

**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SUMERGIBLE HÍBRIDO
PARA ADQUIRIR DATO DE TEMPERATURA E IMÁGENES QUE
AYUDE COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN PARA LOS
ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTOR: EDUARDO LUCÍN RECALDE
TUTOR: ING. SAMUEL BUSTOS GAIBOR

LA LIBERTAD – ECUADOR
2013

La Libertad, 31 de Octubre del 2013

APROBACION DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, “**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SUMERGIBLE HÍBRIDO PARA ADQUIRIR DATO DE TEMPERATURA E IMÁGENES QUE AYUDE COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN PARA LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR**” elaborado por el Sr. LUCÍN RECALDE EDUARDO LUIS, egresado de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del Título de Ingeniero(a) en Electrónica y Telecomunicaciones , me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la Apruebo en todas sus partes.

Atentamente

.....
Ing. Samuel Bustos Gaibor
TUTOR

APROBACION DEL GRAMATÓLOGO

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a Dios, Padre celestial, por darme salud para alcanzar mis objetivos propuestos, por su amor y bondad infinita hasta en los momentos difíciles, brindándome fortaleza y su misericordia para culminar otra etapa importante en mi vida.

A mis padres Galo y María, hermanos, familia y amigos; por su amor, ayuda incondicional, consejos y comprensión a lo largo de toda mi vida, además por brindarme la oportunidad de estudiar y concluir satisfactoriamente mi carrera y ser quienes que han impulsado el desarrollo de este proyecto de vida.

Eduardo Luis Lucín Recalde

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme vida y salud para llegar hasta este momento. A mis padres y hermanos por su amor y apoyo incondicional y a todas las personas que de una u otra forma han colaborado para ser de este sueño una realidad.

A los directivos y personal docente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena por la enseñanza y conocimientos impartidos y por ser entes positivos en el proceso de formación profesional. Agradezco a todos mis compañeros de estudios por compartir conocimientos, experiencias, sentimientos de alegría y compañerismo. Mi gratitud imperecedera al Ing. Samuel Bustos Gaibor, tutor de mi tesis de grado, por su colaboración y enseñanzas en el desarrollo de este proyecto.

Eduardo Luis Lucín Recalde

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Freddy Rolando Villao Santos, Msc.
Decano de la Facultad de
Sistemas y Telecomunicaciones

Ing. Washington Daniel Torres Guin, Msc.
Director de Escuela
Electrónica y Telecomunicaciones

Ing. Samuel Baldomero Bustos Gaibor, Msc.
Profesor -Tutor

Ing. Sendey Agustín Vera Gonzáles, Msc.
Profesor Área

Ab. Milton Zambrano Coronado, Msc.
Secretario General - Procurador

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
ESCUELA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SUMERGIBLE HÍBRIDO
PARA ADQUIRIR DATO DE TEMPERATURA E IMÁGENES QUE
AYUDE COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN PARA LOS
ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR”**

**Autor: LUCÍN RECALDE EDUARDO LUIS
Tutor: BUSTOS GAIBOR SAMUEL**

RESUMEN

En el Capítulo I de este proyecto se abordan los inconvenientes que surgen en el estudio de los problemas climáticos y la aplicabilidad exacta para el mundo real.

En el Capítulo II se describen todos los conceptos necesarios para poder tener un mayor conocimiento de los robots submarinos existentes y su desempeño.

En el Capítulo III se analizan los requerimientos del proyecto. Aquí encontraremos las especificaciones técnicas, económicas y operativas en donde estará sometido a diferentes fenómenos físicos, como son: la flotabilidad, la presión y la hidrodinámica, de los cuales dependerá su desempeño; gran parte de estos fenómenos varían en función de las características del agua y entonces de la temperatura y profundidad.

Con esta información y en base a los requerimientos de la zona, se procederá a desarrollar un diseño mecánico detallado del vehículo.

En el Capítulo IV se describe el diseño que definirá las dimensiones del híbrido, la instalación de los diferentes componentes electrónicos, y los planos de construcción para el sumergible, con el fin de que el modelo que se construya, sea la solución que más se adapte a los requerimientos y necesidades del problema.

En el Capítulo V se presenta evidencia gráfica, física y descriptiva de la realización del prototipo de robot sumergible; aquí se describe detalladamente las partes construidas, los materiales utilizados, las pruebas realizadas y su funcionamiento.

ÍNDICE GENERAL

APROBACION DEL TUTOR	ii
APROBACION DEL GRAMATÓLOGO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
TRIBUNAL DE GRADO	vi
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.5. HIPÓTESIS.....	7
1.6. RESULTADOS ESPERADOS	7
CAPÍTULO 2	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.1.1. HISTÓRICOS.....	9
2.2. BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1. EL MEDIO ACUÁTICO.....	10
2.2.2. ROVs (Vehículos Operados Remotamente) y AUVs (Vehículos Autónomos Submarinos).....	14
2.2.3. AUVs.....	14
2.2.4. EL MICROCONTROLADOR	17

2.2.5.	SENSORES.....	19
2.2.6.	ADQUISICIÓN DE DATOS	20
2.2.7.	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	21
2.2.8.	SOFTWARE.	22
2.3.	VARIABLES.....	23
2.4.	MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	23
2.5.	TÉRMINOS BÁSICOS	25
CAPÍTULO 3	.....	29
ANÁLISIS	.....	29
3.1	DIAGRAMA DE PROCESOS.....	29
3.1.1	Descripción funcional de los procesos.....	30
3.2	IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	36
3.3	ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	37
3.3.1	Análisis Técnico.....	37
3.3.2	Análisis Económico.....	39
3.3.3	Análisis operativo.....	42
CAPÍTULO 4	.....	43
DISEÑO	.....	43
4.1	ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN.....	44
4.1.1	Desarrollo de la Solución	44
4.1.2	Diseño arquitectónico.....	46
4.1.3	Diseño Electrónico	47
4.2.	DISEÑO DE INTERFAZ (GRÁFICA).....	57
CAPÍTULO 5	.....	58
IMPLEMENTACIÓN.....		58
5.1	CONSTRUCCIÓN	59
5.1.1	Construcción de La carcasa del sumergible	59
5.1.2	La placa Arduino.....	60
5.1.3	El GPS	62
5.1.4	Los actuadores	62
5.2	PRUEBAS	63
5.2.1.	Adquirir temperatura.....	64
5.2.2.	Posicionamiento Global. Adquirir posición actual con GPS.....	66

5.2.3.	Posición de los puntos cardinales mediante la brújula HMCL5388	70
5.2.4.	Transmisión inalámbrica con módulos xbee.....	72
5.2.5.	Adquirir temperatura con transmisión inalámbrica	74
5.2.6.	Geoestabilización y direccionamiento	76
5.2.7.	Guardar Información de Temperatura en SD y luego enviarla a la PC	78
5.2.8.	Sistema de control Final.....	79
5.2.9.	Sumergirse	81
5.2.10.	Emerger.....	83
5.2.11.	Cambiar de dirección	84
5.2.12.	Avanzar.....	88
5.2.13.	Prueba Final	90
5.3	DOCUMENTACIÓN GENERACIÓN DE LOS MANUALES DE USUARIO (OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO) Y DE MANTENIMIENTO.	93
5.4	DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	93
CONCLUSIONES.....		94
RECOMENDACIONES		96
BIBLIOGRAFÍA.....		97
ANEXO 1		98
ANEXO 2		111
ANEXO 3		115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Flujo Turbulento y Flujo Laminar	14
Figura 2.2: Vehículos híbridos.....	15
Figura 2.3: Componentes generales de un Vehículo Submarino.....	16
Figura 2.4: Vehículo que transporta o auxilia buzos.....	16
Figura 3.1: Diagrama de Bloque General del Prototipo	30
Figura 3.2: Diagrama del Sistema de Comunicación.....	32
Figura 3.3: Diagrama del Sistema de Control.....	33
Figura 3.4: Diagrama del Sistema de Potencia.....	34
Figura 3.5: Diagrama del Sistema de Sensado	35
Figura 4.1: Diagrama de Bloques del Prototipo	44
Figura 4.2: Diseño arquitectónico del sumergible	46
Figura 4.3: Diagrama de Bloques por componentes.....	47
Figura 4.4: Diseño Esquemático del sistema electrónico	47
Figura 4.5: Sectores del Sistema GPS.....	48
Figura 4.6: Módulo receptor GPS SHD035.....	50
Figura 4.7: Diseño del algoritmo de control y geo estabilización.	54
Figura 4.8: Algoritmo del sistema de control.....	56
Figura 4.9:1: Ventana de interfaz en Labview.....	57
Figura 5.1: Diferentes prototipos armados.....	59
Figura 5.2: Diferentes Arduinos para el desarrollo	61
Figura 5.3: Diagrama para adquirir temperatura.....	64
Figura 5.4: Datos adquiridos por el puerto de comunicaciones	65
Figura 5.5: Foto del circuito GPS.....	67
Figura 5.6: Datos adquiridos por el Gps y graficados en google earth	68
Figura 5.7: diagrama del circuito utilizado para probar Brújula	71
Figura 5.8: Circuito armado con módulo xbee y Arduino	73
Figura 5.9: Foto del circuito funcionando	78
Figura 5.10: Foto de las tarjetas para armar.....	80
Figura 5.11: Batería de 5v de alta corriente.....	80
Figura 5.12: Sumergible antes de sumergirse.....	82
Figura 5.13: Comportamiento básico cambiar de dirección,.....	86
Figura 5.14: Comportamiento básico avanzar	89
Figura 5.15: Sumergible estacionado en el punto de llegada.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Costos totales para Implementación	41
Tabla 3.2 Costos totales de desarrollo e implementación.....	41
Tabla 3.3 Costos totales asumidos personalmente	42
Tabla 5.1: Datos adquiridos por la sonda	66
Tabla 5.2: Datos de la señal actualizada del Gps	69
Tabla 5.3: Resultados de los datos adquiridos por HMC8553L	72
Tabla 5.4: Resultados las distancias alcanzadas por el módulo xBee	74
Tabla 5.5: Resultados de dos experimentos realizados	83
Tabla 5.6: Resultados de cambio de dirección.....	88
Tabla 5.7: Resultados de seguir ruta en dos ámbitos.	93

INTRODUCCIÓN

Uno de los intereses de la Universidad Estatal Península de Santa Elena es el desarrollo de tecnología e innovación; para conseguir este fin, es necesario que se realice investigaciones que permitan equipar de sistemas de adquisición de datos y ayuden a muchas carreras. Por este motivo se realizó la investigación de sistemas autónomos AUV. Los sistemas de Geoestabilización son necesarios en soluciones tecnológicas aplicadas a seguridad, movilidad e inteligencia artificial orientada a sistemas de decisión en tiempo real, visión artificial y sistemas video-inteligente.

La disponibilidad de un sistema geo-estabilizador es relevante, porque permite compensar el movimiento de un vehículo terrestre, aéreo o acuático, de tal manera de enfocar con exactitud el objetivo, a fin de evitar la pérdida o distorsión de la información. Por lo tanto, es imprescindible diseñar y construir un sistema que permita mantener en la mira el blanco deseado, atenuando las perturbaciones sobre el vehículo móvil; de esta manera, el sensor GPS y la brújula orientan al sumergible.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos tiempos hemos presenciado grandes avances en Robótica e Informática a nivel mundial, que entre otras cosas, han impulsado la evolución y la necesidad de conocer y adquirir datos utilizando cada vez equipos más sofisticados.

Conocer y explorar lo que hay en las profundidades de los mares, océanos y lagos, ha existido desde hace mucho tiempo. Debido a los

avances tecnológicos, la investigación en submarinos ha aumentado significativamente, lo cual permite al hombre explorar estos lugares desconocidos y conocer nuevas especies de flora y fauna marina. En la actualidad se intenta, no sólo descubrir ecosistemas nuevos, sino también preservar los ya conocidos.

Para el logro de ello, fue necesaria la investigación y el desarrollo de híbridos submarinos no tripulados, los cuales son capaces de llegar a lugares remotos que pueden ser muy peligrosos para el ser humano, o incluso inasequibles.

Esto hace que las universidades a nivel mundial y en Latinoamérica tengan todas las prestaciones necesarias para poder lograr este objetivo con sus estudiantes, para así lograr la acreditación que todas las universidades a nivel de Latinoamérica buscan.

Probablemente, el proceso más significativo de transformación, que inició la Universidad Ecuatoriana en la última década del siglo anterior, fue la apertura a la aceptación de criterios de rendición social de cuentas, evaluación y acreditación de las Instituciones de Educación Superior. Esta iniciativa trascendió a la sociedad ecuatoriana provocando una reacción positiva y entusiasta en todos los sectores que la constituyen, reconociendo en ella una respuesta largamente esperada para sus demandas de transparencia respecto¹ a la tarea educativa de las instituciones de educación superior; así como, la identificación de un camino viable para alcanzar la excelencia académica que el país percibe de igual manera como indispensable, para acceder a su pleno desarrollo y a niveles apropiados de competitividad en un mundo cada vez más globalizado.

¹ <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001488/148843so.pdf>

Al realizar un estudio en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en la Facultad de Ciencias del Mar, cuenta con la carrera de Biología Marina y Pesquería. La Facultad de Ciencias del Mar, lidera el desarrollo productivo e investigativo de los sectores biomarítimo, acuícola, pesquero y ambiental de la región peninsular, y del país; esto, lo hace formando profesionales proactivos, éticos y solidarios, con sólidos conocimientos en biodiversidad marino-costera, conscientes del equilibrio ecológico, capaces de participar eficientemente en el manejo e implementación de técnicas de producción de los recursos marinos, contribuyendo al desarrollo sostenible y sustentable de la región y del país.

Para formar profesionales competitivos en Biología Marina, a partir de una enseñanza teórico-práctica con profunda vocación investigativa, los estudiantes de la facultad, necesitan realizar mediciones para consolidar su conocimiento práctico, y emitir sus conclusiones con los datos adquiridos en las profundidades de los mares, océanos y lagos, caso que no pueden realizar, debido a no poseer la instrumentación adecuada y por su alto coste.

1.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA

El desarrollo sostenido de los pueblos peninsulares, comienza a manifestarse a partir de la década del 70, demandando el incremento de instituciones educativas de nivel primario y medio, potenciando sobre manera el interés y el estudio por las ciencias naturales como primer factor para el logro posterior del país y la micro región, mediante la explotación y estudio de sus recursos naturales. Todo esto, hace que cada vez y con mayor insistencia, madure la idea de crear un acento de educación superior.

Con estos antecedentes, se crea la Universidad Estatal “Península de Santa Elena”, que es un ente jurídico, autónomo de servicio a la comunidad, con domicilio en el cantón, La Libertad, perteneciente anteriormente a la Provincia del Guayas, ahora a la Provincia de Santa Elena, creada mediante *Ley No. 110, publicada en el registro oficial No. 366, con fecha 22 de julio de 1998, la misma que se rige por la Constitución Política de la República y por la Ley de Educación Superior.

La UPSE mantiene como misión primordial, la investigación científica, la formación profesional y técnica, la difusión y desarrollo de la cultura nacional y por ello se hizo necesaria la creación de la Facultad de Ciencias del Mar con su Escuela de Biología Marina, para resolver problemas que se suscitan en la faja costera ecuatoriana, especialmente peninsular.

Actualmente, la Escuela de Biología Marina cuenta con 33 estudiantes, los cuales tienen la necesidad de realizar sus prácticas de estudios de mares, océanos y lagos, adquiriendo ciertos datos para llegar a sus respectivas conclusiones.

La Facultad de Ciencias del Mar, cuenta con la instrumentación, pero son pocos los dispositivos de medición debido a su alto coste de importación; este hecho, se remonta al poco tiempo que tiene fundada nuestra universidad, además, que el equipo no le da la facilidad necesaria para llevar esos datos a una computadora.²

Uno de los instrumentos de medición exactos y precisos es el CTD, que es una herramienta para realizar estudios oceanográficos de manera lineal.

Para realizar estas mediciones ya sea de temperatura, presión, altura, salinidad, existen equipos muy equipados como son el CTD que realiza

² www.upse.edu.ec/upse-facultades/cienciasdelmar/biologiamarina.html

esta función de manera lineal. Existen muchos modelos dependiendo de su alcance, pero estos instrumentos son de un alto costo por lo que se hace un poco difícil su adquisición para realizar pruebas por parte de los estudiantes.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Se conoce que actualmente en nuestra provincia, no existe la tecnología de adquisición de datos, por ser aún desconocida, a diferencia de algunos países más desarrollados donde ya está siendo utilizada, y brindando grandes beneficios como los mencionamos anteriormente. Es por esto que, debido al crecimiento de las aplicaciones con diferentes tecnologías en la actualidad, tales como wifi, infrarrojo, bluetooth, etc. Este proyecto se desarrolló con la finalidad de prestar comodidad a las personas dentro de su entorno de trabajo, creando un prototipo de robot sumergible que sea transportable, el cual no solamente se podrá guiar solo, sino que también, nos permitirá adquirir ciertos datos del exterior y el medio donde se desempeñe, ya que contará con sensores que permitirán tener una breve realidad de lo que nos rodea.

Con este proyecto, se busca incrementar dicho conocimiento en esta línea de investigación por parte de la Facultad de Ciencias del Mar. Su beneficio es aportar diferentes alternativas de solución para problemas específicos que involucran la integración de las áreas de Electrónica, Mecánica e Informática, desde un punto de vista mecatrónico.

Actualmente se han desarrollado aplicaciones adicionales en entornos que son inaccesibles inhóspitos para los seres humanos; así como, en entornos no estructurados y dinámicos en los cuales los problemas de percepción y planificación automática son muy complejos.

Sin embargo, aplicaciones de este tipo, no sólo pueden realizarse con el enfoque de robótica a control remoto, sino también, aplicaciones con fines educativos como lo son, enseñar a las personas a usar y/o programar un robot sin el acceso físico a él; así como, explorar y manipular objetos.

En general, la adquisición de datos puede tener las siguientes ventajas:

- Evita la presencia física.
- Proporciona una gran accesibilidad al medio de comunicación.
- Múltiples sitios de programación Movilidad y Economía.

1.4. OBJETIVOS

El Objetivo de este proyecto está basado en las necesidades que se encontró al realizar la encuesta, tomando como referencia los conocimientos ya adquiridos.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un prototipo de robot sumergible para la adquisición de datos de temperatura e imágenes, mediante el uso de módulos electrónicos, con el fin de aportar con una herramienta tecnológica de medición para los estudiantes en la Facultad de Ciencias del Mar.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las diferentes herramientas de medición de temperatura en el agua para conocer su funcionamiento.
- Diseñar y construir un prototipo de robot sumergible para ubicar la herramienta de medición.
- Implementar una estrategia que garantice que el robot sumergible cumpla con la ruta.
- Evaluar que el prototipo de robot sumergible, adquiera el dato de temperatura y lo pueda transmitir.

1.5. HIPÓTESIS

La implementación de un prototipo sumergible híbrido para la adquisición de datos de temperatura e imágenes, contribuye como herramienta de medición para los estudiantes en la Facultad de Ciencias del Mar.

1.6. RESULTADOS ESPERADOS

- Aportar con una nueva herramienta de medición de temperatura en el agua para la Facultad de Ciencias del Mar.
- Medir con el prototipo de robot sumergible la temperatura y transmitirla a la PC.
- Lograr que el prototipo de robot sumergible se Geo estabilice y pueda seguir su ruta.
- Se espera que el prototipo sumergible sirva en un 70% a los estudiantes de la Facultad de Ciencias del Mar como una herramienta de medición.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Para realizar este PROTOTIPO DE ROBOT SUMERGIBLE, se tomarán como referencia los datos proporcionados por la Escuela de Biología Marina de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Razón por la que se efectuó la revisión y análisis del material bibliográfico existente en la biblioteca de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, tanto física como virtual, y documentación del internet, que versa sobre este tema y del cual se tomó: el enfoque teórico del tema, que

determina los objetivos expuestos en el contenido del texto y que están relacionados con este estudio; y, el aporte de los antecedentes investigativos realizados.

2.1.1. HISTÓRICOS

Pierre Simon Laplace, quizás más que ninguno, ayudó a iluminar más del setenta por ciento de nuestro planeta que se encuentra cubierto por el manto del océano, y a promover su aprecio por todos los seres vivos.

La exploración del océano profundo, comenzó cuando el científico francés Pierre Simon Laplace, calculó la profundidad media del Océano Atlántico observando las mareas registradas en las costas brasileñas y africanas, determinándola en 3.962 metros. La primera forma de vida del océano profundo fue obtenida por una expedición investigadora noruega en 1864, cuando descubrieron un crinoideo pedunculado en un muestreo a 3.109 metros de profundidad. Descubrimientos más importantes tuvieron lugar a partir de 1870, cuando el Gobierno decretó nuevos géneros y 2 nuevas especies de organismos marinos durante el lapso de 5 años.

Los primeros instrumentos utilizados para la investigación del océano profundo fueron "muertos (pesos)" arrojados para sondear, usados por el explorador británico James Clark Ross, con los que se alcanzaron profundidades de 3.700 m. en 1840. La expedición del Challenger utilizó un instrumento similar llamado sonda mecánica Baillie para extraer muestras del lecho marino. La sonda tenía un tubo en la base que forzaba el lecho marino al casarlo. En los barcos vikingos también se empleaba este instrumento de una manera similar, usando un peso de plomo, medían la longitud en brazas de la cuerda cuando la arrastraban a bordo.

El 23 de enero de 1960, Jacques Piccard y Don Walsh alcanzaron el punto oceánico más profundo que se conoce a 10.911 m.³

Es así, como surge la necesidad de la exploración y medición de datos oceanográficos.

2.2. BASES TEÓRICAS

Tomando en cuenta todo lo relacionado a mediciones submarinas, prototipos electrónicos y sumergibles, en esta sección, daremos una descripción breve de los conceptos básicos que debemos tener para poder llegar a resolver el problema planteado en el capítulo I, tomando en consideración que son solo bases teóricas de libros, documentos y revistas electrónicas.

2.2.1. EL MEDIO ACUÁTICO

El prototipo de robot sumergible funcionará en un medio acuático; éste estará sometido a diferentes fenómenos físicos, como son: la flotabilidad, la presión y la hidrodinámica de los cuales dependerá su desempeño.

Flotabilidad

El correcto y eficaz funcionamiento, y control del prototipo de robot sumergible, va a depender del entendimiento de cómo afecta la flotabilidad a un cuerpo introducido en agua y de cómo controlar esta flotabilidad. Si un objeto es introducido totalmente o parcialmente en el agua, según el Principio de Arquímedes, éste flotará cuando el peso del volumen de agua desplazada iguale su propio peso.

Un objeto va a flotar siempre y cuando el peso del volumen de agua desplazada sea mayor a su propio peso. Cuando un objeto flota se dice que tiene flotabilidad positiva. Así mismo, si un objeto desplaza un volumen de agua que pesa menos que el peso del objeto, éste se

³ http://es.wikipedia.org/wiki/Exploraci%C3%B3n_de_las_profundidades_marinas

hundirá, y se dice que tiene flotabilidad negativa. Si el peso del volumen desplazado es igual al mismo peso del objeto, éste no flota ni se hunde; aquel estado se lo llama flotabilidad neutra.

La flotabilidad neutra, es el estado ideal para el funcionamiento del robot sumergible. Con esta flotabilidad, el vehículo podrá moverse con más libertad en todas las direcciones y con menos esfuerzo para los motores. A pesar de ello, por razones de seguridad con el robot sumergible, se buscará una flotabilidad ligeramente positiva. Así, se evitará que el vehículo no tripulado se hunda hasta al fondo del mar, en donde puede dañar vida marina, y también se permitirá recuperar el robot sumergible en la superficie en caso de una falla en su funcionamiento.

Debido a que la flotabilidad depende de la densidad del agua, mientras más densa sea el agua, mayor será la fuerza de empuje para un cierto desplazamiento de agua. El agua salada tiene una densidad aproximada de 1,028 Kg/L, y es más densa que el agua dulce (0,958 Kg/L) debido a las sales minerales disueltas en su composición, por lo tanto, cualquier cuerpo flotará más en agua salada que en agua dulce. ⁴

Presión del agua

En la tierra un objeto soporta la presión de la cantidad de aire que hay sobre éste. Dicha presión recibe el nombre de presión atmosférica, la misma que varía de acuerdo al clima, y disminuye conforme se aumenta la altitud.

El agua es un fluido que pesa y ejerce una presión en todos los cuerpos sumergidos en ella, esta presión no es nada más que el peso del agua sobre el cuerpo sumergido, pero debido a que el agua es más densa y

⁴ http://neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti/No_me_salén/FLUIDOS/FT_arquimedes.html

pesada que el aire, los cambios en presión debajo del mar son mucho más significativos.

La presión ejercida por el agua depende de la densidad del líquido y de la profundidad a la que esté sumergido el objeto. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \rho gh$$

Dónde:

ρ - Densidad del fluido = 1028 kg /m³ para el agua salada.

g- Gravedad = 9.81 m / s².

h- Profundidad.

Tomando en cuenta la presión atmosférica en la superficie se calcula la presión absoluta como:

$$P = P_0 + \rho gh$$

Dónde:

P_0 = Presión atmosférica.

A nivel del mar, la presión atmosférica se mantiene relativamente constante, y se usa una referencia estándar llamada 1 atmósfera (atm) porque es el peso o presión por la atmósfera. Diez metros de agua salada ejercen la misma presión que 1 atmósfera o 1atm, por lo tanto, cada 10 m. de profundidad la presión aumenta en 1 atm.

Un buzo, durante una inmersión está expuesto a diferentes riesgos generados por la presión del agua. Después de los 30 metros de profundidad, aquel profesional puede sufrir lesiones debido a los cambios volumétricos en las cavidades que contienen aire en el cuerpo como los pulmones, senos nasales y canales auditivos; el buzo puede sufrir efectos bioquímicos por la compresión del oxígeno en el tanque. Sin embargo, existen personas calificadas para realizar inmersiones de buceo a

grandes profundidades que utilizan equipo más especializado, pero el tiempo de inmersión es limitado a pocos minutos.

Herramientas de exploración marina como los vehículos robotizados, son diseñadas para operar a una profundidad mayor a 30 metros. Estas herramientas sumergibles permiten explorar en las profundidades, sin exponer a riesgos a los exploradores.

