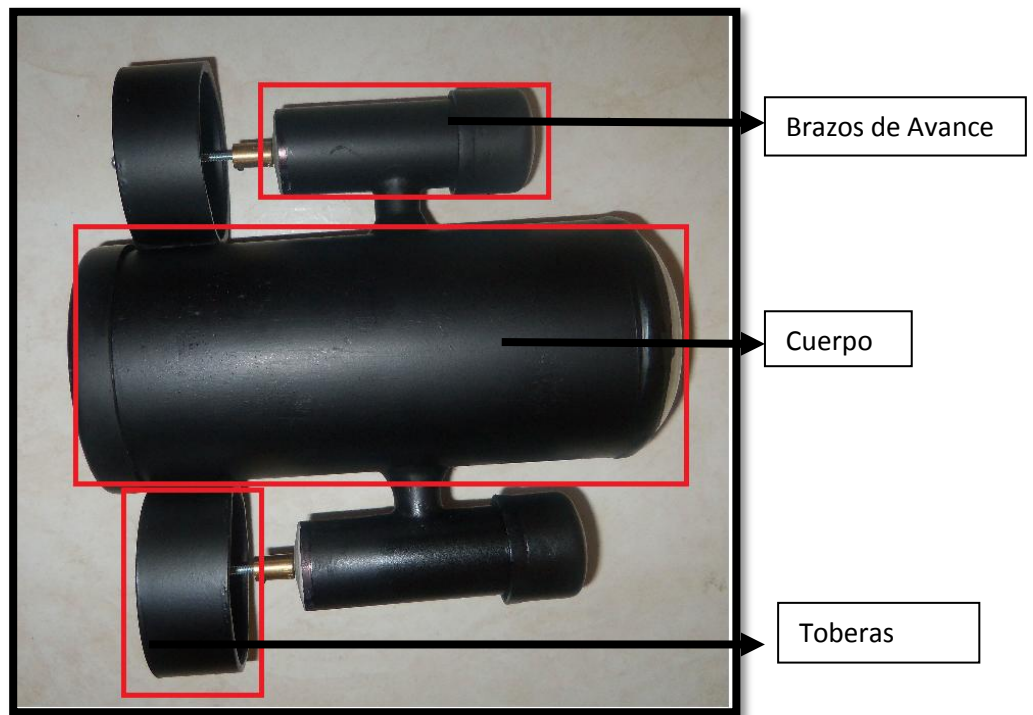


Figura 7 Prototipo Final²³

- **Propiedades del PVC:** El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles.

Con el PVC se logra que el prototipo proteja de forma hermética los elementos internos que pueden sufrir daños al contacto con el agua.

24

8.1.2.1. Construcción del Sistema Mecánico

²³ "Prototipo Final". Noviembre 2013. Autor.

²⁴ "El PVC".[En línea]. Diciembre 2013. <http://www.aniq.org.mx/provinilo/pvc.asp>

El diseño mecánico del ROV ha sido seleccionado para facilitar el diseño del control, que incluye flotabilidad, peso y simetría de arrastre.

Cuerpo y Brazos: para la elaboración de estas partes se seleccionaron tubos de PVC cuya forma cilíndrica y adecuada distribución permite mantener el cuerpo del vehículo estable en el agua logrando así que no gire ni pierda estabilidad. (Con este tipo de material se busca que el prototipo sea totalmente hermético.)

Los brazos con los que está provisto el vehículo acuático serán los encargados de direccionar el movimiento en el plano x y (propulsión, giros hacia la derecha e izquierda).

8.1.1.2.1. Primera Versión del Prototipo

En el primer diseño se seleccionó un prototipo que estuviera provisto de dos brazos que permitieran la emersión e inmersión (estos brazos contendrían los motores), otros dos brazos que permitieran la propulsión del vehículo. La visualización de la trayectoria se realizaría por medio de una cámara ubicada en la parte interior del vehículo, cuya protección era una cúpula transparente. Este diseño se podrá observar en la Figura 8.

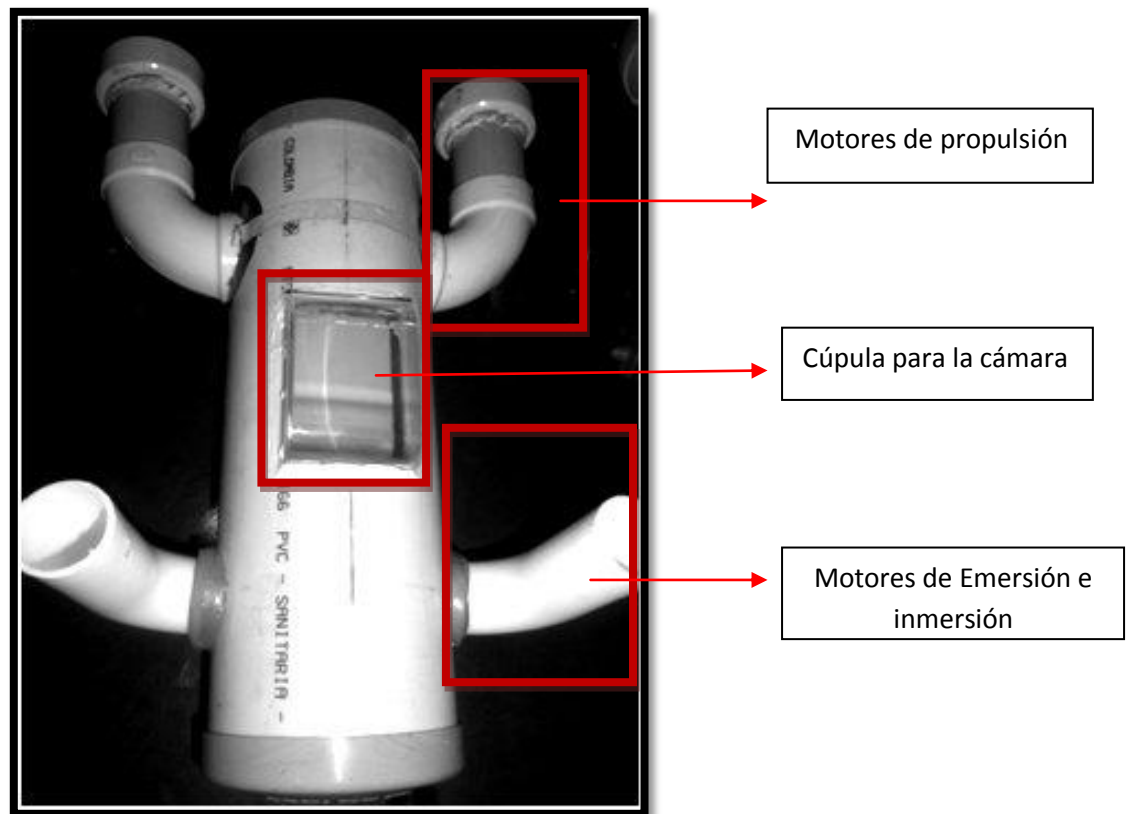


Figura 8 Versión 1²⁵

Este modelo no fue seleccionado debido a la pérdida de comunicación que se tenía con el computador en el momento de la inmersión del vehículo.

La ubicación de los brazos en el cuerpo central no fue el apropiado, puesto que se presentaba inestabilidad en el momento de la inmersión, por tanto solo se sumergía la parte trasera del prototipo.

8.1.1.2.2. Segunda Versión del Prototipo

En el segundo diseño se retiraron los brazos que permitían la emersión e inmersión del prototipo debido a la falta de comunicación que se presentó en

²⁵ "Versión 1". Enero 2013. Autor

la versión 1, se optó por dejar solo los brazos de propulsión, el cuerpo central y la cúpula que contendrá la cámara.

En la Figura 9 y 10 se observa la versión 2 (vista superior e inferior).

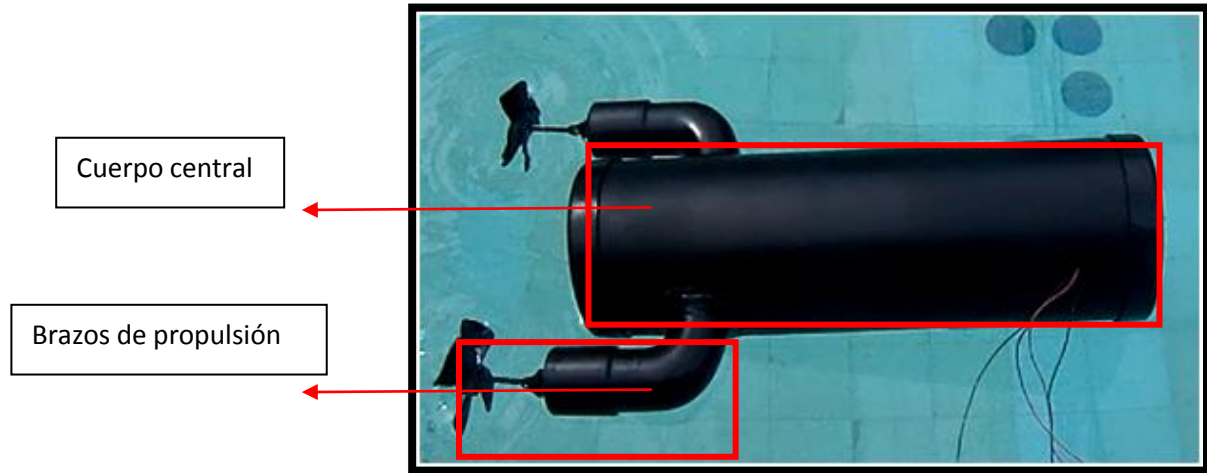


Figura 9 Versión 2 vista superior²⁶

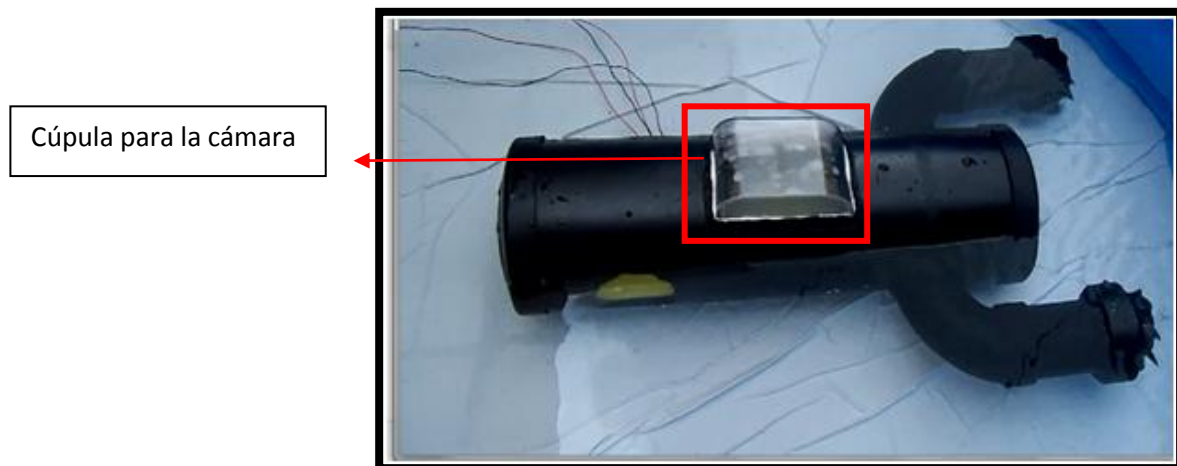


Figura 10 Versión 2 vista inferior²⁷

²⁶ "Versión 2 Vista Superior". Junio 2013. Autor.

