

DESARROLLO DE UN SISTEMA SUMERGIBLE PARA LA EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL AGUA: MÓDULO DE NAVEGACIÓN

ANDRES FELIPE GRASS VERGARA

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
HERNANDO EFRAÍN LEÓN RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NOVIEMBRE, 2019

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: CONTROL Y AUTOMATISMOS INDUSTRIALES

**DESARROLLO DE UN SISTEMA SUMERGIBLE PARA LA
EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL AGUA: MÓDULO DE
NAVEGACIÓN**

ANDRES FELIPE GRASS VERGARA

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
HERNANDO EFRAÍN LEÓN RODRÍGUEZ

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, "La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia".

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente al ingeniero Santiago Noriega y al director del proyecto Hernando León, por toda su ayuda propuesta durante el desarrollo de todo el proyecto, así mismo por su entrega y compromiso para lograr culminarlo. También agradezco a mis familiares, los cuales me brindaron toda la energía y apoyo para que lograra sortear las adversidades que se fueron presentando durante la ejecución del proyecto.

RESUMEN

El proyecto consiste en el desarrollo de un prototipo modular sumergible encargado del sistema de navegación. Capaz de operar bajo el agua y navegar en seis grados de libertad. El prototipo estará dividido en dos módulos, uno sumergible y otro encargado del control remoto del prototipo, que se encontrará en la superficie de la tierra. El módulo sumergible contará con un sistema de medición de la profundidad del agua en tiempo real y además de ello, poseerá un algoritmo de control para lograr sumergir y emerger, de acuerdo con las instrucciones enviadas por el usuario, desde el mando de control. Además, la estructura física tendrá adaptada motores acuáticos, los cuales contribuirán en la generación de los movimientos del prototipo. También, llevará incluida sus propias baterías y la electrónica estará embebida dentro del módulo, lo que lo convierte en un módulo independiente.

De igual manera se desarrolló un módulo de control inalámbrico, el cual permitirá que el usuario pueda dirigir el módulo sumergible, de una manera cómoda, además podrá visualizar las instrucciones que le envía al robot, en una pantalla.

Como parte esencial del proyecto, se realizaron pruebas a cada uno de los componentes y además de ello se realizaron pruebas en campo, para cada uno de los módulos (sumergible y control remoto) en donde se evidencio que se cumplen con los requerimientos expresados.

Palabras Clave: módulo de navegación, módulo de control, grados de libertad, prototipo.

ABSTRACT

The project consists in the development of a submersible modular prototype in charge of the navigation system. Able to operate underwater and navigate in six degrees of freedom. The prototype will be divided into two modules, one submersible and the other in charge of the remote control of the prototype, which will be found on the surface of the earth. The submersible module will have a real-time water depth measurement system and in addition to this, it will have a control algorithm to submerge and emerge, according to the instructions sent by the user, from the control knob. In addition, the physical structure will have adapted aquatic engines, which will contribute to the generation of prototype movements. Also, it will include its own batteries and the electronics will be embedded inside the module, which makes it an independent module.

In the same way, a wireless control module was developed, which will allow the user to direct the submersible module, in a comfortable way, in addition to viewing the instructions sent to the robot, on a screen.

As an essential part of the project, tests were carried out on each of the components and in addition to this, field tests were carried out for each of the modules (submersible and remote control) where it was evidenced that the expressed requirements are met.

Keywords: navigation module, control module, degrees of freedom, prototype.

1	Introducción	14
2	Definición del problema	14
2.1	Contexto	14
2.2	Manifestación	14
2.3	Causas.....	15
2.4	Efectos.....	15
2.5	Aspectos a solucionar	15
2.6	Justificación del proyecto.....	15
2.7	Propuesta de solución	16
3	Estado del arte	16
4	Tecnología.....	18
4	Glosario de términos	22
5	Objetivos:.....	22
5.1	General.....	22
5.2	Específicos	22
6	Requerimientos.....	23
6.1	Funcionales	23
6.2	De calidad	24
6.3	Restringidos	24
7	Diseño Funcional.....	24
7.1	Caja con entradas y salidas.....	24
7.2	Selección de alternativa.....	28
8	Diseño detallado	28
8.1	Requerimientos de subsistemas	28
8.2	Requerimientos de componentes.....	35
8.3	Esquemáticos del sistema	62
9	Plan de Pruebas del Sistema	65
9.1	Plan de pruebas de componentes	65
9.2	Plan de pruebas de subsistemas.....	70
9.3	Plan de pruebas de integración	80
10	Diseño industrial	83
10.1	Conceptualización y definición de diseño.	83
10.2	Planificación de la producción.....	92
10.3	Documentación.....	108
11	Implementación.....	111

11.1 Implementación de subsistemas.....	111
11.2 Integración del sistema	119
12 Pruebas.....	125
12.1 <i>Pruebas de componentes</i>	125
12.2 Pruebas de subsistemas.....	127
12.3 <i>Prueba de integración del sistema</i>	129
13 Ajustes.....	130
14 Pruebas del Sistema	131
15 Manuales.....	135
15.1 Manual encendido	135
15.2 Manual de carga de las baterías.....	136
16 Resultados.....	136
17 Discusión.....	138
16.1 Requerimientos de sensor de presión:	139
16.2 Mejoras del dispositivo	139
18 Conclusiones.....	140
19 Referencias Documentales	141
20 Anexos.....	142
20.1 Manual del módulo de navegación.....	142

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Sistema de coordenadas para un robot submarino [1].....	16
Ilustración 2. Clasificación de los vehículos acuáticos. [5].....	18
Ilustración 3. The snake robot ACM III [8]	19
Ilustración 4. Robot serpiente con distintas funcionalidades [9].	19
Ilustración 5. Robot aquatic Universidad Piloto de Colombia. [12]	20
Ilustración 6. Robot aquatic Universidad Piloto de Colombia [13]	21
Ilustración 7. Planeador acuático [14].....	21
Ilustración 8. Propulsive Performance of an Underwater Biomimetic Batoid Robot [15] .	22
Ilustración 9. Diseño funcional 1, Módulo de navegación del "Snake robot"	24
Ilustración 10. Diseño funcional 2, Módulo de navegación del "Snake robot"	26
Ilustración 11. Subsistema A. Controles del movimiento del robot	28
Ilustración 12. Subsistema B. Procesamiento de las señales del subsistema A.	29
Ilustración 13. Subsistema C. Interfaz gráfica.....	30
Ilustración 14. Subsistema D. Transmisión de datos de manera inalámbrica.....	30
Ilustración 15. Subsistema E. Recepción de datos de manera inalámbrica.....	31
Ilustración 16. Subsistema F. Fuente de procesamiento del módulo sumergible.....	32
Ilustración 17. Subsistema G. Acondicionamiento de señal	33
Ilustración 18. Subsistema H. Suministro de energía para el componente F	33
Ilustración 19. Subsistema I. sensor de presión del agua.	33
Ilustración 20. Subsistema J. Suministro de energía para el componente K	34
Ilustración 21. Subsistema K. Etapa de potencia.....	34
Ilustración 22. Subsistema L. Actuadores del sistema.....	35
Ilustración 23. Diseño funcional del subsistema A.	36
Ilustración 24. Componente 1. Joystick.....	37
Ilustración 25. Componente 1. Características.	38
Ilustración 26. Componente 1. Joystick, diagrama electrónico.....	38
Ilustración 27. Componente 2. Keypad.	39
Ilustración 28. Diseño electrónico Keypad.	40
Ilustración 29. Diseño funcional del subsistema B.	40
Ilustración 30. Arduino mega.....	42
Ilustración 31. Esquemático Arduino mega.....	43
Ilustración 32. Componente 3, Subsistema C.....	43
Ilustración 33. Componente 3, pantalla LCD.....	44
Ilustración 34. Componente 4, Diseño funcional subsistema D y E	44
Ilustración 35. Componente i, módulo bluetooth hc-05.....	47
Ilustración 36. procesador de señales del módulo sumergible	47
Ilustración 37. Componente m, adc externo ADS1115.....	49
Ilustración 38. Componente ñ, Raspberry pi 3 b+.....	51
Ilustración 39. Diseño funcional del subsistema G.....	51
Ilustración 40. Acondicionador de la señal de salida del sensor.	52
Ilustración 41. Diseño funcional del subsistema H.....	52
Ilustración 42. PowerBank.	53
Ilustración 43. Diseño funcional del subsistema I.....	54
Ilustración 44. Sensor de presión A-100.....	55
Ilustración 45. Diseño funcional del subsistema J.....	55
Ilustración 46. Componente t.....	56
Ilustración 47. Diseño funcional del subsistema K.	57

Ilustración 48. Diseño funcional del subsistema K.	59
Ilustración 49. Diseño funcional del subsistema L.	59
Ilustración 50. Componente6, thruster.....	61
Ilustración 51. Componente6, bomba peristáltica.....	62
Ilustración 52. Esquemático del módulo sumergible de navegación.	63
Ilustración 53. Diagrama de conexiones del módulo sumergible de navegación.	64
Ilustración 54. Esquemático del módulo de control remoto.	65
Ilustración 55. Diagrama de conexiones del módulo de control remoto.....	65
Ilustración 56. Diseño 1 de módulo de navegación.	92
Ilustración 57. Diseño 1 de módulo de navegación.	93
Ilustración 58. Diseño 1 de módulo de navegación.	93
Ilustración 59 .Diseño 2 de módulo de navegación.	94
Ilustración 60. Diseño 2 de módulo de navegación.	95
Ilustración 61. Partes de la estructura del módulo.	96
Ilustración 63. PVC.	97
Ilustración 64. tornillos de acero inoxidable.....	98
Ilustración 65. Láminas de acrílico.....	99
Ilustración 67. Tubos de aluminio.....	100
Ilustración 70. Tubos de PVC.	102
Ilustración 72. Estructura básica del diseño de módulos de medición.....	102
Ilustración 74. Empaques de tubo Dresser de 4".	103
Ilustración 75.Cable UTP categoría 6, 4 Hilos	103
Ilustración 76. Ficha técnica de acoples en caucho.	104
Ilustración 77. Oring de Blue Robotics.	104
Ilustración 78.Infografía de los materiales principales del módulo de navegación.	105
Ilustración 79. Joints.....	106
Ilustración 80.Plano bidimensional del módulo de medición.	108
Ilustración 81. Plano bidimensional del módulo de control.	109
Ilustración 82. Plano bidimensional del módulo sumergible.....	109
Ilustración 83. Plano tridimensional del módulo sumergible.	110
Ilustración 84. Plano tridimensional del módulo de control.....	110
Ilustración 85. Esquemático del circuito acondicionador de señal.	112
Ilustración 86. Circuito acondicionador de señal.	113
Ilustración 87. Implementación del ads1115.	113
Ilustración 88. Implementación del integrado level shifter.	114
Ilustración 89. Implementación de modulo bluetooth.....	115
Ilustración 90. Conexión de la Raspberry a PowerBank.	116
Ilustración 91. Alimentación de los integrados y de los dos L293N.	117
Ilustración 92. implementación de los actuadores del sistema.....	117
Ilustración 93. Diseño del mando inalámbrico del módulo de control	118
Ilustración 94. Implementación de los componentes del módulo de control inalámbrico	119
Ilustración 95. Sección de definición de variables e importación de librerías.....	120
Ilustración 96. Sección de verificación de caracteres recibidos y ejecución de funciones	120
Ilustración 97. Sección de verificación de caracteres recibidos y ejecución de funciones	121
Ilustración 98. Capsula principal del módulo de navegación.....	122

Ilustración 99. Módulos puente H.....	123
Ilustración 100. Sensor de presión análogo.....	123
Ilustración 101. Partes fundamentales del módulo de control.....	124
Ilustración 102. Pruebas de funcionamiento de las bombas peristálticas.	126
Ilustración 103. Prueba de transmisión de datos del bluetooth.....	127
Ilustración 104. Prueba de sensor de presión.	128
Ilustración 105. Prueba de los puentes H.....	129
Ilustración 106. Pruebas de la activación de los motores, de manera inalámbrica	129
Ilustración 107. Pruebas del PID	130
Ilustración 108. Sensor A-100 de Atlas Scientific.....	131
Ilustración 109. Ballast extra de tubos de PVC.....	131
Ilustración 110. CMD de la Raspberry, evidenciando funcionamiento del PID	137
Ilustración 111. Prueba1 del algoritmo PD.....	137
Ilustración 112. Prueba 2 del algoritmo PID.	138
Ilustración 113. Información técnica del sensor de presión	139
Ilustración 114. Indicador de la tapa que se debe abrir.	143
Ilustración 115. Explicación gráfica de como abrir la tapa.	143
Ilustración 116. Conexión alimentación de la lógica.	144
Ilustración 117. Conexión alimentación de la potencia.....	144
Ilustración 118. Conexión de terminales de la batería Lipo.	145
Ilustración 119. ConIlustación del cargador de batería Lipo.	146
Ilustración 120. Conexión PowerBank	146

Lista de Tablas

Tabla 1. Selección de componente, Joystick.	36
Tabla 2. Selección de componente, keypad.	38
Tabla 3. Selección de componente, keypad.	41
Tabla 4. Selección de componente, módulo bluetooth.	45
Tabla 5. Selección de componente, adc externo.	48
Tabla 6. Selección de componente, adc externo.	49
Tabla 7. Selección de componente, adc externo.	53
Tabla 8. Selección de componente, sensor de presión.	54
Tabla 9. Selección de componente, sensor de presión.	55
Tabla 10. Selección de componente, Puente H.	57
Tabla 11. Selección de componente, Thruster.	60
Tabla 12. Selección de componente, Thruster.	61
Tabla 13. Pruebas HC-05 Bluetooth.	65
Tabla 14. Pruebas de la Raspberry Pi 3 B+.	66
Tabla 15. Pruebas Batería externa.	67
Tabla 16. Pruebas puente H.	68
Tabla 17. Pruebas Thruster y Bomba.	69
Tabla 18. Pruebas batería.	70
Tabla 19. Pruebas Subsistema A.	70
Tabla 20. Pruebas Subsistema B.	72
Tabla 21. Pruebas Subsistema C.	75
Tabla 22. Pruebas Subsistema D.	76
Tabla 23. Pruebas Subsistema E.	78
Tabla 24. Pruebas Subsistema F.	79
Tabla 25. Pruebas de integración de subsistemas.	80
Tabla 26. Presupuesto para realización de proyecto.	90
Tabla 27. Desarrollo del proyecto.	90
Tabla 28. Entrega del proyecto	90
Tabla 29. Cuadro de evaluación de alternativas de conIlustación.	95
Tabla 30. ficha técnica del PVC.	96
Tabla 31. Propiedades físicas de la lámina.	99
Tabla 32. Ficha técnica tubo de aluminio.	100
Tabla 33. Ficha técnica de los tubos de PVC.	101
Tabla 34. Ficha técnica tubo de PVC.	102
Tabla 35. Ficha técnica de material de PVC.	102
Tabla 36. Datos exportados a Excel prueba1 parte 1.	132
Tabla 37. Datos exportados a Excel prueba1 parte 2.	132
Tabla 38. Datos exportados a Excel prueba1 parte 3.	133
Tabla 39. Datos exportados a Excel prueba2 parte 1.	134
Tabla 40. Datos exportados a Excel prueba2 parte 2.	134
Tabla 41. Datos exportados a Excel prueba2 parte 3.	135

1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo se pretende mostrar, el diseño y elaboración del proyecto "*Desarrollo de un sistema sumergible para la evaluación e inspección del agua: Módulo de navegación*", el cual pretende ser una herramienta de fácil manejo para el usuario, con la cual podrá dirigir módulos pasivos a profundidades determinadas, con el fin de medir algunas variables fisicoquímicas, que permitirán establecer la calidad del agua.