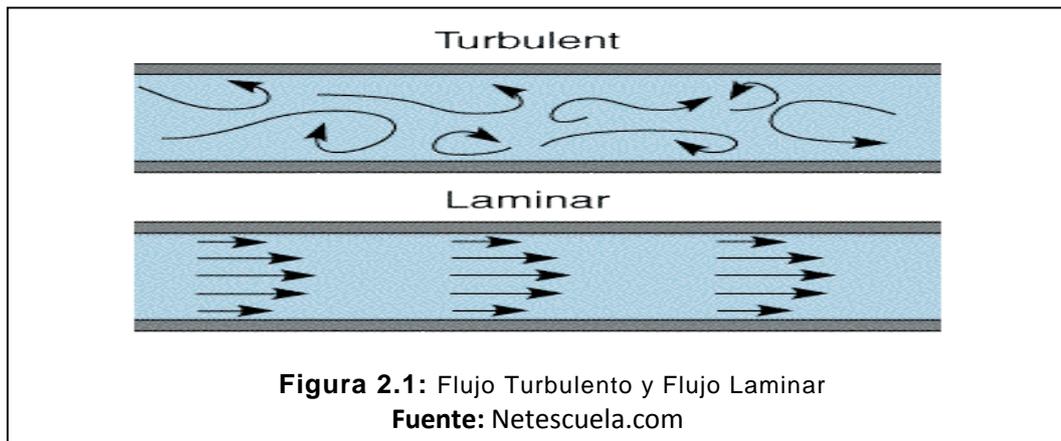
Hidrodinámica

El flujo de un fluido puede ser muy complejo, pero la hidrodinámica nos ayuda a entender en cierta medida los fenómenos asociados. La hidrodinámica no es nada más que la ciencia de un fluido en movimiento, en este caso el agua. Para el estudio de la hidrodinámica se realizan dos aproximaciones:

- La densidad del agua no varía con el cambio de presión, a diferencia de lo que pasa con los gases.
- El agua es un fluido incompresible y no tiene fricción interna o viscosidad; en otras palabras, no se toma en cuenta los esfuerzos cortantes producidos por fuerzas de fricción internas.

El flujo del agua puede ser laminar o turbulento. Un flujo es laminar cuando las partículas del fluido se mueven de manera ordenada, con trayectorias en línea recta, y se mueve formando líneas paralelas unas con otras como la Ilustración inferior de la Figura 2.1.

Por otro lado, un flujo es turbulento cuando el movimiento del fluido es de manera desordenada, es decir, cuando las partículas del fluido se mueven en círculos formando remolinos aleatorios en el fluido como se muestra en la ilustración superior de la figura 2.1



Las corrientes marinas crearán flujos turbulentos que afectarán la estabilidad de un cuerpo durante una inmersión. Un ROV tiene que operar y desplazarse en presencia de corrientes marinas. El diseño del ROV debe garantizar la estabilidad del cuerpo, aún si el sistema es perturbado.

2.2.2. ROVs (Vehículos Operados Remotamente) y AUVs (Vehículos Autónomos Submarinos).

Robots que pueden ser tanto Vehículos Operados Remotamente (ROVs), como Vehículos Autónomos Submarinos (AUVs). Hay dos tipos básicos de vehículos submarinos no tripulados: los ROVs se encuentran conectados a la superficie a través de un cable; y los AUVs, como su nombre lo indica, son vehículos que operan de manera autónoma y no cuentan con un cable como en el caso de los ROVs.⁵

2.2.3. AUVs⁶

Los Vehículos Autónomos Submarinos (AUVs - por sus siglas en inglés), forman una nueva generación de vehículos robóticos para la exploración. Poseen su propio suministro de energía y no tienen ningún tipo de liga física con la superficie.

Utilizan una computadora o alguna clase de controlador o procesador electrónico para controlar el vehículo durante su misión. Poseen sensores

⁵ lapica.cesca.es/index.php/RIAll/article/download/1683/5461

⁶ http://ccc.inaoep.mx/~munoz/docs/PalaciosMunozRubin_CIINDET08.pdf

conectados a la computadora, los cuales obtienen información de la navegación, ej.: profundidad, velocidad y tiempo del viaje, etc. Los sonares permiten a estos vehículos evitar obstáculos y mapear el fondo. Pueden también utilizar cámaras de video para capturar y almacenar imágenes del viaje. Finalmente, cuando el AUV ha terminado de realizar su misión, descarga toda la información recolectada, si así se desea, en una computadora que se encuentra en la superficie, ej.: en un barco.

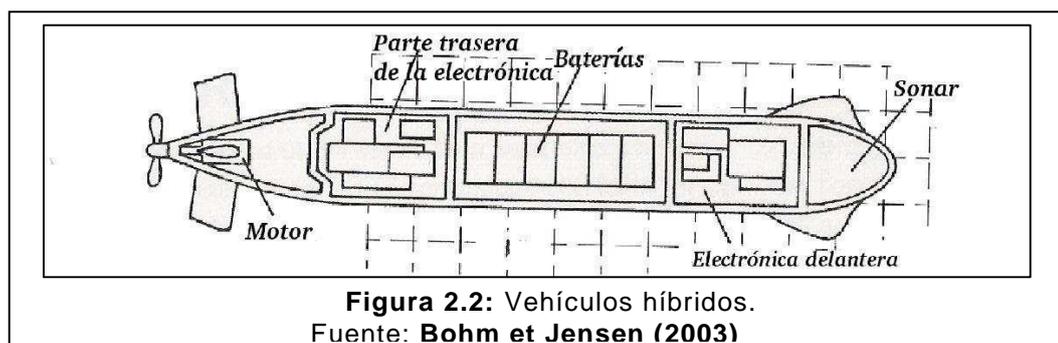
Existen tres desventajas en los AUVs:

- 1) La cantidad de energía disponible es limitada.
- 2) Los sensores no proporcionan información lo suficientemente confiable.
- 3) La falta de computadoras y programas capaces de procesar las grandes cantidades de datos generados en tiempo real por los sensores.

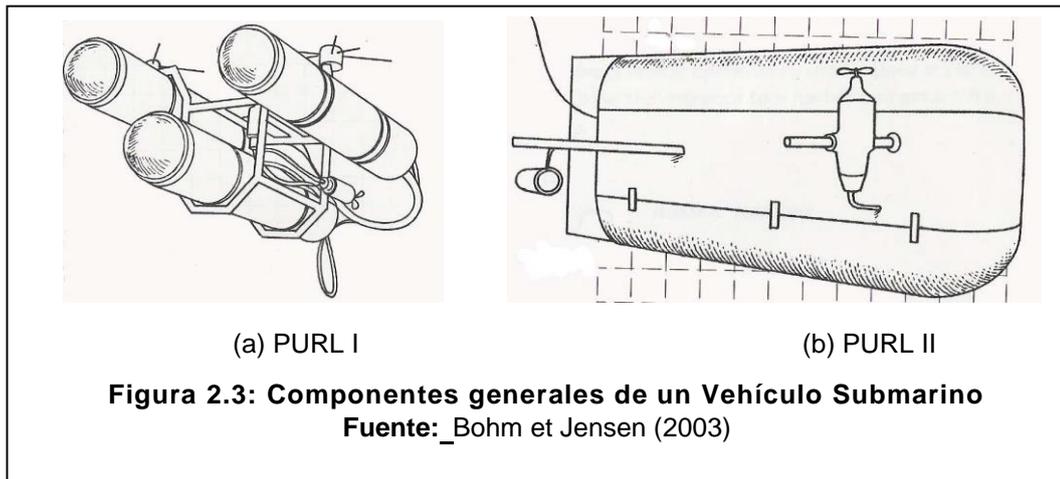
Las mejoras futuras tanto en baterías como en sensores, podrán ayudar a que los AUVs sean la herramienta principal de los exploradores y de los científicos.

a) Vehículos híbridos.

Los vehículos híbridos son sistemas de propósito especial, combinan características de diferentes tipos de ROVs y AUVs, ej. PURL, es un AUV construido por el Underwater Research Lab de la Universidad Simon Fraser in British Columbia. Los PURL I y II (figura 2.2) pueden operar como AUVs, pero también tienen la opción de ser controlados desde la superficie como ROVs, usando un cable de fibra de vidrio.

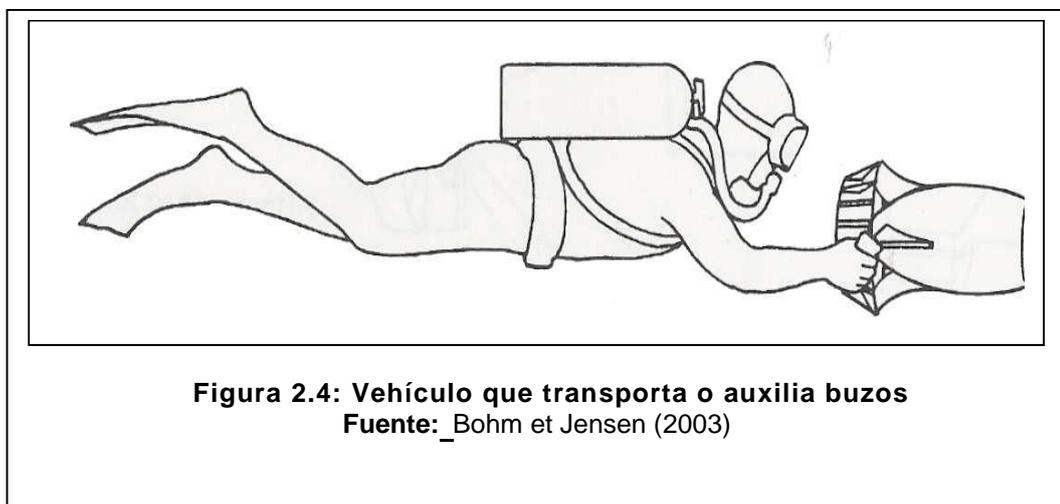


Ambos llevan sus baterías a bordo. Otro ejemplo de vehículos híbridos es Duplus, una combinación única entre un ROV y un sumergible tripulado. Puede operar como un ROV, pero además puede llevar a un operador a bordo para realizar su misión. Usa un manipulador y cámaras (Figura 2.3).



b) Vehículos que transportan buzos.

A menudo los buzos necesitan ser transportados rápidamente a un sitio de trabajo específico. Este tipo de vehículos proporcionan una plataforma segura y conveniente para acarrear herramientas y aire. Los últimos avances en vehículos de este tipo los hacen ser los más seguros en su rama, ya que algunos proporcionan un espacio cálido y seco para la descompresión mientras los buzos llegan a la superficie (figura 2.4).



2.2.4. EL MICROCONTROLADOR

Uno de los componentes básicos y fundamentales de todo sistema hoy en día es el microcontrolador, ya que posee múltiples funciones y puede ser usado en diferentes ramas de la tecnología.

¿Qué es un microcontrolador?⁷

Es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de «controlador incrustado» (*embedded controller*).

El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

Un microcontrolador es un computador completo, aunque de limitadas prestaciones, que está contenido en el chip de un circuito integrado y se destina a gobernar una sola tarea.

El número de productos que funcionan en base a uno o varios microcontroladores aumenta de forma exponencial. No es aventurado pronosticar que en el siglo XXI habrá pocos elementos que carezcan de microcontrolador. En esta línea de prospección del futuro, la empresa Dataquest calcula que en cada hogar americano existirán varios centenares de microcontroladores en los comienzos del tercer milenio.

⁷ http://microcontroladorescbtis128.blogspot.com/2012_09_01_archive.html

La industria Informática acapara gran parte de los microcontroladores que se fabrican. Casi todos los periféricos del computador, desde el ratón o el teclado hasta la impresora, son regulados por el programa de un microcontrolador

Los electrodomésticos de línea blanca (lavadoras, hornos, lavavajillas, etc.) y de línea marrón (televisores, vídeos, aparatos musicales, etc.) incorporan numerosos microcontroladores. Igualmente, los sistemas de supervisión, vigilancia y alarma en los edificios utilizan estos chips. También se emplean para optimizar el rendimiento de ascensores, calefacción, aire acondicionado, alarmas de incendio, robo, entre otros.⁸

ARDUINO MEGA⁹

El Arduino Mega es una placa microcontrolador basada en ATmeg1280 (datasheet). Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 14 proporcionan salida PWM), 16 entradas digitales, 4 UARTS (puertos serie por hardware), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP y botón de reset. Contiene todo lo necesario para hacer funcionar el microcontrolador; simplemente conéctalo al ordenador con el cable USB o aliméntalo con un transformador o batería para empezar.

El Arduino Mega se puede programar con el software Arduino.

El ATmega1280 en el Arduino Mega viene precargado con un gestor de arranque (bootloader) que permite cargar nuevo código sin necesidad de un programador por hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo STK500 original. También te puedes saltar el gestor de arranque y programar directamente el microcontrolador a través del puerto ISCP (In Circuit Serial Programming).

⁸ www.fv.uan.edu.mx/file.../Tema6_-_Microcontroladores_PIC_16F84.P

⁹ <http://arduino.cc/es/Main/ArduinoBoardMega>

Microcontrolador	ATmega1280
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines E/S digitales	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 mA
Intensidad en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	128 KB de las cuales 4 KB las usa el gestor de arranque(bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

2.2.5. SENSORES¹⁰

Un sensor es un aparato capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, entre otros. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica, una capacidad eléctrica como en un sensor de humedad, una tensión eléctrica como en un termopar, una corriente eléctrica como un fototransistor, entre otros.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable censada dentro de un rango, para fines de control de dicha variable en un proceso.

¹⁰ es.wikipedia.org/wiki/Usuario:Davidsate/pruebas

Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo.

Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, Robótica, entre otros.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, entre otros.

2.2.6. ADQUISICIÓN DE DATOS ¹¹

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ)

Procesos de adquisición de datos

Dato: Representación simbólica (numérica, alfabética...), atributo o característica de un valor. No tiene sentido en sí mismo, pero

¹¹ http://controliii-uba-islenu.blogspot.com/2011_06_01_archive.html

convenientemente tratado (procesado) se puede utilizar en la relación de cálculos o toma de decisiones.

Adquisición: Recogida de un conjunto de variables físicas, conversión en voltaje y digitalización de manera que se puedan procesar en un ordenador.

Sistema: Conjunto organizado de dispositivos que interactúan entre sí ofreciendo prestaciones más completas y de más alto nivel. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en digitales, se envían a través del bus de datos a la memoria del PC. Una vez los datos están en memoria pueden procesarse con una aplicación adecuada, archivarlas en el disco duro, visualizarlas en la pantalla, entre otros.

Bit de resolución: Número de bits que el convertidor analógico al digital (ADC) utiliza para representar una señal.

Rango: Valores máximo y mínimo entre los que el sensor, instrumento o dispositivo funcionan bajo unas especificaciones.

2.2.7. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL¹²

El SPG o GPS (Global Positioning System: sistema de posicionamiento global) o NAVSTAR-GPS1 es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y actualmente operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir

¹² TouringGps - Proyecto Corporativo Rothko.pdf

toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante "triangulación", la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenada reales del punto de medición.

2.2.8. SOFTWARE.

Para poder entrar a un nivel de software tenemos que tener bien definido los conceptos asociados con la programación, estos parámetros son: compilador, depurador y simulador.

Compilador.

La programación en un lenguaje de alto nivel como el C o el Basic permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador. Las versiones más potentes suelen ser muy caras, aunque para los microcontroladores más populares pueden encontrarse versiones demo limitadas e incluso compiladores gratuitos.

Depuración.

Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el

buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.

Simulador.

Son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente es que es difícil simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el paso físico de la implementación de un modo más seguro y menos costoso.¹³

2.3. VARIABLES.

Variable Independiente: Implementación de un prototipo sumergible híbrido para la adquisición de datos de temperatura e imágenes

Variable Dependiente: contribuye como herramienta de medición para los estudiantes en la Facultad de Ciencias del Mar.

2.4. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

La metodología que se utilizara en este proyecto será la metodología Métrica V3. A su vez esta se divide en fases en las cuales usamos diferentes métodos de investigación para poder alcanzar el objetivo de cada fase, debido a que están estructuradas de diferentes formas.

Los métodos empíricos permiten la obtención y elaboración de los datos empíricos y el conocimiento de los hechos fundamentales que caracterizan a los fenómenos, este método será utilizado en las fases 1 y 2.

¹³ <http://anibalbizama.blogspot.com/2012/11/10-aplicaciones-con-los.html>

El método sistémico vendría a ser un orden manifestado por reglas, que nos permitiría llegar a tener una comprensión sistémica de una situación dada, este método se aplicará en la Fase 3 y 4.

Las fases que comprende el método de desarrollo orientado a prototipos serían:

FASE 1

Investigación preliminar. Las metas principales de esta fase son: determinar el problema y su ámbito, la importancia y sus efectos potenciales sobre la organización por una parte y, por otro lado, identificar una idea general de la solución para realizar un estudio que determine la factibilidad de una solución.

FASE 2

Definición de los requerimientos del sistema. El objetivo de esta etapa es registrar todos los requerimientos y deseos que los usuarios tienen en relación al proyecto bajo desarrollo. Esta etapa es la más importante de todo el ciclo de vida, es aquí donde el desarrollador determina los requisitos mediante la construcción, demostración y retroalimentaciones del prototipo. ¹⁴En esta fase se hace uso de la información proporcionada por las encuestas realizadas.

FASE 3

Diseño técnico. Esta fase está dirigida a modelar el objeto mediante la determinación de sus componentes, así como la relación entre ellos. La relación entre ellos determina la estructura del objeto (Método Sistémico). Esta fase de diseño técnico tiene como objetivo realizar la documentación del diseño que especifica y describe la estructura del prototipo, la interfaz de usuario y las funciones.

¹⁴ <http://modelossw.blogspot.com/2010/08/prototipo-de-software.html>

FASE 4

Programación y prueba. Es donde los cambios identificados en el diseño técnico son implementados y probados para asegurar la corrección y completitud de los mismos con respecto a los requerimientos.¹⁵

2.5. TÉRMINOS BÁSICOS

Es importante señalar que en flotación, todos los elementos que se encuentren por encima de la línea de flotación (aún aquellos que en inmersión tengan flotabilidad positiva) actuarán como generadores de peso. Por ello, para facilitar el equilibrio es deseable que todo aquello que se halle por encima de la línea de flotación sea lo más liviano posible y de flotación casi neutra.

Eslora: Dimensión de un vehículo acuático tomada a su largo, desde la proa hasta la popa.

Estabilidad: Es la facultad de un submarino de recobrar su posición de equilibrio.

Flotabilidad: Es la cualidad de mantenerse en la superficie del agua sin hundirse.

Fuerza de empuje: El empuje es la fuerza que todo fluido ejerce sobre un cuerpo cuando éste se sumerge en él. Su valor es el peso del fluido desalojado¹⁶. Si se tomara el volumen del agua desplazada por la parte sumergida del submarino y se llenara de agua, se podría obtener el centro de gravedad de este nuevo cuerpo, y es en ese punto, donde actúa la fuerza de empuje. Nótese que este centro de gravedad imaginario no tiene por qué coincidir con el centro de gravedad real del cuerpo.

Esto es importante al construir vehículos acuáticos, pues si el centro de gravedad del vehículo se encontrara por encima del centro de empuje (o

¹⁵ <http://sistemasdeinformacion2josemanuel.blogspot.com/2010/06/modelo-por-prototipos.html>

¹⁶ <http://hidrostatik.blogspot.com/2009/02/en-que-parte-del-cuerpo-actua-el-empuje.html>

centro de flotabilidad CF), cualquier ola haría volcar al vehículo. Si por el contrario, el CG está por debajo del centro de empuje, ambas fuerzas, empuje y peso, crearían un par de fuerzas restauradoras que enderezarían al vehículo. Por esta razón se ha de procurar que los motores, la carga y todas las partes pesadas del vehículo acuático estén lo más bajo posible.

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 aerodinámicos 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 al eje de salida de un motor de pistón o turbina, a través de engranajes o poleas (reductores), lo cual proporciona el movimiento de rotación. Las hélices son el elemento propulsor del submarino, que al girar en el sentido del mismo hacen moverse al sub- marino.

Inmersión: Es la entrada o fase durante la cual el submarino se sumerge dentro del agua.

Lastre: Peso agregado a un vehículo submarino, ej. Piedras, plomos, arena, agua u otra cosa, con la finalidad de que el vehículo se sumerja en el agua hasta donde convenga. Como los submarinos están destinados a descender a grandes profundidades, deben ser capaces de sumergirse, de emerger y de flotar en la superficie. Todo esto lo consiguen alterando su peso gracias a los tanques de lastre.

Para emerger utilizan aire comprimido, que expulsa el agua de los tanques de lastre a través de unas válvulas. Cuando el submarino llega a la superficie, los tanques de lastre se vacían por completo. Para la

inmersión, el agua entra por las válvulas inferiores del vehículo y el aire va saliendo por las superiores.

Línea de flotación: También llamada waterline, es una línea que puede ser pintada, graduada o no, que separa la obra viva de la obra muerta de un vehículo acuático y que señala hasta qué grado se hunde la obra viva de una determinada nave.

Manivela: Una manivela es un dispositivo por medio del cual el movimiento alternativo puede transformarse en movimiento rotatorio o momento de torsión aplicado a un eje. Cuando se incorporan varias manivelas a un eje, éste se denomina cigüeñal.

Masa: Es la cantidad de materia contenida en un objeto. La masa es una magnitud invariante que no depende de ningún modo de la situación física en la que se encuentra el objeto, i.e. no importa si el objeto está en la tierra, en la luna, o flotando en el espacio, porque la cantidad de materia del objeto es siempre la misma. Comúnmente se le mide en unidades de gramos (gr), se puede expresar mediante la expresión $m = P/g$, donde P es el peso y g es la gravedad.

Obra muerta: Es la parte del casco que sobresale de la superficie del agua cuando el submarino o la embarcación se encuentra flotando en la superficie del agua.

Obra viva o carena: Es la parte del submarino o embarcación situada por debajo de la línea de flotación, i.e. es la parte que se encuentra sumergida cuando el submarino se encuentra flotando en la superficie.

Palas: Aspas de la hélice que transforman el movimiento circular en un empuje.

Peso: Es la fuerza con la que la Tierra atrae a un cuerpo. Dado que la intensidad de la gravedad varía según la posición, ej. en los polos es igual a $9,83\text{m/s}^2$, en la línea ecuatorial es igual a $9,79\text{m/s}^2$ y en latitud de 45°

es igual a $9,8\text{m/s}^2$. Si no se especifica lo contrario, se entiende que se trata del peso provocado por una intensidad de la gravedad definida como normal de valor $9,81\text{m/s}^2$. La fuerza gravitatoria que actúa sobre un cuerpo de masa m se puede expresar matemáticamente por la expresión: $P = m \times g$, donde m es la masa y g es la gravedad (Peso).

Planos de inmersión: Trabajan como “alas” hidrodinámicas siempre y cuando el submarino vaya a una velocidad considerable. Crean un empuje hacia abajo (inmersión) o hacia arriba (emersión) dependiendo de la posición en la que sean colocados. Toda maniobra se realiza con ambos planos, delanteros y traseros trabajando juntos; estos durante la navegación deben estar totalmente sumergidos y deben de ser de generosas dimensiones.

Popa: Parte trasera del vehículo acuático.

Proa: Parte delantera del vehículo acuático.

Presión: Es una propiedad que relaciona una fuerza con la superficie sobre la que actúa, se mide por el cociente entre la fuerza y la superficie. La unidad de presión en el Sistema Internacional (SI) es el pascal (Pa). La presión dentro de un fluido actúa en forma perpendicular en las superficies de los cuerpos en él sumergidos.

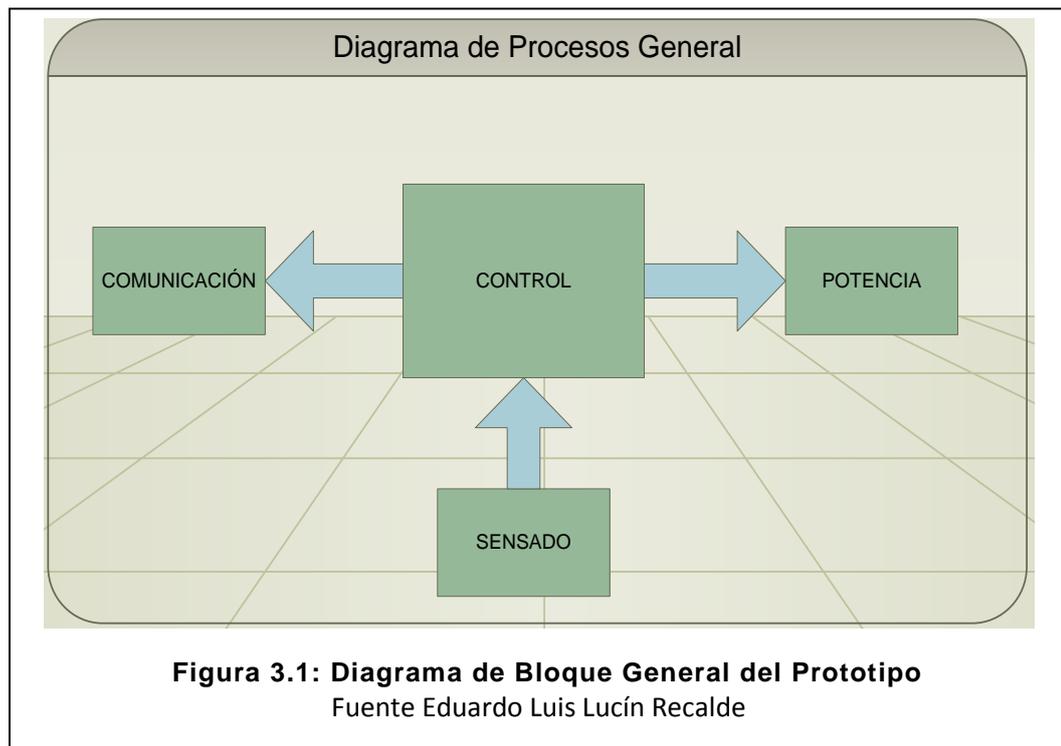
CAPÍTULO 3

ANÁLISIS

En Base al problema encontrado, realizamos el respectivo análisis que pueda ayudar a mejorar el problema encontrado.

3.1 DIAGRAMA DE PROCESOS

A continuación se muestra el diagrama de bloques del sistema que controlará el prototipo sumergible; se consideró dividir nuestro sistema en pequeños bloques que vamos a considerar como subsistemas, como se aprecia, se ha considerado los sistemas de comunicación, control, Sensado y potencia. (Ver figura 3.1)



A continuación se describe el contenido de cada bloque del diagrama general.

3.1.1 Descripción funcional de los procesos.

Sistema de Radio Frecuencia:

El sistema de radio frecuencia consta de la transmisión de señales a una frecuencia apropiada para el envío de la información inalámbrico del prototipo de robot sumergible.

El desarrollo de esta etapa está en progreso por lo que no se obtienen resultados palpables a este punto del avance del trabajo de tesis. Sin embargo la investigación realizada ha obtenido resultados que suman a esta tesis.