²⁷ "Versión 2 Vista Inferior". Junio 2013. Autor.

Este modelo no fue seleccionado debido al poco avance que presentaba el vehículo debido a las hélices y a la posición en la que se encontraban los brazos.

8.1.1.2.3. Versión Final del Prototipo

En el tercer diseño se optó por retirar la cámara interna del submarino debido a la falta de protocolos para la comunicación entre Arduino (tarjeta de adquisición) y la cámara web; dejándola ubicada en la parte superior de la piscina (teniendo en cuenta que el campo de visión de la cámara abarcara la totalidad de la longitud de la piscina). La segunda modificación que se realizó fue reducir el tamaño del cuerpo central y adicionar dos toberas para mejorar el avance del vehículo. (Figura 11, 12 y 13)

Las dimensiones del cuerpo central son:

Largo: 24cm

Diámetro: 11cm

Las dimensiones del brazo de avance:

Largo: 12cm

Diámetro: 4.5cm



Figura 11 Prototipo final Vista superior²⁸



Figura 12 Prototipo final vista lateral²⁹

²⁸ "Prototipo Final Vista Superior" Noviembre 2013. Autor

²⁹ "Prototipo Final Vista Lateral". Noviembre 2013. Autor



Figura 13 Prototipo final vista inferior³⁰

Para mejorar el avance se realizaron varias pruebas con diferentes tipos de hélices. Las hélices con las cuales se realizaron los ensayos fueron las siguientes:

- Ensayo 1. Se probó con una hélice de dos aspas, verificando el avance que tenía el vehículo se obtuvo como resultado que el prototipo no recorría distancia alguna. (Figura 14)



Figura 14 Hélice con dos aspas³¹

³⁰ "Prototipo Final Vista Inferior". Noviembre 2013. Autor

³¹ "Hélice con dos aspas". Junio 2013. Autor

- Ensayo 2. Se realizó con una hélice de cuatro aspas que perturbo de manera significativa el medio, también se observó que la cercanía de sus aspas alteraba el correcto control del vehículo, impidiendo el avance significativo del prototipo. (Figura 15)



Figura 15 Hélice con cuatro aspas³²

- Ensayo 3. La última prueba se realizó con una hélice de 3 aspas diseñada con anterioridad en Solid Edge, para que cumpliera con las características (número de aspas, diámetro, longitud y sentido de giro) necesarias para alcanzar un desplazamiento óptimo. El material seleccionado para elaborar las hélices fue la madera, debido a la facilidad de tallado la cual da un producto final macizo y resistente al agua.

Con la elaboración de esta hélice se logra un mayor avance en un menor tiempo, a comparación de las hélices de cuatro o más aspas. (Figura 13, 16,17)

³² “Hélice con cuatro aspas”. Agosto de 2013. Autor

El plano de la hélice se observa en el Anexo A.



Figura 16 Hélice con tres aspas³³

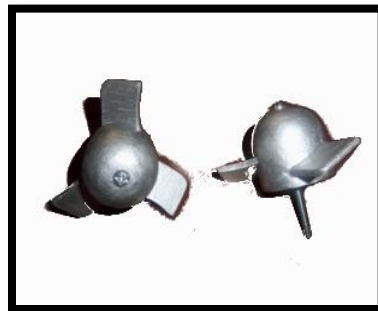


Figura 17 Hélice con tres aspas³⁴

Para el correcto acople del eje del motor con el eje de la hélice seleccionada se usaron dos bujes que evitaran la vibración de las hélices dentro de las toberas y manteniéndolas centradas. (Figura 12,18)

Dimensiones:

Largo: 2cm

Diámetro: 1cm



Figura 18 Bujes³⁵

³³ "Hélice con tres aspas". Agosto de 2013. Autor

³⁴ "Hélice con tres aspas". Agosto de 2013. Autor

³⁵ "Bujes". Agosto 2013. Autor

- **Cúpula:** El material de la cúpula es acrílico transparente, el cual permite observar dentro del vehículo los elementos que lo controlan. La forma convexa de esta permite reducir la resistencia del agua con el prototipo. (Figura 11).
- **Toberas:** Los propulsores que en nuestro caso son los brazos laterales que contienen los motores, están provistos de toberas que permitirán que el agua desplazada se mueva en la dirección deseada, y de esta manera aumentar el rendimiento de la hélice. (Figura 12)
- **Motores:** Se utilizaron dos motoreductores con referencia:

Faulhaber 2230V-040. En el Anexo B se adjuntan los datos técnicos del motor seleccionado.



Figura 19 Motoreductor³⁶

Debido a que estos motores no son a prueba de agua, tienen que pasar por un proceso de impermeabilización, que permitirá un correcto funcionamiento en un medio acuático. El proceso de impermeabilización se llevo a cabo de la siguiente manera:

³⁶ “Motoreductor”. Junio de 2013. Autor

- Materiales:
 - Jeringa
 - Parafina
 - Cinta aislante negra
 - Masilla epóxica
 - Motor

El primer paso para impermeabilizar el motor es sellando con cinta aislante, cualquier tipo de agujero que esté presente, esto se realizara para evitar el paso de parafina en el interior del motor.

El segundo paso es introducir el motor sellado dentro de la jeringa, ubicándolo de manera tal que siempre se encuentre centrado.

El tercer paso será depositar la parafina derretida dentro de la jeringa cubriendo en su totalidad el motor.

El último paso será introducir el motor dentro del brazo del prototipo, cuidando de que este quede centrado, y sellándolo finalmente con masilla epóxica.

A continuación se observa en la Figura 20 los materiales necesarios para la impermeabilización de los motores.



Figura 20 Materiales Impermeabilización³⁷

8.2. *SISTEMA DE POTENCIA*

8.2.1. Arduino.

Para el desarrollo de ésta etapa se utilizó una placa Arduino debido a que puede utilizarse libremente para desarrollar cualquier tipo de proyecto sin tener que adquirir ningún tipo de licencia. La programación no es compleja, además facilita la comunicación con el computador, la tarjeta Arduino uno está basada en el microcontrolador ATmega328, proporciona un módulo UART TTL (5v). Y un canal de comunicación serial por medio de USB, que a la vez le sirve de alimentación, igualmente la tarjeta Arduino tiene una entrada de voltaje, la cual puede ser entre 5V y 12V. Cuenta con 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas

³⁷ "Materiales Impermeabilización". Junio 2013. Autor

analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz³⁸ . La tarjeta Arduino se observa en la Figura 21.



Figura 21 Tarjeta Arduino R3³⁹

8.2.2. Shield- Ardumoto Driver.

La placa de Arduino utilizada no puede estar conectada directamente a los motores, puesto que la máxima intensidad que es capaz de proporcionar en sus pines de salida es cerca de 20mA. Debido a esto se requiere un dispositivo que controle los motores DC, y que sea capaz de soportar la carga de los dos motores.

Para realizar el control de los motores se utilizó un Shield - Ardumoto driver, el cual contaba con una entrada de voltaje independiente Figura 22.⁴⁰

³⁸ "Arduino uno".[En línea].Diciembre 2013. <http://www.arduino.cc/es/>

³⁹ "Tarjeta Arduino R3". Julio 2013. Autor

⁴⁰ "Arduino Shield".[En línea].Diciembre 2013.
<http://shieldlist.org/sparkfun/ardumoto>

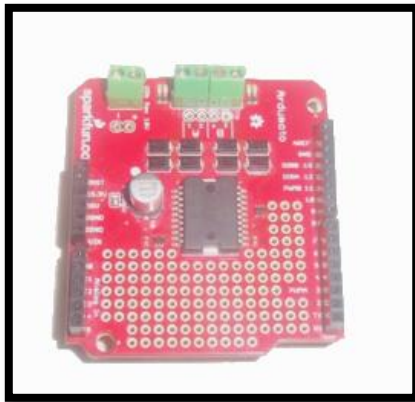


Figura 22 Driver⁴¹

8.2.3. Batería

Debido a que se quería que el prototipo no estuviera provisto de cables externos y fuera autónomo se optó por seleccionar una batería Li-Po (baterías de polímero de litio), por su reducido tamaño y poco peso. La batería empleada se puede visualizar en la figura 23.



Figura 23 Batería⁴²

⁴¹ "Driver". Junio 2013. Autor

⁴² "Batería". Julio 2013. Autor

8.3. SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA MOVILIDAD DEL PROTOTIPO

Teniendo en cuenta los sistemas de comunicación que pueden ser empleados en la robótica móvil se tuvo como prioridad la comunicación inalámbrica, debido a que la comunicación se realiza sin cables, y su costo es bastante bajo.

La tecnología utilizada para la comunicación de la tarjeta Arduino con el computador fue el bluetooth.

Bluetooth es la normativa que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia.

Esta tecnología permite, por tanto, la conexión entre diferentes dispositivos, empleando para ello un enlace de radio de baja frecuencia eliminando los cables, lo que conlleva grandes ventajas competitivas y una apreciable reducción de costes de infraestructura.

En el momento que se intento sumergir el prototipo acuático se observa que el modulo bluetooth pierde totalmente la señal, debido a que en el momento de enviar datos al computador se perdían por completo, se utilizaron módulos de mayor alcance, los cuales dieron el mismo resultado, una pérdida total en los datos.

Esto nos permite inferir que la transmisión bajo el agua necesita el empleo de módulos que tengan una mayor potencia, como lo son los módulos xbee.

Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.

- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre nuestros equipos personales.⁴³

Para nuestro propósito se selecciono un modulo Bluetooth Modem - BlueSMiRF Silver, la hoja técnica de las características se podrán observar en el anexo D.

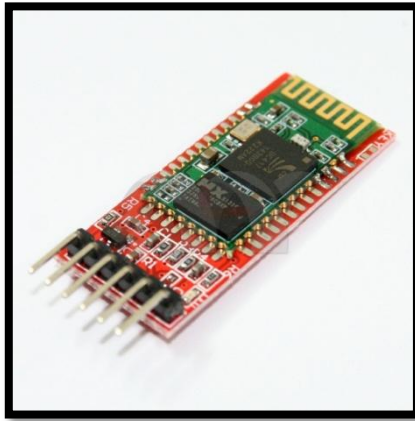
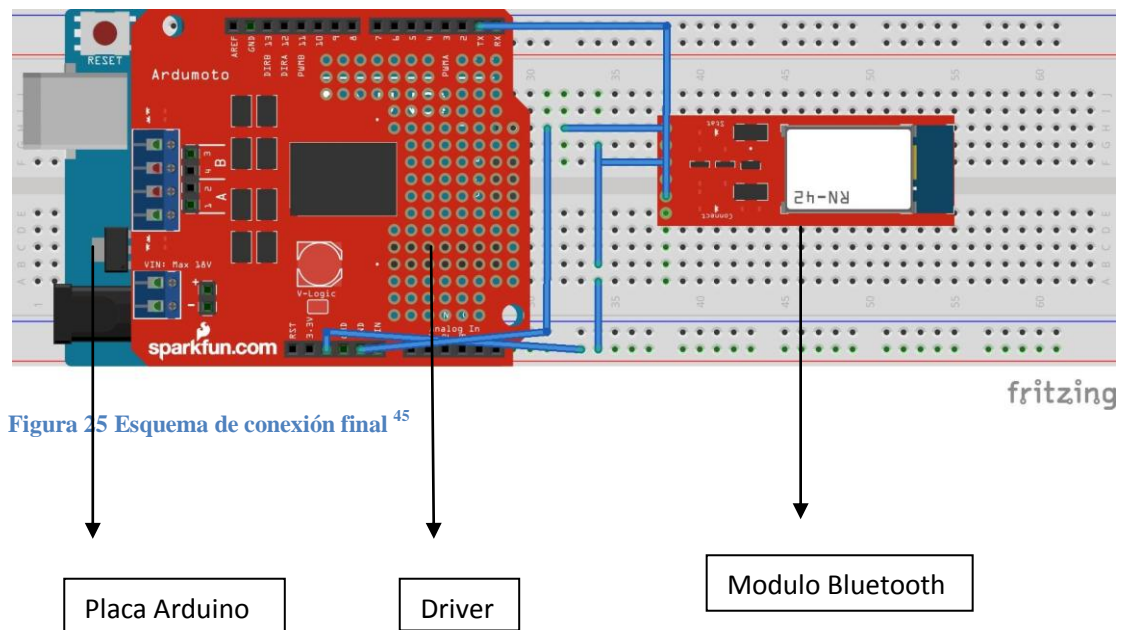


Figura 24 Modulo Bluetooth ⁴⁴

Esquema final del circuito empleado para la comunicación y potencia Figura 25.