A continuación, se presentarán una serie de capítulos, en donde se desarrollará el procedimiento de investigación y diseño del prototipo, el cual, mediante la definición de una problemática, propone una solución tecnológica.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Contexto

El grupo de investigación Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida, perteneciente a la Universidad El Bosque, en la línea de investigación y Desarrollo, adelanta el proyecto Snake Robotic System for Underwater Testing and Inspection.

El proyecto aprobado por la Vicerrectoría de Investigaciones solicita un producto tecnológico mediante la participación de auxiliares de Investigación, divididos en dos grupos, el primero se encargará del desarrollo de los módulos de medición y toma de muestras; mientras que el segundo grupo, al cual pertenezco "*Desarrollo de un Sistema sumergible para la evaluación e inspección del agua: Módulo de navegación*", Desarrollo del módulo de navegación del Sistema robótico; para ello se espera realizar la implementación tecnológica necesaria que permita al usuario dirigir en seis grados de libertad el prototipo sumergible, mediante un mando inalámbrico amigable.

2.2 Manifestación

En la actualidad los procedimientos de tomas de muestras en cuerpos hídricos se realizan rudimentariamente, con la necesidad de ubicar un operario sobre el afluente, la obtención de las muestras se realiza mediante la recolección de agua en envases, los cuales serán

posteriormente transportados y analizados. Además de ello se utiliza una cinta métrica para determinar la profundidad en donde se va a realizar la evaluación del cuerpo hídrico.

2.3 Causas

Entre las principales causas se identifican:

1. Inaccesibilidad en las partes más profundas de los cuerpos hídricos en cuestión.
2. El gran riesgo de accidentalidad en la operación de la toma de muestras.
3. Los dispositivos empleados para posicionar el mecanismo de toma de muestras, en donde se realizará la evaluación del agua, son manuales y alámbricos.

2.4 Efectos

1. No se pueden acceder fácilmente en algunos lugares, para realizar la evaluación del cuerpo hídrico.
2. Al no tener una herramienta remota para posicionar los instrumentos de medición en un determinado lugar, podría ocurrir un accidente que representaría un problema para el docente y la universidad.

2.5 Aspectos a solucionar

1. Inaccesibilidad en las partes más profundas de los cuerpos hídricos en donde se realizará la evaluación.
2. Carencia de un sistema remoto de posicionamiento de los instrumentos de medición.

2.6 Justificación del proyecto

El monitoreo de la calidad hídrica es fundamental ya que entrega información técnica, para el desarrollo de metodologías que le permitan a un usuario la obtención de indicadores ambientales que ayuden a desarrollar planes de control o mitigación de los posibles problemas de contaminación.

Al integrar el prototipo con herramientas tecnológicas, se espera obtener un prototipo sumergible, con la capacidad de ser conducido remotamente por un usuario y permita posicionar el módulo encargado de la medición en un lugar predeterminado, para tomar muestras más precisas, donde se pueda tener en cuenta los distintos niveles de profundidad del cuerpo hídrico, sin exponer a ningún operador.

2.7 Propuesta de solución

Realizar un módulo sumergible con seis grados de libertad, que se opere remotamente, para facilitar la toma de muestras, y obtener datos exactos.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1.1 Bases teóricas

Los robots en forma de serpiente se conocen por el potencial de hacer contribuciones importantes en distintas áreas, tales como misiones de rescate, lucha contra incendios, inspección de estructuras de difícil acceso, que puede poner la vida en riesgo de un operario. Durante los últimos 10-15 años la literatura publicada sobre robots serpiente ha aumentado significativamente. [1]

Es por esto, que los países invierten sus recursos en el desarrollo de sistemas robóticos que desempeñen tareas en lugares de difícil acceso o actividades que se puedan tornar peligrosas.

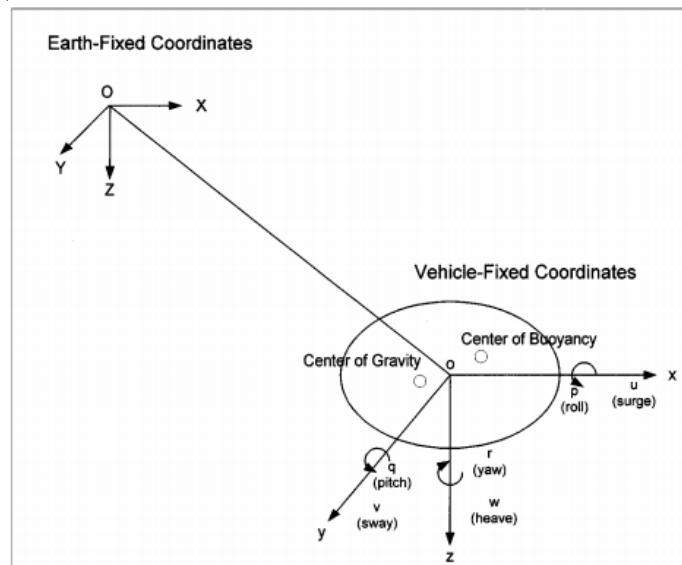


Ilustración 1. Sistema de coordenadas para un robot submarino [1].

Todos los robots acuáticos deben enfrentarse a ciertas condiciones cuando se encuentran sumergidos en el agua. Lo cual hace que sea difícil controlar un sistema bajo el agua, por ende, los robots incluyen: Variable que cambia en el tiempo dependiendo al comportamiento dinámico del robot, coeficientes de hidrodinámica, entre otros. Ya que los robots deben exponerse a disturbios generados por las corrientes de los ríos o mares. [2]

Los robots acuáticos tienen la necesidad de poseer un sistema de auto ajuste que le permita superar las perturbaciones y autoajustares para retomar la ruta asignada, debido a los cambios desempeñados por la naturaleza.

Por eso es importante que el sistema de control este calibrado para que el robot siga las pautas asignadas por el usuario que lo está controlando. [3]

El desarrollo del prototipo estará inspirado en una serpiente, en la actualidad en la industria robótica se define un Snake Robot o robot serpiente como un mecanismo que está diseñado para moverse como una serpiente biológica cuya principal inspiración es la robustez y la estabilidad que tiene el movimiento biológico de estos animales. Los Snake robots tiene gran potencial, ya que pueden satisfacer la necesidad de movilidad en entornos desafiantes, de difícil acceso y lugares desconocidos. Principalmente estos robots están constituidos por una serie de módulos articulados interconectados capaces de doblarse en cualquier plano, esta forma de diseño le da al robot muchos grados de libertad, los cuales le proporcionan habilidades únicas de movilidad, en lugares desordenados e irregulares; aunque se hacen difícil de controlar [4].

3.1.2 SISTEMAS ROBÓTICOS BIO-INSPIRADOS.

El desarrollo del prototipo estará inspirado en una serpiente, en la actualidad en la industria robótica se define un Snake Robot o robot serpiente como un mecanismo que está diseñado para moverse como una serpiente biológica cuya principal inspiración es la robustez y la estabilidad que tiene el movimiento biológico de estos animales. Los Snake robots tiene gran potencial, ya que pueden satisfacer la necesidad de movilidad en entornos desafiantes, de difícil acceso y lugares desconocidos. Principalmente estos robots están constituidos por una serie de módulos articulados interconectados capaces de doblarse en cualquier plano, esta forma de diseño le da al robot muchos grados de libertad, los cuales le proporcionan habilidades únicas de movilidad, en lugares desordenados e irregulares; aunque se hacen difícil de controlar [6].

3.1.3 Clasificación de los robots acuáticos

Se debe tener en cuenta que existe una gran variedad de robot acuáticos en donde algunos son controladas algunas de sus funciones de manera remota, mientras que en otros se requiere que una persona esté dentro de ellos operando sus funcionalidades.

En la siguiente Ilustración se muestra la calificación de estos prototipos.

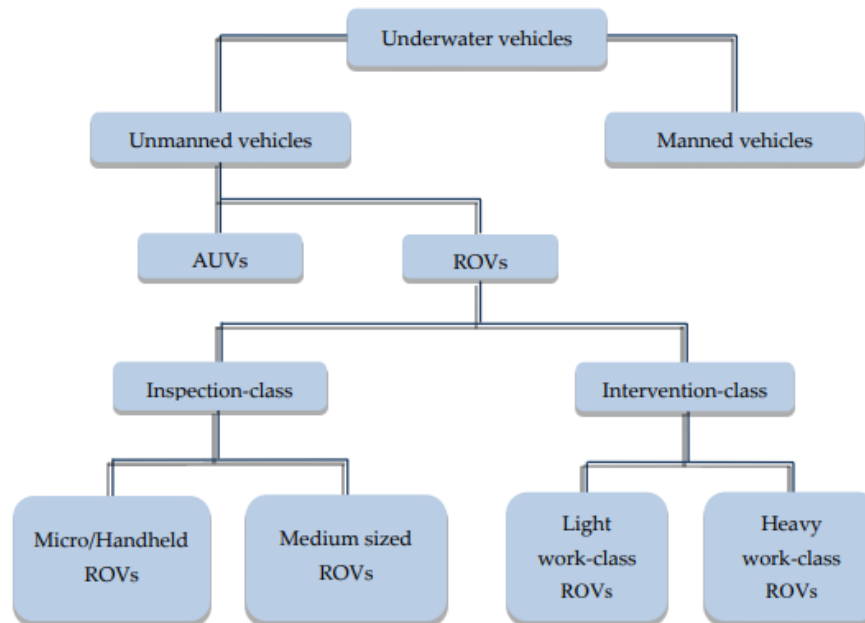


Ilustración 2. Clasificación de los vehículos acuáticos. [5]

4 TECNOLOGÍA

- 3.2.1 Los robots modulares (MR) son sistemas robóticos compuestos de componentes que son homogéneos y casi homogéneos en forma y función, y cuya disposición física se puede reconfigurar. Un subconjunto de MR tiene la propiedad de auto configurabilidad, lo que significa que el MR puede cambiar de forma autónoma la topología en la que sus propios módulos están conectados sin manipulación externa [5].
- 3.2.2 La autoconfiguración, 3 como la actividad más central de los robots MSR, es el proceso de transformar un robot MSR de una forma inicial a una configuración deseada a través de un conjunto de acciones primitivas y a nivel de módulo. Modelar y controlar el proceso de autoconfiguración es difícil, debido a la diversidad y diversas escalas de estrategias de movimiento disponibles. Como el modelo de control centralizado ha demostrado ser un problema de NP, 4 ya no es apto para el sistema robótico con numerosos cuerpos. Los modelos de control descentralizado muestran un gran potencial al permitir que el comportamiento global surja de la interpretación de los módulos internos de trabajo independiente [6].
- 3.2.3 "ACMII" Robot
Fue el primer robot construido inspirado en una serpiente, el cual fue construido y diseñado por el profesor Shigeo Hirose.

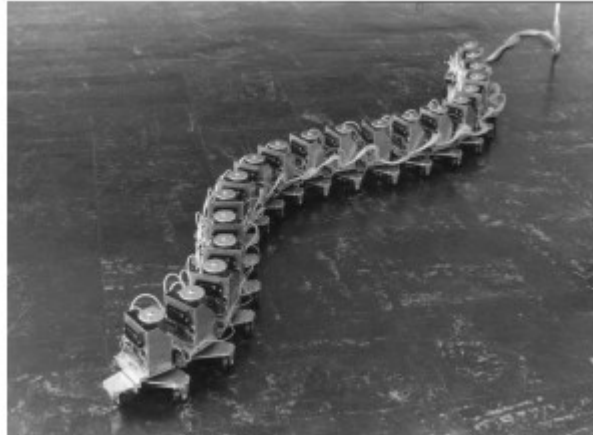


Ilustración 3. The snake robot ACM III [8].



Ilustración 4. Robot serpiente con distintas funcionalidades [9].

Basados en ese concepto, se fueron derivando varios prototipos, con mejoras en movilidad y funcionamiento, además de sus grados de libertad, con el fin de cumplir tareas mucho más complejas, como a la hora de adentrarse en terrenos de muy difícil acceso.