La transmisión de radio frecuencia por debajo del agua no es muy común, incluso no es una opción tomada con demasiado optimismo dentro de la actual tecnología de submarinos experimentales para investigación. Este

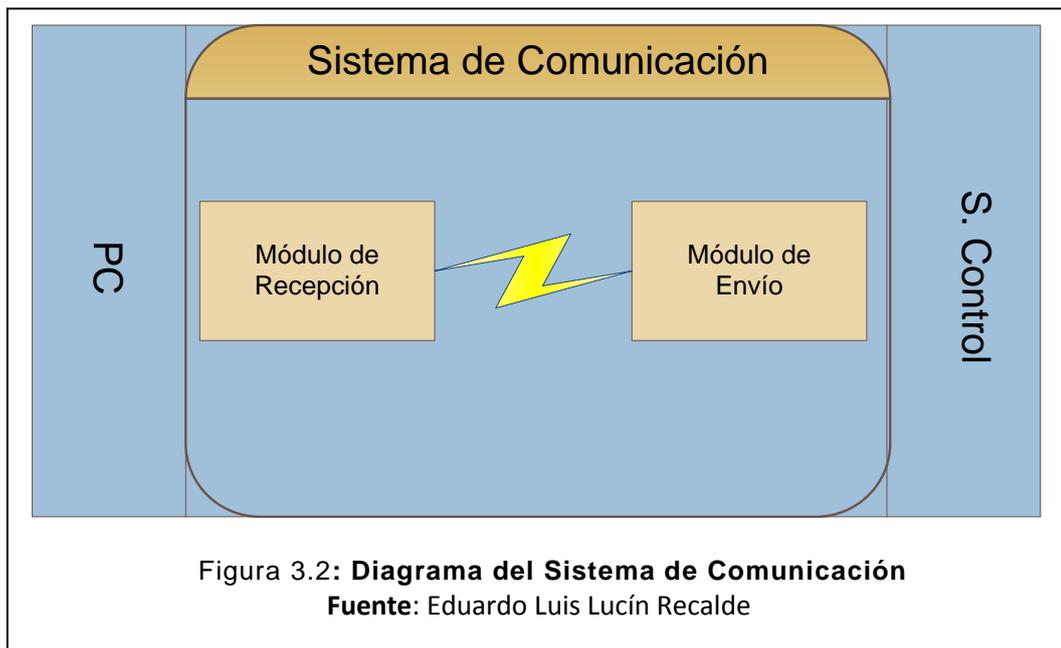
inconveniente surge porque las ondas electromagnéticas no son transportadas adecuadamente por el agua, y si fuera salada es menor la transmisión, es decir que las señales de radio frecuencia se atenúan considerablemente dentro del agua, sobre todo porque al entrar en contacto con otro medio de diferente densidad, en este caso del agua, pierden potencia y no llegan con la misma fidelidad con la que uno envía estas señales.

Aunque es difícil realizar este tipo de transmisión, es posible implementarla, pero con ciertos criterios. Por ejemplo es muy recomendable transmitir usando una frecuencia muy baja al igual que las que usan los submarinos de gran dimensión. Un problema con esto sería que no existen mucho módulos de transmisión y recepción en el mercado público, al igual que las antenas por lo que el acceso a estos son muy reducidos. Otra especificación es que se tiene que aislar convenientemente la antena para evitar corto circuito con el agua ya que esta es conductora.

Vale la pena mencionar que la transmisión será controlada con un módulo de mando integrado por un microcontrolador ATmega, el cual es apropiado para este tipo de tarea.

Finalizando este punto se concluye que al no poderse realizar la comunicación en tiempo real bajo el agua se guardará la información en un SD y cuando el sumergible este en línea de visión en la superficie se procederá a enviar los datos de temperatura guardados.

Este proceso está dedicado a la comunicación inalámbrica entre el prototipo y su estación, esta comunicación se realiza mediante módulos de radiofrecuencia. La figura 3.2 muestra los módulos de envío y recepción que formarán parte del sumergible para que este pueda enviar el dato de temperatura adquirido a la PC.



Sistema de Control:

El sistema de control comprende el funcionamiento de su respectiva tarjeta, además de una comunicación adecuada entre los componentes a su alrededor tales como las tarjetas de potencia, las tarjetas de Sensado, la tarjeta de transmisión por radiofrecuencia y alguna opción de conexión adicional que pueda presentarse.

Si bien se trata de una sola tarjeta, también representa la más importante dentro del funcionamiento general del robot sumergible. La tarjeta de control, como su nombre lo indica, contiene las instrucciones de control necesarias para brindarle maniobrabilidad al prototipo y no solo eso, sino además ser capaz de evitar choques con obstáculos manejando las señales que provienen de los sensores de proximidad.

Las instrucciones de control en las que se basa este sistema son comandos lógicos que trabajan con las señales de entrada y salida con las que cuenta el microcontrolador. Afortunadamente el empleo de señales de entrada para elaborar la lógica del programa puede ser

manejable y configurable, dándonos la libertad para desarrollar un adecuado control para enviar apropiadas señales de salida a los actuadores, en este caso los motores de navegación.

Para un mejor entendimiento se explica la lógica del control en un diagrama de flujo, en donde se detalla el procedimiento que se sigue para elaborar las instrucciones que componen el programa principal y sub programas que ayudan a controlar convenientemente al robot sumergible. Dichas instrucciones se basan en utilizar recursos propios del microcontrolador, y así explotar su capacidad en función de sistema del control electrónico.

La figura 3.3 muestra claramente lo que va a realizar el Sistema de Control y hacia dónde va a enviar información, ese sistema es el encargado de recibir toda la Información de los sensores para poder guardarla, y también es la encargada de recibir la señal satelital para poder Geo estabilizar el sumergible y que realiza las órdenes al sistema de potencia para su respectivo movimiento, este control es el que va a estar formado por el microcontrolador que capítulos más adelante mencionamos.

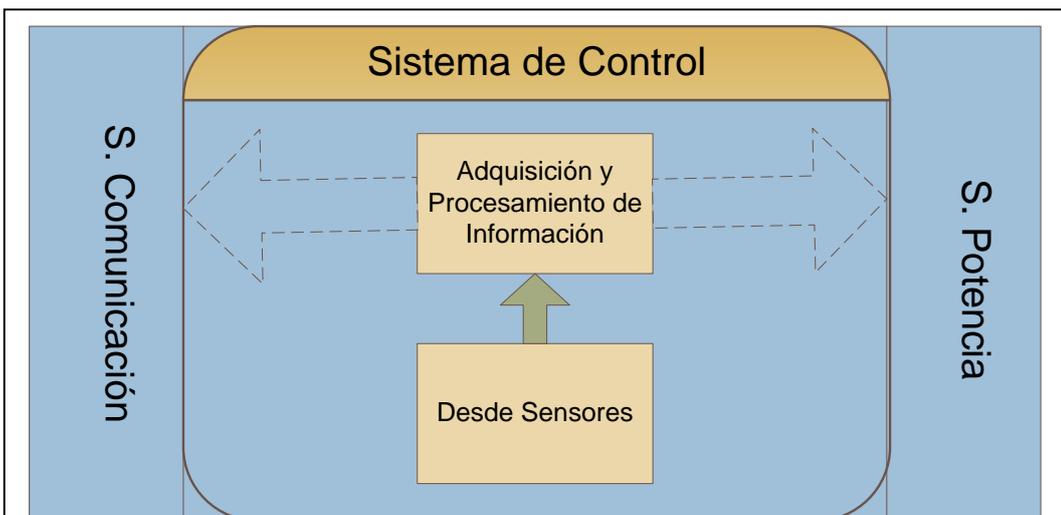


Figura 3.3: Diagrama del Sistema de Control

Fuente: Eduardo Luis Lucín Recalde

Sistema de Potencia:

El sistema de potencia comprende el funcionamiento, valga la redundancia, de las tarjetas de potencia y la correcta comunicación con el sistema de control. En capítulos posteriores se darán a conocer el diseño y la implementación de las tarjetas que componen este sistema, dando detalles del funcionamiento de estas por lo que en este capítulo no se tocará dichos detalles, pero si se tomará en cuenta algunas especificaciones necesarias para explicar el trabajo final de estas tarjetas.

Las tarjetas de potencia fueron implementadas con la finalidad de transmitir la energía necesaria para mover los motores empleados en el prototipo de robot sumergible, y que al fin y al cabo darán la maniobrabilidad necesaria para controlarlo y poder navegar sin dificultades. Dichas tarjetas, en primera instancia, fueron probadas individualmente para verificar que no hubiesen errores de diseño o de conexión que pudiesen dañar los componentes a su alrededor, tales como los motores o las tarjetas que controlarían las acciones de navegación, en esta parte del diseño tenemos que analizar el tipo de actuadores a utilizar, pues esto dependerá mucho del diseño que tenemos que adquirir.

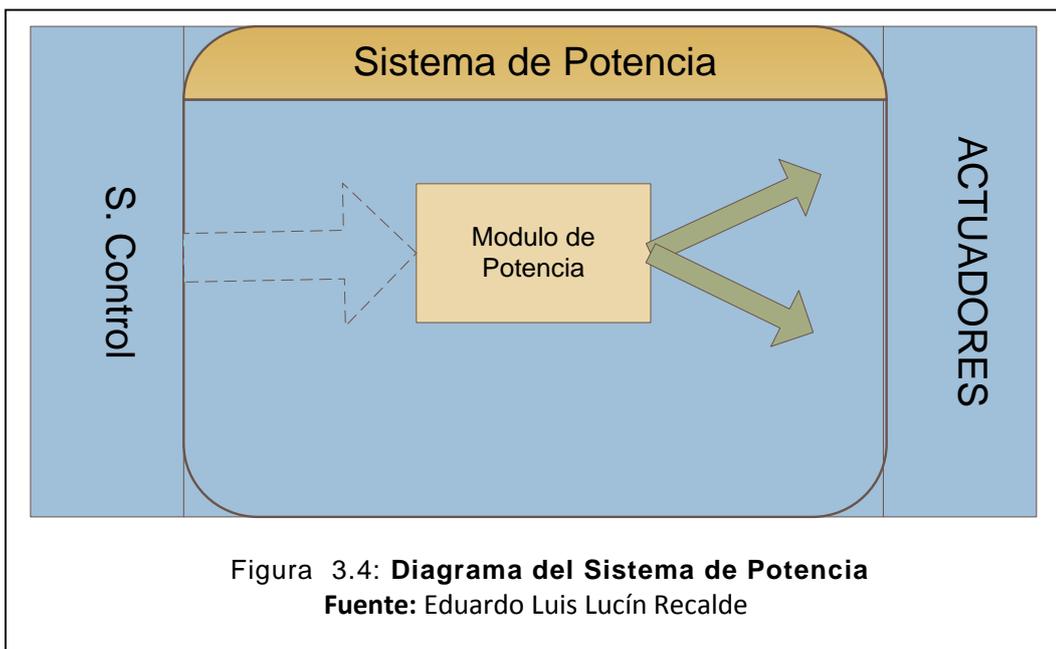
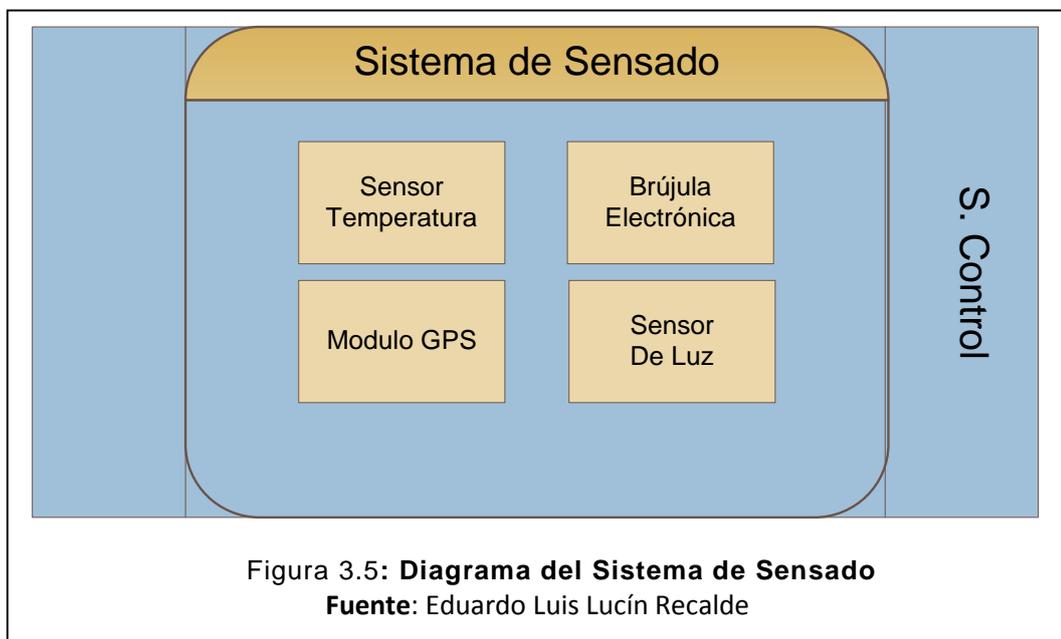


Figura 3.4: **Diagrama del Sistema de Potencia**
Fuente: Eduardo Luis Lucín Recalde

El sistema de Potencia mostrado en la figura 3.4 está conformado por un módulo de potencia que es el encargado de aislar el voltaje alto con el que trabajan los actuadores del voltaje mínimo con el que trabaja el sistema de control con el fin de preservar el buen estado de la placa de control.

Sistema de Sensado:

El sistema de Sensado consiste en la funcionalidad de las tarjetas de los sensores como lo son el sensor de temperatura, brújula electrónica, GPS.



La figura 3.5 muestra los sensores que formarán parte del Sistema de adquisición de información para el correcto funcionamiento del prototipo de sumergible, el sensor de temperatura es el que me permitirá adquirir el dato de temperatura que vamos a guardar para después enviar a través del sistema de Comunicación.

El modulo GPS trabajará en conjunto con la brújula electrónica que permitirá Geo estabilizar el prototipo y direccionarlo al punto de llegada programado.

El sensor de luz permitirá activar un encendido automático de luces en el caso de que haya poca visibilidad en la profundidad del agua.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

En este capítulo veremos lo correspondiente al funcionamiento general del prototipo, centrándonos en lo que necesita cada tarjeta para su correcto funcionamiento y lo que necesita la Facultad de Ciencias del Mar para así poderlas implementarlas y que se puedan conectar entre sí.

De acuerdo a las encuestas realizadas a los estudiantes y docentes podemos analizar y concluir ciertos requisitos que se deberán incluir en el prototipo de sumergible que se va a construir.

A continuación se presentarán los requerimientos generales del proyecto prototipo sumergible UPSE.

- 1.- El prototipo debe estar construido de materiales no Corrosibles.

- 2.- El sumergible debe de ser totalmente autónomo, es decir que no necesita tener un cordón umbilical que lo sostenga y que lo alimente, por lo tanto debe incluir un sistema de baterías recargables dentro del mismo para su funcionamiento.

- 3.- El sumergible tendrá una flotabilidad positiva en el caso de fallo del sistema el sumergible no se hundirá sino que saldrá a flote.

- 4.- El prototipo sumergible debe prestar la facilidad de enviar el dato de temperatura adquirido a la PC y guardar para su respectivo estudio, esto debe realizarse mediante conexión inalámbrica, cable o una tarjeta que almacene la información.

Las características presentadas serán los parámetros de diseño con los que se desarrollara el proyecto. Sin embargo, algunos de ellos podrían variar de acuerdo a la evolución del proyecto.

3.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA

En esta sección explicaremos y mencionaremos los implementos a utilizarse así como el análisis económico.

3.3.1 Análisis Técnico.

Luego de un análisis realizado para la implementación de nuestro prototipo de robot sumergible se determinó que los recursos necesarios para el desarrollo e implementación son:

- Hardware para el Desarrollo
- Software para el Desarrollo de la programación.
- Hardware para Implementación del prototipo

Para cada ítem se determinó lo necesario para su funcionamiento que a continuación mostramos en la tabla 3.1.

Cantidad	Hardware	Descripción
1	Computador de portátil	Procesador AMD A6 2.10 GHz, 4GB de memoria, 750 GB de Disco Duro
1	Impresora	Canon pixma – Multifunción
1	Disco externo	120 Gb.

Tabla 3.1 Hardware para el desarrollo

Cantidad	Software	Descripción
1	Sistema Operativo	Windows 7 Ultimate
1	Microsoft Office	2013 Profesional
1	Labview	2010
1	Software Arduino	Versión 1.5
1	Proteus	CS3

Tabla 3.2 Software para el desarrollo

Cantidad	Hardware	Descripción
1	Tarjeta Arduino Mega	Microcontrolador ATmeg1280
1	GPS para Arduino con antena	Shield para adaptar a Arduino,
1	Brújula Electrónica	Basada en HMCL5388
2	Módulos inalámbricos Xbee	Los módulos Xbee son económicos, poderosos y fáciles de utilizar
1	Shield Xbee	Adaptador para poder conectar el xbee a la tarjeta Arduino
1	Adaptador xbee USB	Adaptador para poder comunicar el xbee con la PC a través del puerto COM
1	Sonda de temperatura Ds18b20	Sensor de temperatura fabricada por Maxim con alta precisión
1	Tarjeta de relés con 4 canales	Tarjeta de potencia para controlar los motores
1	Batería para Arduino	Batería de alta corriente y duración especial para Arduino
1	Batería para Potencia	Batería Seca de 5 V para controlar los relés
1	Batería para Motores	Batería seca de 12V para alimentar los motores
varias	Tubería de PVC y conectores	Tubería para realizar la estructura del sumergible
1	Brida de PVC	
1	Disco de Acrílico	
	Cables y Conectores	
1	Multímetro digital	
1	Mini Cámara	

Tabla 3.3 Hardware para la implementación

3.3.2 Análisis Económico.

De acuerdo al estudio realizado y con previo análisis de las situación económica actual se determinó para este proyecto que era necesario contar con recursos indispensables que deben ser considerados para el desarrollo del prototipo de robot sumergible los cuales se detallan más adelante con su respectiva tabla de descripción de recurso y costo por unidad y total de acuerdo a lo relacionado con el proyecto.

Costos de desarrollo del Software

A continuación se realiza una descripción detallada en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6, en donde se incluye el costo que llevará el desarrollo del sistema, con todo lo necesario a utilizar para desarrollar el programa que servirá en el prototipo sumergible, las simulaciones y los esquemas de los circuitos a utilizar, además de los suministros.

Cantidad	Hardware	Valor	Subtotal
1	Computador Portátil	\$ 730.00	\$730.00
1	Impresora multifunción	\$ 125.00	\$ 125.00
Total en Gastos de Hardware			\$ 855.00

Tabla 3.4 Costo de Hardware para el desarrollo

Cantidad	Software	Valor	Subtotal
1	Sistema Operativo Windows	\$ 100.00	\$ 100.00
1	Microsoft Office 2010	\$ 52.00	\$ 52.00
1	Labview	\$ 1,775.00	\$ 1,775.00
1	Software Arduino	-	-
Total en Gastos de Software			\$ 1927.00

Tabla 3.5 Costo de Software para el desarrollo

Cantidad	Descripción	Valor	Subtotal
1	Útiles de Oficina	\$ 65.00	\$ 65.00
1	Conexión a Internet	\$ 45.00	\$ 45.00
1	Cámara	\$ 60.00	\$ 60.00
TOTAL			\$ 170.00

Tabla 3.6 Suministros

Descripción	Subtotal
Hardware	\$ 855.00
Software	\$ 1927.00
Suministros	\$170.00
TOTAL	\$2,952.00

Tabla 3.7 Costos totales de desarrollo

Costos de Implementación del Software

Las siguientes tablas detallan el costo que llevará la implementación del sistema.

Cantidad	Descripción	Valor	Subtotal
1	Tarjeta Arduino Mega	\$ 75.00	\$ 75.00
1	GPS para Arduino con antena	\$ 120.00	\$ 120.00
1	Brújula Electrónica	\$ 20.00	\$ 20.00
2	Módulos inalámbricos Xbee	\$ 75.00	\$ 150.00
1	Shield Xbee	\$ 75.00	\$ 75.00
1	Adaptador xbee USB	\$ 30.00	\$ 30.00
1	Sonda de temperatura Ds18b20	\$ 35.00	\$ 35.00
1	Tarjeta de relés con 4 canales	\$ 25.00	\$ 25.00
1	Batería para Arduino 5V	\$ 55.00	\$ 55.00

1	Batería para Potencia 5V	\$ 16.00	\$ 16.00
1	Batería para Motores 12V	\$ 20.00	\$ 20.00
varias	Tubería de PVC y conectores	\$ 40.00	\$ 40.00
1	Brida de PVC	\$ 40.00	\$ 40.00
1	Disco de Acrílico	\$ 10.00	\$ 10.00
	Cables y Conectores	\$ 30.00	\$ 30.00
1	Multímetro digital	\$ 50.00	\$ 50.00
4	Motores Brushless	\$ 75.00	\$ 300.00
8	Batería Lipo	\$ 35.00	\$ 280.00
1	Mini cámara	\$ 65.00	\$ 65.00
Total de Gastos de Implementación			\$ 1406.00

Tabla 3.8 Costos totales de implementación de software

Descripción	Subtotal
Hardware	\$ 1406.00
Software	-
TOTAL	\$ 1406.00

Tabla 3.1 Costos totales para Implementación

Descripción	Subtotal
Desarrollo	\$ 2,952.00
Implementación	\$ 1,406.00
TOTAL	\$ 4,358.00

Tabla 3.2 Costos totales de desarrollo e implementación

Mediante el detalle de las tablas de costos se puede observar que el costo total del desarrollo del software es de \$2,952.00 y la implementación del software es de \$1,406.00 lo que da un total de \$4,358.00. Pero por los costos muy altos de desarrollo se optó por usar licencias de prueba de los programas que utilizaremos.

En el detalle, además se menciona que el hardware y software para el desarrollo es un costo asumido personalmente.

Descripción	Subtotal
Hardware para desarrollo	\$ 855.00
Hardware para Implementación	\$ 1371.00
TOTAL	\$ 2226.00

Tabla 3.3 Costos totales asumidos personalmente

3.3.3 Análisis operativo

Las técnicas que se utilizaron para obtener la información necesaria para analizar y para desarrollar el prototipo de robot sumergible fueron la observación directa, la entrevista y la encuesta, las mismas que fueron realizadas al encargado del laboratorio de Ciencias del Mar y los estudiantes de la carrera de Biología Marina, pues la facultad será la que se beneficie con el desarrollo del prototipo sumergible, en base a este estudio y los resultados el proyecto es factible operacionalmente.

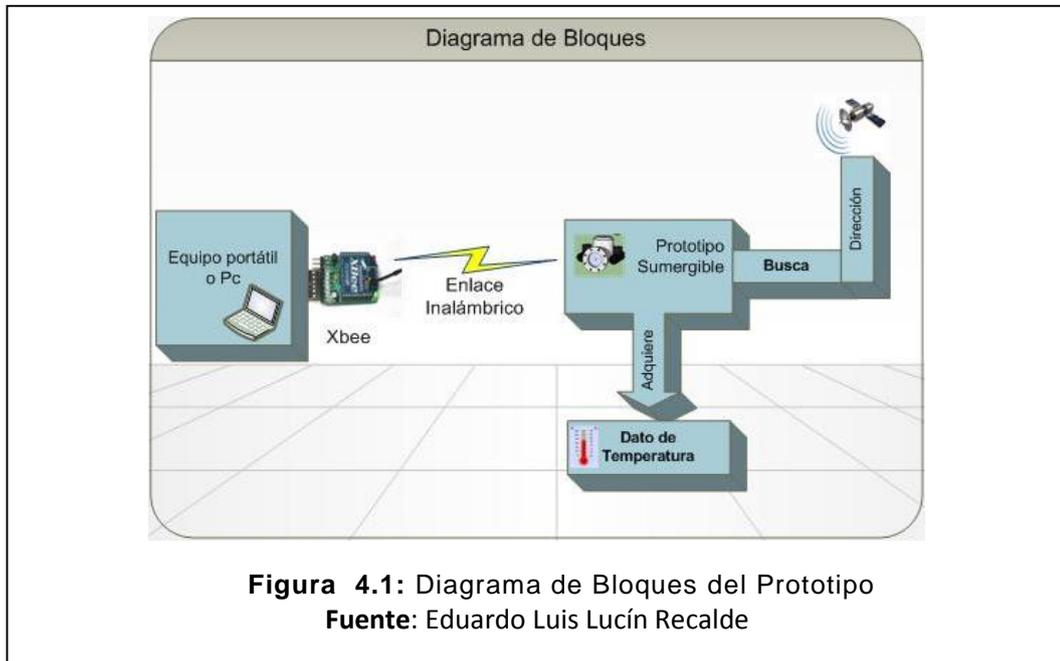
- Rendimiento y Fiabilidad: Su rendimiento y fiabilidad se basará primeramente en los beneficios que la Escuela de Biología Marina ganaría con la implantación del sumergible en base al uso de innovación tecnológica.
- En cuanto a su fiabilidad se da en base al análisis profundo y detallado que se ha realizado sobre el proyecto, complementado con una documentación amplia del sistema en capítulos anteriores. Además que el sistema será de fácil uso al estudiante y le ayudará una mejor búsqueda de información que se utiliza para realizar o emitir alguna conclusión o realizar un estudio dependiendo sea el caso.
- Productividad: La productividad del Prototipo será garantizada ya que su objetivo es ayudar al estudiante y docente involucrado en las tareas de investigación obteniendo el dato de temperatura y registrándolo en el menor tiempo posible.

CAPÍTULO 4

DISEÑO

En este cuarto capítulo se establece el diseño estructural del prototipo sumergible, la arquitectura del mismo y el entorno tecnológico, además de la especificación detallada de los componentes del prototipo, aplicando el lenguaje de programación para el desarrollo del sistema de geo estabilización y adquisición.

El diseño arquitectónico se ajusta a los requisitos y objetivos del proyecto, especificando las características, interacción y distribución de los componentes que se generaron en el desarrollo del prototipo, y así poder obtener las mejores estrategias.



4.1 ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN

En esta sección describiremos como fue desarrollándose la lógica para después poder implementar nuestro prototipo

4.1.1 Desarrollo de la Solución

Para poder desarrollar el prototipo se requiere tener todas las tarjetas y los módulos trabajando correctamente.

Empezaremos por diseñar el módulo de control; como ya sabemos, este será el sistema primordial del robot ya que contiene la lógica que va a permitir mover al prototipo, además de recibir señales del sistema de Sensado para adquirir el dato de temperatura planteado en nuestro objetivo.

El programa estará basado en seguir una ruta de navegación Programada, accionando alternadamente los motores de navegación y los motores que permite la sumersión y emersión del robot sumergible.