⁴³ Fernández Eva. Conocimientos y aplicaciones tecnológicas para la dirección comercial. España. 2004. Esic. P.45

⁴⁴ "Módulo Bluetooth". Agosto 2013. Autor



8.4. SISTEMA DE CONTROL

8.4.1. Acondicionamiento del Ambiente de Trabajo.

8.4.1.1. Piscina

8.4.1.1.1. Dimensiones de la Piscina Utilizada

Las dimensiones de la piscina son:

- Largo: 2.10m
- Ancho: 1.70m
- Profundidad: 80cm

⁴⁵ “Esquema de Conexión Final”. Agosto 2013. <http://fritzing.org/>

La piscina tiene un tamaño no superior al campo de visión de la cámara (66° de vista diagonal).

En la Figura 26 y 28 se observa las dimensiones de la piscina, y el ambiente de trabajo en donde se elaboraron las pruebas:

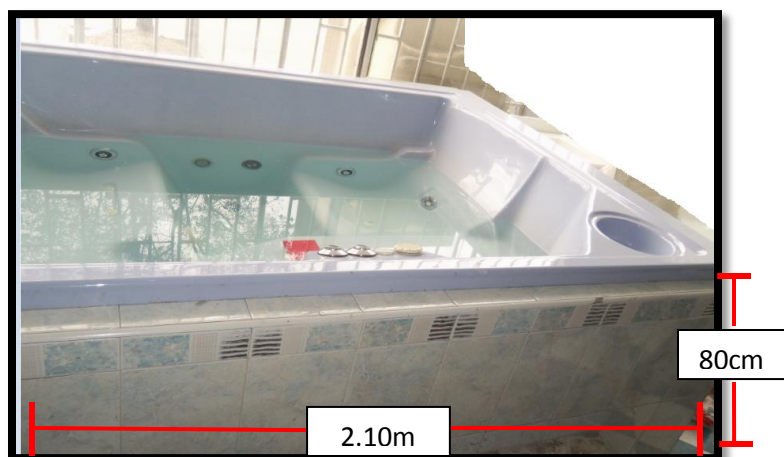


Figura 26 Dimensiones de la piscina ⁴⁶

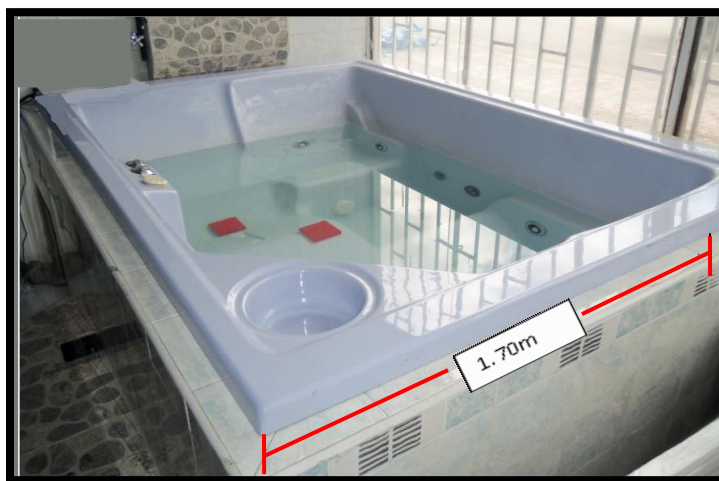


Figura 27 Vista superior piscina ⁴⁷

8.4.1.1.2. Acondicionamiento del Recorrido

⁴⁶ “Dimensiones de la Piscina”. Agosto 2013. Autor

⁴⁷ “Vista Superior Piscina”. Agosto 2013. Autor

Para poder realizar las pruebas de avance del prototipo se debía acondicionar la piscina, esto se aprecia en la Figura 28 y 29.

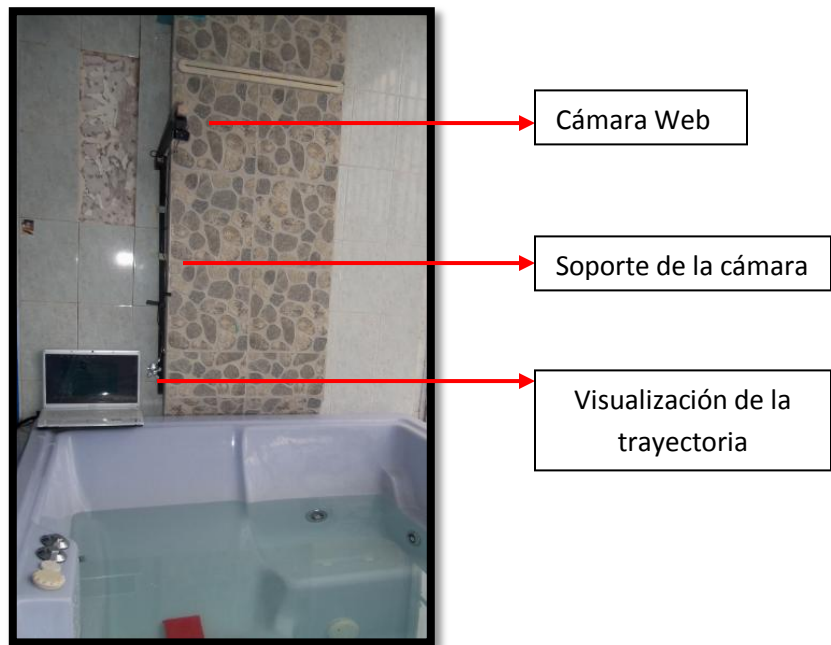


Figura 28 Acondicionamiento del ambiente⁴⁸

⁴⁸ "Acondicionamiento del Ambiente". Agosto 2013. Autor

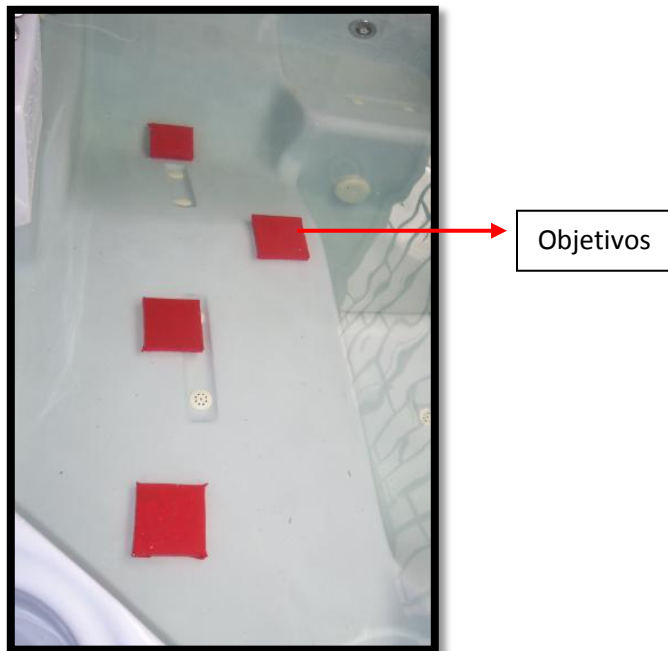


Figura 29 Recorrido ⁴⁹

8.4.1.2. Cámara web y orientación

La cámara web será la encargada de visualizar el ambiente en donde trabajara nuestro prototipo.

Para la selección de la cámara web se tomaron en cuenta aspectos como la resolución y la tecnología que empleaban, para esto se observó cuáles eran las más empleadas en el mercado, y sus ventajas y desventajas:

⁴⁹ "Recorrido". Agosto 2013. Autor.

CCD	CMOS
Mayor sensibilidad a la luz	Menor sensibilidad a la luz
Procesamiento de la señal se lleva a cabo fuera de los sensores. Se aprovecha mejor el espacio y la tecnología de procesamiento.	Gran parte del procesamiento (amplificación, conversión A/D, etc.) se realizan dentro del sensor por lo que hay menos espacio para los fotodiodos. Mayor ruido
Respuesta uniforme: las celdas vecinas sometidas a una misma intensidad de luz presentan señales casi iguales.	Se está mejorando la respuesta de estos sensores.
Mayor calidad	La calidad está mejorando
Velocidad de captura ligeramente menor.	Alta velocidad de captura de imagen
Mayor precio	Menor precio
Cámaras profesionales – semiprofesionales	Aficionados, webcams
Mayor consumo de energía	Bajo consumo de energía alrededor de 30 – 50Mw
Toda la información es transmitida a través de celdas vecinas	Transmisión de información de cada celda
Efecto Blooming: contaminación entre píxeles en casos de sobre-exposición	No efecto blooming

Figura 30 Comparación CCD Y CMOS⁵⁰

Teniendo en cuenta estas características se selecciona una cámara con tecnología CMOS cuya velocidad en la captura de la imagen es superior a las de CCD, y la resolución es mejor.

Cámara seleccionada y sus características

Se selecciona una cámara modelo HD-5000 de la marca Microsoft Life Cam. En el anexo D se visualiza la hoja de datos técnicos de la cámara, donde se observa las características más importantes.

⁵⁰ “Panorama audiovisual”. [En línea]. Diciembre 2013.

<http://www.panoramaaudiovisual.com/2013/08/22/nuevas-tendencias-e-implementaciones-en-tecnologia-de-sensores-para-el-futuro-de-la-produccion-en-vivo/>



Figura 31 Cámara Seleccionada ⁵¹

8.4.1.3. Iluminación.

Debido a las condiciones de iluminación con las que se contaba en el momento de realizar las pruebas (poca iluminación), se optó por adecuar el ambiente en el que se iba a trabajar teniendo en cuenta utilizar el mejor tipo de bombilla que ofreciera las mejores condiciones para nuestro tipo de control visual.

Se realizaron varias pruebas con diferentes tipos de iluminación, se tomaron dos alternativas de bombillas:

- Incandescentes: Al emplear bombillas incandescentes se observa que es una forma ineficiente de iluminación puesto que posee una eficiencia de conversión eléctrica energía-luz de solo 5%, a pesar de ser las más empleadas. Este tipo de lámparas altera la calidad de la imagen, trayendo como consecuencia el incremento de pérdida de datos.