Sumado a esto a través de los años se han ido implementando nuevas funcionalidades de los robots, permitiéndoles desarrollar tareas en terrenos cada vez más complejos como los es en el caso del agua. [7]

3.2.4 Robots sumergibles

Los robots submarinos han venido implementando distintas funcionalidades que les han permitido adaptarse a distintos entornos de trabajo, convirtiéndose en un gran aliado de los militares, para efectuar misiones de vigilancia, sin embargo también ha sido implementado su uso por civiles, efectuando tareas de reconocimiento del daño de estructuras que se encuentran bajo el agua o verificando el funcionamiento de los sistemas acuáticos, como en el caso de los cascos de los barcos y submarinos, además de los orificios en donde estos vehículos arrojan el agua de sus compartimientos, con el fin de que se encuentre funcionando sin contra tiempos y sin tener que usar recursos humanos para desarrollar estas difíciles tareas. [8]

Existen diversos métodos que se pueden utilizar para sumergir un robot, como lo es implementar un sistema de motores acuáticos, que permitan sumergir el robot con la ayuda de la fuerza de empuje que ejercen sobre él, sin embargo para poder optar por esta alternativa, el robot debe estar en equilibrio, en donde su peso debe ser proporcional a su fuerza de empuje, con el fin de que se pueda sumergir sin el mayor esfuerzo, como en el caso del siguiente prototipo:

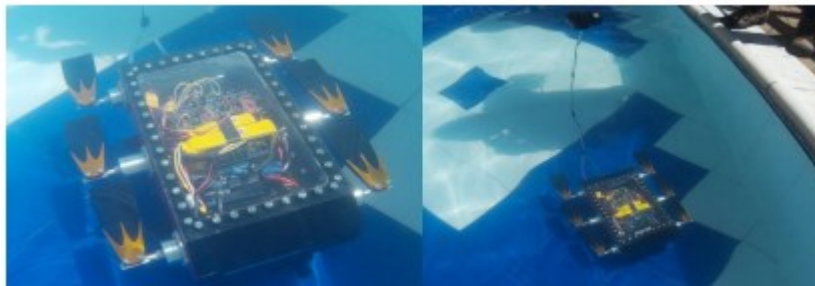


Ilustración 5. Robot aquatic Universidad Piloto de Colombia. [12]

También existe otra manera de sumergir y hacer emerger nuestro robot, con la ayuda de un lastre, ya que, al modificar la masa del robot, este es capaz de sumergirse o en dado caso emerger, sin embargo, para llevar a cabo esta técnica, también es necesario que el prototipo se encuentre en equilibrio. Como en el caso del submarino RAS, que fue uno de los primeros prototipos construidos para monitorear las especies que se encuentran en el mar con la ayuda del instituto "Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer". Este prototipo implemento el sistema de lastre similar al de los submarinos militares en el año 2002.



Ilustración 6. Robot aquatic Universidad Piloto de Colombia [13]

Pero también se debe tener en cuenta, que no todos los prototipos desarrollados, presentan un diseño de submarino con hélices, ya que existen desarrollos que se asemejan a otras especies marinas, como en el caso de los peces.



Ilustración 7. Planeador acuático [14]

También han sido contruidos algunos sistemas que asemejan otras especies, esto con el fin de aumentar la autonomía de los robots, por ende, estos robots cuentan con un sistema de movimiento que les permiten deslizarse sobre el agua y por ende experimentan una menor resistencia en el agua que otros prototipos, sin embargo, este tipo de sistemas, solo pueden trabajar en una profundidad específica, por lo cual, se limita su funcionamiento con respecto a otros sistemas ROV. A este tipo de robots se les denomina Softrobot.

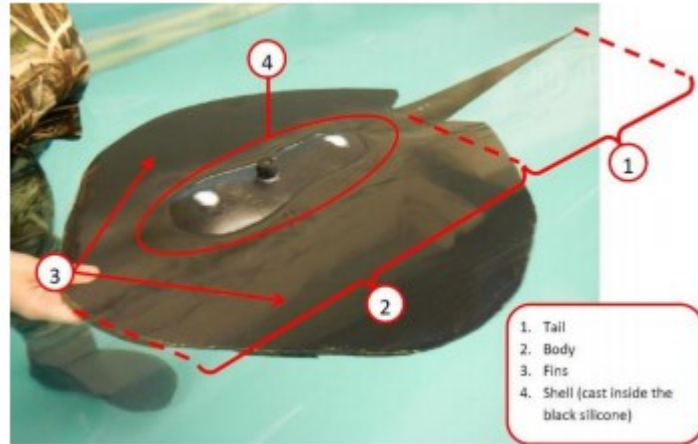


Ilustración 8. Propulsive Performance of an Underwater Biomimetic Batoid Robot [15]

4 GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. **Boya:** Objeto flotante que ayuda a la localización del robot y la comunicación con la interfaz.
2. **Inalámbrico:** Conexión entre nodos que se da por medio de ondas electromagnéticas sin necesidad de una red cableada.
3. **Módulo:** Es un subsistema el cual cumple una función específica dentro de un sistema.
4. **Autonomía:** Es la capacidad que tiene el sistema de trabajar bajo el agua en relación con la duración de la batería.
5. **Interfaz amigable:** Hace referencia a un estilo minimalista y fácil de entender en la interfaz gráfica.
6. **Ambiente controlado:** Es un entorno artificial, ideal para realizar pruebas del prototipo.
7. **Calidad del agua:** Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas de un cuerpo hídrico.

5 OBJETIVOS:

5.1 General

Diseñar, implementar y probar un módulo de navegación sumergible y adaptable a un sistema robótico bio-inspirado en una serpiente, para el control de la locomoción y el nivel de profundidad a la que se sumergirá, de manera remota.

5.2 Específicos

1. Implementar un algoritmo de control para el movimiento en el eje Y, que le permita emerger y sumergirse al módulo navegación.
2. Implementar un sistema de control remoto, que permita al usuario mover inalámbricamente el sistema.
3. Diseñar el sistema de transmisión de datos entre el módulo de navegación y el módulo de control remoto.
4. Implementar los movimientos en el eje X y Z para el módulo sumergible, permitiendo la movilidad en cuatro grados de libertad en el agua (giro hacia la derecha, giro hacia la izquierda, marcha hacia adelante, marcha hacia atrás).
5. Implementar la unión entre los prototipos anteriormente desarrollados junto con el módulo de navegación
6. Realizar el manual de funcionamiento del módulo de navegación.
7. Realizar pruebas del prototipo en ambientes reales y de laboratorio.

6 REQUERIMIENTOS

6.1 Funcionales

1. El módulo de navegación debe ser totalmente hermético y el sistema debe operar bajo el agua a una profundidad máxima de 2 metros con una tolerancia de 50cm.
2. El módulo de control debe mostrarle al usuario a que profundidad se le está solicitando al módulo de navegación que se sumerja.
3. El módulo de navegación debe comunicarse de manera inalámbrica con el módulo control remoto, que opera el usuario.
4. El módulo de navegación debe tener la capacidad especifica de arrastrar un módulo de medición no mayor a 14kg fuerza.
5. El módulo de control remoto poseerá un sistema de encendido y apagado.
6. El módulo de navegación tendrá una batería propia recargable, no mayor a 14v.
7. El módulo de navegación sumergible contara con una unión pasiva para unir otros módulos.
8. El área de sección transversal del módulo es de forma cilíndrica.
9. El sistema tendrá una autonomía mínima de 20minutos.
10. La transmisión de datos será de forma inalámbrica.
11. El módulo sumergible tendrá una longitud máxima de 50cm, y un diámetro menos a 30cm.
12. El módulo de navegación tendrá 6 grados de libertad los cuales le permitirán moverse en 3 dimensiones: hacia (adelante, atrás), (arriba, abajo), (izquierda, derecha).
13. El módulo sumergible de navegación se comunicará inalámbricamente con el módulo de control remoto, con una tolerancia menos a 1.2seg.
14. El sistema debe funcionar en ambientes de laboratorio y pruebas de campo.
15. El sistema tendrá una autonomía máxima de 30minutos de funcionamiento.
16. El sensor de presión debe medir entre 0-1bar para lograr determinar la profundidad a la que se encuentra el sistema.
17. El módulo de navegación debe ser adaptable con módulos de medición de la Snake robot.

6.2 De calidad

1. La precisión para el sensor de profundidad debe ser de ± 10 cm.
2. El sistema debe funcionar en ambientes controlados como en los no controlados.
3. El sensor de profundidad debe operar bajo el agua.

6.3 Restrictivos

1. El sistema debe ser tripulado por un usuario experto en ROUV.
2. La electrónica del módulo de control debe adaptarse a la forma cilíndrica del módulo de navegación de la Snake robot.
3. El sistema debe ser sumergido con polea de seguridad.
4. La prueba de laboratorio, se realizarán en un ambiente controlado; donde los parámetros fisicoquímicos estén dentro de los rangos medidos y analizados en el estudio realizado por la alcaldía mayor de Bogotá "IX fase del programa de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y afluentes al recurso hídrico de Bogotá", realizada en 2010; a continuación, se adjunta el enlace del documento ubicado en mi árbol de documentación.

<https://drive.google.com/file/d/1h0w3NKH88ky7Q6Xb55ZZxUQq6iDTRxQq/view?usp=sharing>

7 DISEÑO FUNCIONAL

7.1 Caja con entradas y salidas

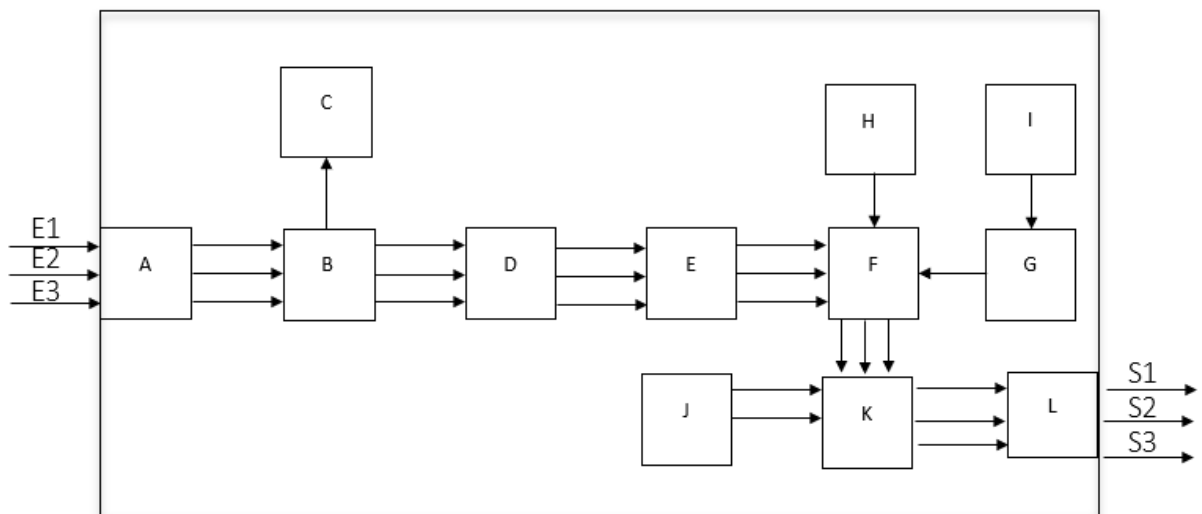


Ilustración 9. Diseño funcional 1, Módulo de navegación del "Snake robot"

Entradas y salidas del super sistema 1:

- E1 Instrucción determinada por el usuario, que corresponde al movimiento en el eje Y.
- E2 Instrucción determinada por el usuario, que corresponde al movimiento del eje X.
- E3 Instrucción determina por el usuario, que corresponde al movimiento del eje Z.
- S1 Desplazamiento del módulo sumergible en el eje Y, entre 0 y 2 metros de profundidad.
- S2 Desplazamiento del módulo sumergible en sentido hacia adelante o hacia atrás.
- S3 Desplazamiento del módulo sumergible en sentido derecha o izquierda.

Descripción de la primera propuesta de diseño:

La primera propuesta de diseño consiste inicialmente en que un usuario tendrá en sus manos un módulo encargado de dirigir los movimientos del robot, por ende, las primeras tres entradas E1, E2 y E3, estas entradas a su vez ingresaran al subsistema A, el cual está encargada de transformar los movimientos físicos realizados por el usuario, en un valor de voltaje, para el caso de los movimientos en el eje X y Z, y el eje Y es una cadena de caracteres en ASCII. Posteriormente las salidas del Subsistema A, son la entrada del Subsistema B, el cual contiene un ADC, para leer las señales analógicas y posee puertos digitales de entrada, con el fin de lograr leer, tanto el valor de voltaje, como la cadena de caracteres en formato ASCII. Así mismo dentro del subsistema B, se realiza la etapa de procesamiento de las señales y en base a los caracteres y voltajes de entrada, se envía como entrada al subsistema C, el cual está encargada de indicarle al usuario, que instrucción acaba de enviarle al módulo sumergible. El subsistema B después de procesar los datos recibidos, envía una cadena de al subsistema D, el cual está encargada de transportar inalámbricamente punto a punto, la salida del subsistema B, vía bluetooth. Por ende, la salida del subsistema B, es la entrada del subsistema D, el cual se comunica inalámbricamente con el subsistema E, el cual es un receptor inalámbrico, que tendrá como entradas las salidas del subsistema E. Una vez recibidas inalámbricamente la cadena de caracteres en ASCII, el subsistema E se conecta con el subsistema F, el cual está encargada del procesamiento de todas las señales recibidas inalámbricamente, a su vez, el subsistema F tiene como entrada una señal emitida por el Subsistema H, el cual está encargada de suplir la energía suficiente para efectuar la lógica del procesamiento.