El prototipo de robot sumergible debe ser transportado en tierra o hacia alguna embarcación, desde la cual va a ser transportado a algún lugar específico en donde se pretende realizar la investigación. Por esta razón el robot sumergible debe ser relativamente liviano, para que pueda ser cargado y transportado por dos personas con facilidad. Además, las dimensiones del robot sumergible deben permitir su fácil manipulación y transporte en vehículos en tierra y en agua.

El prototipo de robot sumergible debe ser construido en diferentes módulos que permitan al usuario armar y desarmar en casos de necesidad; también, los módulos de construcción permitirán el acceso a componentes y facilitarán el mantenimiento del robot sumergible.

El bloque de control y potencia que estará en superficie durante toda inmersión, está conformado por un conjunto de baterías y un computador portátil. El bloque de potencia y control debe ser pequeño, y debe mantener a los equipos alejados de contacto con el agua.

Existe la probabilidad de que sea necesario aumentar el peso de la estructura para lograr una estabilidad y flotabilidad adecuada, pero este aumento de masa se realizará con elementos pequeños que permitan distribuir la masa a lo largo de toda la estructura.

Para tener más clara la idea del diseño dividimos en fases el diagrama de bloques.

A continuación se describen las fases:

1. Diseño arquitectónico.
2. Diseño Electrónico.
3. Diseño del algoritmo de Adquisición de Temperatura.

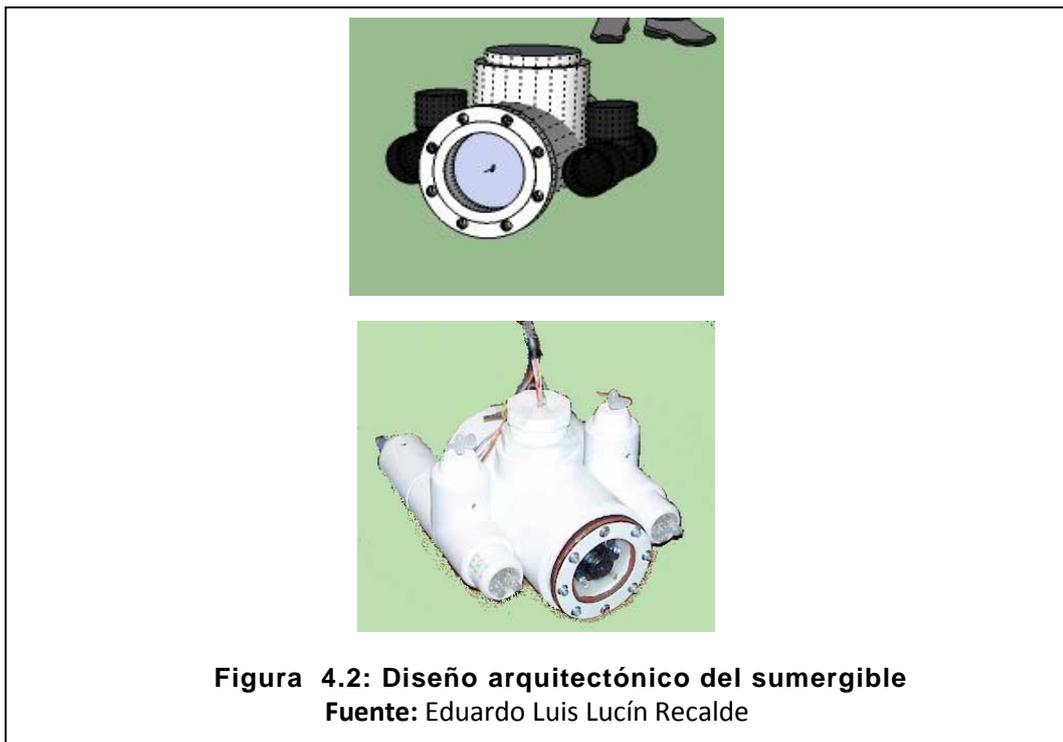
4. Diseño del algoritmo de control y geo estabilización.

4.1.2 Diseño arquitectónico.

El diseño de la arquitectura del prototipo se basa en los requisitos, es decir que el prototipo debe ser manejable, transportable fácilmente y de materiales que no sean corrosivos, por tal razón se decidió realizar algunos diseños para probar su estabilidad en el agua.

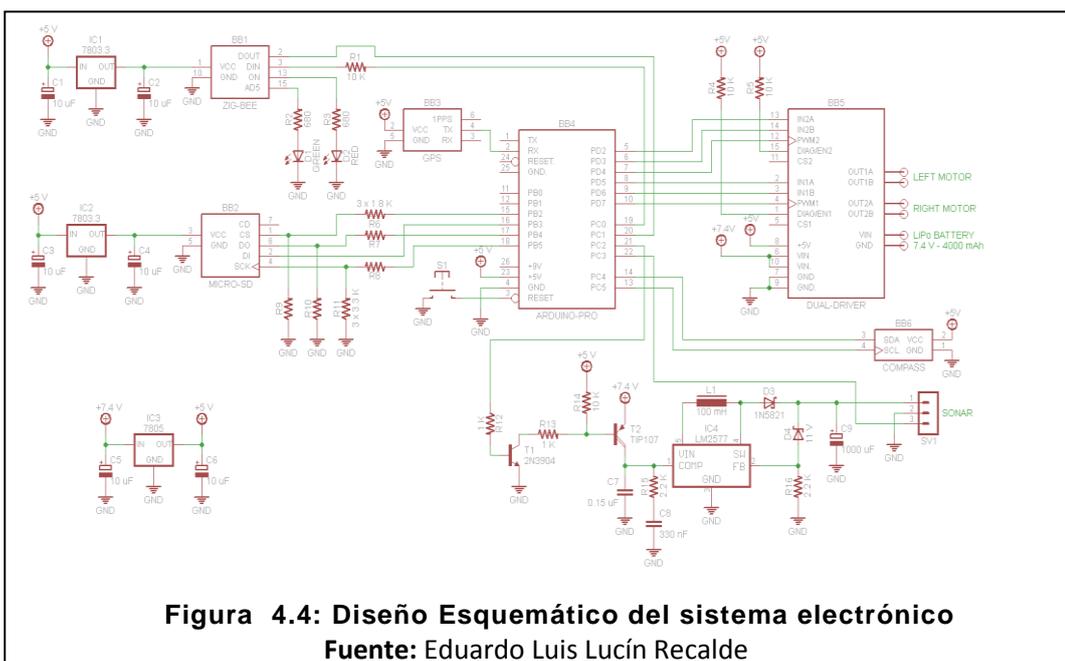
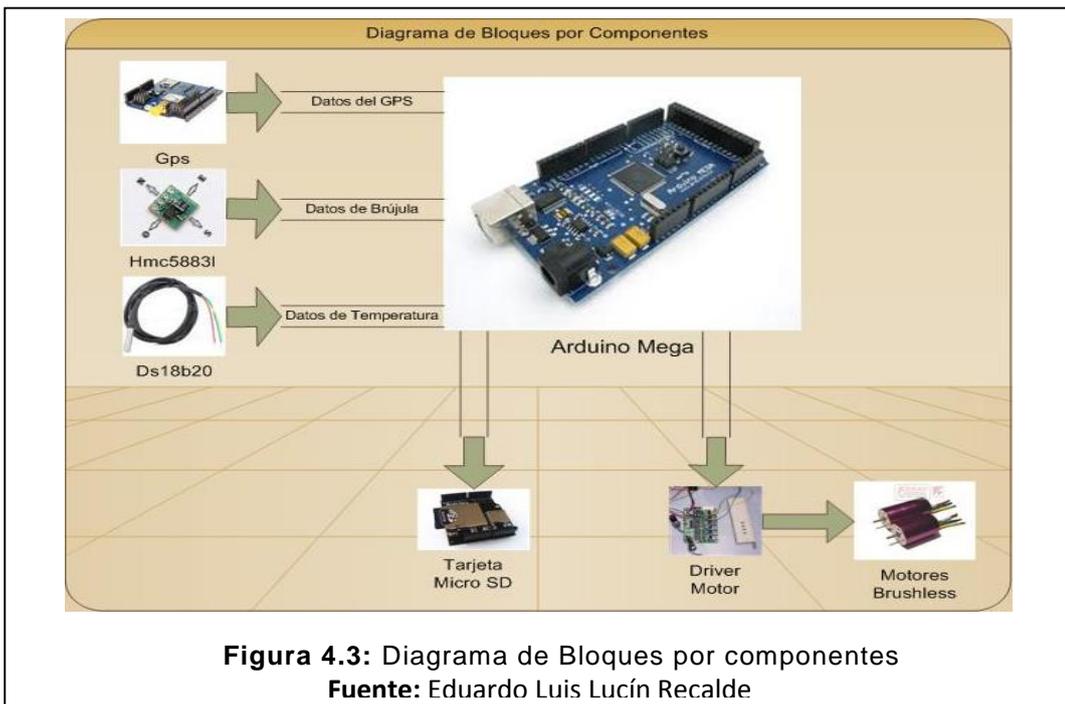
Estos diseños estaban hechos de tubería de PVC, la figura 4.2 muestra uno de los diseños que fue más estable para su construcción.

Se equipará dicho prototipo con los dispositivos de percepción tradicionales, tales como sensores y actuadores, motores DC para las hélices y servomotores, todos necesarios para la navegación y exploración autónoma del vehículo. Para la programación del prototipo de robot sumergible se empleará una tarjeta comercial Arduino MEGA basada en el controlador Atmega2560 de ATMEL.



4.1.3 Diseño Electrónico

El proyecto depende de un sistema de control ejecutado una tarjeta Arduino Mega, un sensor de temperatura Ds18b20, un GPS una brújula Electrónica, y dos módulos xbee para transmisión y recepción, un LDR para controlar las luces todo esto se hace referencia en la figura 4.3.



En la figura 4.4 se muestran los componentes principales que formarán parte del diseño del sistema de control y adquisición de datos.

El Gps

Todos sabemos más o menos que es el sistema GPS (Global Positioning System) se basa en una constelación de 24 satélites que permiten conseguir la posición en cualquier punto de la tierra.

El GPS puede considerarse dividido en tres sectores fundamentales: el espacial, el de control y el de usuarios:¹⁷

Posición Tiempo Velocidad Parámetros atmosféricos

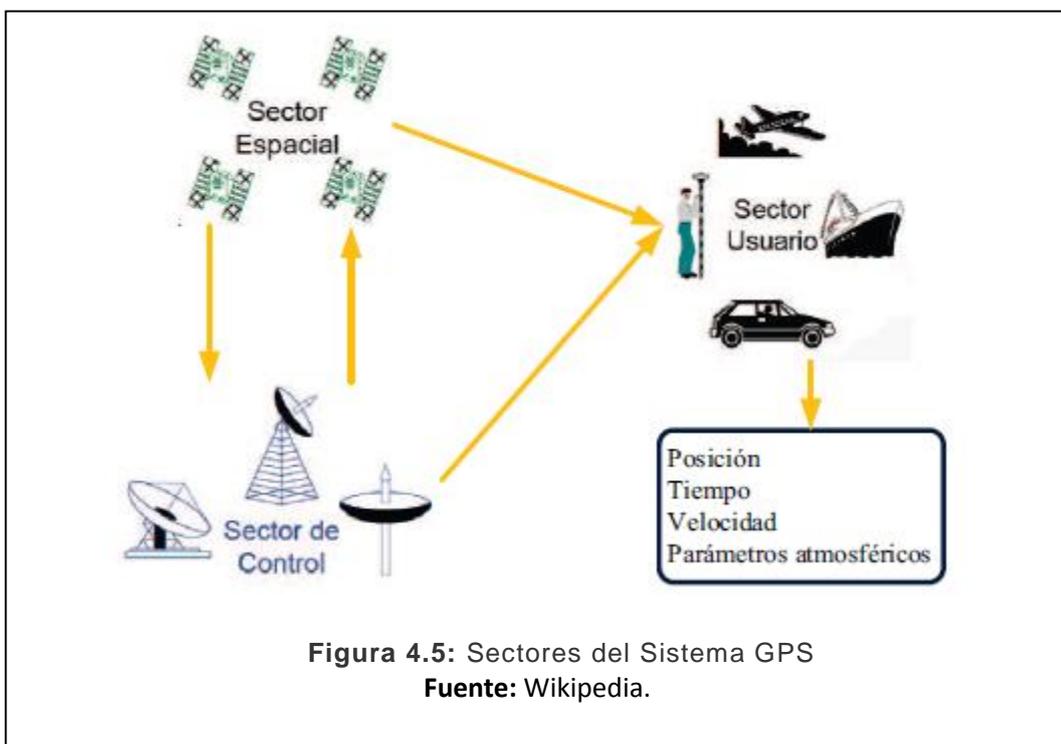


Figura 4.5: Sectores del Sistema GPS

Fuente: Wikipedia.

Un dispositivo GPS es básicamente un aparato de orientación que muestra el lugar del planeta en el cual se encuentra exactamente. Los datos proporcionados por receptor GPS para definir la ubicación

¹⁷ <http://blog.bricogeek.com/noticias/tutoriales/tutorial-arduino-gps-logger-con-em406a-gpsshield-y-microsd-shield/>

geográfica son básicamente latitud, longitud, altitud, entre otros adicionales, cuya presentación puede variar dependiendo del modelo, desde dispositivos sin ninguna interfaz hasta interfaces amigables con pantalla incorporada para la visualización de mapas almacenados de regiones como se muestra en la figura 4.5.

Generalmente los sistemas GPS instalados en navegadores tienen de manera universal una frecuencia de muestreo de 1 Hz, es decir, dicen dónde está una vez por segundo, por eso la actualización de datos va “a saltos”. Hay procesadores GPS que pueden recibir y procesar la señal de los satélites a mayor velocidad, los hay de 5, 10 y 20 Hz.

Los receptores GPS con una tasa elevada de actualización de datos son mucho más caros, y son necesarios para tener una información más confiable sobre el posicionamiento geográfico en sistemas dinámicos a fin de no realizar algoritmos adicionales tales como predicciones de posicionamiento.

RECEPTOR GPS SELECCIONADO

El modelo utilizado en base a los análisis previos es el GPS SHD035y presenta las siguientes características:

- Con la interfaz Micro SD
- Diseño de la antena activa con alta sensibilidad de recepción, la antena normal de compatibles
- Tiempo extremadamente rápido para fijar primero a nivel de señal de baja
- Interfaz UART
- Temperatura de funcionamiento: -40 °C ~ 85 °C
- SiRF Star III GPS del alto rendimiento del chipset
- Muy alta sensibilidad (Seguimiento de sensibilidad: -159 dBm)

- TTFF extremadamente rápido (Time To First Fix) en el bajo nivel de señal
- 4Mb Flash
- incorporado LNA
- Tamaño compacto (16 mm * 2,4 mm * 12,2) aplicación adecuada para el espacio-sensible
- Soporte NMEA 0183 V2.3 (salida: GGA, GSA, GSV, RMC, VTG, GLL, ZDA)
- Apoya el protocolo binario SiRF



Este dispositivo permite obtener posición, tiempo y velocidad; la posición geográfica se obtiene con una tolerancia de ± 15 m. El GPS envía los datos de posicionamiento a través del protocolo NMEA 0183 ver 2.3 el cual es capaz de enviar 8 diferentes tramas con información específica (Figura 4.6).

Las sentencias de las tramas del GPS son procesadas por la IMU si operan bajo el protocolo NMEA 0183 (del inglés National Marine Electronics Association). El protocolo NMEA 0183 es una especificación combinada de datos para la comunicación entre dispositivos electrónicos de la Marina entre ellos, el GPS.

Los parámetros de comunicación serial que vienen establecidos en el GPS son: 9600 baudios, 8 bits de datos, 1 bit de parada y sin paridad. La comunicación entre IMU y GPS funciona si ambos tienen seleccionado el mismo baudrate, por lo tanto, el GPS deberá estar 9600 baudios.

Los datos que recibiremos en nuestro módulo GPS siguen el protocolo NMEA siglas de National Marine Electronics Association. Tienen esta estructura:

**\$GPRMC,044235.000,A,4322.0289,N,00824.5210,W,0.39,65.46,020911,,
,A*44**

Empiezan por "\$" y acaban en un "A*" seguido de dos números, éste es el checksum para poder saber si el dato recibido es correcto. Los datos se separan por comas y el primero es el tipo de transmisión, en este caso el GPRMC (o RMC), uno de los más usados, que por ejemplo no incluye el valor de altitud, que si se incluye en el GPGGA. Todo el protocolo lo enlazo en la sección de descargas. Revisemos los datos para entenderlos:

- **044235.000** es la hora GMT (04:42:35)
- **A** es la indicación de que el dato de posición está fijado y es correcto. **V** sería no válido
- **4322.0289** es la longitud (43° 22.0289´)
- **N** Norte
- **00824.5210** es la latitud (8° 24.5210´)
- **W** Oeste
- **0.39** velocidad en nudos
- **65.46** orientación en grados
- **020911** fecha (2 de septiembre del 2011)

Una vez que ya sabemos cómo viene la trama del satélite, debemos desconcatenar cada dato para su respectivo uso.

El módulo Utilizado es el Modelo SHD035. Se trata de un módulo muy utilizado, pequeño, potente, la antena no viene integrada, Conseguirá datos cada segundo, se alimenta con 5v y se comunica por serie.

Viene integrada en una Shield para conectarlo al Arduino. Con la **GPS Shield** solo debemos enchufarlo y montarla sobre el Arduino. Para esta prueba configuraremos los dos mini interruptores de la Shield como ON y DLINE. Mantendrá el módulo encendido y enviará los datos por los pines de datos seriales tx1 y rx1 trabajando a una velocidad de 9600bps.

La Brújula Electrónica o compás HMC5883L

Muchas son las posibilidades que nos ofrecen hoy día los microcontroladores, sumado claro está al bajo precio al que podemos adquirir muchos sensores que hace algún tiempo no estaban al alcance de muchos aficionados a la electrónica.

Un complemento ideal si estamos desarrollando un sistema de posicionamiento global (GPS) podría ser un compás digital como el que propongo en este caso, el popular HMC5883, no se trata de la opción más versátil, pero junto a la plataforma Arduino, obtener datos de este dispositivo y cumple a la perfección el objetivo de determinar nuestra orientación respecto al plano terrestre.

Se alimenta en muchos casos con rangos comprendidos entre 2,7 – 5 V. y se comunica mediante bus I2C. Los contactos disponibles y su asignación a la placa Arduino UNO o compatibles es la siguiente:

HMC5883 - Arduino UNO

- 1 (GND) --> GND
- 2 (VDD) --> 3,3Voltios
- 3 (SDA) --> Pin analógico 4}
- 4 (SCL) --> Pin Analógico 5

Una vez conectado a nuestro Arduino, haremos uso de la librería HMC, la cual nos proporciona una manera muy sencilla de obtener datos y podemos usarla con otros integrados de la firma Honeywell, como por ejemplo el compás HMC6352.

Cuando queramos obtener la orientación debemos hacerlo de la siguiente forma:

HMC.getValues(&[ejex], &[ejey], &[ejez]);

Podemos por ejemplo obtener los valores correspondientes a cada eje y almacenarlos en las variables enteras; x, y, z:

HMC.getValues(&x,&y,&z);

La sonda Ds18b20

El dispositivo que se analizó para el desarrollo de este proyecto fue la sonda ds18b20, éste dispositivo impresionante es un pequeño sensor de temperatura con una precisión de 9 a 10 bits de precisión desde -55C a 125C con un margen de error de tan solo 0.5 grados. No requiere de componentes externos para su funcionamiento, pues es tan preciso en comparación con los sensores de temperatura de la familia LM, y el DTH11 que también es un sensor de temperatura y humedad.

Algoritmo de adquisición de datos

El sistema trabaja con información de los sensores inerciales, toda esta información debe ser registrada por el programa de control principal.

Los datos del sensor de temperatura se transmiten inalámbricamente mediante Xbee a 9600 bps desde del vehículo al computador.

A continuación la figura 4.7 indica el ejemplo de la lógica seguida para la adquisición de datos de posición geográfica: longitud y latitud.

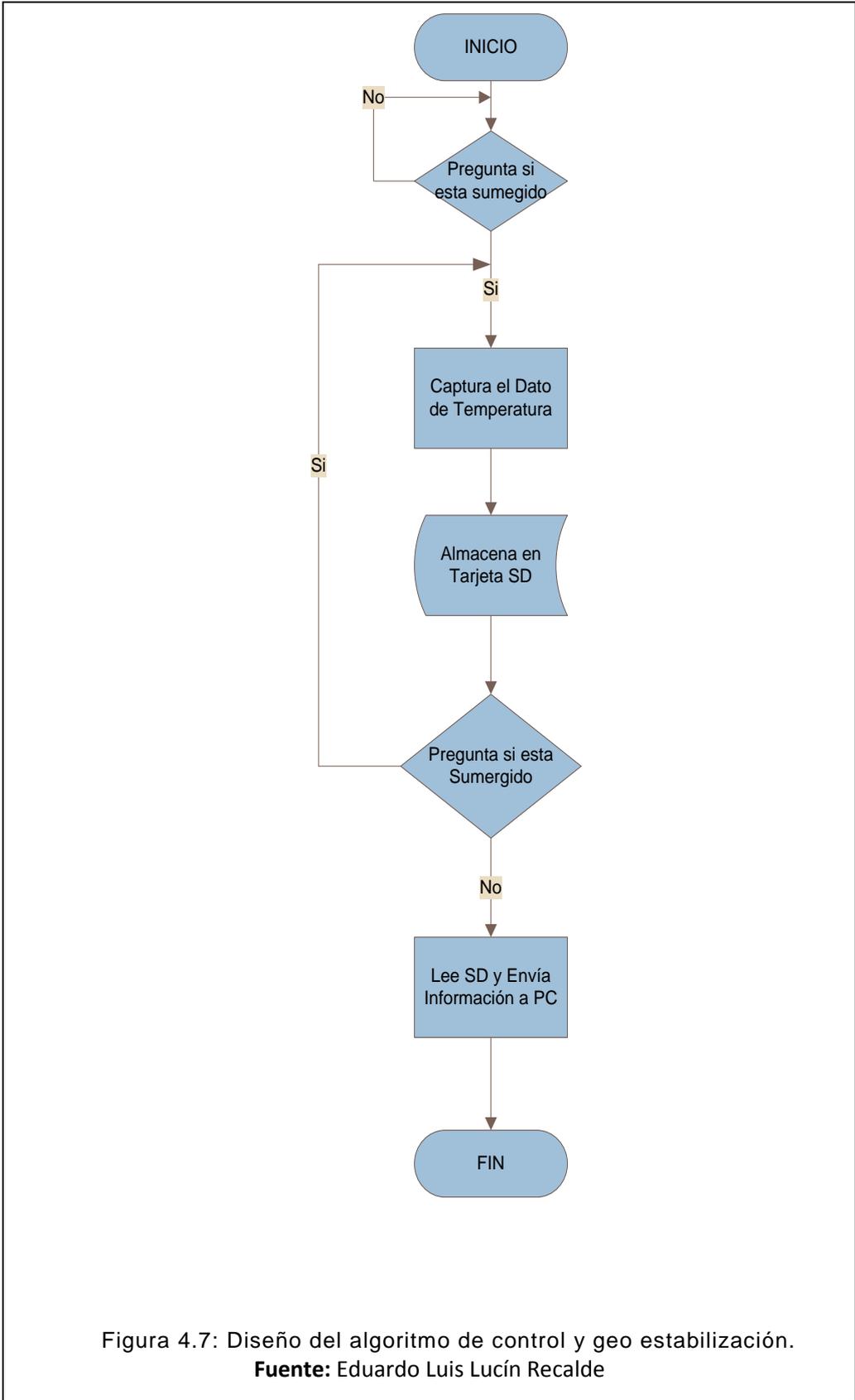


Figura 4.7: Diseño del algoritmo de control y geo estabilización.
Fuente: Eduardo Luis Lucín Recalde

Sistema de control

El sistema de control está conformado por una arquitectura sistemática, que cumple tres secuencias que son: adquirir, procesar y ejecutar; este lazo de control se ejecuta en tiempo real considerando adicionalmente las capacidades reales de respuesta de los componentes involucrados.

En esta sección se describe los algoritmos usados para controlar el sistema, los mismos que fueron programados enteramente en Arduino Mega para el procesamiento de información.

Se parte por el estudio de la metodología usada para procesar los datos de los sensores: GPS, magnetómetro y giroscopio. Se analiza el algoritmo para el cálculo de la actitud del sistema, que es el pilar principal para la geo estabilización del sumergible. Se describe el cálculo de la solución del sistema a partir de los ángulos Euler y posición del GPS.

Finalmente la figura 4.8 muestra el algoritmo general de control encargado del movimiento de la estructura robótica del prototipo sumergible.

Ésta explica la secuencia de comandos que se generan al momento de realizar algún movimiento. El primer y primordial paso es la adquisición de los datos por parte de todos los sensores que se esté utilizando, para luego analizar dichos datos y compararlos.

Esta secuencia es cíclica, por lo tanto, se van añadiendo puntos consecutivos en coordenadas de latitud y longitud, para luego obtener una ruta trazada.

Los datos adquiridos se comparan entre sí para que todo pueda trabajar en conjunto.