⁵¹ “Cámara Seleccionada”. Septiembre 2013. Autor

- Fluorescentes: El uso de bombillas fluorescentes mejoro notablemente la iluminación del ambiente, lo que trajo como consecuencia una mejora en la toma de datos puesto que la eficiencia de estas es generalmente de 5 y 8 veces mayor a las incandescentes

Teniendo la adecuada bombilla que cumpliera con nuestros requisitos, se considera la elección de una cámara que tenga una resolución y sensibilidad a la luz adecuada para nuestro trabajo. La instalación de la cámara se realizara en la parte superior de la piscina a una distancia de 1m.⁵²

8.4.2. Tratamiento de la Imagen

8.4.2.1 Sistema de Visión Artificial

El sistema de visión artificial es el que permite el reconocimiento del robot y su ubicación a partir de la toma de fotogramas por la cámara web, y este a la vez trasladará estas coordenadas para su posterior procesamiento.

Pasos para la adquisición de imágenes:

- Para crear un objeto se conecta la cámara web al pc a través del cable USB, y se verifica en Matlab que adaptador quedo disponible para esta cámara por medio de la función `imaqhwinfo`, la cual arroja como resultado 'Matrox' y 'winvideo', adaptadores que viene cargados en el equipo de cómputo.

⁵² "Sistemas de iluminación".[En línea].Diciembre 2013.

<http://jmirez.wordpress.com/2013/09/10/j607-la-necesidad-de-mejorar-los-sistemas-de-iluminacion/>

El objeto creado está en un formato YUY2, es necesario cambiar este formato a RGB, que es el espacio de color que se va a trabajar.

8.4.2.2. Implementación del software MATLAB.

La figura 32 presenta el diagrama de flujo que describe el funcionamiento del sistema y permite activar los diferentes módulos que interactúan con el software, los cuales permiten llevar a cabo el propósito del prototipo.

8.4.2.2.1. Identificación del Cuadro Rojo (Objetivos)

Para identificar los diferentes objetivos se debe primero realizar la clasificación de color en donde se deben definir un conjunto de clases de color que caracterizan a los objetos conocidos en el ambiente, dividiendo el espacio de color.

De la matriz RGB se identifica el plano de color rojo y se ubican los centroides de los diferentes objetivos, este proceso se observa en las figuras 33.

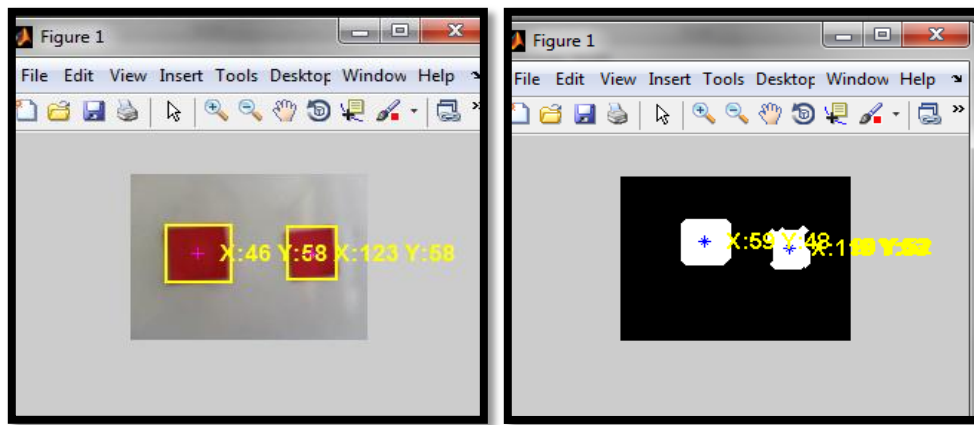


Figura 33 Centroide de los Objetivos ⁵³

El filtro utilizado para la detección del robot y de los objetivos fue a través del color que se necesitaba calcular, en nuestro caso azul para nuestro robot, y rojo para cada uno de los objetivos. El comando para cumplir dicho fin era `imsubtract` que seleccionaba tan solo el color indicado, y `medfilt2` que nos permitió quitar de manera significativa el ruido que se presentaba en los objetos captados.

⁵³ “Centroide de los Objetivos”. Septiembre 2.013. Autor

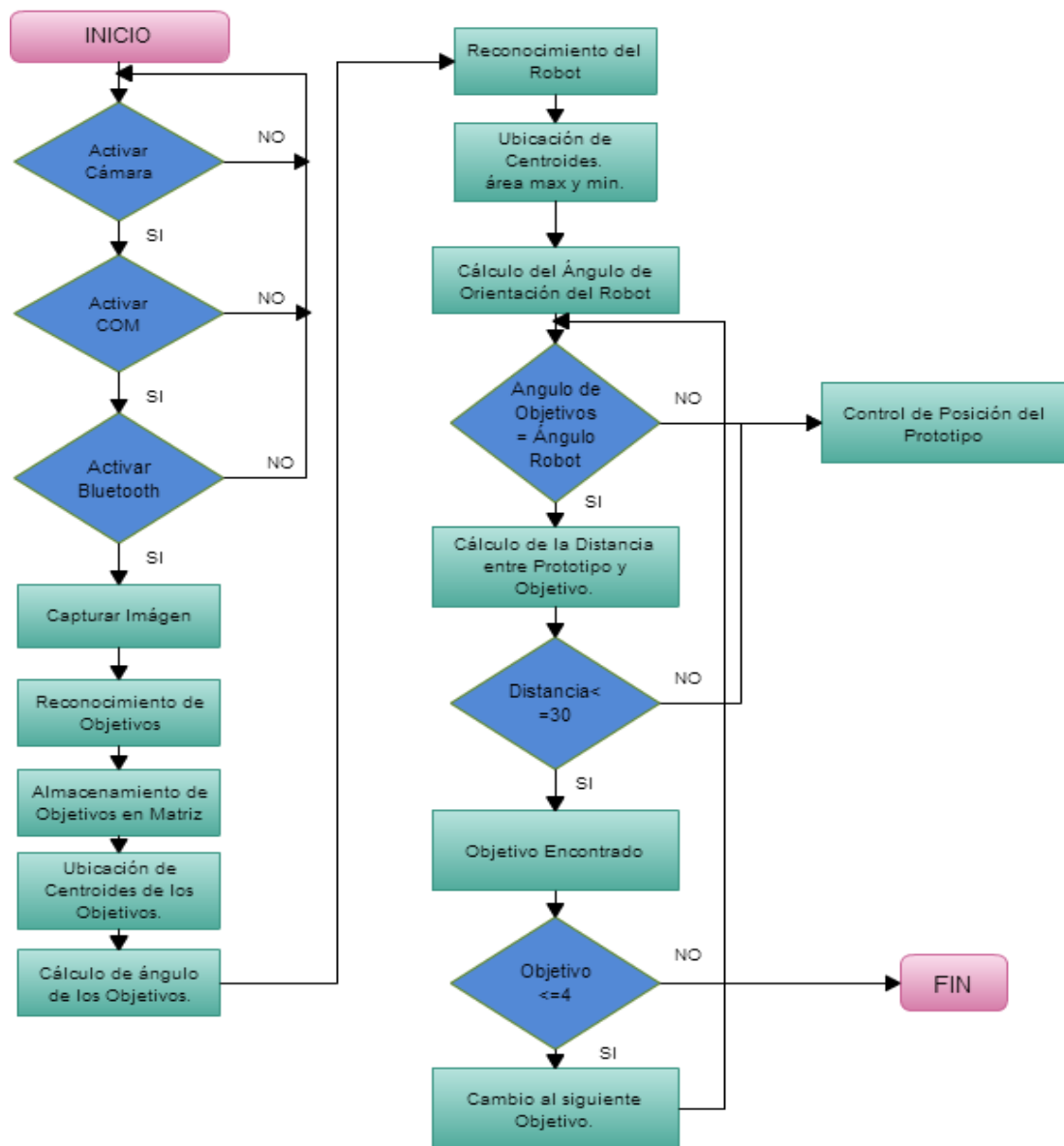


Figura 32 Diagrama de Flujo

El algoritmo que se utilizó para poder trabajar con los cuadros rojos se observa en la figura 34.

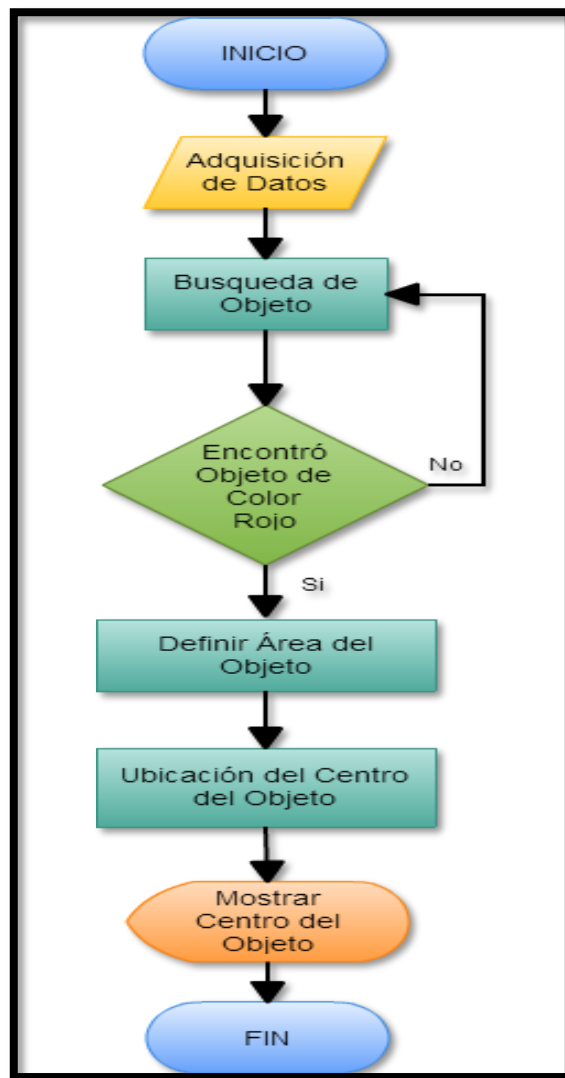


Figura 35 Diagrama de Flujo Procesamiento Objetivos⁵⁴

⁵⁴ “Diagrama de Flujo Procesamiento de Objetivos Rojos”. Septiembre 2013. Autor

Ángulo del Objetivo: Por último se obtiene el ángulo α el cual se encuentra entre objetivo y el eje longitudinal con la ecuación 1.