Por otro lado, el subsistema I es el encargado de censar a que presión se encuentra sumergido el prototipo sumergible y tiene como un voltaje proporcional a la medición de la presión realizada. Dicha salida, es la entrada al subsistema G, el cual está encargada de la amplificación de dicho voltaje, para que arroje 5v cuando el prototipo se encuentre sumergido a 2 metros de profundidad. La salida del subsistema G es una entrada al subsistema F, el cual procesa la señal del sensor y la compara con la instrucción recibida inalámbricamente y en base a error y un algoritmo PID, genera tres señales PWM, dependiendo de la dirección del movimiento que se le esté pidiendo que efectué. Dichas señales PWM, son las entradas del subsistema K, el cual está encargada de la etapa de potencia del Sistema posee como entrada una señal de 12 voltios suministrada por el subsistema J. Una vez Se encuentra energizado el subsistema K y además de ello está recibiendo señales PWM del subsistema F, tendrá como salida señales de voltajes, que energizaran los actuadores del subsistema L, los cuales generaran un torque y un caudal, que permitirán mover el prototipo sumergible en seis grados

de libertad en el agua (adelante, atrás, arriba, abajo, derecha, izquierda), que son las salidas S1, S2 y S3.

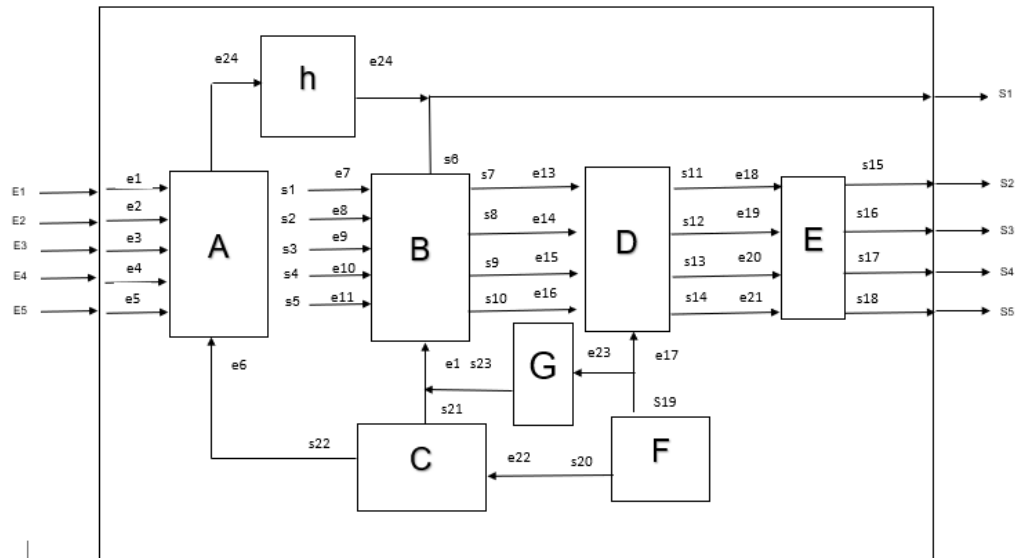


Ilustración 10. Diseño funcional 2, Módulo de navegación del "Snake robot"

Entradas y salidas del super sistema 2:

E1 Parámetro que corresponde a la presión del agua entre 0.2mBar y 0.3Bar.

E2 Dato digital codificado en ASCII que corresponde a la dirección del robot en el eje Y.

E3 Dato digital codificado en ASCII para la dirección y el desplazamiento del robot en el eje X.

E4 Dato digital codificado en ASCII para la dirección y el desplazamiento del robot en el eje Z con una tolerancia de +/-0.15v.

E5 Dato codificado en ASCII, formato Sting que indicara si el robot debe sumergir o emerger.

S1 Cuantificación del parámetro profundidad del agua entre 0 y 2metros con una tolerancia de +/- 20cm en donde se encontrará sumergido el módulo.

S2 rpm del motor entre 0 y 900 con una fuerza de empuje de 0 a 2.36kg para determinar el movimiento sobre eje X.

S3 rpm el motor entre 0 y 900 con una fuerza de empuje de 0 a 2.36kg para el grado de inclinación en la dirección y movimiento sobre el eje Z.

S4 rpm de la bomba peristáltica entre 0 y 4900 que generara un caudal de 70-110L/h para mover el módulo sobre el eje Y (sumergir y emerger).

S5 rpm de la bomba de vacío entre 100 y 360 que generara un rango de vacío ente 0-16" hg con un rango de presión entre 0 y 32psi.

Descripción de la segunda propuesta de diseño:

La segunda propuesta de diseño consiste inicialmente en realizar una recepción de datos, que serán llevaran a cabo en el subsistema A, el cual estará encargado en la recepción inalámbrica de las entradas del sistema. Posteriormente las señales pasaran al subsistema B, en el cual se harán una conversión análogo digital con la ayuda de un ADC; una vez realizada la conversión de los datos, la señal digital de la presión atmosférica ingresara al subsistema C, en donde se aplicará un algoritmo para cuantificar la profundidad en base a la presión atmosférica, seguidamente la señal digital de la profundidad entrara al subsistema H, el cual tendrá integrado una DAC, la cual realizara una conversión de las señal de la profundidad de digital a análoga, una vez realizada la conversión, la salida del subsistema H será la entrada del subsistema I, el cual estará en cargado de la transmisión inalámbrica de los datos, en este caso equivalente a la señal análoga de la profundidad.

Una vez transmitidos los datos la salida del subsistema I, será la entrada al subsistema J, el cual estará encargado en tomar los datos recepcionados por el subsistema I y convertirlos de análogos a digital, con la ayuda de un ADC. Después de que la señal de la profundidad se haya convertido en digital, será la entrada al subsistema K el cual estará a cargo de la visualización y mostrara el rango de profundidad entre 0 y 2metros a la que se encuentra el sistema, la cual equivale a la salida S1.

Por otro lado, la salida digitalizada del dato E2 que hace referencia al dato del nivel de profundidad al que el usuario desea llevar el sistema, generada por el subsistema B; es la entrada del subsistema D.

El subsistema D es el encargado de sumergir o emerger el sistema entre el rango de 0 a 2 metros, en base al dato de entrada.

La salida del subsistema D, es una de las entradas al subsistema C, para lograr determinar a la profundidad que se encuentra el sistema con una tolerancia de 20cm.

La salida digital generada en el subsistema B de la entrada E3, la cual hace referencia a los movimientos que el usuario comanda, entra al subsistema E, el cual está encargado de generar una señal PWM a la salida, en base a la entrada del subsistema. Esta señal PWM es la entrada del subsistema F quien es el encargado de la potencia, generando una variación de voltaje y corriente en base al PWM que tiene como entrada, la salida del subsistema F, es la entrada del subsistema G el cual está encargado de los motores que impulsan el sistema.

El subsistema G generará un torque junto con una cantidad de RPM en cada uno de los motores, la cual será traducida a cada uno de los movimientos que puede desempeñar el sistema (ir hacia arriba, abajo, derecha, izquierda, atrás, adelante).

La salida del subsistema G, será la entrada del subsistema H el cual estará encargado de convertir de digital a análogo la señal de entrada, que son los datos de los distintos movimientos, una vez realizada la conversión. La salida del subsistema H, será la entrada del subsistema I, el cual estará en cargado de transmitir inalámbricamente los movimientos analógicos, una vez transmitidos, será la entrada al subsistema J, el cual tendrá integrado un ADC y se encargara de tomar los datos análogos que traducen los movimientos y pasarlos a digitales, que posteriormente serán la entrada del subsistema K, el cual tomara los datos digitales de los movimientos y los visualizara en una interfaz para el usuario los movimientos que está efectuando el robot, lo cual equivaldría a la salida S2.

7.2 Selección de alternativa

Se escogió el supersistema 1, ya que posee un diseño simplificado respecto al supersistema2 por consiguiente es un diseño más compacto que cumple con los requerimientos de todo el sistema.

8 DISEÑO DETALLADO

8.1 Requerimientos de subsistemas

8.1.1 Requerimientos del Subsistema A

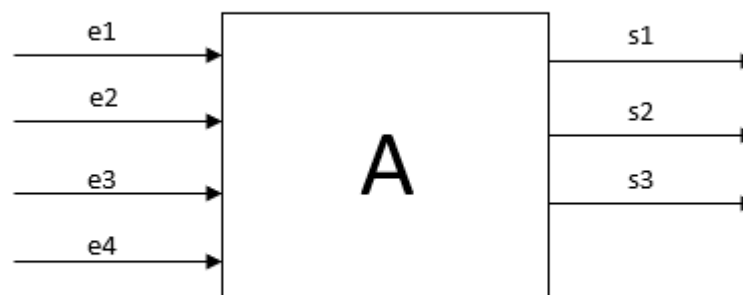


Ilustración 11. Subsistema A. Controles del movimiento del robot

Subsistema A:

e1 Instrucción determinada por el usuario, que corresponde al movimiento en el eje Y.

e2 Instrucción determinada por el usuario, que corresponde al movimiento del eje X.

e3 Instrucción determina por el usuario, que corresponde al movimiento del eje Z.

e4 polarización 5v y Gnd con una tolerancia de $\pm 0.15v$.

s1 Bits en codificación ASCII, formato string correspondiente al movimiento en el eje Y.

s2 Bits en codificación ASCII, formato string correspondiente al eje X.

s3 Bits en codificación ASCII, formato string correspondiente al eje Z.

8.1.2 Requerimientos Subsistema B

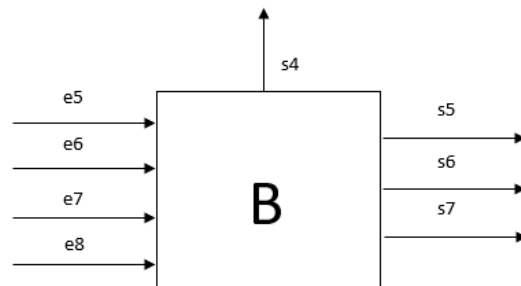


Ilustración 12. Subsistema B. Procesamiento de las señales del subsistema A.

e5 Dato String, correspondiente al movimiento en el eje Y.

e6 Dato analógico entre 0 y 1023 correspondiente al eje X.

e7 Dato analógico entre 0 y 1023 correspondiente al eje Z.

e4 polarización 5v y Gnd con una tolerancia de $\pm 0.10v$.

s4 Cadena de caracteres tipo String, por comunicación I2c, correspondiente al movimiento en el eje Y, X y Z.

s5 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje Y.

s6 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje X.

s7 Dato String en código ASCII, correspondiente al eje Z.

8.1.3 Requerimientos del subsistema C

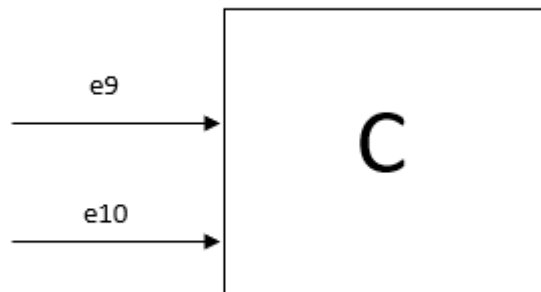


Ilustración 13. Subsistema C. Interfaz gráfica.

e9 Cadena de caracteres tipo String, por comunicación I2c, correspondiente al movimiento en el eje X y Z, además de la profundidad a la que se encuentra el sistema sumergible.

e10 Polarización 5v y Gnd con una tolerancia de +/-0.10v.

8.1.4 Requerimientos del Subsistema D

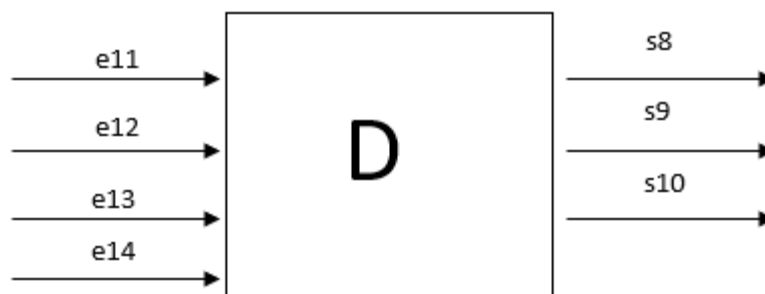


Ilustración 14. Subsistema D. Transmisión de datos de manera inalámbrica.

e11 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje Y.

e12 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje X.

e13 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje Z.

e14 Polarización 5v y Gnd con una tolerancia de +/-0.10v.

s8 Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje Y entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

s9 Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje X entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

s10 Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje Z entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

8.1.5 Requerimientos del Subsistema E

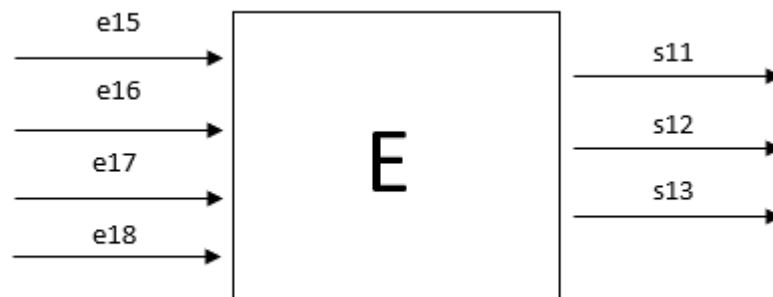


Ilustración 15. Subsistema E. Recepción de datos de manera inalámbrica.

e15 Recepción de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje Y entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

e16 Recepción de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje X entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

e17 Recepción de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje Z entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

e18 Polarización 5v y Gnd con una tolerancia de +/-0.10v.

s11 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.

s12 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje X.

s13 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Z.