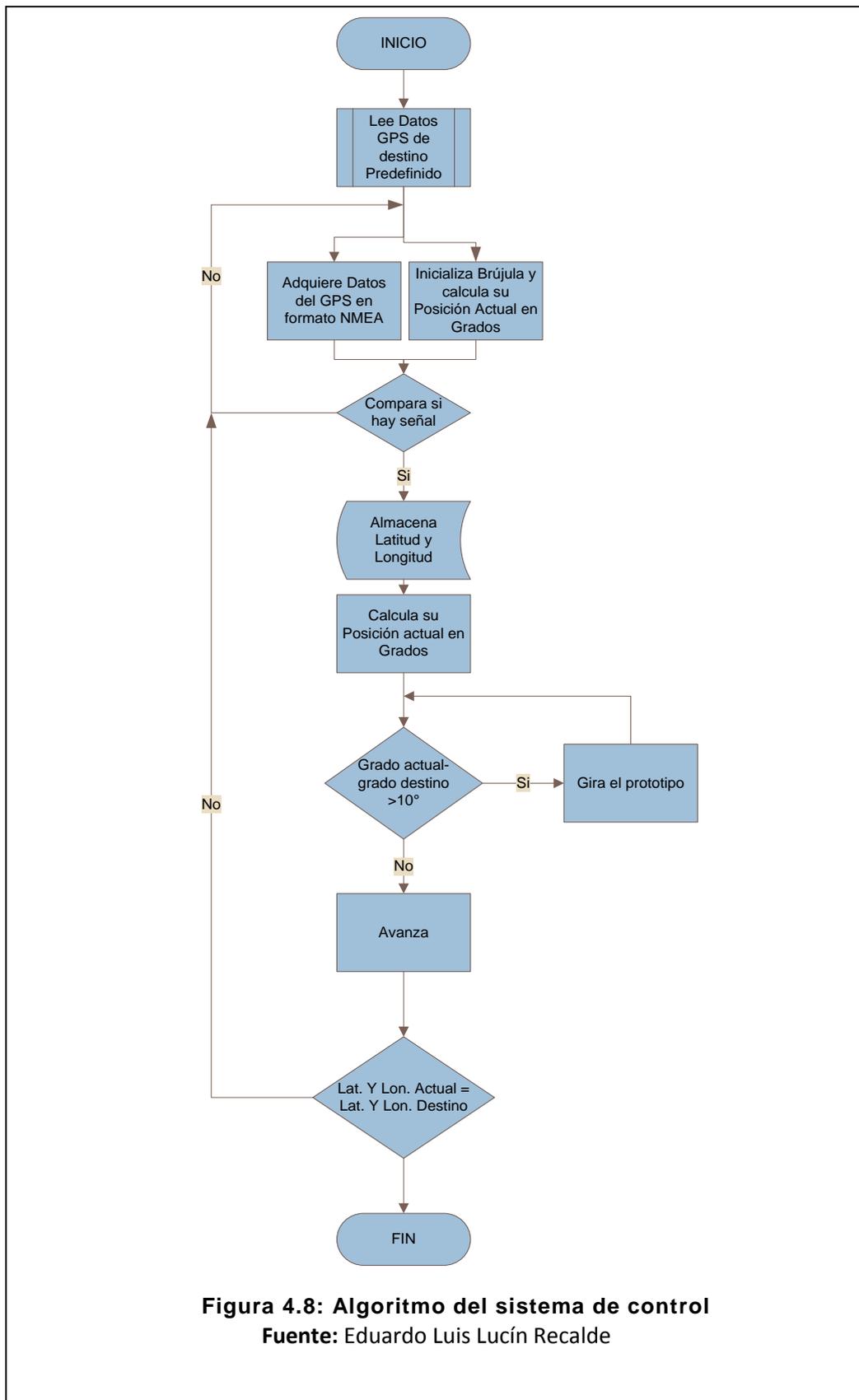


Figura 4.8: Algoritmo del sistema de control

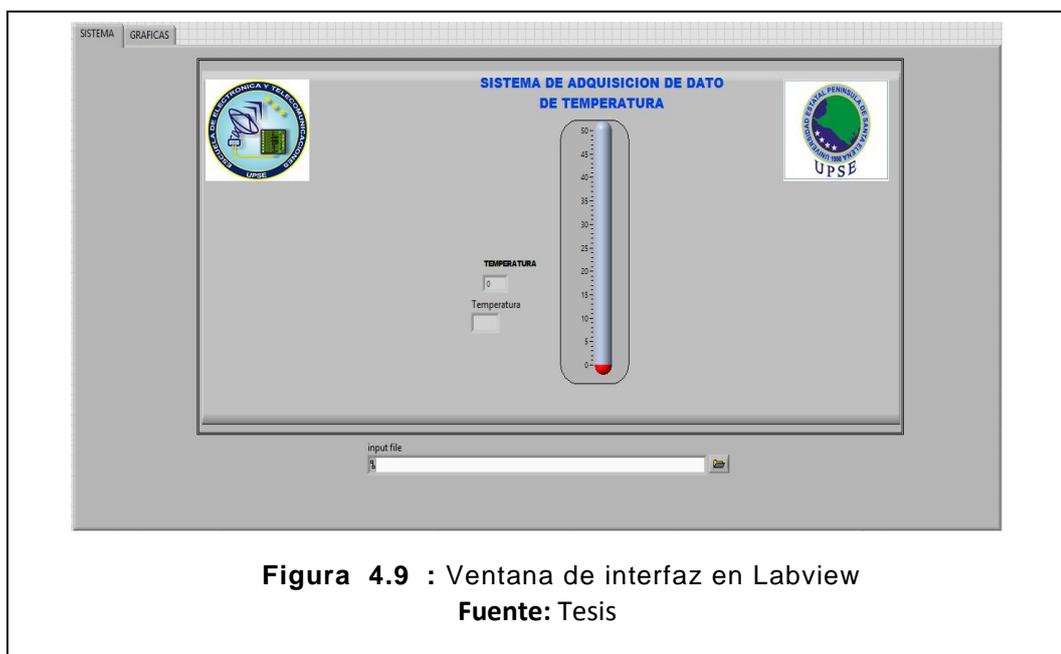
Fuente: Eduardo Luis Lucín Recalde

4.2. DISEÑO DE INTERFAZ (GRÁFICA)

Las interfaces del sistema de adquisición de datos tienen un diseño amigable al usuario con colores no llamativos. Es elemental señalar que el diseño de una interfaz es una de las actividades más importantes en el desarrollo de aplicaciones en la actualidad, debido a que representan la primera impresión de una aplicación para los usuarios. Además, una interfaz bien diseñada y estructurada permite mejorar la visualización del contenido o de los servicios que proporciona la aplicación.

A continuación se muestra una breve descripción de algunas pantallas características de la interfaz del sistema.

Pantalla Principal del sistema: La pantalla de acceso mostrará el detalle de la temperatura, y un botón que permitirá exportar todos los datos a un archivo .Txt. (Figura 4.9)



CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN

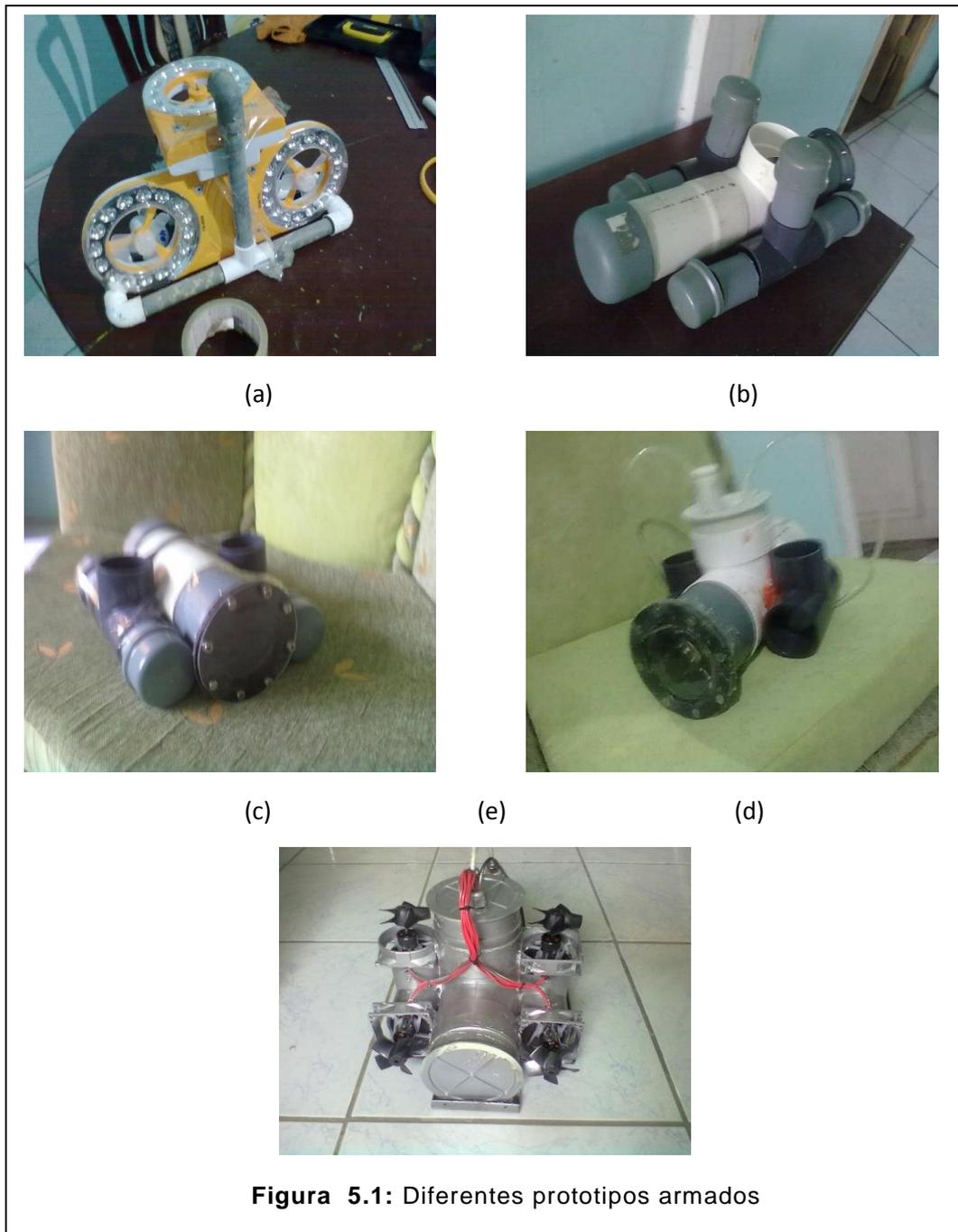
IMPLEMENTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS

En este capítulo se describe el proceso que se realiza para la implementación del prototipo que consiste en realizar diferentes pruebas para determinar el correcto funcionamiento de cada sistema en conjunto con el sumergible, verificando que las relaciones entre sistema y cada proceso se cumplan de acuerdo a lo planificado, para aquello se describe cada experimento realizado individualmente y en conjunto. Para así llegar al sistema en general, que cumpla con los objetivos planteados.

5.1 CONSTRUCCIÓN

5.1.1 Construcción de La carcasa del sumergible

Para esta sección describimos en secciones como se construyó el prototipo y cada módulo electrónico, en esta sección se describe cada prototipo y sus fallas al momento de evaluarlos.



La figura 5.1 muestra los diferentes modelos que se implementaron para la parte del chasis que aislaría el medio acuático de los circuitos electrónicos, a continuación se describe cada uno de los prototipos implementados y la decisión al momento de probar.

- a) Este diseño se hizo con una base en forma rectangular de tubería de PVC, y plástico. Pero fue descartado este modelo debido a su inestabilidad en el agua y poco espacio para la parte electrónica.
- b) Este diseño era más estable, pero a diferencia del anterior el problema que surgió era el peso del sumergible, era demasiado grande y espacioso, lo que hacía que le tuviera que colocar peso extra para aumentar su densidad y que se pueda sumergir, esto lo hacía muy pesado por lo que quedó descartado.
- c) El tercer diseño que se implementó fue mucho más cómodo y manejable. El problema apareció al momento de hacer conexiones con el exterior, no se encontraba la forma, pues no había un lado completamente plano para perforar.
- d) Este fue el rediseño del modelo anterior. Se tuvo que colocar una superficie plana en la parte superior para poder colocar la prensa estopa.
- e) Este fue el rediseño del modelo anterior, que al final sufrió una última transformación, que fue la de ubicar broches, para que sea más flexible al momento de destapar el prototipo.

5.1.2 La placa Arduino

Para el desarrollo de la placa de control se tomó en cuenta que en el mercado actual ya existen placas de programación con software libre que son accesibles y siendo conocedor del tipo de programación que se manejaba se optó por usar este tipo de placas.

Para aquello se tubo a disposición 4 tipos de placas (ver figura 5.2) de las cuales tuvimos que seleccionar la que más aportaba en cuanto al

desarrollo del prototipo, además de tenía que adaptarse a las demás placas que formaban parte de la solución.

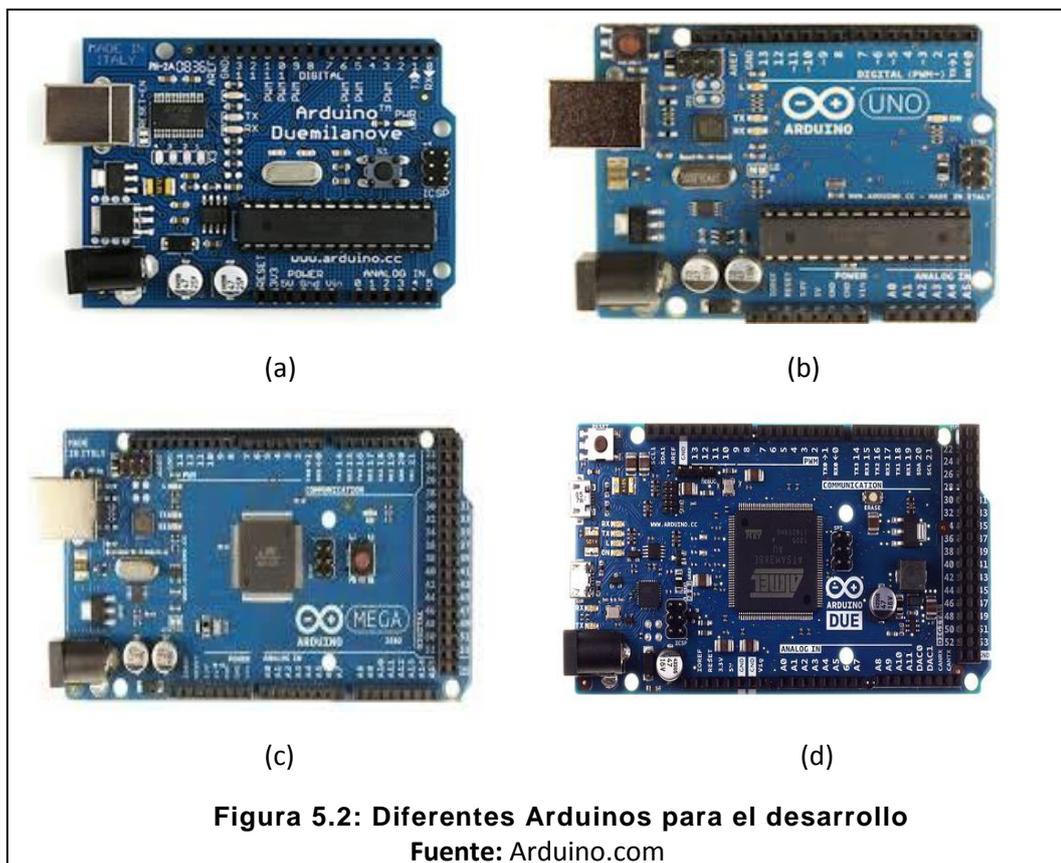
Las placas que tuvimos a disposición fueron las siguientes:

Arduino duemilanove (a)

Arduino uno (b)

Arduino mega 2560 (c)

Arduino Due (d)



Se probó con cada una de estas placas, y uno de los primeros problemas que apareció es el número de pines disponibles, por lo tanto los Arduinos duemilanove y uno quedaron exentos para su uso, debido a los pocos recursos que ofrecían al número de puestos, eso no quería decir que las placas adicionales no funcionaban, porque se probaron y funcionaban a la

perfección, pero solo una por una, al momento de querer ensamblar todas las placas no alcanzaban los pines de salidas y entradas.

Ya para esto se había adquirido la placa Arduino Due que es la última y más avanzada que tenía a disposición muchos pines de salidas y entradas para la construcción del sistema de control.

Al realizar pruebas con esta placa aparecieron problemas de compatibilidad de librerías pues este Arduino tenía otra arquitectura del microcontrolador y las librerías no se encontraban disponibles aún, debido a su reciente lanzamiento, este fue uno de los principales problemas por lo que se descartó el Arduino Due y la elección fue el Arduino mega, que tiene los mismos pines de entradas y salidas que el Arduino Due. Por lo tanto esta fue la decisión ya que también es compatible con todos los módulos y placas adicionales.

Las ventajas de utilizar este tipo de placa es que hay un sinnúmero de módulos adicionales que se pueden adaptar para que realice cualquier función acorde a la programación además de ser software libre, lo que evita el coste de pago por el programa a utilizar.

5.1.3 EI GPS

Para la elección del GPS se buscó varias opciones, las cuales se analizó las prestaciones, características y costo. Para ello también se buscó algún módulo que sea compatible con nuestra placa Arduino ya seleccionada para no tener inconvenientes de compatibilidad, y este fue el resultado, se adquirió un módulo Shield GPS con adaptado de tarjeta de memoria que nos iba a servir mucho aparte del GPS a guardar la información adquirida.

5.1.4 Los actuadores

Fue la parte más difícil en cuanto a la decisión a tomar, debido a que los actuadores o motores a utilizar deberían tener muchas características para su utilización que las describimos a continuación:

- Soportar el agua.
- Tener velocidad
- Tener alto torque
- Ser de alta corriente
- Ser pequeños para adaptar al prototipo

Para esto se realizaron muchas pruebas con los motores dc de 6v, con cooler de computadoras y por último con motores Brushless.

La decisión fue para los motores Brushless que se acoplaron a la perfección, en cuanto a los anteriores fue un fracaso total.

5.2 PRUEBAS

En esta sección se presentan experimentos de los comportamientos básicos de cada componente y del sumergible, así como de los dispositivos interconectados, todos ellos realizados de manera independiente. Finalmente, se realizó un experimento general en el que se englobo el uso de todos los comportamientos de los diferentes dispositivos.

Se utilizaron marcas de dimensiones considerables, las cuales se describirán posteriormente.

Para cada experimento, se reportan dos pruebas elegidas de un gran número de pruebas realizadas en esta parte del proyecto. Cabe mencionar, que aún cuando se reportan parámetros cuantitativos, ej. Tiempos de ejecución, logro de objetivos, entre otros, parte de los comportamientos contienen descripciones cualitativas. Estas formas de evaluación son estándares conocidos en robótica móvil, una disciplina esencialmente experimental.

Comportamientos básicos de componentes

En estas sección de pruebas de todas las piezas adquiridas para probar su funcionamiento y después acoplarlas todas en un solo módulo.

5.2.1. Adquirir temperatura

Objetivo

Tomando como estado inicial la temperatura ambiental, se desea que la sonda adquiera todos los cambios de temperatura que sufra ya sea calentándola o enfriándola.

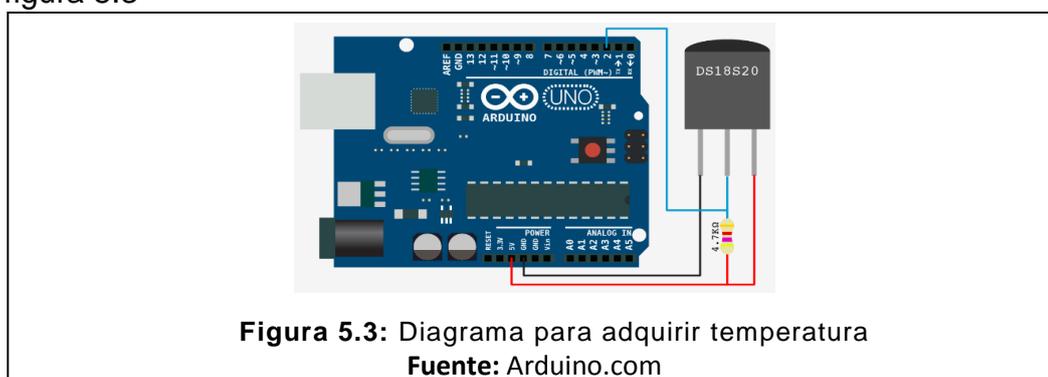
Criterio de éxito

Se considera que la adquisición se realizó exitosamente si la sonda adquiere durante un tiempo t específico todos los cambios que se le realizó, consiguiendo que el margen de error sea de $\pm 1^\circ\text{C}$, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido.

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en la adquisición de dato de temperatura y obtener el tiempo t mínimo para cada cambio. Dicho tiempo t corresponde al tiempo que la sonda necesita para cambiar de dato, logrando que los datos adquiridos sean más precisos.

Se hicieron varias pruebas para obtener los datos de temperatura en base a subir y bajar la temperatura. Estas pruebas consistieron en colocar la sonda dallas ds18b20 en un recipiente con un calentador y con un termómetro de alcohol para verificar el cambio, el circuito que se construyó para adquirir el dato de temperatura es el que se muestra en la figura 5.3



La programación para realizar esta prueba fue la siguiente:

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Dallas Temperature IC Control Library Demo");
  sensors.begin();
}

void loop(void)
{
  Serial.print("Requesting temperatures...");
  sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
  Serial.println("DONE");
  Serial.print("Temperature for the device 1 (index 0) is: ");
  Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0));
}
```

En la figura 5.4 se presentan la imagen que corresponden a la ejecución de uno de los experimentos al adquirir el dato de temperatura a través del puerto serial del programa Arduino. Esto se realiza mediante transmisión a una velocidad de 9600 baudios, esta velocidad se puede modificar, pero una de las velocidades más utilizadas es ésta.

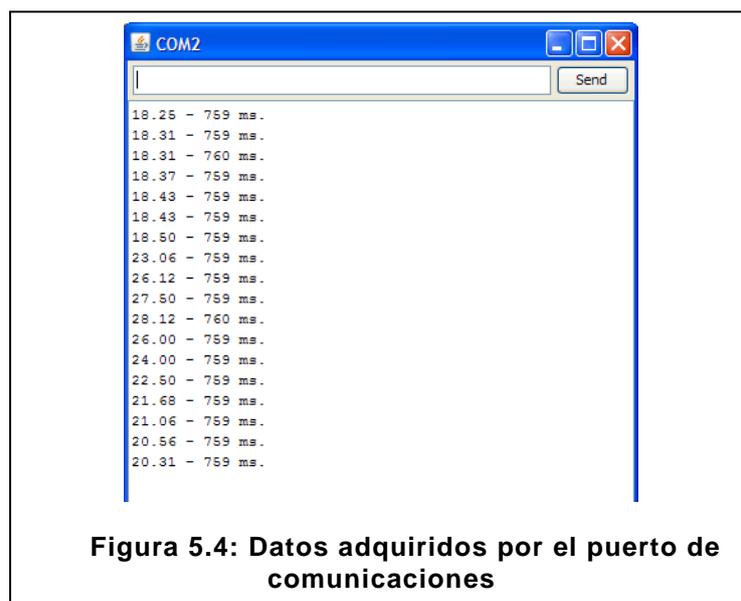


Figura 5.4: Datos adquiridos por el puerto de comunicaciones

En la Tabla 5.1 se presentan los resultados de la sonda y el termómetro de alcohol, estas pruebas se realizaron simultáneamente, para ver qué tan preciso era la sonda Ds18b20.

Tiempo calentando	Sonda ds18b20	Termómetro de alcohol	Resultado	Observaciones
1seg	24.87°	24 °	Exitoso	Al mínimo cambio de temperatura tanto como cambiaba el dato de termómetro cambiaba el dato del sensor
10seg	25.05 °	25 °	Exitoso	
30seg	28.22 °	28 °	Exitoso	
1 min	30.11 °	30 °	Exitoso	
5 min	40.52 °	40 °	Exitoso	
10 min	45.26 °	45 °	Exitoso	
15 min	60.80 °	60 °	Exitoso	
30 min	90.14 °	91 °	Exitoso	

Tabla 5.1: Datos adquiridos por la sonda

5.2.2. Posicionamiento Global. Adquirir posición actual con GPS

Objetivo

Tomando como estado inicial la posición actual de latitud y longitud, se desea que el módulo Shield GPS actualice la posición de latitud y longitud a medida que un objeto se mueva.

Criterio de éxito

Se considera que la actualización de la posición de latitud y longitud se realizó exitosamente si el Shield GPS adquiere durante un tiempo t específico todos los cambios que se le realizó, consiguiendo que el

margen de error sea de unos 5m de la posición inicial, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido.

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en la adquisición de dato de latitud, longitud, temperatura y obtener el tiempo t mínimo para cada cambio. Dicho tiempo t corresponde al tiempo que la Shield necesita para cambiar de dato, logrando que los datos adquiridos sean más precisos.

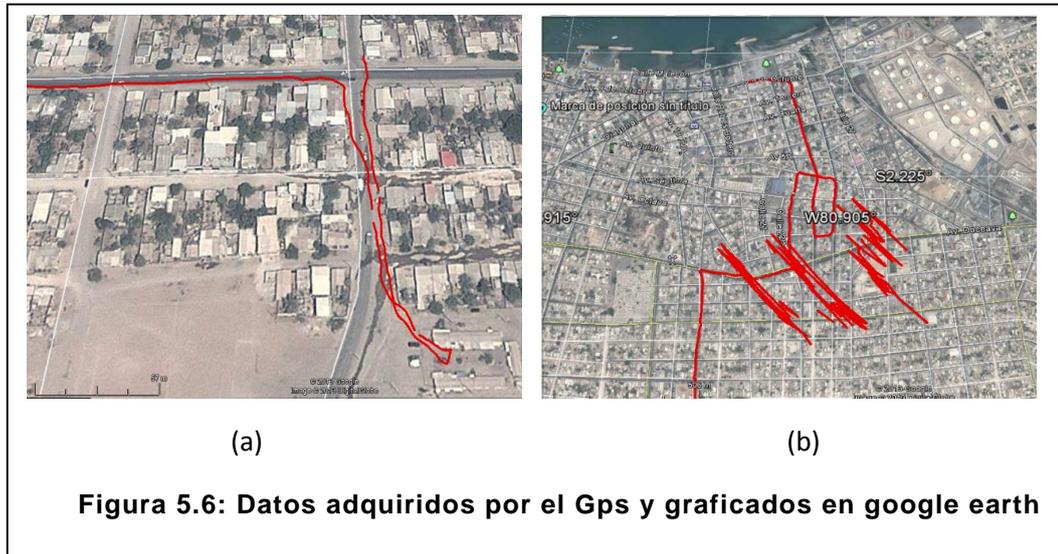
Se hicieron varias pruebas para obtener los datos de posicionamiento en base a realizar una ruta caminando y una ruta en autobús. Estas pruebas consistieron en salir de una posición actual marcada por el GPS y caminar una ruta y que el dispositivo GPS valla guardando todos los datos en una tarjeta SD para luego exportarlos y graficarlos el google earth para así verificar si que la ruta que se siguió es la misma y que no haya muchos errores, lo mismo con la ruta en autobús, para saber si los datos en la ruta se iban actualizando a medida que una avanzaba se adicionó una pantalla LCD para ver los datos.

A continuación se muestra la figura 5.5 como quedo el circuito para realizar la prueba en exterior.



Figura 5.5: Foto del circuito GPS

En la figura 5.6 se presentan dos imágenes que corresponden a la ejecución de los experimentos al graficarlos ya en google earth.



Lamentablemente caminando, la señal del GPS en latitud y longitud no se actualizaba rápidamente, pero trotando y en bus la captura de la señal fue óptima.

La figura 5.6 (a) muestra la ruta que marco el GPS mientras se trotaba, mientras que la figura 5.6 (b) muestra la ruta que se siguió en un medio de transporte público. Lamentablemente hay una falla que se nota en la figura debido a que la batería que se estaba utilizando no era muy estable y los dispositivos consumían mucha corriente, este problema lo veremos más adelante y como se solucionó.

La programación para realizar esta prueba consta de la librería SD en que la utiliza para poder iniciar la lectura y escritura en una memoria SD o micro SD, lo que hace esta programación es simplemente adquirir toda la trama del GPS, y almacenarla en la tarjeta de memoria, una vez que ya adquirió el recorrido se extrae la tarjeta de memoria y mediante un programa en internet se convierte las tramas en un archivo que luego se

abre con google earth, allí se muestra el recorrido que se ve en la figura 5.6.