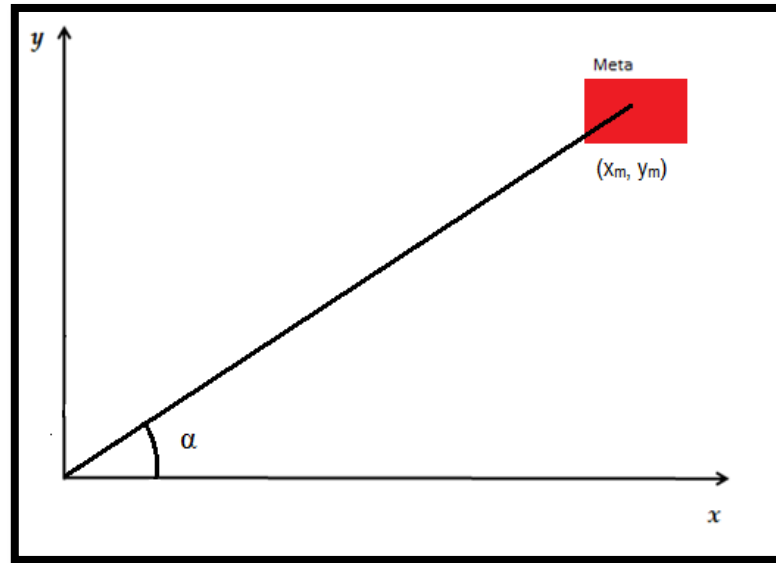


Figura 36 Ángulo del Objetivo⁵⁵

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{y_m}{x_m} \right) (1)$$

8.4.2.2.2 Identificación del Cuadro Azul (Robot)

El primer paso consiste en identificar de la matriz RGB el plano de color azul, lo que permite establecer la ubicación del prototipo, el siguiente paso consiste en obtener su posición y orientación basándose en el sistema de referencia que proveen las coordenadas obtenidas.

⁵⁵ “Ángulo del Objetivo”. Enero 2014. Autor.

El centroide del área máxima y mínima también permite obtener el ángulo con respecto al punto de llegada (meta). Esta estrategia hace que el vehículo logre encontrar la posición óptima, puesto que de esta forma puede identificar si se encuentra apuntando hacia el objetivo o si se desplaza en la dirección incorrecta.

Una vez identificados los centroides de los cuadrados azules se halla β , el cual permite obtener el ángulo propio del vehículo. Como se observa en la siguiente figura.

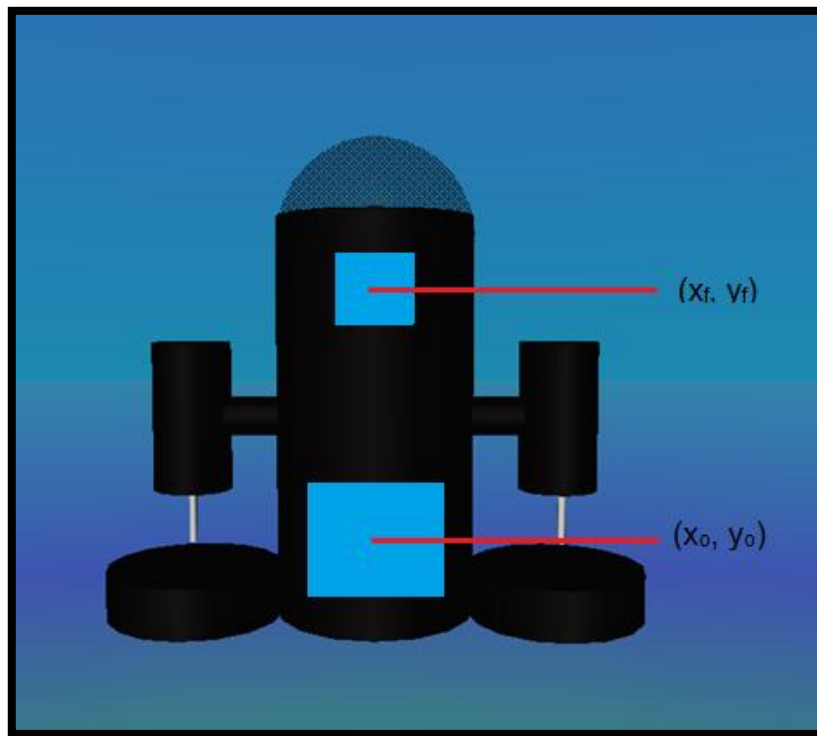


Figura 37 Marcas del Robot ⁵⁶

El ángulo β se encuentra con la ecuación 2.

⁵⁶ "Marcas del Robot". Enero 2014. Autor.

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{y_f - y_0}{x_f - x_0} \right) \quad (2)$$

Por último después de obtener los dos ángulos; β y α se calcula la distancia entre el vehículo y el objetivo por medio de la ecuación 3.

$$dist = \sqrt{(x_m - x_f)^2 + (y_m - y_f)^2} \quad (3)$$

Donde la distancia se calcula a partir del punto (x_f, y_f) del centroide de área mínima con respecto al punto (x_m, y_m) correspondiente al objetivo.

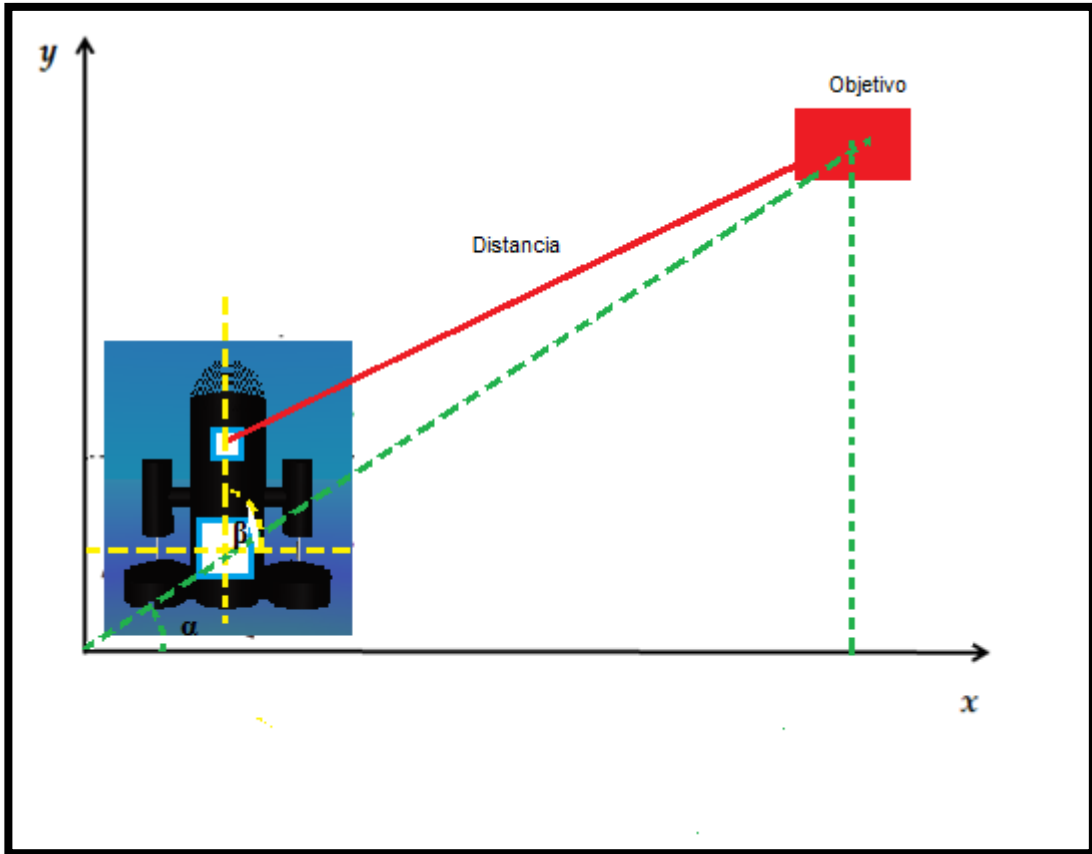


Figura 38 Posicionamiento del Prototipo⁵⁷

⁵⁷ "Posicionamiento del Robot". Enero 2014. Autor.

8.4.3. Diseño del Controlador

Para poder solucionar el problema de seguimiento de trayectoria se optó por el modelo en caja negra, puesto que nos enfatizamos en las entradas y salidas del sistema, y no en sus elementos ni en las interacciones que se establecen entre ellos.

Los modelos pueden integrarse en dos grupos: los axiomáticos y los empíricos. Los primeros están basados en ecuaciones físicas (matemáticas explican las interioridades dinámicas del sistema), mientras los segundos emplean relaciones de entrada y salida utilizando el conocido concepto de caja negra. En ambos casos, el objetivo es el mismo, obtener una expresión matemática llamada función de transferencia del sistema, tal que explique cuantitativamente el comportamiento dinámico del sistema ante cualquier tipo de excitación temporal.

⁵⁸

Debido a que nuestro sistema cuenta con dos motoreductores, cada uno sería excitado con voltajes individuales, esto produciría que nuestro sistema estuviera provisto de dos entradas de voltaje diferentes Figura 32. Lo que se pretende es dejar una única entrada que permita el control de los motoreductores, facilitando así el seguimiento de la trayectoria en el eje X y Y. Figura 33.

Se quería que nuestro sistema se comportara como un sistema de primer orden por este motivo se busca que las señales de entrada al sistema sea solo una (Single Input-Single output, SISO) y no distintas señales de entrada a la vez (Multiple Input – Multiple Output, MIMO). ⁵⁹

⁵⁸ Valdivia Carlos. Sistemas de control continuo y discreto. España. 2012. P.12

⁵⁹ “Dinámica y control de procesos”. [En línea]. Diciembre 2013
http://www.fing.edu.uy/iiq/cursos/dcp/teorico/19_CONTROL_MIMO.pdf

Tomando en cuenta que si el voltaje aplicado a cada uno de los motores es el mismo, el ángulo será cero, y si por el contrario cada uno de los voltajes aplicados al motor es diferente, la salida será una variación en el ángulo.

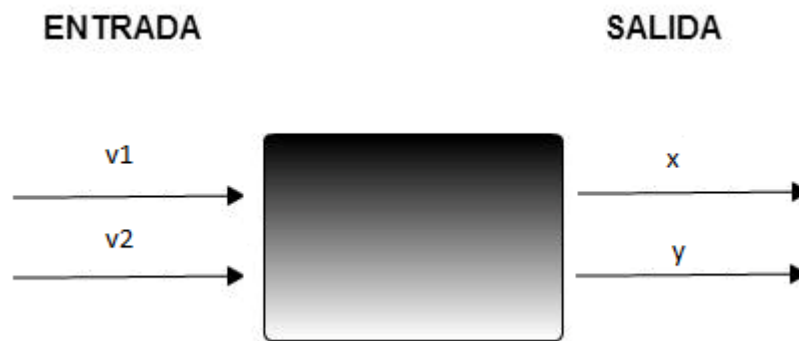


Figura 39 Voltajes independientes para cada motor⁶⁰

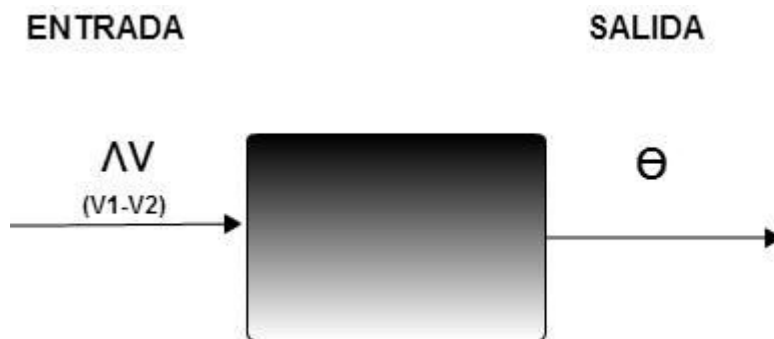


Figura 40 Delta voltaje⁶¹

⁶⁰ "Voltajes Independientes para cada Motor". Enero 2014. Autor.

⁶¹ "Delta Voltajes". Enero 2014. Autor.