8.1.6 Requerimientos del Subsistema F

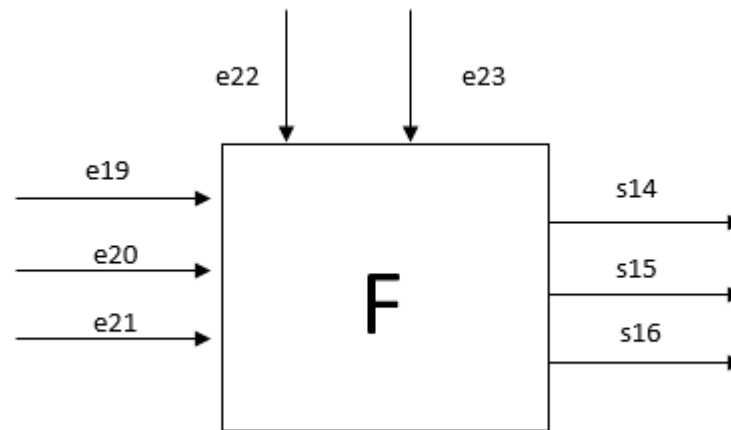


Ilustración 16. Subsistema F. Fuente de procesamiento del módulo sumergible

e19 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.

e20 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje X.

e21 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Z.

e22 Señal analógica entre 3.59-5v correspondiente a la salida del sensor de presión, que mide la profundidad a la que se encuentra el sistema.

e23 Voltaje de polarización de 5v a 1A Dc.

s14 Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las bombas peristálticas.

s15 Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.

s16 Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.

8.1.7 Requerimientos del Subsistema G



Ilustración 17. Subistema G. Acondicionamiento de señal

e24 Señal analógica entre 0.5v a 0.7v correspondiente a la salida del sensor de presión en base a la profundidad que se encuentra midiendo.

e25 Voltaje de polarización de 5v a 1A.

s17 Señal analógica entre 3.59-5v correspondiente a la salida del sensor de presión, que mide la profundidad a la que se encuentra el sistema.

8.1.8 Requerimientos del Subistema H

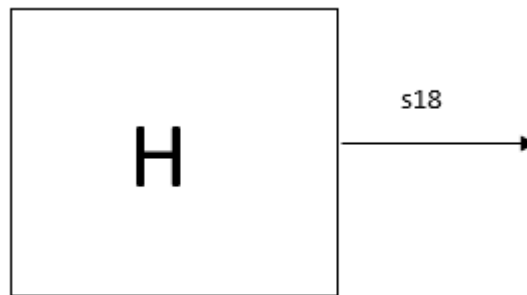


Ilustración 18. Subistema H. Suministro de energía para el componente F

s18 Señal Dc de 5v a 1A.

8.1.9 Requerimientos del Subistema I

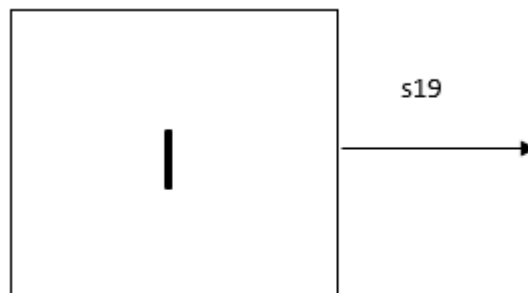


Ilustración 19. Subistema I. sensor de presión del agua.

s19 Señal analógica entre 0.5v a 0.7v correspondiente a la profundidad en la que se encuentra el robot.

8.1.10 Requerimientos del Subsistema J

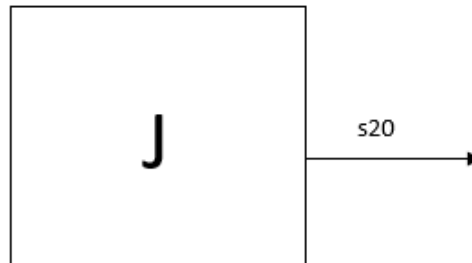


Ilustración 20. Subsistema J. Suministro de energía para el componente K

s20 Señal Dc de 14v a 5A.

8.1.11 Requerimientos del Subsistema K

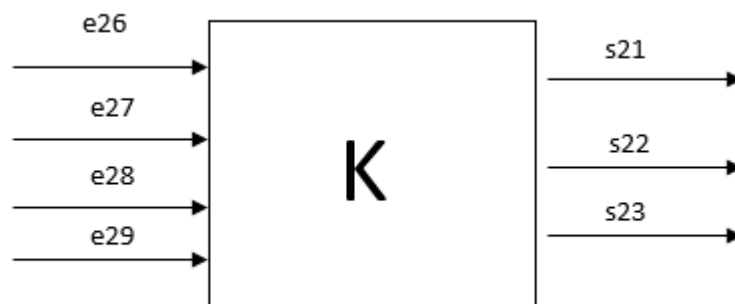


Ilustración 21. Subsistema K. Etapa de potencia

e26 Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las bombas peristálticas.

e27 Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.

e28 Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.

e29 Voltaje de polarización de 14v a 5A Dc.

s21 voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.

s22 voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1.

s23 voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 2.

8.1.12 Requerimientos del Subsistema L

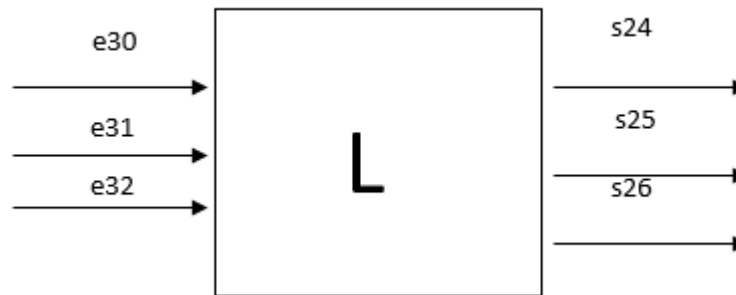


Ilustración 22. Subsistema L. Actuadores del sistema

e30 voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.

e31 voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1.

e32 voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 2.

s24 Desplazamiento del módulo sumergible en el eje Y, entre 0 y 2 metros de profundidad.

s25 Desplazamiento del módulo sumergible en sentido hacia adelante o hacia atrás.

s26 Desplazamiento del módulo sumergible en sentido de giro derecha o izquierda.

8.2 Requerimientos de componentes

Diseño funcional subsistema A

En la siguiente Ilustación los requerimientos del subsistema A se dan en términos de entradas y salidas.

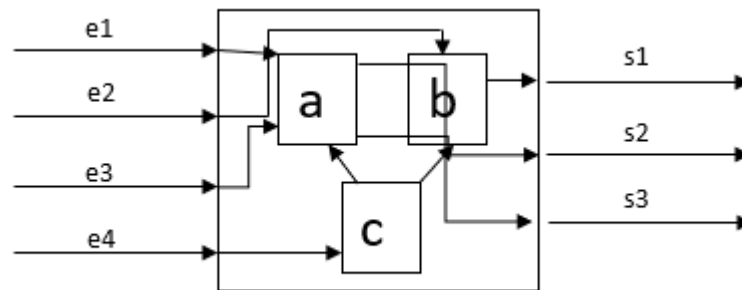


Ilustración 23. Diseño funcional del subsistema A.

Según la Ilustración 23, el subsistema A cuenta con tres componentes. El componente **a** es un conjunto de botones, mientras que el componente **b** es una resistencia variable, además de ello el componente **c** es la alimentación del subsistema. Los requerimientos del componente a son los mismos del subsistema A. No se realizará el diseño del subsistema A porque existen componentes electrónicos que, de acuerdo con las entradas expuestas, dan como salidas los requerimientos propuestos.

Se hará integración de tecnología.

Requerimientos de los componentes:

e1 Instrucción determinada por el usuario, que corresponde al movimiento en el eje Y.

e2 Instrucción determinada por el usuario, que corresponde al movimiento del eje X.

e3 Instrucción determina por el usuario, que corresponde al movimiento del eje Z.

e4 polarización 5v y Gnd con una tolerancia de +/-0.15v.

s1 Bits en codificación ASCII, formato string correspondiente al movimiento en el eje Y.

s2 Bits en codificación ASCII, formato string correspondiente al eje X.

s3 Bits en codificación ASCII, formato string correspondiente al eje Z.

Tabla 1. Selección de componente, Joystick.

SELECCIÓN DE COMPONENTE a			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENT O LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Joystick smrkl-</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Joystick 1263</i>

		02	
e2, e3	Variación entre 0 y 1023 en el eje Y e X	Variación entre 0 y 1023 en el eje Y e X	Variación entre 0 y 1023 en el eje Y e X
e4	Alimentación 5v	Alimentación 5v	Alimentación 5v
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENT O LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Joystick smrkl-02</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Joystick 1263</i>
s6a	Salidas analógicas proporcionales a la inclinación de la palanca	0-5v	0-5v

Se escogió el componente joystick smrkl-02 debido a que a que cumple con los requerimientos del componente y posee una mejor calidad.



Ilustración 24. Componente1. Joystick.

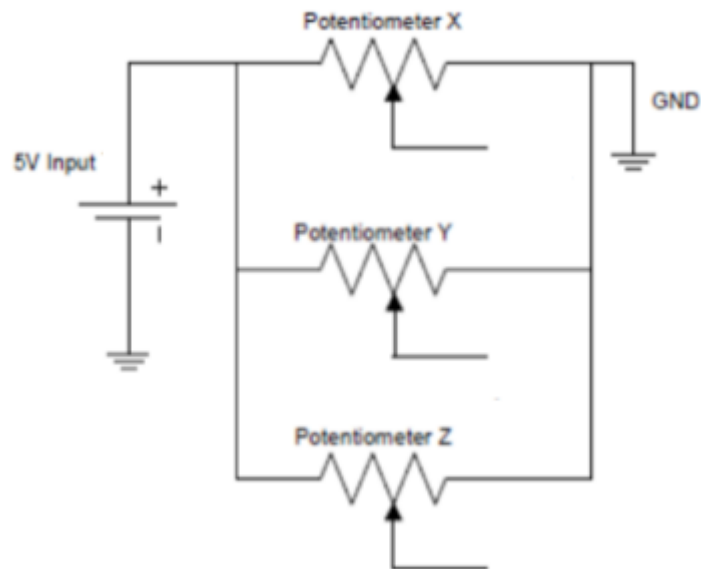
Simulación: Como el componente escogido es un joystick que cumple con los requerimientos propuestos sobre él componente.

Specifications

- Directional movements are simply two potentiometers - one for each axis
- Compatible with Arduino interface
- The biaxial XY Joystick Module KY-023 applies ARDUINO
- Dimensions: 1.57 in x 1.02 in x 1.26 in (4.0 cm x 2.6 cm x 3.2 cm)
- 5 Pin
- Color: Black

Pin Configuration

1. GND: ground
2. +5V: 5V DC
3. VRx: voltage proportional to x position
4. VRy: voltage proportional to y position
5. SW: switch pushbutton

Ilustración 25. Componente1. Características.*Ilustración 26. Componente1. Joystick, diagrama electrónico.**Tabla 2. Selección de componente, keypad.*

SELECCIÓN DE COMPONENTE b	
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO

	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>TECLADO MATRICIAL 4X4 DE MEMBRANA</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>TECLADO MATRICIAL 4X3</i>
e1	Presionar botones digitales	Presionar botones digitales	Presionar botones digitales
e4	Alimentación 5v	Alimentación 5v	Alimentación 5v
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>Joystick smrkl-02</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>Joystick 1263</i>
s6a	Salidas digitales	Salidas digitales	Salidas digitales

Se escogió el keypad 4x4 debido a que cumple con los requerimientos del componente y posee una columna más de botones.



Ilustración 27. Componente2. Keypad.

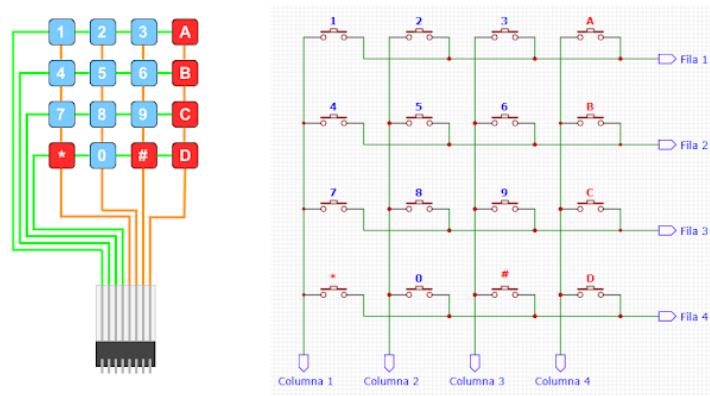


Ilustración 28. Diseño electrónico Keypad.

Diseño funcional subsistema B

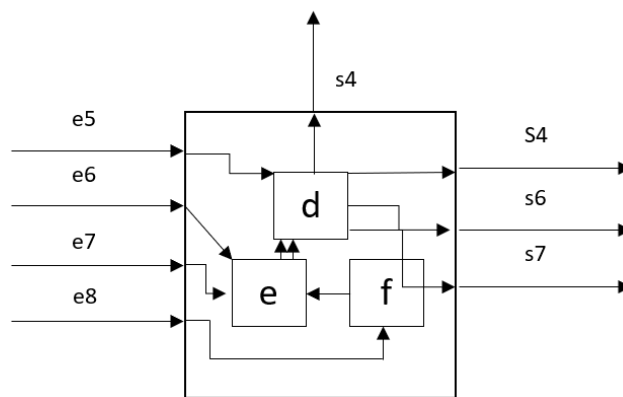


Ilustración 29. Diseño funcional del subsistema B.

Según la Ilustración 10, el subsistema B cuenta con tres componentes. El componente **d** es un procesador de señales, el cual procesa las señales con la ayuda del componente **e** que es un ADC, mientras que el componente **f** es la alimentación de los componentes.

No se realizará el diseño del subsistema B porque existen componentes electrónicos que, de acuerdo con las entradas expuestas, dan como salidas los requerimientos propuestos.