```

#include <SD.h>
#include <SPI.h>
const int chipSelect = 53;
void setup()
{
  Serial.begin(9600); Serial1.begin(9600);
  pinMode(53, OUTPUT);
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    return;}
void loop()
{ char index = 0;
  char temp = 0;
  String dataString = "";
  File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
  if(dataFile)
  {
    while(Serial1.available())
    { temp = Serial1.read();
      Serial.print (temp);
      dataString += String(temp);
      index++;
      if(index>200)
        break; }
    dataFile.print(dataString);
    dataFile.close();
  }
}

```

En la tabla 5.2 se presentan los resultados del GPS en las diferentes situaciones de experimentación.

Medio	Actualiza en tiempo de					Conclusión	Observaciones
	1m	5m	10m	15m	20m		
Caminando	No	No	No	No	Si	Fallo	Para que el GPS tenga un funcionamiento óptimo la velocidad tiene un papel primordial
Trotando	Si	Si	Si	Si	Si	Exitoso	
En bus	Si	Si	Si	Si	Si	Exitoso	

Tabla 5.2: Datos de la señal actualizada del Gps

5.2.3. Posición de los puntos cardinales mediante la brújula HMCL5388

Objetivo

Tomando como estado inicial y las direcciones y ubicación de los puntos cardinales como son el norte, el sur, el este y oeste, se desea que el módulo HMCL5388 actualice la posición e indique para que sentido queda ubicado cada punto cardinal a medida que vamos moviendo el dispositivo.

Criterio de éxito

Se considera que la actualización de la posición de los puntos cardinales se realizó exitosamente si el módulo HMCL5388 adquiere durante un tiempo t específico todos los cambios que se le realizó, consiguiendo que el margen de error sea el de $\pm 2^\circ$, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido.

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en la adquisición de dato de posición en 3 dimensiones que son x, y, z. para luego realizar un cálculo y orientarse y obtener el tiempo t mínimo para cada cambio.

Dicho tiempo t corresponde al tiempo que el módulo HMCL5388 necesita para cambiar de dato, logrando que los datos adquiridos sean más precisos.

Se hicieron varias pruebas para obtener los datos de posicionamiento en base a realizar movimientos circulares del dispositivo. Estas pruebas consistieron en realiza el movimiento del dispositivo en forma circular y que este dato valla actualizándose a medida que íbamos girando, más o menos como un graduador además de saber la medición de ángulos en cualquier dirección, para corroborar que el ángulo era el correcto se comparó con datos reales de google earth se adicionó una pantalla LCD para ver los datos.

La programación básica para hacer funcionar este dispositivo fue la siguiente:

```
#include <Wire.h> //I2C Arduino Library
#define address 0x1E //0011110b, I2C 7bit address of HMC5883
void setup(){
  Serial.begin(9600); Wire.begin(); Wire.beginTransmission(address);
  Wire.write(0x02); Wire.write(0x00); Wire.endTransmission();}
void loop(){
  int x,y,z; //triple axis data
  Wire.beginTransmission(address);
  Wire.write(0x03); //select register 3, X MSB register
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(address, 6);
  if(6<=Wire.available()){
    x = Wire.read()<<8; //X msb
    x |= Wire.read(); //X lsb
    z = Wire.read()<<8; //Z msb
    z |= Wire.read(); //Z lsb
    y = Wire.read()<<8; //Y msb
    y |= Wire.read(); //Y lsb
  }
  Serial.print("x: ");
  Serial.print(x);
  Serial.print(" y: ");
  Serial.print(y);
  Serial.print(" z: ");
  Serial.println(z);
  delay(250);
}
```

La figura 5.7 muestra como quedó el circuito para realizar la prueba en exterior, este ejemplo se lo tomó de internet para luego acoplarlo a nuestro diseño final.

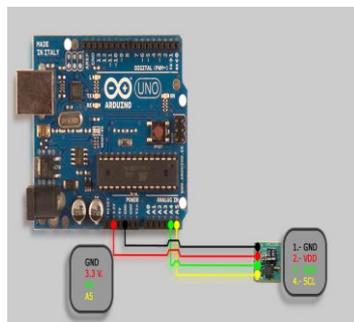


Figura 5.7: diagrama del circuito utilizado para probar Brújula
Fuente: bricogeek.com

En la tabla 5.3 se presentan los resultados de los diferentes experimentos realizados con el módulo HMC5833L.

Medio	Ángulos medidos				Conclusión	Observaciones
	30	75	250°	350°		
HMC8553L	30.11	75.1	250.2°	360°	Exitoso	Este módulo funcionaba a la perfección en cuanto al posicionamiento de coordenadas polares
Google earth	30.12	75.3	250.3°	360°	Exitoso	

Tabla 5.3: Resultados de los datos adquiridos por HMC8553L

5.2.4. Transmisión inalámbrica con módulos xbee

Objetivo

Tomando como estado referencia un punto, se desea que mediante los módulos xbee se realice una transmisión inalámbrica, tomando en cuenta algún estado y obstáculo, además con línea de vista para determinar su correcto funcionamiento.

Criterio de éxito

Se considera que la emisión y recepción de información mediante los módulos xbee inalámbricos se realizó exitosamente si la información transmitida llega sin errores o deformaciones durante un tiempo t específicos, consiguiendo que el programa no se cuelgue ni se llene el buffer de la PC, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en la adquisición del dato de un potenciómetro y trasmitirlo a la Pc y determinar así su correcto funcionamiento de los módulos xbee Pro de 2mW. Se hicieron varias pruebas para obtener los datos trasmitidos. Uno de las primeras pruebas fueron internas, en donde la transmisión fue

óptima sin importar los obstáculos, la distancia en el interior fue no más de 100m. Cabe recalcar que según la hoja de parámetros del xbee pro 2mW dice que la transmisión es de 1milla, y para corroborar dicha transmisión se realizó la prueba en exterior con línea de vista y fue preciso, casi se llega a la milla de transmisión inalámbrica, pero si se atravesaba un obstáculo se cortaba la señal, uno de los problemas que aparecieron también fue la fuente de poder que usaban los módulos xbee, pero más adelante se explica la solución que se le dió al problema.

La programación básica para hacer funcionar este dispositivo fue la siguiente:

```
void setup() {  
  // initialize both serial ports:  
  Serial.begin(9600);  
  Serial1.begin(9600);  
}  
  
void loop() {  
  // read from port 1, send to port 0:  
  if (Serial1.available()) {  
    int inByte = Serial1.read();  
    Serial.write(inByte);  
  }  
  
  // read from port 0, send to port 1:  
  if (Serial.available()) {  
    int inByte = Serial.read();  
    Serial1.write(inByte);  
  }  
}
```

La figura muestra el circuito que se armó para realizar la prueba en exterior de la transmisión inalámbrica, está compuesta por un Shield Xbee y un Arduino Uno.



Figura 5.8: Circuito armado con módulo xbee y Arduino
Fuente: bricogeek.com

En la tabla 5.4 se presentan los resultados de la transmisión en diferentes distancias con los módulos xbee Pro, el Shield Arduino y la tarjeta Arduino Uno.

Medio	Distancia				Conclusión	Observaciones
	1m	10m	100m	1000m		
Interior	ok	ok	ok	No	Exitoso	Este módulo funcionaba a la perfección en cuanto a la transmisión hay que tener en cuenta la corriente óptima para su funcionamiento
Exterior	ok	ok	ok	ok	Exitoso	

Tabla 5.4: Resultados las distancias alcanzadas por el módulo xBee

Una vez finalizada las pruebas individuales de los dispositivos, se empezaron a acoplar las programaciones y módulos para que funcionen todas en conjunto y así formar el sistema de control con todos los sensores, para esto se empezaron a realizar pruebas de dos en dos.

Comportamientos Compuestos de componentes

En esta sección de pruebas ya se implementas más de dos componentes para que trabajen juntos y que tengan el menor margen de error posible.

5.2.5. Adquirir temperatura con transmisión inalámbrica

Objetivo

Tomando como estado inicial la temperatura ambiental, se desea que la sonda adquiriera todos los cambios de temperatura que sufra ya sea calentándola o enfriándola y que envíe esa información mediante transmisión inalámbrica con los módulos xbee Pro.

Criterio de éxito

Se considera que la adquisición se realizó exitosamente si la sonda adquiere durante un tiempo t específico todos los cambios que se le realiza y que los envíe de manera inalámbrica a la PC, consiguiendo que el margen de error sea de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ del dato de temperatura adquirido y que la transmisión sea estable, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido.

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en la adquisición de dato de temperatura en conjunto con la transmisión inalámbrica y obtener el tiempo t mínimo para cada cambio. Dicho tiempo t corresponde al tiempo que la sonda necesita para cambiar de dato, logrando que los datos adquiridos sean más precisos.

Se hicieron varias pruebas para obtener los datos de temperatura en base a subir y bajar la temperatura y enviar inalámbricamente con los módulos xbee Pro. Estas pruebas consistieron en salir al exterior con la sonda Dallas ds18b20 y llevarla a diferentes lugares y que toda esta información de temperatura sea enviada en tiempo real a la PC., como ya vimos anteriormente el circuito y las conexiones fueron las mismas y los del módulo xbee también. La única diferencia es que fue implementada ya en la tarjeta Arduino Mega.

La programación para realizar esta prueba fue la misma que se mostró anteriormente para adquirir el dato de temperatura, la única diferencia es que ya no imprimía los datos en el puerto serial por defecto, sino que son transmitidos por el puerto serial2, que es donde se conecta el módulo xbee para realizar la transmisión de los datos

Los resultados fueron exitosos en cuanto a la transmisión inalámbrica tal como se mostró anteriormente, ya que toda la información de temperatura que se mostraba en la pantalla LCD se mostraba en la Pc.

5.2.6. Geoestabilización y direccionamiento

Objetivo

Tomando como estado inicial de la posición de latitud y longitud del GPS y en conjunto con la Brújula electrónica, se desea que el dispositivo busque el ángulo marcado por un punto de referencia en la programación y se dirija hacia el.

Criterio de éxito

Se considera que la Geoestabilización se realizó exitosamente si el GPS en conjunto con la brújula logran localizar el ángulo a la cual se encuentran ubicado un punto de referencia conocido como punto de llegada, consiguiendo que el margen de error sea de unos 5m de diferencia, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido.

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en la Geoestabilización y búsqueda de un ángulo de referencia.

Se hicieron varias pruebas para geoestabilizar el dispositivo en base a programar un punto de latitud y longitud de llegada. Estas pruebas consistieron en salir al exterior con el GPS y brújula en mano ya programadas con un punto de llegada de referencia y el circuito debía decirme hacia donde debía girar para encontrar el punto de referencia y avanzar, todos estos mensajes de movimiento se mostraban en una pantalla LCD de prueba y esta información se corroboraba en conjunto con google earth.

Las pruebas se las realizaron en un ambiente despejado, para que el GPS tenga la señal óptima, para esta prueba se programó una ruta que tenía que seguir, y la prueba fue al 85% exitosa, pues la señal del GPS se perdía por razones de baterías, pero después se solucionó ese problema con las baterías Li.-po.

```

// CONDICIONES PARA LA TOMA DE DECISIONES =====
bool condition = ((grado_actual -10) < grado_destino) && ((grado_actual +10) > grado_destino);
bool condition1 = ((grado_actual -10) < grado_destino) ;
bool condition2 = ((grado_actual +10) > grado_destino);