8.4.3.1. Control PID

El control empleado para el correcto funcionamiento de nuestro prototipo es el control digital PID (proporcional-integral-derivador), que ha sido implementado en el microcontrolador ATmega328 de Arduino.

El controlador PID responde a la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{\partial e(t)}{\partial t}$$

62

Donde $e(t)$ es el error de la señal y $u(t)$ es la entrada de control del proceso. K_p es la ganancia proporcional, T_i es la constante de tiempo integral y T_d es la constante de tiempo derivativa.

Con este tipo de control se puede observar que al variar cada una de las constantes en el control PID, nuestro sistema mejora notablemente, a través de la constante de proporcionalidad se aseguro que se modificara la dirección del vehículo hasta que se lograra tener una mayor precisión.

Cuando la dirección se aproximo al valor deseado, entra en acción el control integral que redujo el error en el control proporcional, hasta posicionar el vehículo en el punto preciso.

Debido a que la maniobra que se requería para que llegara a cada uno de los objetivos no se tenía que realizar de una manera rápida, sino por el contrario de una manera lenta, el control derivativo no lo consideramos de gran importancia.

⁶² "Método Básico para el Diseño del un Controlador PID".[En línea]. Diciembre 2013
http://www.microvirtual.org/images/Congreso/Ponencias_CVM1/Industria/ind_11.PDF

Si se hubiera querido una respuesta rápida en nuestro sistema, el control derivativo prácticamente sería el que intervendría.

Puesto que se requería que se llegara a cada objetivo de manera precisa se optó por no tener grandes velocidades, garantizando así una mejor precisión y variando de esta manera solo las constantes proporcional e integral.

A través de pruebas realizadas variando los parámetros ajustables en el sistema como lo son la constante proporcional e integral se obtuvieron los siguientes resultados teniendo las siguientes constantes:

- K_p : 7.5
- K_i : 1/24000
- K_d : 75

Inicialmente cuando se tenía una constante de proporcionalidad de 7.5, una constante integral de 1/24000 el prototipo seguía los objetivos preestablecidos de una manera poco precisa. Esto se puede ver en la siguiente figura donde el ángulo del robot no es cercano al ángulo del objetivo:

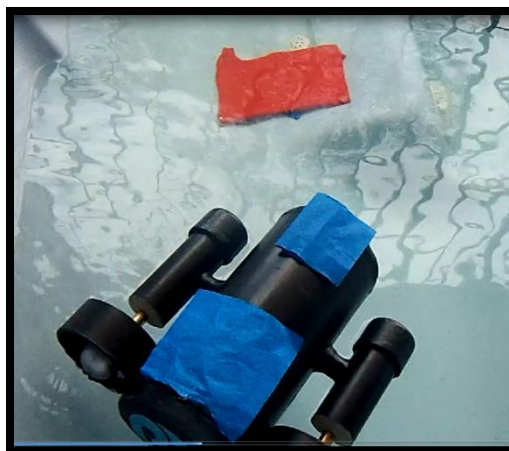


Figura 41 Posición del Robot con Error

Observando este comportamiento de poca precisión en el vehículo se decide aumentar el valor de las constantes de proporcionalidad e integral de la siguiente manera:

- K_p : 8.5
- K_i : 1/23000

Al aumentar la constante de proporcionalidad e integral el vehículo adquiere mayor precisión al llegar a cada objetivo.



Figura 42 Posición del Robot sin Error⁶³

8.4.3.1.1 Variables de entrada del controlador PID

Se ha elegido una variable de entrada para el control PID la cual es la variable giro (ángulo β).

A través de este sistema de control, el microcontrolador de arduino continuamente estará recibiendo el ángulo en el que se encuentra el móvil, comparando continuamente con los Setpoint almacenados de cada objetivo.

⁶³ "Posición del Robot sin Error". Marzo del 2014. Autor.

De esta manera el controlador corregirá el error en la salida de nuestra planta, a través de los actuadores que en nuestro caso serán los motoredutores, los cuales se encenderán o apagaran de acuerdo a la desviación que presente el ángulo del robot con la del punto de llegada, encendiendo así el motor derecho, el izquierdo o ambos.

Esta transmisión de datos se realiza a través de comunicación serial inalámbrica por medio de Bluetooth a la plataforma arduino que se encargara de la activación de nuestros actuadores.

ESQUEMA DE CONTROL

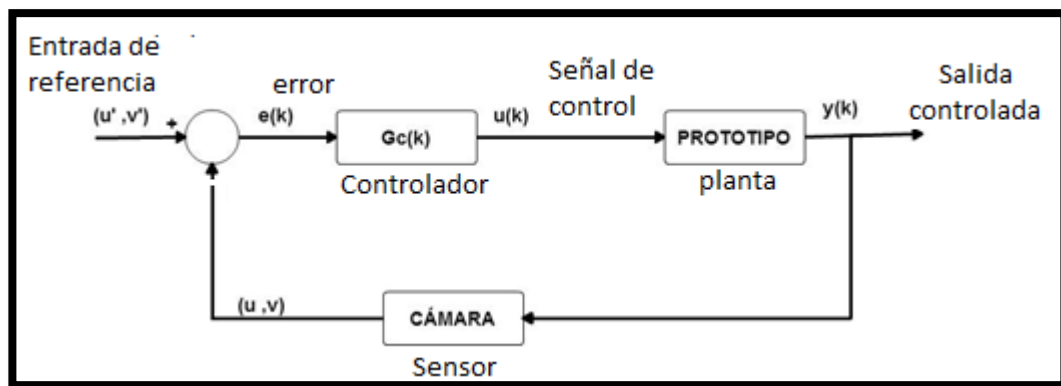


Figura 43 Esquema de Control⁶⁴

⁶⁴ "Esquema de Control". Marzo 2014. Autor

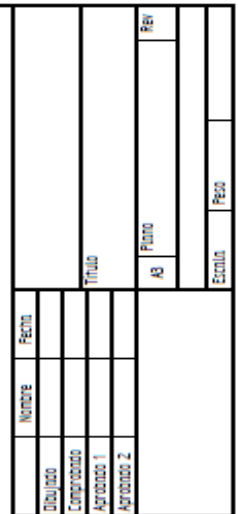
CONCLUSIONES

Este trabajo tiene como resultado el cumplimiento de los objetivos que fueron marcados con antelación. Dicho proyecto fue bastante interesante dado las diferentes técnicas que se tuvieron que aprender y/o desarrollar para lograr que el sistema funcione, entre las principales conclusiones a las que llegamos tenemos:

- Es fundamental dimensionar el alcance del proyecto; puesto que se deben tomar en cuenta aspectos tales como: costos, mecanismos, comunicación, control y tiempos dispuestos para alcanzar los objetivos propuestos.
- A través de la elaboración de diferentes prototipos en la primera etapa se logra determinar la forma adecuada, equipamiento y los adecuados materiales, esto permitió corregir las deficiencias que se tuvieron en versiones anteriores.
- El diseño y elaboración del prototipo acuático no fueron tareas sencillas, debido a la poca experiencia que se tenía en el diseño de este tipo de sistemas y al elevado costo que tienen los materiales propios para la elaboración de un submarino.
- Como se mencionó a lo largo del documento, uno de los factores que más influyen sobre el área de trabajo e inciden bastante sobre los resultados obtenidos, en especial sobre el proceso de binarización, es el grado de iluminación, por lo que se optó por colocar niveles de umbral manuales, que dependen de la hora del día en que se está trabajando, esta manipulación del umbral afecta por otro lado el tamaño de los objetos pequeños o aquellos no muy brillantes, al incrementar el umbral, son eliminados del área de trabajo.
- En la etapa de procesamiento de la imagen se usó una función que permitiera eliminar los objetos conectados con menor número de píxeles al deseado, obteniendo así el objeto a seguir.
- Para la elaboración de un carro acuático es de gran importancia escoger las hélices adecuadas que permitan el avance del prototipo.

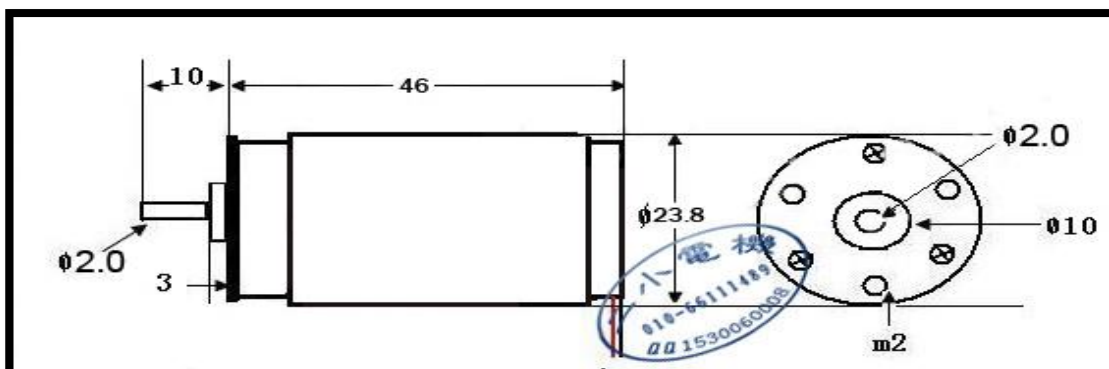
- El trabajar en un ambiente diferente al terrestre como lo es el acuático, trae desventajas, la principal es la comunicación entre el prototipo y el pc a través del modulo bluetooth debido a la baja potencia
- La hermeticidad en este tipo de robot juega un papel muy importante, puesto que se necesita asegurar que no ingrese el agua y dañe los elementos electrónicos. Inicialmente se pensó en comprar motores a prueba de agua, pero debido a su elevado costo se utilizaron motoredutores sencillos que luego fueron impermeabilizados.
- Debido al poco alcance de la cámara web con la que se contaba se opto por emplear una piscina que estuviera al alcance de la misma con unas dimensiones determinadas y una profundidad no mayor a 80cm, lo que hacía que el área de trabajo tuviera que estar acondicionada y fuera reducida.
- Es fundamental asegurar el correcto acople entre las hélices y el motor, debido a que puede causar un alto nivel de turbulencia, afectando así el adecuado funcionamiento del control del prototipo.
- El principal inconveniente que se tuvo al momento de realizar el prototipo fue no poder sumergirlo debido a la perdida de comunicación entre el pc y el prototipo. Aunque se tuvieron en cuenta varias ideas para poder lograr la inmersión (Entre ellas se pensó en un sistema de jeringas que actuaran como lastres para el submarino), se observa que el acople mecánico debe ser muy preciso, por tanto varias ideas fueron descartadas.
- Es indispensable lograr una sintonización que cumpla con nuestro objetivo y que corrija el error que se presenta, lo que permite que llegue de forma optima a su objetivo. La sintonización se realizó de manera experimental debido a que nuestro control fue implementado en el modelo Caja Negra.