El componente electrónico que cumple con estas características es una tarjeta de adquisición de datos.

Debe soportar los siguientes requerimientos:

e5 Dato String, correspondiente al movimiento en el eje Y.

e6 Dato analógico entre 0 y 1023 correspondiente al eje X.

e7 Dato analógico entre 0 y 1023 correspondiente al eje Z.

e4 polarización 5v y Gnd con una tolerancia de +/-0.10v.

s4 Cadena de caracteres tipo String, por comunicación I2c, correspondiente al movimiento en el eje Y, X y Z.

s5 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje Y.

s6 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje X.

s7 Dato String en código ASCII, correspondiente al eje Z.

Tabla 3. Selección de componente, keypad.

SELECCIÓN DE COMPONENTE d			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO O LEVANTADO	REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>TECLADO Raspberry pi 3</i>	REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Arduino mega</i>
e5	Lectura dato string	Presionar botones digitales	Presionar botones digitales
e6	Lectura de datos análogo	Alimentación 5v	Alimentación 5v
e7	Lectura de datos análogo		
e8	5v de polarización	5v de polarización	5v de polarización
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO O LEVANTADO	REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Raspberry pi 3</i>	REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Arduino mega</i>
s6	Dato String en código ASCII,	Dato String en código ASCII,	Dato String en código ASCII,

	correspondiente al movimiento en el eje Y.	correspondiente al movimiento en el eje Y.	correspondiente al movimiento en el eje Y.
s7	Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje X.	Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje X.	Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje X.
	Dato String en código ASCII, correspondiente al eje Z.	Dato String en código ASCII, correspondiente al eje Z.	Dato String en código ASCII, correspondiente al eje Z.

Se escogió el Arduino mega, porque cumple todos los requerimientos de componente y además de ello tiene integrado un ADC



Ilustración 30. Arduino mega.

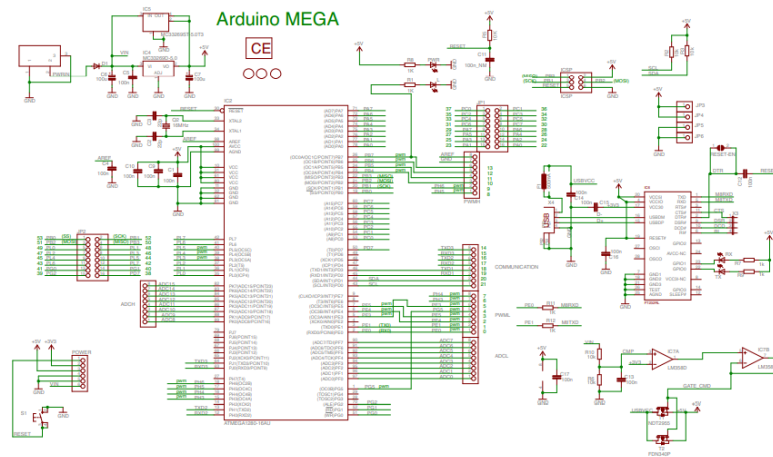


Ilustración 31. Esquemático Arduino mega.

Diseño funcional subsistema C

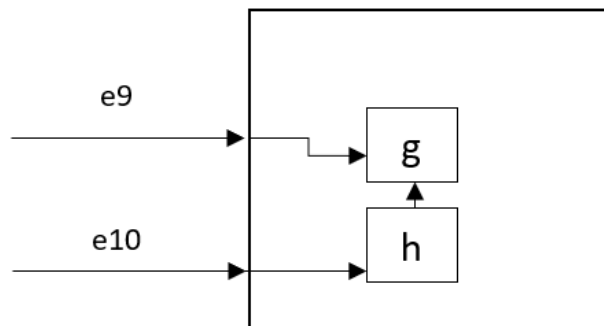


Ilustración 32. Componente3, Subsistema C.

Según la Ilustración 32, el subsistema C cuenta con un componente. El componente **g** cuenta con dos entradas, una de ellas es la polarización y la otra es un conjunto de string por comunicación I2C. No se realizará el diseño del subsistema C porque existe componentes electrónicos que, da como salidas los requerimientos propuestos.

Los requerimientos del componente **g** son los mismos del subsistema C.

El componente electrónico que cumple con estas características es una pantalla LCD I2C.

Debe soportar los siguientes requerimientos:

e9 Cadena de caracteres tipo String, por comunicación I2c, correspondiente al movimiento en el eje X y Z, además de la profundidad a la que se encuentra el sistema sumergible.

e10 Polarización 5v y Gnd con una tolerancia de $\pm 0.10\text{v}$.



Ilustración 33. Componente3, pantalla LCD.

Diseño funcional subsistema D y E

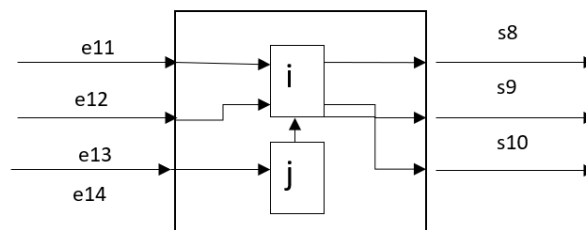


Ilustración 34. Componente4, Diseño funcional subsistema D y E

Según la Ilustración 34, el subsistema D cuenta con dos componentes, el componente **i** es un módulo de transmisión inalámbrica, encargado de la comunicación con el subsistema E, mientras que el componente **j** esta encargada de la alimentación del sistema a 5v.

No se hará el diseño de este documento, porque en el mercado existe un componente que cumple con estos requerimientos

Debe soportar los siguientes requerimientos:

e11 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje Y.

e12 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje X.

e13 Dato String en código ASCII, correspondiente al movimiento en el eje Z.

e14 Polarización 5v y Gnd con una tolerancia de +/-0.10v.

s8 Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje Y entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

s9 Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje X entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

s10 Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string correspondientes al movimiento en el eje Z entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

El componente que cumple con estas características es el módulo bluetooth:

Tabla 4. Selección de componente, módulo bluetooth.

SELECCIÓN DE COMPONENTE i y k			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO O LEVANTADO	REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>TECLADO bluetooth hc-05</i>	REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Bluetooth sparkfun</i>
e11	Lectura dato string	Lectura dato string	Lectura dato string
e12	Lectura de string	Lectura dato string	Lectura dato string
e13	Lectura de string	Lectura dato string	Lectura dato string
e14	5v de polarización	5v de polarización	5v de polarización
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO O LEVANTADO	REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>bluetooth hc-05</i>	REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Bluetooth sparkfun</i>

S8	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII
s9	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII
s10	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII	Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII

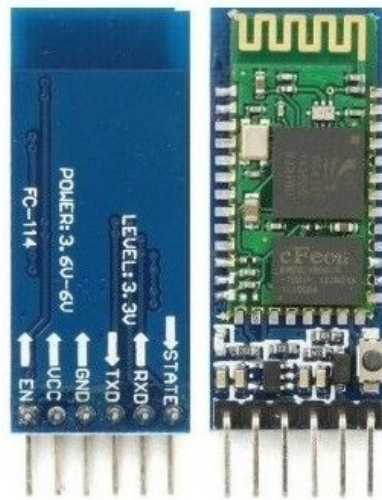


Ilustración 35. Componente i, módulo bluetooth hc-05.

Diseño funcional subsistema F

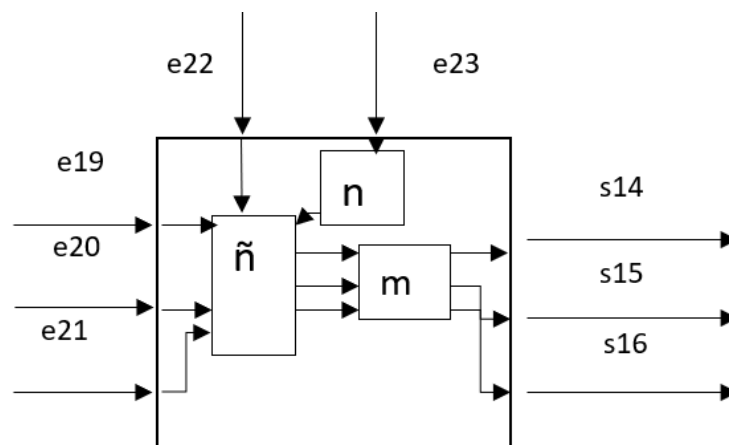


Ilustración 36. procesador de señales del módulo sumergible

Según la Ilustración 13, el subsistema F cuenta con tres componentes, uno de ellos es el componente **ñ** el cual es un ADC, encargado de convertir los datos analógicos del sensor en señales digitales para el procesador, el componente **n** es el encargado de polarizar los componentes y el componente **m** es encargado de procesar las señales de entrada y en base a eso genera señales PWM para el control PID o el movimiento de las Thruster.

Deben soportar los siguientes requerimientos:

e19 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.

e20 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje X.

e21 Paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Z.

e22 Señal analógica entre 3.59-5v correspondiente a la salida del sensor de presión, que mide la profundidad a la que se encuentra el sistema.

e23 Voltaje de polarización de 5v a 1A Dc.

s14 Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las bombas peristálticas.

s15 Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.

s16 Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.

Tabla 5. Selección de componente, adc externo.

SELECCIÓN DE COMPONENTE m			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Ads1115</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Mcp3008</i>
e22	e22 Señal analógica entre 3.59-5v	e22 Señal analógica entre 3.59-5v	e22 Señal analógica entre 3.59-5v
e23	5v de polarización	5v de polarización	5v de polarización
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Ads1115</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Mcp3008</i>
s14	Señal referente al	Señal referente al	Señal referente al

	sensor de 3.3v I2C	sensor de 3.3v I2C	sensor de 3.3v I2C.
--	--------------------	--------------------	---------------------

Se escogió el ADS1115, porque además de cumplir con los requerimientos propuestos, posee una resolución de 16 bits.

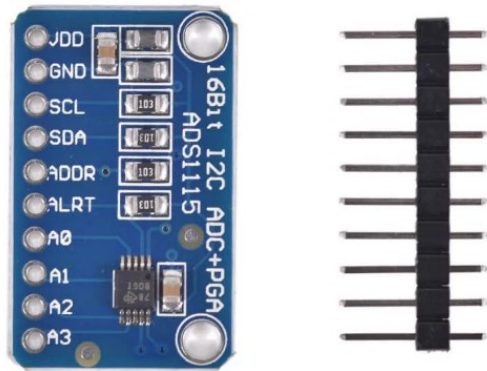


Ilustración 37. Componente m, adc externo ADS1115.

Tabla 6. Selección de componente, adc externo.

SELECCIÓN DE COMPONENTE ñ			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Raspberry pi 3 b+</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Arduino Mega</i>
e19	Lectura de paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.	Lectura de paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.	Lectura de paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.
e20	Lectura de	Lectura de	Lectura de

	paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.	paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.	paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.
e21	Lectura de paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.	Lectura de paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.	Lectura de paquetes de bits con codificación ASCII, formato string, que corresponde al movimiento en el eje Y.
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>Ads1115</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>Mcp3008</i>
s14	Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las bombas peristálticas.	Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las bombas peristálticas.	Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las bombas peristálticas.
s15	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.
s16	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.

El componente es cogido, fue la Raspberry pi 3 b+, puesto que a pesar de que los dos controladores propuestos pueden leer los datos requeridos, la Raspberry tiene una capacidad de procesamiento y de ejecución de tareas más rápida.



Ilustración 38. Componente ñ, Raspberry pi 3 b+.

Diseño funcional subsistema G

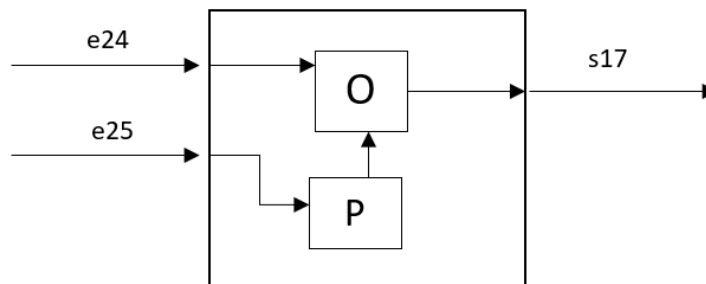


Ilustración 39. Diseño funcional del subsistema G.

Según la Ilustración 39, el subsistema G cuenta con un componente. El componente **o** es un acondicionador de señal, el cual fue diseñado con un amplificador operacional no inversor, para elevar la señal de salida del sensor entre 3.5v y 5v, para tener una mejor lectura en la etapa de procesamiento.

El componente electrónico que cumple con estas características del componente **o** es una batería.

Deben soportar los siguientes requerimientos:

e24 Señal analógica entre 0.5v a 0.7v correspondiente a la salida del sensor de presión en base a la profundidad que se encuentra midiendo.

e25 Voltaje de polarización de 5v a 1A.

s17 Señal analógica entre 3.59-5v correspondiente a la salida del sensor de presión, que mide la profundidad a la que se encuentra el sistema.

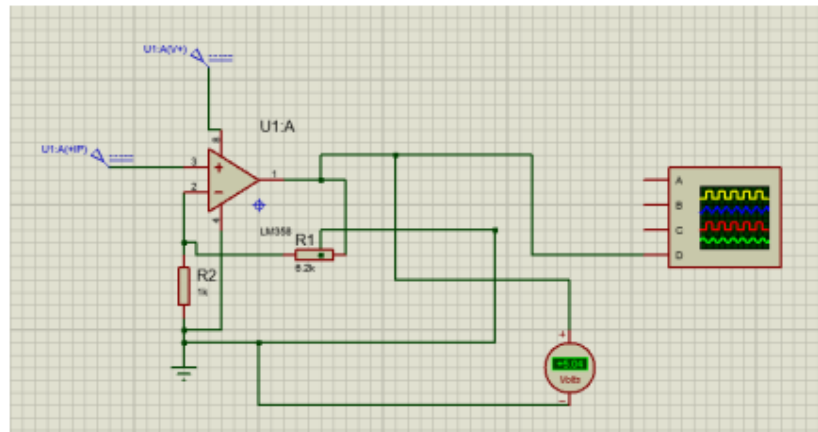


Ilustración 40. Acondicionador de la señal de salida del sensor.