if(condition) //condition == true?
{ Serial2.println("MOVE");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print ("Mover adelante");
  avance();
  delay (1000);
}else
{ if(condition1) //condition == true?
  {Serial2.println("giro izquierda");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print ("giro izquierda");
  feedgps();
  izquierda();
  delay (1000); }
  else
  if(condition2) //condition == true?
  {Serial2.println("giro derecha");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print ("giro derecha");
  feedgps();
  derecha();
  delay (1000);}}

```

Se tomó como referencia la programación base ya realizada y empezarla a acoplar que estos dispositivos funcionen a la perfección.

Los resultados fueron exitosos en cuanto a la localización del ángulo al punto de llegada pues el dispositivo además de decirme hacia donde debía girar, después me calculaba la distancia que había al punto de llegada. Una vez que esa distancia de referencia era menor a unos 5 metros cambiaba el punto de llegada a otro guardado en la programación y volvía a geoestabilizarse hasta encontrar el punto. Así se realizaron varias pruebas y no hubo problemas en esta etapa, fueron pruebas exitosas. La figura 5.9 muestra los datos que me mostraba al momento de encontrar ya el ángulo, esta indicaba hacia donde tenía que moverme, ya sea hacia adelante, izquierda o derecha, con estas instrucciones ya podía manejar una serie de opciones.



Figura 5.9: Foto del circuito funcionando

5.2.7. Guardar Información de Temperatura en SD y luego enviarla a la PC

Objetivo

Tomando en cuenta que ya sabíamos adquirir la información de temperatura, se desea que este dato se almacene en una memoria micro SD para luego ser enviada toda esa información almacenada vía inalámbrica.

Criterio de éxito

Se considera que el almacenamiento y envío de la información fue exitosa si el dato se almacena por un periodo de tiempo establecido por programación y luego mediante un comando que envío de la PC se proceda a enviar la información consiguiendo que el margen de sea nula pues la información no se puede perder, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido.

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en la adquisición, guardado y envío de información inalámbricamente.

Se hicieron varias pruebas para comprobar el funcionamiento de la programación y el dispositivo en base a adquirir el dato de temperatura por unos cuantos minutos y luego leer la micro SD y que esa información aparezca en un archivo .Txt en la PC. Estas pruebas consistieron en salir al exterior con la sonda y adquirir el dato de temperatura en diferentes estados, también se sumergió la sonda en diferentes líquidos a diferentes temperatura, una vez que el tiempo transcurrido se venció, se procedió a enviar el comando para leer la información y pedir al microcontrolador que me envíe dicha información mediante el módulo Xbee.

La información adquirida llegaba correctamente como archivo .Txt y no había ningún problema, por lo tanto la prueba se realizó exitosa.

5.2.8. Sistema de control Final.

Objetivo

El objetivo de esta prueba era ya implementar y que trabajen en conjunto todas las tarjetas que formaban parte del sistema de control, sistema de sensores, sistema y así depurar errores de la programación, este sería el Sistema de control de nuestro proyecto.

Criterio de éxito

Se considera que el Sistema de control funciona exitosamente si todas las placas logran acoplarse sin emitir algún error y que realice todo lo anteriormente mencionado para así lograr el objetivo final, consiguiendo que el margen de error sea de un $\pm 10\%$, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido.

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en la Geoestabilización, búsqueda de un ángulo de referencia, adquisición de temperatura, guardar información de temperatura, y transmitir la

información inalámbricamente, para comprobar el sistema de Geoestabilización se utilizaron indicadores como leds, y pantalla LCD.



La figura 5.10 (a) muestra las tarjetas por separadas, listas para ensamblar, y la figura 5.10 (b) muestra ya nuestro Sistema de control para su funcionamiento.

Las pruebas realizaban todo lo que se pedía, la única falla que se tuvo fue la batería, cosa que se pudo solucionar al adquirir una batería especial de mayor amperaje para el funcionamiento correcto del GPS, Xbee, Sonda, Shield SD, y Arduino mega.



La figura 5.11 muestra la batería que se utilizó, además de ofrecer alta corriente se acoplaba por el tamaño que ocupaba, pues no debía ser muy grande ya que después no entraba en la carcasa de nuestro sumergible, las baterías son LIPO, las mismas que también utilizamos con los motores Brushless.

Comportamientos básicos del sumergible

En esta sección de pruebas se establecen los movimientos básicos del sumergible, por separado.

5.2.9. Sumergirse

Objetivo del experimento

Tomando como estado inicial del experimento que el robot sumergible se encuentre flotando en la superficie del agua en una posición aleatoria, se desea que el prototipo de robot se sumerja hasta llegar al fondo de la piscina.

Criterios de éxito

Se considera que la inmersión se realizó exitosamente si el prototipo de robot sumergible acciona sus motores durante un tiempo t específico, consiguiendo que el prototipo de robot se sumerja hasta llegar al fondo de la piscina, caso contrario, se asume que el experimento fue fallido.

Experimentos

Los experimentos para este comportamiento se enfocaron principalmente en obtener el tiempo t mínimo. Dicho tiempo t corresponde al tiempo que el robot sumergible necesita para activar sus motores Brushless, logrando que el robot se sumerja al ser impulsado hacia abajo. Además, el tiempo t debe ser el tiempo suficiente para permitir que el prototipo de robot se sumerja hasta llegar al fondo de la piscina de manera equilibrada, durante

la inmersión el robot debe de conservar su equilibrio principalmente en el eje transversal.

Se hicieron varias pruebas para obtener el tiempo t mínimo que permitiera al prototipo robot sumergirse manteniendo su equilibrio. Estas pruebas consistieron en colocar el prototipo robot en la superficie del agua en una posición aleatoria.

En la figura 5.12 se presenta la que corresponden a la ejecución de uno de los experimentos del comportamiento básico inmersión, el cual se consideró como exitoso. La figura 5.12 corresponde al estado inicial del robot sumergible al comenzar la prueba.



Figura 5.12: Sumergible antes de sumergirse

En la tabla 5.5 se presentan los resultados de dos experimentos seleccionados.

En la primera fila se muestra el experimento antes mencionado (figura 5.12), el cual tomó dos segundos en llevarse a cabo. Dicho tiempo se considera no adecuado, pues se observó que el robot sumergible se desestabilizó durante el proceso de inmersión.

En la tabla 5.5 se registró también un segundo experimento de la misma prueba, este tomo tres segundos en llevarse a cabo (tiempo $t = 3$ seg), en el cual se observó que el equilibrio del robot sumergible durante el comportamiento de inmersión mejoró. Para experimentos futuros en los que sea necesario utilizar el comportamiento básico de inmersión, se fijará el tiempo $t = 3$ segundos.

No. Experimento	Tiempo Total	Resultado	Observaciones
1	2 Seg	Exitoso	El prototipo de robot sumergible se desequilibró en su eje transversal durante la inmersión, $t = 2$ seg,
2	3 Seg	Exitoso	El prototipo de robot sumergible mantuvo su equilibrio durante la inmersión, $t = 3$ seg. La válvula fue abierta con menos fuerza y el aire contenido en la campana fue liberado de forma más lenta que en el experimento 1, provocando que el robot sumergible descendiera casi verticalmente.

Tabla 5.5: Resultados de dos experimentos realizados

5.2.10. Emerger

Objetivo del experimento

Tomando como estado inicial una posición aleatoria del prototipo de robot sumergible en el fondo de la piscina, lograr que el prototipo de robot sumergible emerja hasta que este llegue a la superficie del agua.

Criterios de éxito

Se considera que la emersión se realizó exitosamente si el prototipo de robot sumergible logra tener al final del experimento una parte de su

cuerpo fuera de la superficie del agua, es decir si al terminar la prueba, la línea de flotación divide necesariamente el cuerpo del prototipo de robot sumergible en dos.

Experimentos

Los experimentos realizados consistieron principalmente en calcular el tiempo t_2 necesario para lograr que el prototipo de robot sumergible emergiera, además, el prototipo de robot sumergible debía conservar su equilibrio durante el proceso de emersión. Es por eso, que antes de calcular el tiempo t_2 , fue necesario probar la fuerza que los motores Brushless debían ejercer sobre el sumergible para así por medio de empuje el sumergible emergiera. Se probaron diferentes posiciones de los motores para el empuje, y se encontró una posición adecuada, con la cual fue posible conseguir con cierto margen de error, el equilibrio del robot durante la emersión. La posición encontrada, del orden de 90° aproximadamente, fue empleada para posicionar los motores en todos los experimentos. Posteriormente, se probaron diferentes tiempos t_2 de manera experimental, que permitieran al robot emerger y mantenerse equilibrado durante la emersión.

Las pruebas consistieron en colocar el prototipo de robot sumergible en el fondo de la piscina en posiciones aleatorias, posteriormente, el robot debía emerger al ser impulsado por los motores Brushless.

5.2.11. Cambiar de dirección

Objetivo del experimento

Que el prototipo de robot sumergible gire hacia la izquierda 180° aproximadamente si la marca no ha sido detectada, posteriormente, el prototipo de robot sumergible deberá avanzar hacia adelante al menos 15 cm, finalmente, el prototipo de robot sumergible deberá detenerse.

Criterios de éxito

Experimentalmente se considera una prueba como exitosa, si al cabo de un tiempo t_x definido por el diseñador, el prototipo de robot sumergible gira 180° aproximadamente hacia la izquierda y posteriormente, avanza hacia adelante una distancia mayor o igual a 15 cm, caso contrario se considera que el experimento fue fallido.

Se estableció que la distancia mínima posible para avanzar fuera de 15 cm, ya que puede darse el caso en el que la trayectoria del robot se convierta en un ciclo debido a los giros aleatorios llevados a cabo en otros comportamientos, lo cual representa un problema si lo que se desea es abarcar la mayor cantidad de área posible de la superficie de la piscina. Por tanto, si hacemos que el robot avance hacia adelante al menos 15 cm, aunque la trayectoria del robot sea cíclica, este tendrá más posibilidades de recorrer superficies de la piscina por las que no había pasado con anterioridad.

Experimentos

Durante los experimentos realizados para este comportamiento básico cambiar de dirección, se calcularon experimentalmente los tiempos t_4 y t_5 necesarios para permitir que el prototipo de robot sumergible girara 180° aproximadamente y avanzara una distancia de al menos 15 cm hacia adelante.

Antes de iniciar las pruebas, se asignó vía software un tiempo t_x igual a un número aleatorio fijo de un orden mayor o igual a 10 seg y menor a 20 seg. Los experimentos consistieron en colocar el robot en una posición aleatoria, en la superficie o en el fondo de la piscina, posteriormente, el robot debía mantenerse avanzando hacia delante hasta que el tiempo t_x expirara, lo cual producía la ejecución del comportamiento básico cambiar de dirección.

En la figura 5.13 se muestra una secuencia de imágenes que corresponden a uno de los experimentos de este comportamiento. Para este experimento, se asignó el tiempo $t_x = 12$ seg, por tanto el robot se mantuvo avanzando hacia adelante durante ese tiempo. Cuando el tiempo t_x expiró y el valor de la variable interna marca era igual a no encontrada, el robot se encontraba orientado como lo indica la figura 5.13 (a), las figuras 5.13 (b) el giro del robot hacia la izquierda durante un tiempo t_4 (obtenido experimentalmente), lo cual provocó que el robot girara aproximadamente 180° , en la figura 5.13 se observa el estado final del robot al concluir la prueba, este indica que el robot avanzó hacia delante durante un tiempo t_5 obtenido experimentalmente para avanzar 15 cm aproximadamente.

La figura 5.13 (b) también muestra la prueba realizada ya en la piscina Olímpica de Universidad Estatal Península de Santa Elena. Se realizaron varias pruebas en la piscina de la Universidad dando como resultado exitoso el giro, aunque a veces la velocidad de los motores se excedía mucho. Solo se redujo las revoluciones.

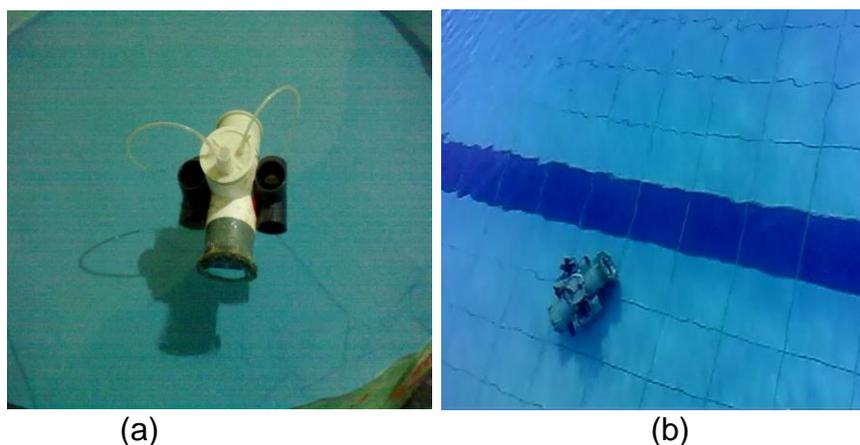


Figura 5.13: Comportamiento básico cambiar de dirección,

La tabla 5.6 muestra dos de los experimentos realizados para este comportamiento, el primero corresponde al experimento de la figura 5.13, en el cual el robot ejecutó el comportamiento cambiar de dirección estando en la superficie del agua.

En el segundo experimento, el robot fue colocado en el fondo de la piscina, i.e. inmerso. La tabla 5.6 también proporciona los tiempos durante los que el robot ejecutó el comportamiento, así como algunas observaciones respecto a dichos experimentos.

No. Experimento	Estado del robot	Tiempo Total	Observaciones
1	En la superficie	8 seg	El prototipo de robot sumergible giró 180° aproximadamente durante 5 seg, y avanzó 15 cm aproximadamente durante 3 seg, por lo cual la prueba se consideró exitosa. Los tiempos empleados en el experimento son: $t_4 = 5$ seg y $t_5 = 3$ seg.
2	Inmerso	9 seg	El prototipo de robot sumergible giró 180° aproximadamente durante 5 seg, y avanzó 11 cm aproximadamente durante 4 seg debido a la densidad del agua, por lo cual la prueba se consideró no exitosa. Para pruebas posteriores los

			tiempos serán $t_4 = 5$ seg y $t_5 > 5$ seg en inmersión.
--	--	--	---

Tabla 5.6: Resultados de cambio de dirección.

5.2.12. Avanzar

Objetivo del experimento

El prototipo de robot sumergible deberá avanzar hacia adelante al menos 50 cm, finalmente, el prototipo de robot sumergible deberá detenerse.

Criterios de éxito

Experimentalmente se considera una prueba como exitosa, si al cabo de un tiempo t_x definido por el diseñador, el prototipo de robot sumergible avanza hacia adelante una distancia mayor o igual a 50 cm, caso contrario se considera que el experimento fue fallido.

Se estableció que la distancia mínima posible para avanzar fuera de 50 cm, ya que puede darse el caso en el que la trayectoria del prototipo de robot sumergible se convierta en un ciclo debido a los giros aleatorios llevados a cabo en otros comportamientos, lo cual representa un problema si lo que se desea es abarcar la mayor cantidad de área posible de la superficie de la piscina. Por tanto, si hacemos que el robot avance hacia adelante al menos 50 cm, aunque la trayectoria del robot sea cíclica, este tendrá más posibilidades de recorrer superficies de la piscina por las que no había pasado con anterioridad.

Experimentos

Durante los experimentos realizados para este comportamiento básico de avanzada, se calcularon experimentalmente los tiempos necesarios para permitir que el prototipo de robot sumergible avanzara una distancia de al menos 50 cm hacia adelante. Antes de iniciar las pruebas, se asignó vía

software un tiempo t_x igual a un número aleatorio fijo de un orden mayor o igual a 10 seg y menor a 20 seg.

Los experimentos consistieron en colocar el prototipo de robot sumergible en una posición aleatoria, i.e. en la superficie o en el fondo de la piscina, posteriormente, el robot debía mantenerse avanzando hacia delante hasta que el tiempo t_x expirara. En la figura 5.14 se muestra un de las imágenes que corresponden a uno de los experimentos de este comportamiento. Para este experimento, se asignó el tiempo $t_x = 12$ seg, por tanto el robot se mantuvo avanzando hacia adelante durante ese tiempo.

Cuando el tiempo t_x expiró y el valor de la variable interna marca era igual a no encontrada, el robot se encontraba orientado como lo indica la figura 5.14.

Tomando en cuenta la densidad del agua, los motores funcionaron a la perfección en velocidad y potencia. El avance fue exitoso pues el prototipo no quedó estable, al contrario avanzó una distancia considerable respecto a la prueba realizada con los motores cooler. Los motores Brushless son la mejor alternativa para este proyecto.

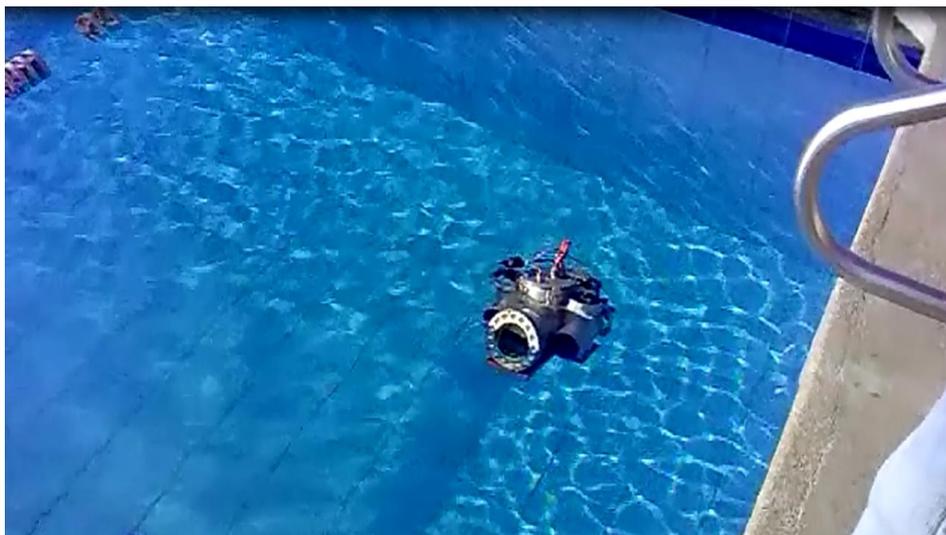


Figura 5.14: Comportamiento básico avanzar

5.2.13. Prueba Final

Objetivo del experimento

El prototipo de robot sumergible deberá seguir una ruta programada buscando el ángulo necesario para avanzar y girar automáticamente, cuando llegue al punto establecido deberá detenerse, caso contrario deberá hacer una serie de movimientos en círculos hasta geoestabilizarse y poder así encontrar la ruta programada, y es aquí donde evaluaremos todo el desempeño de nuestro sumergible, pues además de seguir la ruta deberá guardar y transmitir el dato de temperatura adquirida.

Criterios de éxito

Experimentalmente se considera una prueba como exitosa, si al cabo de un tiempo t_x definido por el diseñador, el prototipo de robot sumergible sigue la ruta trazada, caso contrario se considera que el experimento fue fallido.

Se estableció que la ruta sea corta, pues el espacio con el que se contaba al momento de las pruebas era muy reducido, y se encontró un margen de error en cuanto a los giros debido a las velocidades de los motores Brushless, lo cual representa un problema si lo que se desea usar en espacios reducidos, pero para áreas mayores se espera tener mejores resultados, aunque la trayectoria del prototipo de robot sumergible sea cíclica, este tendrá más posibilidades de recorrer superficies de la piscina por las que no había pasado con anterioridad.

Experimentos

Durante los experimentos realizados para este comportamiento de seguir la ruta trazada, se calcularon experimentalmente los tiempos necesarios para permitir que el prototipo de robot sumergible avanzara la ruta.

Antes de iniciar las pruebas, se asignó vía software una ruta, dando las coordenadas de latitud y longitud, de allí se esperó un determinado

tiempo hasta que el GPS se enganchara con el satélite y así poder seguir la ruta.

Los experimentos consistieron en colocar el prototipo de robot sumergible en una posición aleatoria, i.e. en la superficie o en el fondo de la piscina, posteriormente, el prototipo de robot sumergible debía avanzar de acuerdo a la ruta trazada, sin importar el tiempo que tardara.

En la figura 5.15 se muestra un de las imágenes que corresponden a uno de los experimentos de este comportamiento. Para este experimento, se asignó las coordenadas de latitud = -2.233477 y longitud = -80.880606 ; por tanto el prototipo de robot sumergible buscó su dirección y calculó el ángulo de inclinación hacia el punto destinado y así se mantuvo avanzando hacia la coordenada de destino durante un tiempo.

Cuando el prototipo de robot sumergible llegaba a su destino valor de la variable interna marca era igual a no encontrada, el prototipo de robot sumergible se encontraba orientado como lo indica la figura 5.15.

También se realizó la prueba en la piscina de la Universidad, en donde también se obtuvo respuesta positiva con respecto a las pruebas realizadas en lugares pequeños y amplios.

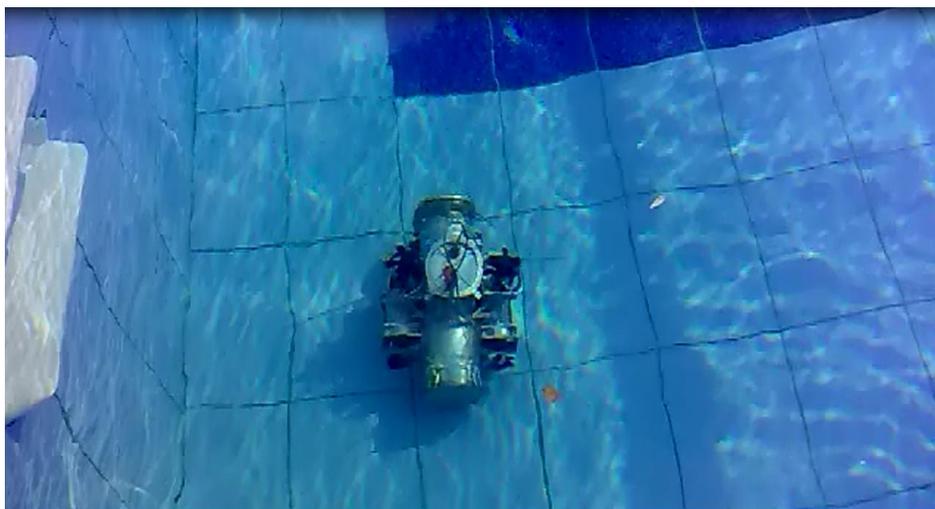


Figura 5.15: Sumergible estacionado en el punto de llegada

La tabla 5.7 muestra dos de los experimentos realizados para este comportamiento, el primero corresponde al experimento de la figura 5.13, en el cual el prototipo de robot sumergible ejecuto el comportamiento cambiar de dirección estando en la superficie del agua. En el segundo experimento, el robot fue colocado en el fondo de la piscina, i.e. inmerso.

La tabla 5.7 también proporciona los tiempos durante los que el prototipo de robot sumergible ejecutó el comportamiento, así como algunas observaciones respecto a dichos experimentos.

Al momento de tomar la temperatura y almacenarla fue un éxito, el problema surge cuando los transmite, pues como el sumergible es sellado se corta la comunicación inalámbrica.

No. Experimento	Estado del robot	Tiempo Total	Observaciones
1	En la superficie	8 seg	El prototipo de robot sumergible giró 150° aproximadamente durante 10 seg, y avanzó 50 cm aproximadamente durante 3 seg, por lo cual la prueba se consideró exitosa. Los tiempos empleados en el experimento son: $t_4 = 5$ seg y $t_5 = 3$ seg.
2	Inmerso	9 seg	El prototipo de robot sumergible giró 35° aproximadamente durante 4 seg, y avanzó 20 cm aproximadamente durante 6 seg debido a la densidad del agua, por lo cual la prueba se

			consideró no exitosa. Para pruebas posteriores los tiempos serán $t_4 = 5$ seg y $t_5 > 5$ seg en inmersión.
--	--	--	--

Tabla 5.7: Resultados de seguir ruta en dos ámbitos.

5.3 DOCUMENTACIÓN GENERACIÓN DE LOS MANUALES DE USUARIO (OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO) Y DE MANTENIMIENTO.

De acuerdo a todos los requerimientos se realizó el proyecto del sumergible, de fácil manejo y operación. Cualquier usuario con una PC disponible y los programas requeridos puede tener acceso al funcionamiento del prototipo. Este manual se encuentra en el Anexo 2.

5.4 DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

De acuerdo a los requerimientos generales y las pruebas realizadas podemos demostrar que es posible adquirir el dato de la temperatura capturada en el agua por una sonda y un sumergible, siendo considerada como una herramienta de medición en la Facultad de Ciencias del Mar.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los requerimientos generales establecido en el capítulo tres y los resultados obtenidos durante las pruebas del prototipo sumergible se puede concluir:

- La programación de control de los motores a través del Arduino permitió realizar diferentes combinaciones de movimientos y rutas al sumergible.
- El software Labview simplificó el lenguaje de programación y facilitó la integración de los diferentes componentes de control en una sola interfaz amigable para cualquier usuario.
- El diseño del compartimiento seco impidió que el agua ingrese al durante una inmersión.
- El sistema de adquisición de dato de temperatura es muy estable ya que solo posee un margen de error de hasta $\pm 2\%$, que es muy bajo, comparado a los demás sensores de temperatura usadas.
- Los diferentes diseños realizados para el prototipo sumergible, permitieron escoger el modelo más estable, y que dé las mejores prestaciones para manipularlo. La distribución de los pesos a lo largo de la estructura se realizó sin considerar las corrientes a las que se enfrentaría el sumergible.
- La Programación realizada en conjunto con el circuito, garantizan que el sumergible encuentre la marca programada en latitud y longitud, haciendo que la estrategia sea la mejor, teniendo un margen de error de $\pm 1\%$.
- La transmisión inalámbrica del dato de temperatura es óptima hasta cierta distancia debido a que el transmisor no se encuentra en el rango de unos 10 m con el receptor.
- Los diferentes sensores de temperatura, permiten adquirir el dato de temperatura, pero sin embargo el sensor con un margen de

error de $\pm 1^\circ$ fue la sonda ds18b20, que es la que se utilizó, además de ser a prueba de agua.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones y pruebas realizadas en piscina y en aguas abiertas del Sumergible, se puede recomendar:

- ✓ Si es necesario aumentar la velocidad del prototipo de robot sumergible se recomienda instalar dos motores más a la estructura del sumergible.
- ✓ Para que el robot sumergible funcione por más de dos horas se recomienda comprar una batería de larga duración; también se puede ampliar el bloque de potencia con más baterías para aumentar la autonomía del robot submarino.
- ✓ Para garantizar la hermeticidad del compartimiento seco es necesario comprar conectores acuáticos que permitan la flexibilidad y rotación de los cables. Al usar un conector acuático se puede reducir el número de cables que conectan los motores del sumergible.
- ✓ Es necesario instalar sensores construidos con materiales no corrosibles para que puedan funcionar con la salinidad del mar. Las herramientas de ensamblaje y mantenimiento del robot sumergible deben ser de acero inoxidable. El medio donde trabajara el robot sumergible corroe fácilmente cualquier herramienta metálica.
- ✓ Para realizar inmersiones en la noche es necesario instalar un sistema de iluminación extra en el robot sumergible.
- ✓ Se recomienda comprar las licencias de software actualizado y completo de LabView.
- ✓ Se recomienda comprar una cámara resistente al agua para así salvaguardar su funcionamiento en caso de que filtre agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo José M, A. I. (2008). *Microcontrolador PIC: Diseño practico de aplicaciones*. ESPAÑA: McGraw-Hill/INTERAMERICANA.
- Arduino. (2013). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/es/>.
- Brühlmann, T. (2012). *Arduino Praxiseinstieg : Behandelt Arduino 1.0*. Obtenido de <http://www.ebib.com>
- Eduardo, G. B. (2008). *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC*. México: Alfa Omega Grupo Editor.
- Gurstelle, W. (2012). *Building Bots : Designing and Building Warrior Robots*. . Obtenido de <http://www.ebib.com>
- Lerma, H. D. (2004). *Metodología de la investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto*. Bogotá D.C.
- Meléndrez, E. H. (junio de 2013). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Cómo escribir una tesis*. Obtenido de <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/hematologia/tesis.pdf.pdf>
- Microchip, E. (Abril de 2013). *Manual del PIC16F87xx*. Obtenido de http://proton.ucting.udg.mx/tutorial/Manual_PIC16F87X/Manual_PIC16F87X.pdf
- Palacios E, R. F. (2004). *Microcontrolador PIC16F84: Desarrollo de Proyectos*. México: Alfa Omega Grupo Editor.
- Razo, C. M. (Agosto de 2013). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos3/comotesis/comotesis.shtml>
- ROV, O. (Julio de 2013). *OPEN ROV*. Obtenido de http://wiki.openrov.com/index.php/Main_Page
- Sánchez, G. (Febrero de 2013). «*Sistema posicionamiento global (GPS) y las teorías de la relatividad*». Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global
- Sommer, U. (2012). *Arduino : Mikrocontroller-Programmierung mit Arduino*. Obtenido de <http://www.ebib.com>
- submarino, R. P. (Agosto de 2013). *Experiments in subsea teleprogramming*. Obtenido de Recuperado de <http://www.cis.upenn.edu/~sayers/tele/subsea.html>

ANEXO 1

ENCUESTAS



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

“Implementación de un prototipo sumergible híbrido para adquirir dato de temperatura e imágenes que ayude como herramienta de medición para los estudiantes de la Facultad de Ciencias del Mar” previo a la obtención del título de INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.

ENCUESTA ESTUDIANTES DE BIOLOGÍA MARINA

1. En su Aprendizaje teórico-práctico, ¿Cuánto le ayudaría un dispositivo de medición de dato de temperatura y toma de imágenes?

MUCHO POCO NADA

2. ¿Hace cuánto tiempo no realiza prácticas de laboratorio?

Años Meses Semanas

3. Durante el periodo que lleva en su carrera, ¿Ha necesitado realizar mediciones de dato de temperatura?

MUCHO POCO NADA

4. ¿Ha utilizado los equipos de medición que posee la escuela?

SI NO

5. Cree necesario tener equipos de medición disponibles para el uso de sus prácticas.

SI NO

ENCUESTAS



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

“Implementación de un prototipo sumergible híbrido para adquirir dato de temperatura e imágenes que ayude como herramienta de medición para los estudiantes de la Facultad de Ciencias del Mar” previo a la obtención del título de INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.

ENCUESTA DOCENTES DE BIOLOGÍA MARINA

1. Con que frecuencia lleva a los estudiantes al laboratorio a realizar mediciones de datos

- Una vez al día Varias veces al día
 Todos los días de la semana Una vez a la semana

2. ¿Los equipos de mediciones de datos oceanográficos actuales le presta las facilidades para realizar la correcta impartición de sus clases?

- SI NO

3. ¿Estaría de acuerdo que exista más de un equipo medición que sea de bajo coste en los laboratorios a un futuro?

- SI NO

4. ¿Cuánto cree Ud. que aportaría un equipo adicional de adquisición de datos para el uso de los estudiantes?

- MUCHO POCO NADA

5. ¿La información que proporcionan los equipos de mediciones actuales le permiten transferir la los datos una PC fácilmente?

- SI NO

TABULACIÓN

Las encuestas fueron realizadas a 20 estudiantes y 4 docentes de la Escuela de Biología Marina dando los siguientes resultados:

ENCUESTA ESTUDIANTES DE BIOLOGÍA MARINA

1. En su Aprendizaje teórico-práctico, ¿Cuánto le ayudaría un dispositivo de medición de dato de temperatura y toma de imágenes?

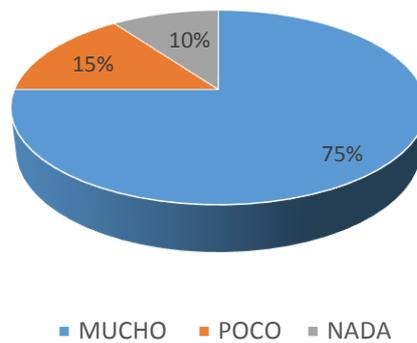


Figura 3.2 Pregunta No 1 Estudiantes

Fuente: Diseño de Tesis

Con la presente pregunta se quiere establecer cuál es la apreciación que los estudiantes tienen respecto a la ayuda que ha significado la consecución de un dispositivo de medición de dato en su actividad académica, quedando establecido que el 75 % de los estudiantes encuestados consideran que le sería de mucho beneficio, mientras que un 15 % consideran que poco. Esto nos da a entender que los estudiantes valoran en gran medida el apoyo de una herramienta práctica que puede afirmar los conocimientos teóricos.

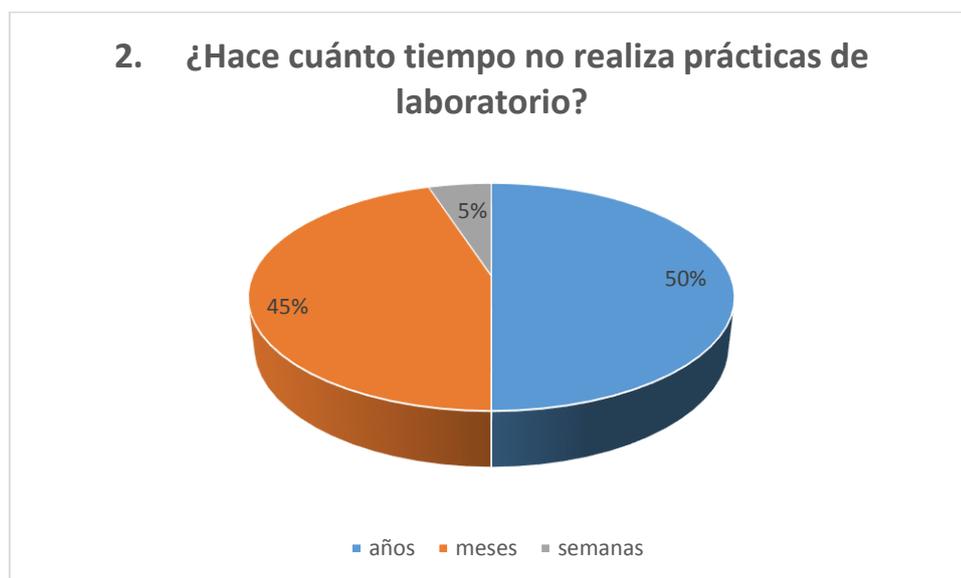


Figura 3.3 Pregunta No 2 Estudiantes

Fuente: Diseño de Tesis

Con la segunda pregunta se quiere averiguar el tiempo que los estudiantes encuestados no han realizado prácticas del laboratorio de la Facultad de Ciencias del Mar, quedando las respuestas de la siguiente manera: Un 50 % de los encuestados determinan que tienen varios años que no visitan el laboratorio, un 45 % que tienen meses y el 5 % son estudiantes prácticamente nuevos. Los resultados demuestran que los estudiantes de la Escuela de Biología Marina si hacen uso del laboratorio, por lo tanto un equipo de medición de temperatura adicional les serian de mucha ayuda.

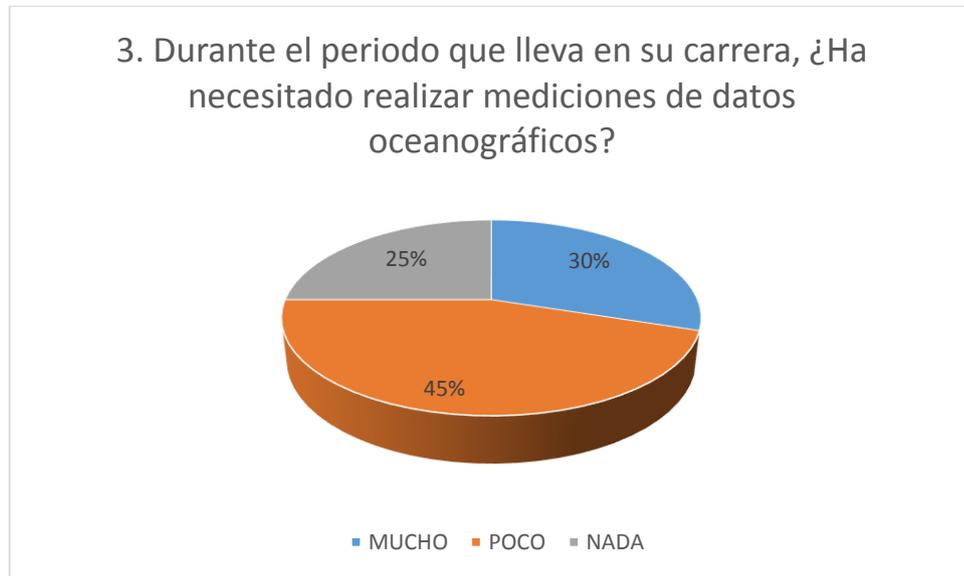


Figura 3.4 Pregunta No 3 Estudiantes

Fuente: Diseño de Tesis

La siguiente interrogante busca determinar en qué medida requieren los estudiantes adquirir datos oceanográficos para su respectivo estudio por parte de los dispositivos de mediciones, quedando como resultado que un 45 % consideran que mucho y un 30 % señalan que poco. Lo que indica que a los estudiantes si realizan mediciones para desarrollar sus actividades y estudios que los llevaran a emitir las soluciones debidas a sus problemas.

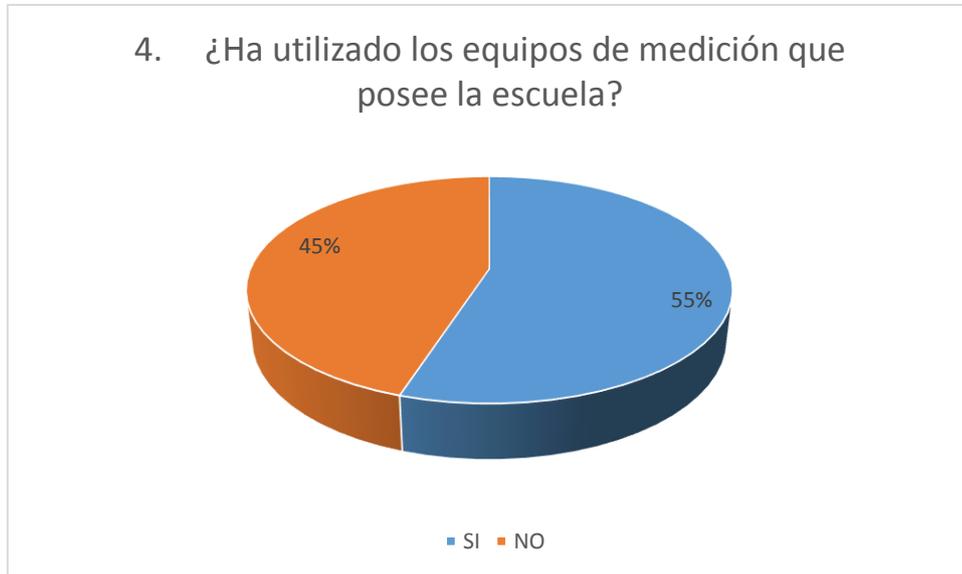


Figura 3.5 Pregunta No 4 Estudiantes

Fuente: Diseño de Tesis

Con la presente pregunta se requiere saber si los estudiantes de Biología Marina de la Universidad Estatal Península de Santa Elena han utilizado los instrumentos de mediciones de la Facultad de Ciencias del Mar, dando como resultado que el 55 % de ellas si han utilizado mientras que un 45 % no lo ha hecho. Por lo que se entiende que en su mayoría han logrado manipular el instrumento de medición, y con el prototipo accesible y de bajo costo podrían utilizarlo los que no han experimentado.



Figura 3.6 Pregunta No 5 Estudiantes

Fuente: Diseño de Tesis

También se consultó sobre la necesidad que tendrían los estudiantes de contar con más equipos de mediciones para sus prácticas. A lo que contestaron en un 80% que sí y en un 20% que no. Por lo que nos demuestra que el prototipo sería un gran aporte a la innovación tecnológica en la Carrera de Biología Marina.

ENCUESTA DOCENTES DE LA FACULTAD

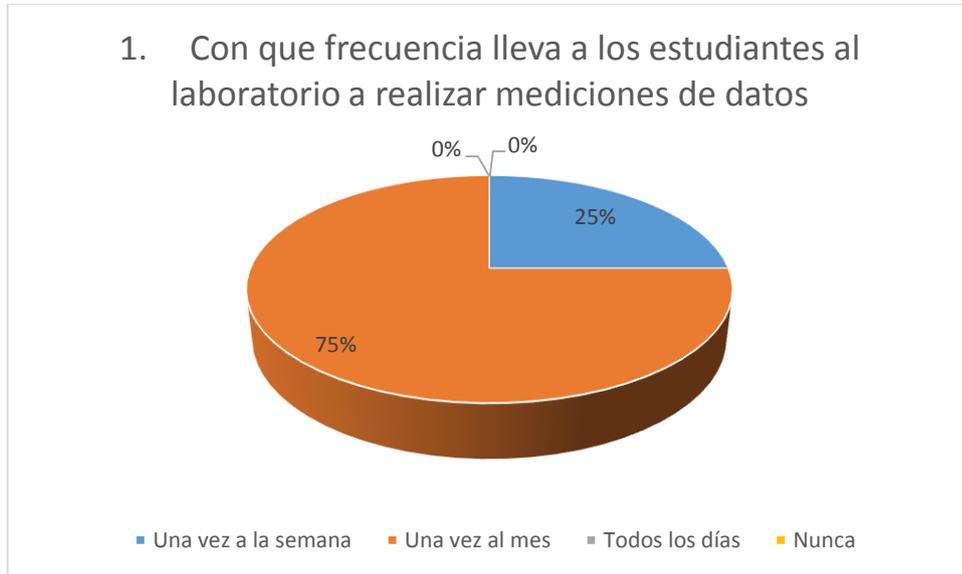


Figura 3.7 Pregunta No 1 Docente

Fuente: Diseño de Tesis

Con la presente pregunta se requiere determinar con qué frecuencia los docentes de la Facultad de Ciencias del Mar acceden al Laboratorio en conjunto con sus estudiantes, obteniendo los siguientes resultados: Un 75% lo realiza una vez al mes, el 25% indicaron que una vez a la semana. El resultado indica que en su mayoría ingresan a los laboratorios de Ciencias del Mar por lo que las instalaciones debe prestar todas las facilidades para el buen desempeño del estudiante en un tiempo óptimo.

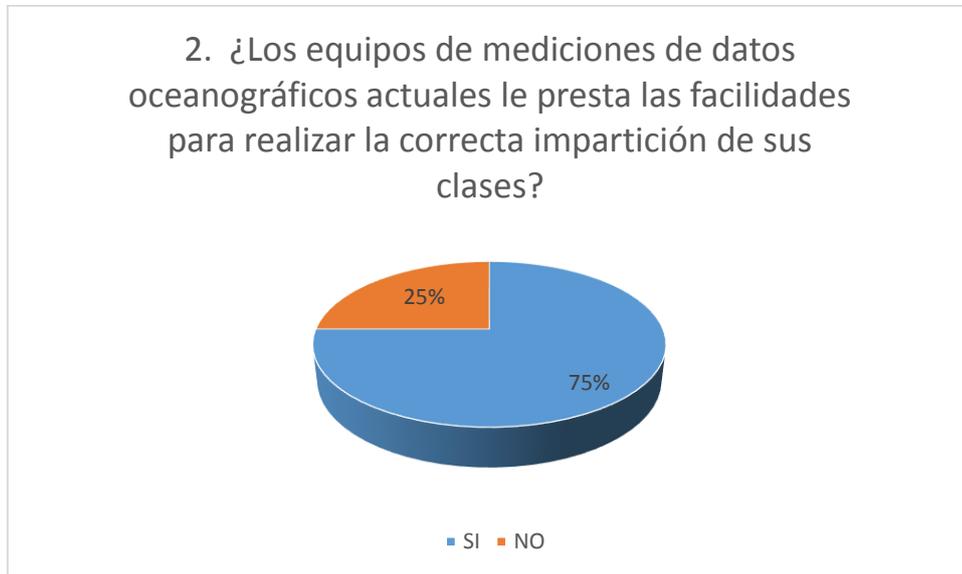


Figura 3.8 Pregunta No 2 Docentes

Fuente: Diseño de Tesis

Con la presente pregunta se requiere establecer si los equipos de mediciones actuales permiten al docente llevar una clase óptima, siendo las respuestas las siguientes: El 75% indicaron que sí y el 25% que no. Esto implica que el prototipo de sistema de medición podría mejorar y aportar con información adecuada para la correcta impartición de las clases.

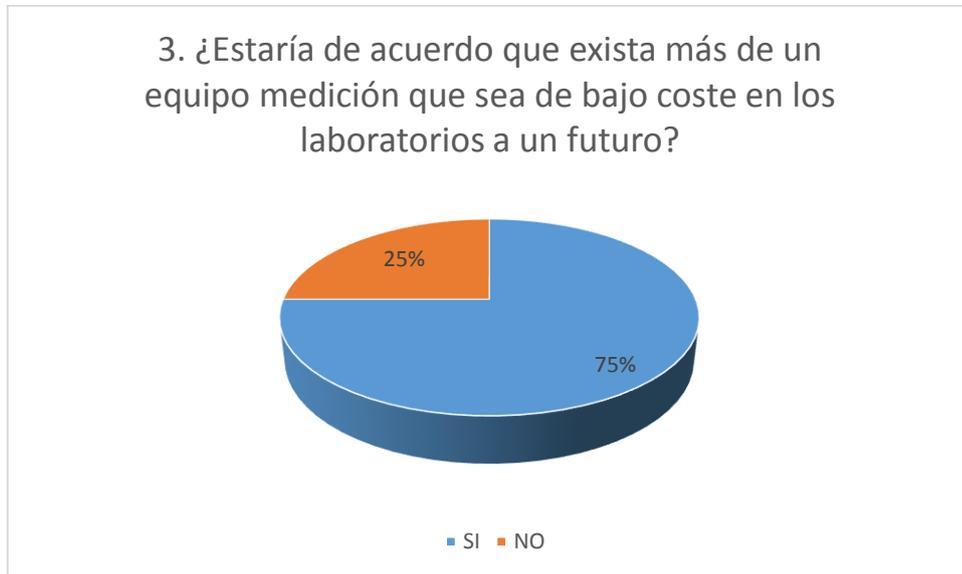


Figura 3.9 Pregunta No 3 Docentes

Fuente: Diseño de Tesis

La pregunta 3 quiere determinar si los docentes de la Facultad estarían de acuerdo que exista más de un equipo de medición que sea de bajo coste para adquirir la información de su trabajo en campo que esta pueda ser visualizada en otro momento o a futuro por cualquier otro supervisor. A lo que ellos respondieron de la siguiente manera: Un 75% indicaron que si estarían de acuerdo y un 25% que no. Por lo tanto el prototipo de medición que se propone ayudaría en gran manera para laboratorio práctico.

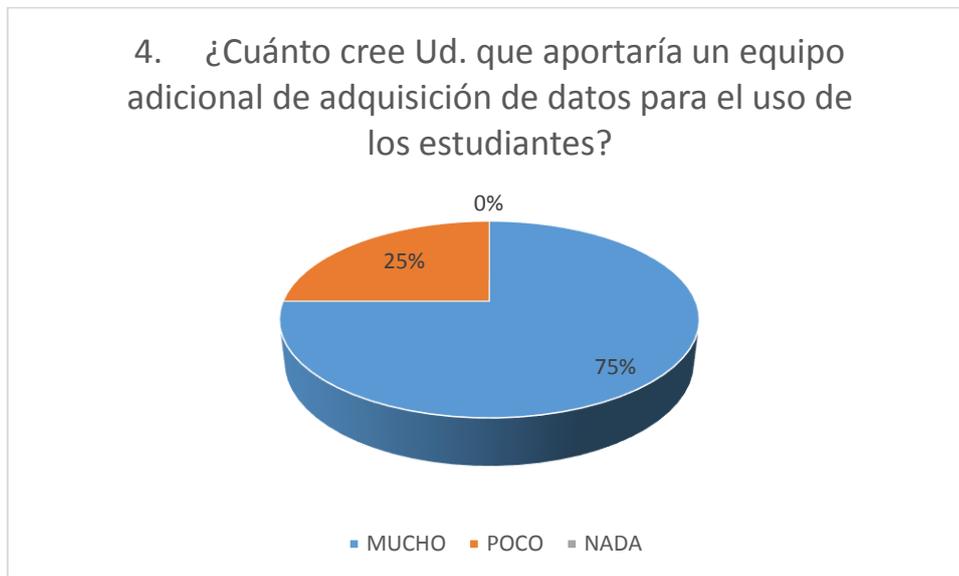


Figura 3.10 Pregunta No 4 Docentes

Fuente: Diseño de Tesis

La presente pregunta requiere determinar en qué medida un prototipo de medición para el Laboratorio de la Facultad de Ciencias del Mar aportarían para el uso de las prácticas de los estudiantes. Siendo las respuestas las siguientes: Un 75 % indican que sería de mucho aporte y un 25 % que sería un poco el aporte que brindaría el prototipo. El resultado es satisfactorio para realizar el prototipo de sumergible propuesto, puesto que serviría de mucha ayuda al personal docente y equipamiento del laboratorio, puesto que se podrá contar con una herramienta de adquisición adicional que le pueda proporcionar dato de temperatura para su respectivo estudio.

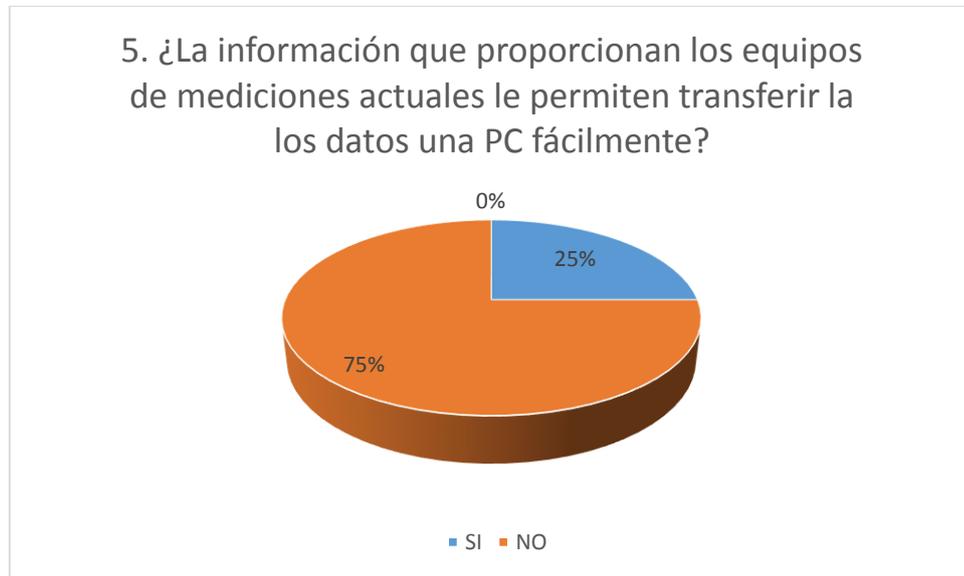


Figura 3.11 Pregunta No 5 Asesores

Fuente: Diseño de Tesis

La siguiente pregunta permite saber si los equipos actuales prestan todas las facilidades para poder transferir la información a una PC. Para poder realizar un mejor análisis de los datos adquiridos, dando como resultado que el 75% indica que no, y el 25% que sí. En base a los resultados el prototipo prestará todas las facilidades para transferir el dato de temperatura a la PC inalámbricamente.

3.4.2. RESULTADOS

Descripción de los resultados de la tabulación.

Los resultados obtenidos de la encuesta realizada a los docentes y estudiantes de la Facultad de Ciencias del Mar, en la Escuela de Biología Marina de la Universidad Estatal Península de Santa Elena nos muestran

que es factible la realización del prototipo propuesto, puesto que dará un mayor enfoque a la innovación tecnológica en la escuela e impulsará a la investigación.

Así también se ha podido obtener, de la información receptada, los requerimientos que se aplicarían al prototipo de sumergible para una mayor eficiencia en el trabajo que se realiza previo.

ANEXO 2

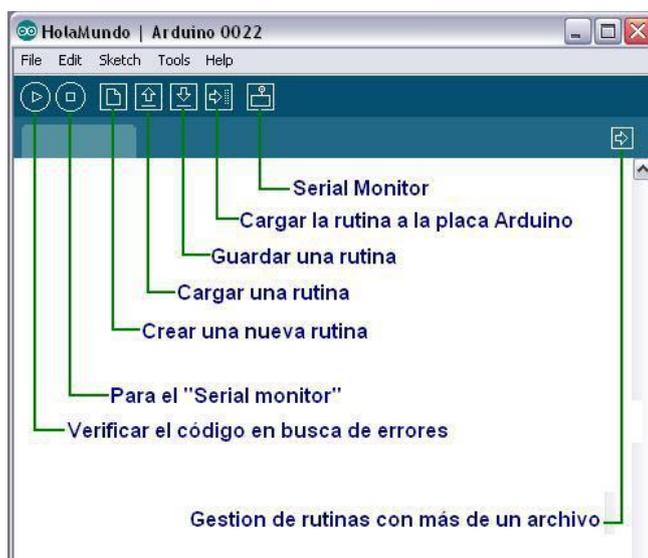
Manual de Usuario

Para el uso del sumergible se llevará a cabo los siguientes pasos.

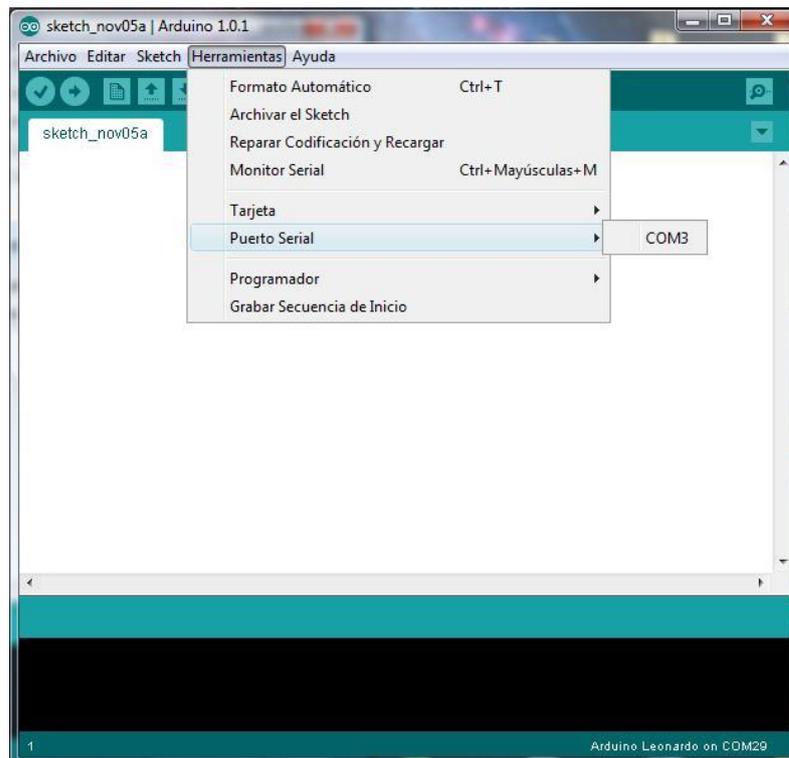
1.- Programar un punto de coordenadas GPS de latitud y longitud en unas líneas de códigos sencillas, para esto debe saber utilizar el Google Earth, para ver la posición a programar.