PLANOS EN SOLID EDGE DE LAS HÉLICES

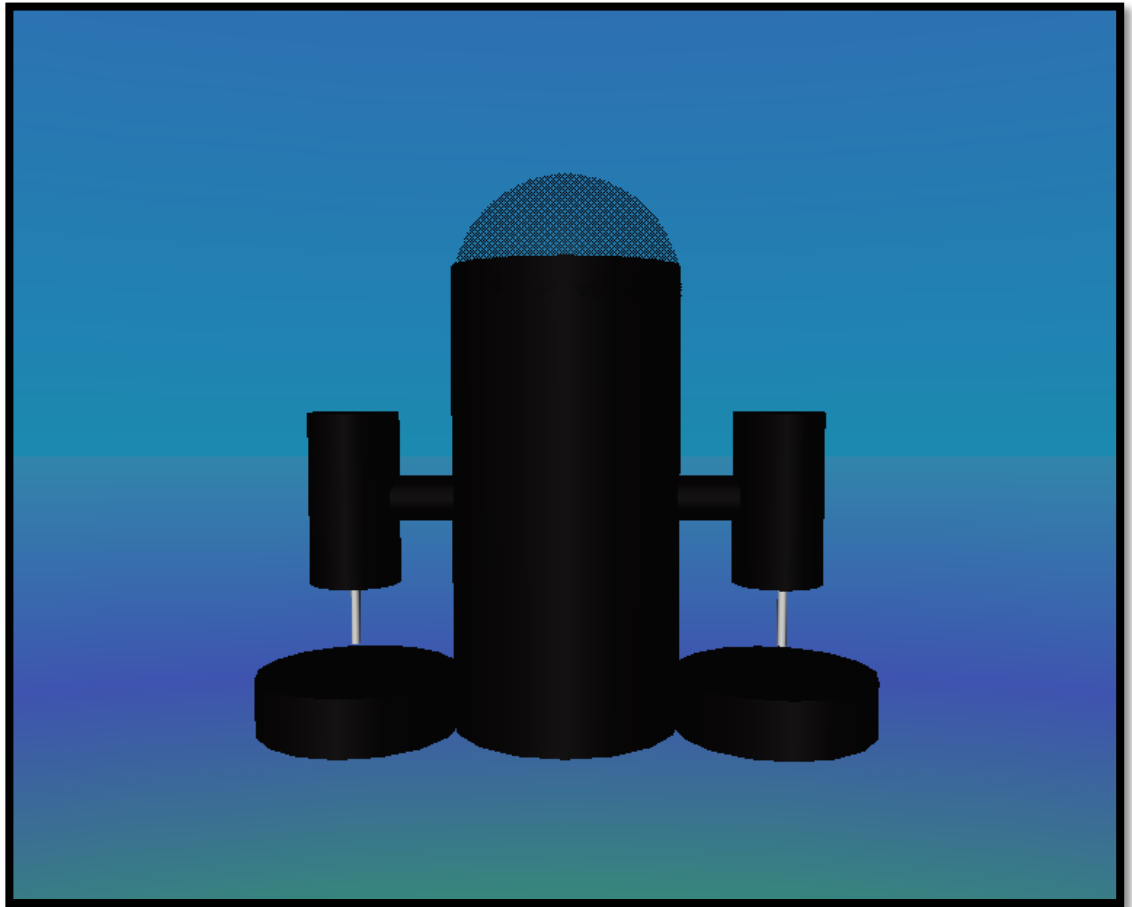


ANEXO B
DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR

Origen / marca / tipo de motor	Alemán Faulhaber motor sin núcleo
Modelo	22B 9:01-XX549
Tensión nominal (V)	12V-40V
Corriente nominal (mA)	110MA
Corriente de carga (mA)	10MA
Velocidad (rev / min)	250 rpm (12V) / 500 rpm (24V) / 900 rpm (40V)
Longitud del motor (mm)	56
Diámetro (mm)	2
Longitud del eje (mm)	10
Engranaje del eje	Diámetro Gear 5MM , 14 dientes
Otro	Nuevo original, Faulhaber motor



ANEXO C
PROTOTIPO EN 3D



ANEXO D

CARACTERÍSTICAS MÓDULO BLUETOOTH

- Alcance de 18m
- Bluetooth radio modem aprobado por la FCC clase 1
- Enlace de conexión muy robusto tanto en integridad como también distancia de transmisión (18m)
- Bajo consumo de corriente 25mA en promedio
- Opera en ambientes con otras señales de RF como WiFi, 802.11g y Zigbee
- Frecuencia de conexión encriptada 2.4~2.524 GHz
- Voltaje de operación: 3.3V-6V
- Comunicación serial: 2400-115200bps
- Temperatura de operación: -40 ~ +70C
- Antena incorporada
- Tamaño: 51.5 x 15.8 x 5.6mm

Class 2 Bluetooth® Module

Features

- Fully qualified Bluetooth 2.1/2.0/1.2/1.1 module
- Bluetooth v2.0+EDR support
- Available with on board chip antenna (RN-42) and without antenna (RN-42-N)
- Postage stamp sized form factor, 13.4mm x 25.8 mm x 2mm (RN-42) and 13.4mm x 20 mm x 2 mm (RN-42-N)
- Low power (26uA sleep, 3mA connected, 30mA transmit)
- UART (SPP or HCI) and USB (HCI only) data connection interfaces.
- Sustained SPP data rates - 240Kbps (slave), 300Kbps (master)
- HCI data rates - 1.5Mbps sustained, 3.0Mbps burst in HCI mode
- Embedded Bluetooth stack profiles included (requires no host stack): GAP, SDP, RFCOMM and L2CAP protocols, with SPP and DUN profile support.
- Bluetooth SIG certified
- Castellated SMT pads for easy and reliable PCB mounting
- Certifications: FCC, ICS, CE
- Environmentally friendly, RoHS compliant



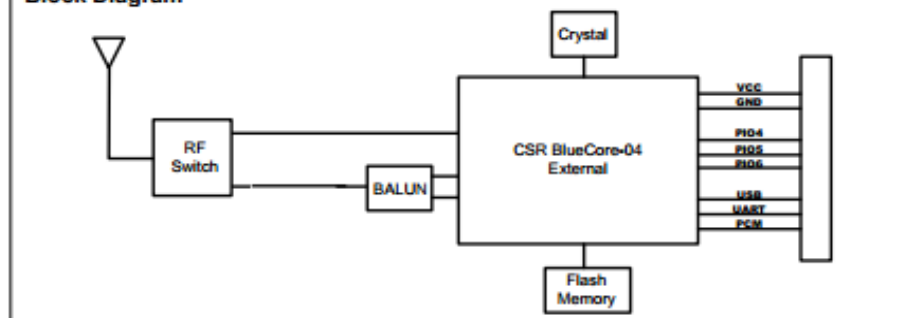
Applications

- Cable replacement
- Barcode scanners
- Measurement and monitoring systems
- Industrial sensors and controls
- Medical devices
- Barcode readers
- Computer accessories

Description

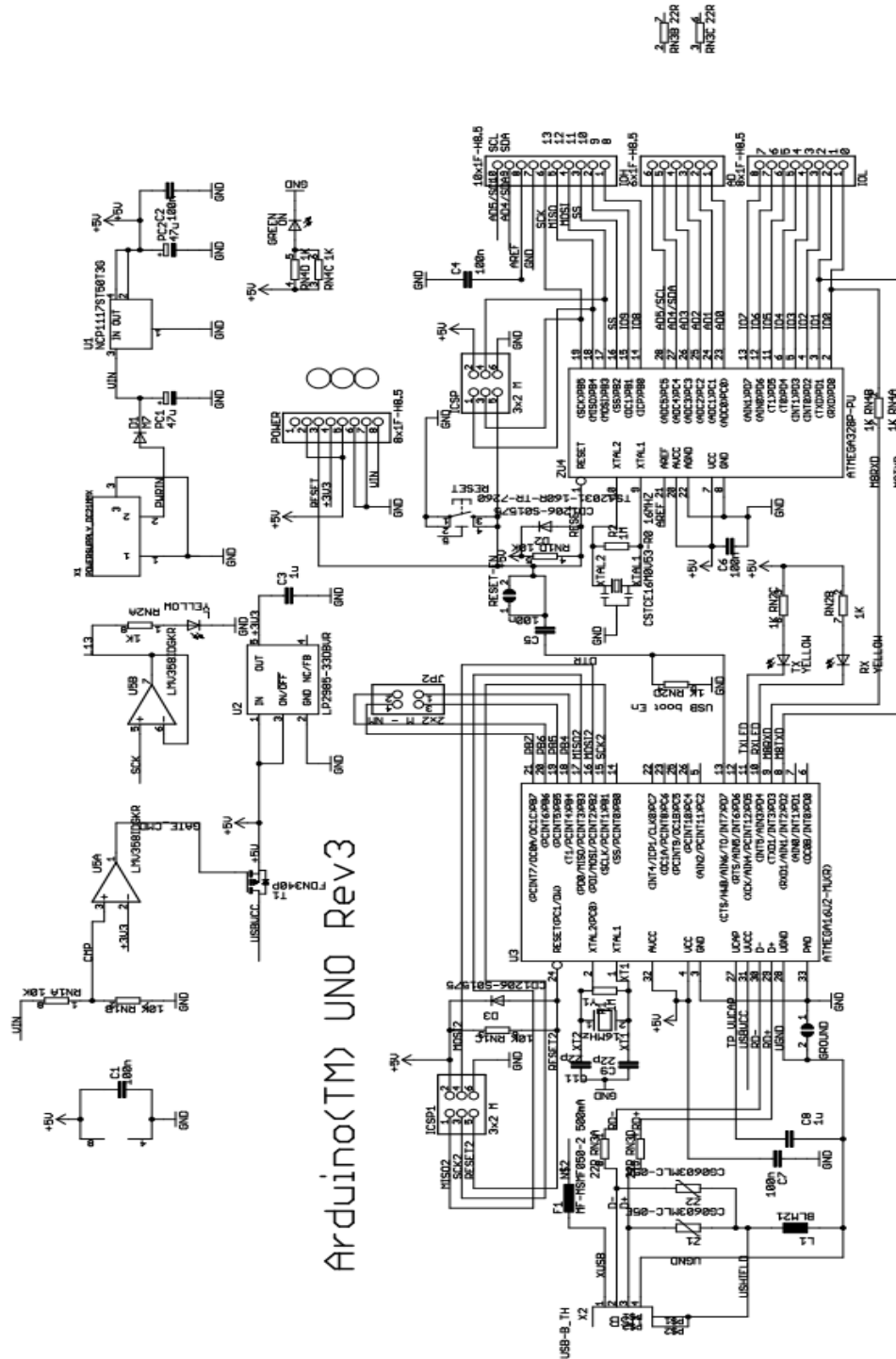
The RN42 is a small form factor, low power, highly economic Bluetooth radio for OEM's adding wireless capability to their products. The RN42 supports multiple interface protocols, is simple to design in and fully certified, making it a complete embedded Bluetooth solution. The RN 42 is functionally compatible with RN 41. With its high performance on chip antenna and support for Bluetooth® Enhanced Data Rate (EDR), the RN42 delivers up to 3 Mbps data rate for distances to 20M. The RN-42 also comes in a package with no antenna (RN-42-N). Useful when the application requires an external antenna, the RN-42-N is shorter in length and has RF pads to route the antenna signal.