Se construyo con un amplificador operacional Lm358, una resistencia de 1k y una resistencia de 7k, en donde el sensor a encontrar se a 2metros de profundidad, la señal amplificada será de 5v como se ve en la simulación.

Diseño funcional subsistema H

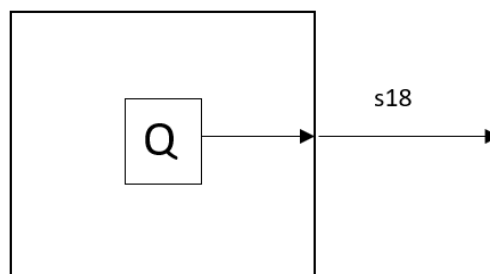


Ilustración 41. Diseño funcional del subsistema H.

El subsistema H está compuesto por un solo componente, el cual está encargada de suministrar voltaje a 5v a 2A, al subsistema F.

No se realizó el diseño electrónico de este componente, puesto que en el mercado existe y se le denomina PowerBank.

Tabla 7. Selección de componente, adc externo.

SELECCIÓN DE COMPONENTE q			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>Ads1115</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>Mcp3008</i>
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>Xiaomi Power Bank 2C</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>Power Bank 12000mAh</i>
s18	Salida de 5v a 2a	Salida de 5v a 2a	Salida de 5v a 2a

Se escogió la PowerBank de 12000mah, ya que posee mayor capacidad de carga, lo que genera un incremento en la autonomía del funcionamiento del módulo sumergible y además de ello, sus dimensiones se ajustan al tamaño del módulo.



Ilustración 42. PowerBank.

Diseño funcional subsistema I

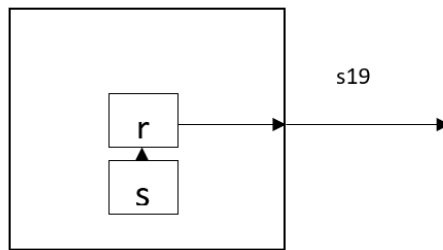


Ilustración 43. Diseño funcional del subsistema I.

El subsistema I, este compuesto por dos componentes, uno de ellos es el **s**, el cual está encargada de la polarización del subsistema, mientras que el componente **r**, está encargada de transformar la presión ejercida por la columna de agua en un voltaje dc.

Los requerimientos para estos componentes son los siguientes.

s19 Señal analógica entre 0.5v a 0.7v correspondiente a la profundidad en la que se encuentra el robot.

El componente que cumple con estas características es el sensor de presión.

Tabla 8. Selección de componente, sensor de presión.

SELECCIÓN DE COMPONENTE r			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>A-100 Atlas</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>A-100 Atlas</i>
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>A-100 Atlas</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>A-100 Atlas</i>
s19	Señal analógica entre 0.5v a 0.7v	Señal analógica entre 0.5v a 0.7v	Señal analógica entre 0.5v a 0.7v

Se escogió el sensor A-100 de Atlas, puesto que a pesar de que los dos sensores cumplen con los requerimientos propuestos, la empresa atlas construye los sensores con una mayor calidad, lo que traduce en más horas de uso del sensor sin sufrir daños.



Ilustración 44. Sensor de presión A-100.

Diseño funcional subsistema J

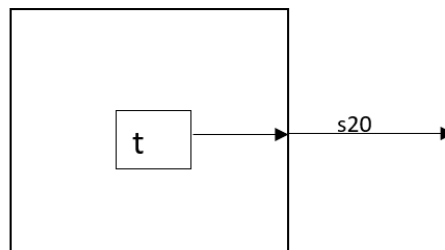


Ilustración 45. Diseño funcional del subsistema J.

El subsistema J posee solo un componente, el componente t, el cual está encargada de polarizar la etapa de potencia del sistema. Posee el siguiente requerimiento:

s20 Señal Dc de 14v a 5A.

Tabla 9. Selección de componente, sensor de presión.

SELECCIÓN DE COMPONENTE t	
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO

	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Requerimiento 6s5p 18650 batería</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Turnigy heavy Duty 5000mAh</i>
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Requerimiento 6s5p 18650 batería</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Turnigy heavy Duty 5000mAh</i>
s20	Señal Dc de 14v a 5A.	Señal Dc de 14v a 5A.	Señal Dc de 14v a 5A.

Se escogió la batería Turnigy heavy 5000Mah, puesto que la marca es bastante confiable, además de que el componente cumple con los requerimientos propuestos.



Ilustración 46. Componente t.

Diseño funcional subsistema K

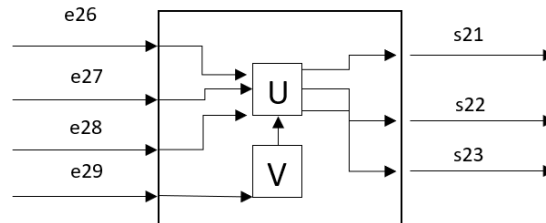


Ilustración 47. Diseño funcional del subsistema K.

El subsistema K, este compuesto por dos componentes, uno de ellos es el componente v, el cual está encargado de polarizar el sistema a 14v dc, mientras que el componente U, es el encargado de amplificar y variar el voltaje de entrada.

No se realizó diseño electrónico de estos componentes, ya que en el mercado existe un componente que cumple con estos requerimientos, el cual es denominado puente h.

e26 Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las bombas peristálticas.

e27 Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.

e28 Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.

e29 Voltaje de polarización de 14v a 5A Dc.

s21 voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.

s22 voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1.

s23 voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 2.

Tabla 10. Selección de componente, Puente H.

SELECCIÓN DE COMPONENTE U			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>L298N</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>BTS7960</i>
e26	Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las	Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las	Señal PWM con ciclo duty entre 30 -100% para la activación de las

	bombas peristálticas.	bombas peristálticas.	bombas peristálticas.
e27	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 1.
e28	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.	Señal PWM con ciclo duty entre 40 -100% para la activación de la Thruster 2.
e29	Voltaje de polarización de 14v a 5A Dc.	Voltaje de polarización de 14v a 5A Dc.	Voltaje de polarización de 14v a 5A Dc.
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>L298N</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>BTS7960</i>
s21	voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.	voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.	voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.
s22	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1.	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1.	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1.
s23	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 2.	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 2.	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 2.

El puente H escogido es el L298N, ya que cumple con los requerimientos solicitados y además de ello viene integrado con una salida de 5v regulada, que podría usarse en una segunda etapa del prototipo.

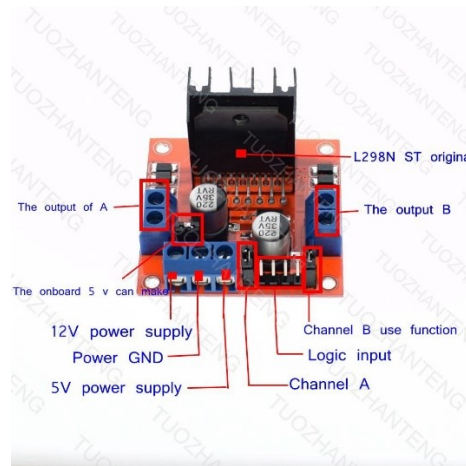


Ilustración 48. Diseño funcional del subsistema K.

Diseño funcional subsistema L

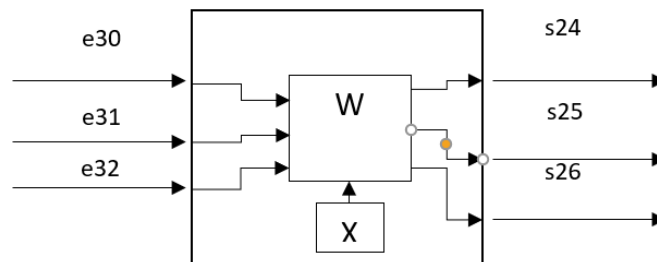


Ilustración 49. Diseño funcional del subsistema L.

El subsistema L posee dos componentes, uno de ellos es el componente x, encargado de la polarización del sistema, mientras que el componente w posee en su interior cuatro actuadores, dos de ellos son bombas peristálticas, mientras que los otros dos son motores acuáticos denominados Thruster.

El subsistema L, cuenta con los siguientes requerimientos:

- e30 voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.
- e31 voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1.
- e32 voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 2.
- s24 Desplazamiento del módulo sumergible en el eje Y, entre 0 y 2 metros de profundidad.
- s25 Desplazamiento del módulo sumergible en sentido hacia adelante o hacia atrás.

s26 Desplazamiento del módulo sumergible en sentido de giro derecha o izquierda.

Tabla 11. Selección de componente, Thruster.

SELECCIÓN DE COMPONENTE w			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>AUV thrusterDc Childlike</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Thruster U El Bosque</i>
e31, e32	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1 y 2	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1 y 2	voltaje ente 0 a 14v para la activación de la Thruster 1 y 2.
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>AUV thrusterDc Childlike</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Thruster U El Bosque</i>
s25, s26	Desplazamiento del módulo sumergible en sentido hacia adelante o hacia atrás, derecha e izquierda.	Desplazamiento del módulo sumergible en sentido hacia adelante o hacia atrás, derecha e izquierda.	Desplazamiento del módulo sumergible en sentido hacia adelante o hacia atrás, derecha e izquierda..

Se escogió las Thruster U El Bosque, la cual fue diseñada y construida por el investigador principal del proyecto. Este componente cumple con todos los requerimientos descritos.



Ilustración 50. Componente6, thruster

Tabla 12. Selección de componente, Thruster.

SELECCIÓN DE COMPONENTE w			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>MotoPwer-KZ-35K</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>Peristaltic Pump DP-385</i>
e30	voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.	voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.	voltaje ente 0 a 14v para la activación de las bombas peristálticas.
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>MotoPwer-KZ-35K</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>Thruster U El Bosque</i>
s24	Desplazamiento del módulo sumergible	Desplazamiento del módulo	Desplazamiento del módulo

	en el eje Y, entre 0 y 2 metros de profundidad.	sumergible en el eje Y, entre 0 y 2 metros de profundidad.	sumergible en el eje Y, entre 0 y 2 metros de profundidad.
--	---	--	--

Se escogió La motobomba MotoPwer-KZ-35K, ya que posee un mayor caudal, lo cual contribuye a llenar los compartimientos de agua y lograr sumergir el robot con una mayor velocidad.



Ilustración 51. Componente6, bomba peristáltica.

8.3 Esquemáticos del sistema

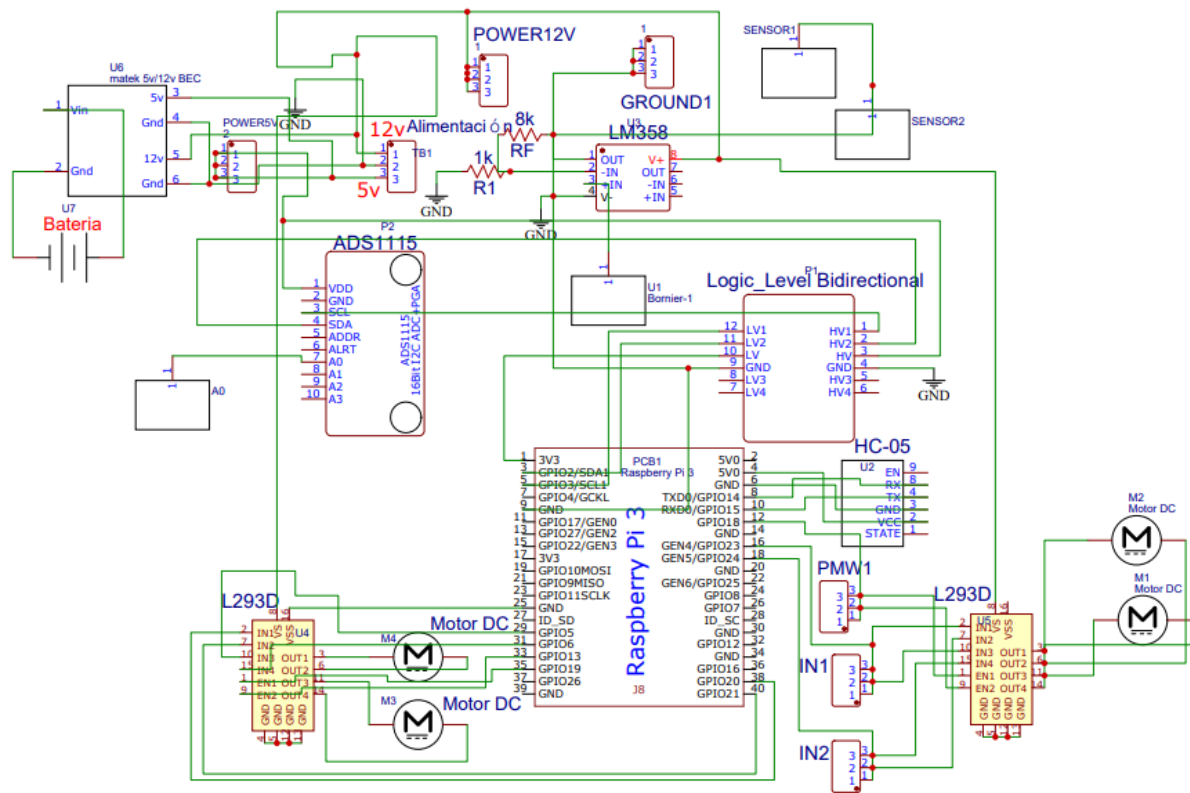


Ilustración 52. Esquemático del módulo sumergible de navegación.