```
float flat2=    -2.233477;    //waypoint 1
float flon2=   -80.880606;
float flat3=    -2.233572;    //waypoint 2
float flon3=   -80.879441;
float flat4=    -2.232580 ;    //waypoint 3
float flon4=   -80.879680 ;
float flat5=    -2.232539;    // waypoint 4
float flon5=   -80.879515;
float flat6=    -2.231322;    // waypoint 5
float flon6=   -80.878657;
```

2.- Una vez establecido el punto de llegada, enviar la programación al sumergible, conectándolo mediante cable USB y presionar el botón de programación.



3.- Antes del paso 2 debe verificar si está seleccionado el puerto COM correspondiente, y si están instalados los drivers de la tarjeta. Para ello debe revisar el CD de usuario donde se encuentran los instaladores.



4.- Una vez programado el sumergible, colocarlo en el agua para que busque su destino automáticamente.

5.- Para ver la interfaz con el dato de temperatura se debe instalar la interfaz de usuario que está en el CD y abrir el programa. Se mostrará la interfaz con el dato de temperatura en tiempo real.



6.- sí quiere guardar la información adquirida en un archivo .TXT debe colocar la dirección a guardar, y presionar el botón de guardar, automáticamente se generara el archivo .txt



7.- Si desea ver toda la información de la tarjeta SD, en donde se guardó la información de temperatura debe abrir el prototipo, soltando los seguros de la tapa, y remover el módulo de control en donde se encuentra alojada la memoria, también puede sacar la tarjeta en donde se encuentran alojadas las fotos tomadas.

ANEXO 3

PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO

```
#include <TinyGPS.h>
#include <Wire.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>

Servo esc0;
Servo esc1;
Servo esc2;
Servo esc3;

const int chipSelect = 53;

#define address 0x1E //0011110+b, define la comunicacion y
#define trigPin 9 // define el pin del sensor
#define echoPin 8 // define pin del sensor ultrasonido
#define ONE_WIRE_BUS 2 // define el pin 2 para el sensor
//define los motores y sus pines

int LDR=A0;
int pin = 45;
int contador = 0;
int waycont=1;
int waypoints=5;

int LDR=A0;
int pin = 45;
int contador = 0;
int waycont=1;
int waypoints=5;
int LDRval = 0;
int luz=46;
int n=0;

TinyGPS gps; // define la comunicacion con libreria GPS
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); //Define comunicacion con libreria One WIRE
DallasTemperature sensors(&oneWire); //Define comunicacion con Libreria Da

int SAFE_ZONE = 10; // inicializa 10cm para obstaculo proximo
bool feedgps(); //llama la funcion del GPS y regresa

void setup() {

Serial.begin(9600);

pinMode(53, OUTPUT);
```

```

    pinMode(luz, OUTPUT);
    digitalWrite(luz,LOW);

esc0.attach(13); //amarillo
esc1.attach(12); //rojo
esc2.attach(11); //azul
esc3.attach(10); //naranja

}

//Declara arreglo y variable para Motores
void guardar (){
    char index = 0;
    int temp = 0;
    String dataString = "";
    char sz[32];
    //feedgps();
    //*****
    unsigned long age;
    int year;
    byte month, day, hour, minute, second, hundredths;
    //unsigned long age;
    gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minute, &second, &hundredths, &age);
    sensors.begin(); // Configuracion para la comunicacion con el sensor de temperatura
    Serial.begin(9600); // Configuracion para la comunicacion GPS
    Serial2.begin(9600); // Configuracion para la comunicacion

//Configuracion del compas en modo continuo
    Wire.begin();
    Wire.beginTransmission(address);
    Wire.write(byte(0x02));
    Wire.write(byte(0x00));
    Wire.endTransmission();

    Serial.println("UNIVERSIDAD ESTATAL");
    Serial.println("PENINSULA DE SANTA ELENA");
    Serial.println("Ingenieria en Electronica y Telecomunicaciones");
    Serial.println("=====");
    Serial.println("
");
    Serial1.begin(9600);

    pinMode(echoPin, INPUT);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(pin, OUTPUT);

    pinMode(A0, INPUT);
    pinMode(luz, OUTPUT);
    digitalWrite(luz,LOW);

```

```

    char ff = Serial.read();
    if (ff=='A'){
        dataFile = SD.open("FINAL.txt");
        if (dataFile) {
            Serial.println("Lectura SD_ Temperatura:");

            // read from the file until there's nothing else in it:
            while (dataFile.available()) {
                Serial.write(dataFile.read());
            }
            // close the file:
            dataFile.close();
        } else {
            // if the file didn't open, print an error:
            Serial.println("error opening test.txt");
        }
    }
    //return;
    return;
}

int getDistance()
{
    int duration;
    int distancia_sensor;
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(5);
    sprintf(sz, "%02d/%02d/%02d %02d:%02d:%02d  ", month, day, year, hour, minute, second);
    //Serial.print(sz);

File dataFile = SD.open("FINAL.txt", FILE_WRITE);
if(dataFile)
{
    sensors.requestTemperatures(); // Envia comando para leer Temperatura
    //Serial.print ("Temperatura: ");
    Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0)); // Imprime temperatura en serial 2
    dataFile.print(sensors.getTempCByIndex(0));
    dataFile.print(" ; ");
    dataFile.println(sz);
    //temp = ;
    Serial.print (sensors.getTempCByIndex(0));
    //Serial.print (sensors.getTempCByIndex(0));
    Serial.print(" ; ");
    Serial.println(sz);
    // dataString += String(temp);
    // index++;
    // if(index>200)
    //break;

    // dataFile.print(dataString);

    dataFile.close();
}

```

```

    delayMicroseconds(5);
    //duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    duration = 10000;
    return duration / 29 / 2;
}

void loop(){
    sensors.requestTemperatures(); // Envia comando para leer Temperat
    Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0)); // Imprime temperatura
    int termo=sensors.getTempCByIndex(0);

    guardar();

    int distancia_sensor= getDistance();
    feedgps();
    getDistance();

    unsigned char cc = Serial1.read();
    float flat, flon,x2lat,x2lon,falt;
    unsigned long age;
    gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
    float altura = gps.f_altitude();//, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ALTITU
    feedgps();
    getDistance();

    float flat1=flat; // Inicializa la variable Latitud del GPS.
    float flon1=flon; // Inicializa la variable Longitud del GPS.
    float dist_calc=0; // Inicializa la distancia Calculada al Punto
    float angle_calc=0; // Inicializa el angulo a llegar
    float dist_calc2=0; // Inicializa la variable distancia calculada
    float diflat=0;
    float diflon=0;

    float flat2= -2.233477; //waypoint 1
    float flon2= -80.880606;
    float flat3= -2.233572; //waypoint 2
    float flon3= -80.879441;
    float flat4= -2.232580 ; //waypoint 3
    float flon4= -80.879680 ;
    float flat5= -2.232539; // waypoint 4
    float flon5= -80.879515;
    float flat6= -2.231322; // waypoint 5
    float flon6= -80.878657;

    if(waycont==1)
    {
        x2lat = flat2; // setting x2lat and x2lo
        x2lon = flon2;
    }
    if(waycont==2)
    {
        x2lat = flat3;
        x2lon = flon3;
    }
    if(waycont==3)
    {

```

```

    {
        x2lat = flat4;
        x2lon = flon4;
    }
    if(waycont==4)
    {
        x2lat = flat5;
        x2lon = flon5;
    }
    if(waycont==5)
    {
        x2lat = flat6;
        x2lon = flon6;
    }
}
//----- distance formula below. Calculates distance from c

dist_calc=sqrt((((flon1)-(x2lon))*((flon1)-(x2lon)))+(((x2lat-flat1)*(x2lat-flat1))));
dist_calc*=110567 ; //Converting to meters

//=====angle=====
angle_calc=atan2((x2lon-flon1),(x2lat-flat1));
float declinationAngle2 = 57.29577951;
angle_calc*= declinationAngle2;
feedgps();
getDistance();

if(angle_calc < 0)
{
    angle_calc = 360 + angle_calc;
    feedgps();
    getDistance();
}
// Check for wrap due to addition of declination.
if(angle_calc >0){
    angle_calc= angle_calc;
    feedgps();
    getDistance();
}

float grado_actual = angle_calc;
feedgps();
//Codigo para Adquirir datos del compas o Brujula=====
int x, y, z;
feedgps();
getDistance();

// Inicializa comunicacion con la Brujula
Wire.beginTransaction(address);
Wire.write(byte{0x03}); // Send request to X MSB register
Wire.endTransmission();
Wire.requestFrom(address, 6); // Request 6 bytes; 2 bytes per axis
if(6<=Wire.available()) { // If 6 bytes available
    x = Wire.read()<<8; //X msb
    x |= Wire.read(); //X lsb
    z = Wire.read()<<8; //Z msb
    z |= Wire.read(); //Z lsb
    y = Wire.read()<<8; //Y msb
    y |= Wire.read(); //Y lsb
    feedgps();
    getDistance();
}

```

```

float heading = atan2(y,x);
float declinationAngle = 0.0457;
heading += declinationAngle;
feedgps();
  getDistance();
// Correct for when signs are reversed.
if(heading < 0){
  heading += 2*PI;
  feedgps();
  getDistance();
}

// Check for wrap due to addition of declination.
if(heading > 2*PI){
  heading -= 2*PI;
  feedgps();
  getDistance();
}

float grado_destino = heading * 180/M_PI;
feedgps();
getDistance();

Serial.print ("waycont_ = #");
Serial.println (waycont);

Serial.print ("Punto de Llegada---> ");
Serial.print("Lat: ");
Serial.print(x2lat,8);
Serial.print(", Long: ");
Serial.println(x2lon,8);
feedgps();
getDistance();
Serial.print (" Punto Actual ---> ");
Serial.print("Lat: ");
Serial.print(flat,8);
Serial.print(", Long: ");
Serial.println(flon,8);
Serial.print("distancia =");
Serial.println(dist_calc,8);
//lcd.setCursor(5,0);

Serial.print("Grado Actual=");
Serial.println(grado_destino);
Serial.print("Grado destino=");
Serial.println(grado_actual);

Serial.print("Obstaculo proximo a:");
Serial.print(distancia_sensor);
Serial.print("cm");
Serial.println(" ");
delay(500);
Serial.print("Altura:");
Serial.print(altura,5);

```

```

Serial.println("m");

// CONDICIONES PARA LA TOMA DE DESICIONES =====
bool condition = ((grado_actual -10) < grado_destino) && ((grado_actual +10) > grado_destino);
bool condition1 = ((grado_actual -10) < grado_destino) ;
bool condition2 = ((grado_actual +10) > grado_destino);

if(condition) //condition == true?
{
  Serial.println("MOVE");

  feedgps();
  getDistance();
  Serial.print ("adelante");
  esc0.write(179);
  esc1.write(179);
  esc2.write(0);
  esc3.write(0);

  adelante();
  delay (1000);
}
else
{
  if(condition1) //condition == true?
  {
    Serial.println("giro izquierda");
    esc0.write(179);
    esc1.write(0);
    esc2.write(0);
    esc3.write(0);

    feedgps();
    getDistance();
    Serial.print ("Izquierda");
    izquierda();
    delay (1000);
  }
  else
  if(condition2) //condition == true?
  {
    Serial.println("giro derecha");

    Serial.print ("derecha");
    esc0.write(0);
    esc1.write(179);
    esc2.write(0);
    esc3.write(0);
    feedgps();
    getDistance();
    derecha();
    delay (1000);
  }
}

if(dist_calc<4)
{
  feedgps();
  getDistance(); //this goes after the ser
  waycont =waycont+1;
}

if(waycont==waypoints) //this has to do wi
{
  esc0.write(0);
  esc1.write(0);
  Serial.print ("Stop");
}

```

```

Serial.println("      stop      ");

|   }

    if(flon==1000 && flat==1000 )
    {
        feedgps();
        esc0.write(0);
    escl.write(0);

        Serial.println("NO SAT");
        //lcd.clear ();
    }
    else
    {

        esc0.write(179);
        escl.write(0);

        feedgps();
        getDistance();
        delay(20);
        esc0.write(0);
    escl.write(0);
        feedgps();
        getDistance();
        delay(30);
    }

|
}

void myDelay(long duration){
    long stTime = millis();
    while(millis() - stTime <duration){
        feedgps();
        delay(1);
    }
}

static bool feedgps()
{
    while (Serial1.available())
    {
        if (gps.encode(Serial1.read()))
            return true;
    }
    return false;
}

void izquierda ()
{
    esc0.write(179);
    escl.write(0);
    esc2.write(0);
    esc3.write(0);

    return;
}

void derecha ()
{
    esc0.write(0);
    escl.write(179);
    esc2.write(0);
    esc3.write(0);
}

```

```
void izquierda ()
{
  esc0.write(179);
  esc1.write(0);
  esc2.write(0);
  esc3.write(0);

  return;
}
void derecha ()
{
  esc0.write(0);
  esc1.write(179);
  esc2.write(0);
  esc3.write(0);
  return;
}
void adelante ()
{
  esc0.write(179);
  esc1.write(179);
  esc2.write(0);
  esc3.write(0);
  return;
}
```