Block Diagram



ANEXO E

ESQUEMÁTICO ARDUINO UNO R3



Bibliografía

- Al-Busaidi, A. (2012). *"Development of an educational environment for online control of a biped using Matlab and Arduino"*. Congress on Research and Education in Mechatronics. IEEE.
- Alzate Gómez, A., Lòpez Lòpez, A., & Restrepo Patiño, C. (2007). *"Control difuso de una plataforma móvil para el seguimiento de trayectorias"*. Pereira: Scientia et Technica Año XIII, No. 35. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Amini, N., Xu, W., Li, Z., Huang, M.-C., & Sarrafzadeh, M. (2011). *"Experimental Analysis of IEEE 204.15.4 for On/Off Body Communications"*. Beijing, China : IEEE.
- arduino.cc/es/Main/Software. (n.d.).
- Arízaga, J. A., de la Calleja, J., Hernández, R., & Benitez, A. (2012). *"Automatic Control for laboratory Sterilization Process based on Arduino Hardware"*. IEEE. Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP), 22nd Internacional Conference.
- Bandala, A. A., & Dadios, E. P. (2012). *"Development and Design of Mobile Robot with IP-Based Vision System"*. TENCON IEEE Region 10 Conference.
- Barnes, N., & Liu, Z.-Q. (2004). *"Embodied categorisation for vision-guided mobile robots"* (Vols. 37, Issue 2). Pattern Recognition.
- Benitez, A., Moreno, C., & Vallejo, D. (2008.). *"Localization Control LEGO Robot's Navigation", 18th International Conference on Electronics Communications and Computers, IEEE Computer Society, .* Puebla, Mexico.
- Bernd, J. (2000). *"Computer vision and applications"*. Academic Press.
- Berrio, L., & Zuluaga, C. (2012). *"Concepts, Standars and Communication Technologies in Smart Grid"*. Colombia: IEEE.
- Brubaker, D. (1993). *"Two New Defuzzification Techniques"*. IEEE, WESCON/'93. Conference Record.
- Buygi, M., Shanechi, O., Balzer, G., Shahidehpour, G., & Pariz, N. (August 2006). *"Network planning systems"* (Vol. 21).
- Chella, A., Frixione, M., & Gaglio, S. (1997). *"A cognitive architecture for artificial vision"* (Vols. 89, Issues 1-2). Artificial Intelligence.

Chen, M., Edwards, D., Boehmer, E., Eller, N., Slack, J., Speck, C., et al. (April 26, 2013). *"Designing a Spatially Aware and Autonomous Quadcopter"*. (U. o. Engineering Design Symposium, Ed.) USA: Proceedings of the 2013 IEEE Systems and Information.

Cuevas, E., Saldivar, D., & Pérez, M. (2010). *Procesamiento Digital de Señales*. España: RA-MA.

de la Escalera Hueso , A. (2001). *"Visión por Computador. Fundamentos y métodos"*. Madrid: Prentice Hall.

Egan, D. (April/May 2005). *"The Emergence of ZigBee in Building Automation and Industrial Controls"* (Vol. 16). IEEE Computing & Control Engineering.

Figueiredo, C., Gamma, Ó., Pereira, C., Mendes, P., Silva, S., & Domingues, L. (2010). *"Autonomy Suitability of Wireless Modules for Ambient Assisted Living Applications"*. Portugal: IEEE.

Flan , N., & Moore, K. (2004). *"A small mobile robot for security and inspection"*. Control Engineering Practice, vol 10, issue 11.

Han, T., Han, B., Zhang, L., Zhang, X., & Yang, D. (2012). *"Coexistence Study for Wifi and Zigbee Under Smart Home Scenarios"*. China: IEEE.

Hirote, K., & Sugeno. (1995). *"Industrial applications of fuzzy technology in the world"*. USA.

<http://grvc.us.es/rar/mainFrame/navegacion/navegacion.html#naveg>. (n.d.).

<http://www.dma.fi.upm.es/research/FundMatSoftComputing/fuzzyinf>. (n.d.).

<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-inference-process.html#FP346>. (n.d.).

http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/bp78l6_-1.html. (n.d.).

<http://www.mathworks.com/products/matlab/>. (n.d.).

<http://www.mathworks.com/programs/mindstorms/>. (n.d.).

<http://www.processing.org/>. (n.d.).

<http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/zigbee-architecture.php>. (n.d.).

<http://www.xbee.cl/caracteristicas.html>. (n.d.).

<http://www.zigbee.org>. (n.d.).

<http://zigbee.hasse.nl/>. (n.d.).

<http://arduino.cc/es/tutorial>. (n.d.).

Jantz, S., & Doty, K. (2006). *"A wireless enables Mobile Robot for Vision Research"*. Conference on Recent Advances in Robotics, Florida Internacional University .

Jiao, S., Khadra, Y., & Goutte, R. (2006). *"Genomic Architecture of 2D Images after Regions-Based segmentation"*. ICSP2006 Proceedings, 0-7803-9737-1 IEEE.

Juang, H.-S., & Lum, K.-Y. (June 12-14, 2013). *"Design and Control of a Two-Wheel Self-Balancing Robot using the Arduino Microcontroller Board"*. Hangzhou, China: IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA).

Jung, D.-y., Ji, Y.-h., Lee, S.-w., Won, C.-y., Jung, Y.-c., & Seo, K.-D. (2009). *"Grid-Connected Peak-Load Compensation System Based on Lithium-Polymer Battery"*. IEEE, Telecommunications Energy Conference.

Katusic, D., Skocir, P., Bojic, I., Kusek, M., Jezic, G., Desic, S., et al. (2013). *"Universal Identification Scheme in Machine-to-Machine Systems"*. Croatia: IEEE.

Klir, G., & Yuan, B. (1995). *"Fuzzy sets and fuzzy logic. Theory and Applications"*. Prentice Hall PTR.

Konolige, K., Augenbraun, J., Donaldson, N., Fiebig, C., & Shah, P. (2008). *"Low-Cost Laser Distance Sensor"*. USA: IEEE Internacional Conferencia Robotics and Automation.

Kriciv, S., Hujdur, M., Mrzic, A., & Konjicija, S. (2012). *"Design and Implementation of Fuzzy Controller on Embedded Computer for Water Level Control"*. MIPRO, Proceedings of the 35th International Convencion. IEEE.

Krivić, S., Hujdur, M., Marzić, A., & Konjicija, S. (2012). *"Design and Implementation of Fuzzy Controller on Embedded Computer for Water Level Control"*. Croatia: Faculty of Electrical Engineering, Department of Automatic Control and Electronics, Sarajevo.

Lee, J.-S., Su, Y.-W., & Shen, C.-C. (2007). *"A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee and Wi-Fi"*. The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON).

Lutvica, K., Kadic, N., Dzampo, G., Muminovic, H., Velagic, J., & Osmic, N. (2011). *"Remote Position Control of Mobile Robot Based on Visual Feedback and ZigBee Communication"*. Internacional Symposium ELMAR IEEE.

Mahfouf, M., Abbod, M., & Linkens, D. (2001). *"A survey of fuzzy logic monitoring and control utilisation in medicine"* (Vols. 21, Issues 1-2). Artificial Intelligence in Medicine.

Mazo Quitas, M., Boquete Vázquez, L., & Barea Navarro, R. (1996). *"Visión Artificial"*. Alcalá: Universidad de Alcalá, Departamento de Electrónica.

Miller, G., Fels, S., & Oldridge, S. (2011). *"A conceptual structure for computer vision"*,. Canadian conference on computer and robot vision IEEE,.

Naranjo, J. (2007). *"Using fuzzy logic in vehicle control"*. IEEE Intelligent systems.

Ning, H., Yuguang, H., & Chunhui, W. (2011). *"Comparative analysis on a vehicle's speed control systems stability based on fuzz rules and PID method"*. Internacional Conference on Electronic & Engineering and Information Technology.

Olteanu, A.-C., Oprina, G.-D., Tápus, N., & Zeisberg, S. (2013). *"Enabling mobile devices for home automation using ZigBee"*. IEEE.

Ouzounis, G. K., Pesaresi, M., & Soille, P. (2012). *"Differential Area Profiles: Decomposition Properties and Efficient Computation"* (Vols. 34, Issue: 8). Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE.

Pakdaman, M., & Sanaatiyan, M. (2009). *"Design and Implementation of Line Follower Robot"*. Irán: IEEE.

Pallas, R. (1993). *Adquisición y Distribución de Señales*. España: Marcombo S.A.

Pistoia, G. (2009). *"Battery Operated Devices and Systems: From Portable Electronics to Industrial Products"*. Elsevier B.V.

Pratt, W. K. (2007). *"Digital Image Processing"*. 4th Edition, WILEY-INTERSCIENCE.

Qiu, Q., Dunmore-Buyze, J., Boughner, D. R., & Lacefield, J. C. (2006). *"Evaluation of an Algorithm for Semiautomated Segmentation of Thin Tissue Layers in High-Frequency Ultrasound Images"* (Vol. 53). IEEE.

Ramírez, J., Gómez Gil, P., & López Larios, F. (2007). *"A robot vision system for autonomous vehicle navigation with fuzzy logic control using Lab-View"*. Cuernavaca, Morelos: Cuarto congreso de Electrónica, Robótica y Mecánica Automotriz.

Robayo Espinel, E. (2007). *"Control difuso - Fundamentos y aplicaciones"*. Ed. Uninorte.

Rodríguez Garavito, C. H., & Delgado Rivera, A. (Abril 2008). *"Plataforma autónoma inteligente para futbol robot"* (Vol. 28). Revista de Ingeniería e investigación.

Rosenfeld, A., & Kak, A. (ISBN°0-12-597301-2). *"Digital Picture Processing Academic Press"*.

- Ross, T. J. (2004). *"Fuzzy Logic with Engineering Applications"*. México: 2da Edición, Jhon Willye & Sons, Ltd.
- Runkler, T. (1997). *"Selection of Appropriate Defuzzification Methods Using Application Specific Properties"* (Vol. 5). IEEE Transactions on Fuzzy Systems.
- Silva, J., Gomes, R., Nascimento, A., Menezes, J., Silva, F., & Alves, L. (2012). *"Building a Node for Wireless Sensor network Based on Open Source Platform Arduino"*. Symposium Computing System Engineering .
- Soo Choi, J., & Zhou, M. (2010). *"Performance analysis of ZigBee-based body sensor networks"*. Systems Man and Cybernetics IEEE .
- Stipanicev, D., & Cecic, M. (In Fuzzy System Conference IEEE International, 1992). *"Eye-Hand coordination based on fuzzy vision"*.
- Vélez Serrano, J. F. (2007). *"Visión por computadora"* (2da ed.). Madrid: Editorial Dyckinson.
- Wang, W., He, G., & Wan, J. (2011). *"Research on Zigbee wireless communication technology"*. China: IEEE International Conference on Electrical and Control Engineering.
- Wilson, J. (2003). *"Guidance of agriculture vehicle: a historical perspective"*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 25, No. 2.
- Wojnar, R. (November 25-27, 2010). *"Student's t-Distribution versus Zeldovich-Kompaneets Solution of Diffusion Problem"* (Vol. 121). Proceedings of the 5th Symposium on Physics in Economics and Social Sciences. Warszawa, Poland.
- Wooldridge, M., & Jennings, N. (1995). *"Intelligent agents: theory and practice"* (Vol. 10). The Knowledge Engineering Review.
- Wright, J., Ma, Y., & Mairal, J. (IEEE 2010). *"Sparse representation for computer vision and pattern recognition"*.
- www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/32374-matlab-support-package-for-arduino-aka-arduinoio-package/content/arduino.m. (n.d.).
- Zadeh, L. (1965). *"Fuzzy Sets"*. Information and control 8.
- Zulkifli, N., Harun Che, F., & Azahar, N. (2012). *"Xbee Wireless Sensor Networks for Heart Rate Monitoring in Sport Training"*. Biomedical Engineering. IEEE.