En la Ilustración 52, se puede visualizar el esquemático de los componentes que se implementaron para el módulo sumergible, dentro de los componentes más importantes, encontramos el circuito de acondicionamiento de señal para el sensor de presión, la Raspberry pi 3, el ADC externo ADS1115, dos módulos Puentes H L293D, dos bombas peristálticas, dos Thruster, el módulo HC-05 que permite la comunicación Bluetooth, un logic level shifter, que baja el voltaje de las señales lógicas de la entrada de la Raspberry a 3.3v, además de algunas borneras para la conexión de tierra y Vcc y una batería Lipo de 14V.

A continuación, se muestra un diagrama de conexión de los componentes anteriormente descritos, que conforman el módulo sumergible de navegación.

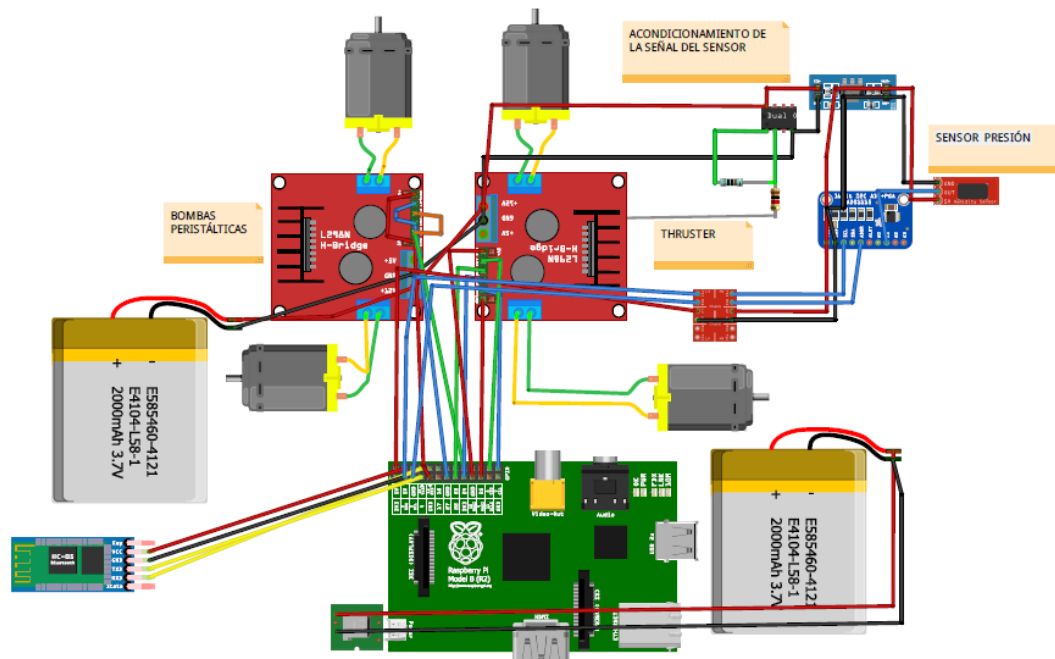


Ilustración 53. Diagrama de conexiones del módulo sumergible de navegación.

La segunda parte del sistema está compuesta por el Módulo De Control, el cual cuenta con un Arduino Mega encargado del procesamiento de las señales, conectado a un keypad, en donde se digitarán las distintas profundidades a las que el usuario desea llevar el robot, también tiene conectado un joystick para mover el robot en cuatro grados de libertad(hacia adelante, hacia atrás, giro hacia la derecha y giro hacia la izquierda) y cuenta con un módulo bluetooth previamente configurado, para enviar los datos al módulo sumergible, de manera inalámbrica. A continuación, se muestra el esquemático y el diagrama de conexiones del Módulo De Control, representado en la Ilustración 32 y la Ilustración 33.

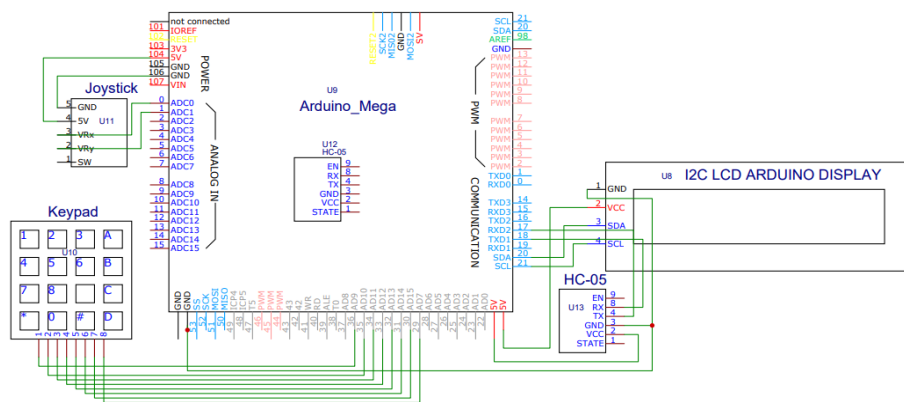


Ilustración 54. Esquemático del módulo de control remoto.

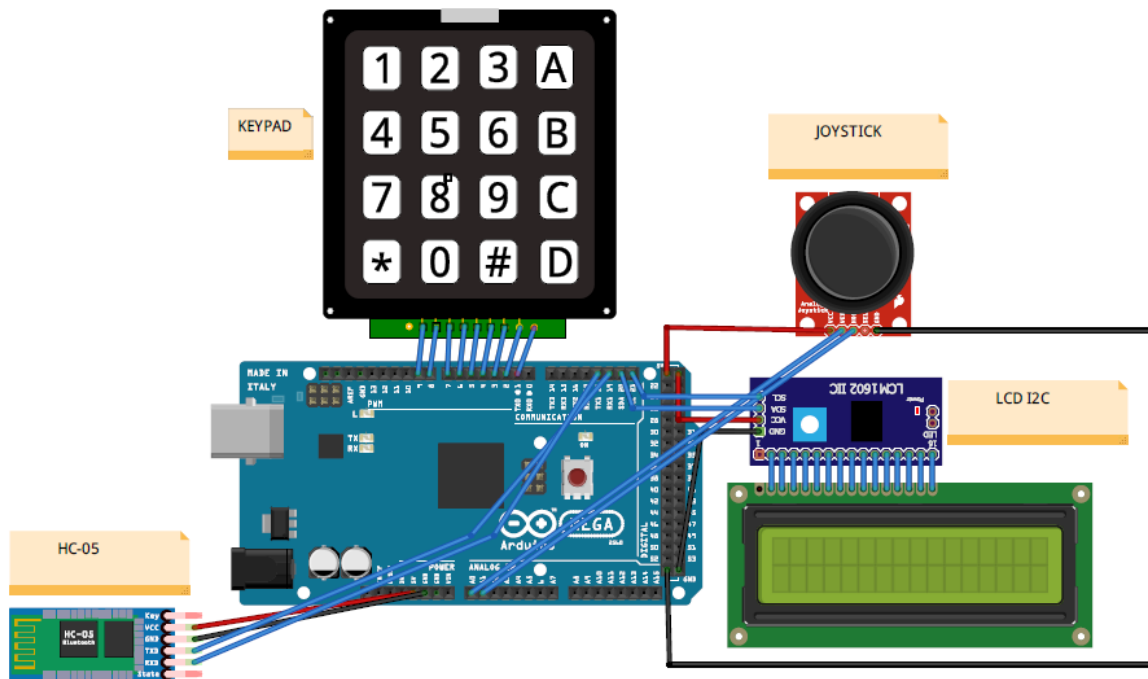


Ilustración 55. Diagrama de conexiones del módulo de control remoto.

9 PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA

9.1 Plan de pruebas de componentes

Para la realización de esta prueba del componente HC-05, se identifica que el componente comunique, envíe y reciba datos correctamente, además de que se polarice con el voltaje indicado en su ficha técnica.

Tabla 13. Pruebas HC-05 Bluetooth.

Requerimiento levantado componente: HC-05		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e23r	Prueba de transmisión de datos inalámbricamente.	Máximo 2 personas	90 min máximo.	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	Velocidad de transmisión de 9600 baudios.		
	e24r	Prueba de la lectura de la profundidad y distancia de comunicación	Máximo 2 personas	40 min máximo.	IDE de Arduino-metro	Dato string de 4 a 10 caracteres mediante comunicación UART del valor de profundidad.		
	e25r	Verificación Voltaje de alimentación	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 5V		
Requerimientos de salida	s13r	Prueba de transmisión de datos inalámbricamente.	Máximo 2 personas	45 min máximo.	IDE de arduino e interfaz gráfica	Bits con codificación ascii de lectura de sensores		
	s14r	Prueba de transmisión de datos a microcontrolador	Máximo 2 personas	30 min máximo	Multímetro Uni-t ut39c (Outputs)	Dato string a 9600 bauds comunicación serial		

En esta prueba, se verifica que el componente encargado del procesamiento de las señales Raspberry pi 3 b+, dentro módulo de navegación logre leer las señales de entrada por I2C y en base a las señales de entrada, genere tres señales PWM.

Tabla 14. Pruebas de la Raspberry Pi 3 B+.

Requerimiento levantado componente Raspberry Pi 3 B+		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e16p	Prueba de datos de las variables (ph, temperatura,	Máximo 2 personas	90 min máximo.	IDE de Arduino	Datos string transmitidos mediante comunicación		

		O.D y conductividad)				UART, de presión		
	e19p	Lectura análoga de parámetro de presión	Máximo 2 personas	20 min máximo.	IDE de Arduino	Entradas análogas de 0 a 5V		
	e21p	Lectura de dato de interfaz.	Máximo 2 personas	20 min máximo.	IDE de Arduino.	Datos string transmitidos mediante comunicación UART, de presión		
	e22p	Verificación Voltaje de alimentación	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 5V		
Requerimientos de salida	s11p	Prueba de envío de datos a interfaz.	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012- interfaz	Bits con codificación ascii de lectura de sensores		
	s12p	Salidas Digitales	Máximo 2 personas	20 min máximo	Multímetro Uni-t ut39c	Salida digital de 5V por 5 canales diferentes.		

En esta prueba se verifica que el componente PowerBank 12000mAh, el cual es una fuente de voltaje de salida, basados en los requerimientos previamente estipulados del componente.

Tabla 15. Pruebas Batería externa.

Plan de pruebas de Batería externa								
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado	
Requerimientos de salida	s21: verificación señal de salida.	1	10min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	señal Dc de 5v a 2A ± 0.56v.			
	s22: verificación señal de salida.	1	10min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	señal Dc de 5v a 2A ± 0.56v.			

En esta prueba, se verifica el óptimo funcionamiento del puente H L298N, en cuanto al suministro de voltaje y corriente de salida respecto al voltaje y corriente de entrada, así mismo la señal de control pwm para cada uno de los motores.

Tabla 16. Pruebas puente H.

Plan de pruebas de puente H L298N							
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	e13: verificación de control de pwm	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9		
	e14: verificación de control de pwm	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9		
	e15: verificación de control de pwm	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9		
	e16: verificación de control de pwm	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9		
	e17: verificación voltaje de alimentación	1	10min	Multímetro Meterman 35 xp	señal Dc de 14v a 5A ± 5%.		
Requerimientos de salida	s11: Verificación de características de señal de salida.	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v, entre 0-2.5A.		
	s12: Verificación de características de señal de salida.	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A		
	s13: Verificación de características	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A		

	de señal de salida.						
	s14: Verificación de características de señal de salida.	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A		

En esta prueba se verifica las características de funcionamiento reales del motor acuático Thruster en cuanto a la potencia y rpm que puede generar respecto al voltaje de entrada.

Tabla 17. Pruebas Thruster y Bomba.

Plan de pruebas de Thruster y Bomba							
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	e18: verificación voltaje de suministro.	1	20min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v trifásica entre 0-30A con una potencia de 135W		
	e19: verificación voltaje de suministro.	1	20min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v trifásica entre 0-30A con una potencia de 135W		
Requerimientos de salida	s15: Verificación Fuerza de empuje y rpm motor	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	rpm entre 0y 900 con fuerza de empuje de 0 a 2.36kg		
	s16: Verificación Fuerza de empuje y rpm motor	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	rpm entre 0 y 900con fuerza de empuje de 0 a 2.36kg		
	s17: Verificación Fuerza de empuje y rpm motor	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Caudal:0-100ml/min		

	s18: Verificación Fuerza de empuje y rpm motor	1	20min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Caudal:0- 100ml/min		
--	---	---	-------	---	------------------------	--	--

En este plan de pruebas se verifica el voltaje y corriente de salida real de la Batería Turnigy.

Tabla 18. Pruebas batería.

Plan de pruebas de Batería Turnigy							
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de salida	s19: Verificación de voltaje de salida	1	15min	Cargador Imax B6AC	14v dc $\pm$ 10%.		
	s19: Verificación de corriente de salida	1	15	Cargador Imax B6AC	5a		

9.2 Plan de pruebas de subsistemas

Para este plan de pruebas del subsistema A, se verifica el óptimo funcionamiento de la recepción y emisión de los datos de manera inalámbrica que serán enviados al subsistema B.

Tabla 19. Pruebas Subsistema A.

Plan de pruebas de Subsistema A (recepción inalámbrica)							
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	e1: verificación de recepción de datos	1	15 min	Raspberry y osciloscopio Techtronics tds 1002	Paquete de datos entre 2.3Ghz - 2.6Ghz.		

	e2: verificación de recepción de datos	1	15 min	Raspberry y osciloscopio Techtronics tds 1002	Paquete de datos entre 2.3Ghz - 2.6Ghz.		
	e3: verificación de recepción de datos	1	15 min	Raspberry y osciloscopio Techtronics tds 1002	Paquete de datos entre 2.3Ghz - 2.6Ghz.		
	e4: verificación de recepción de datos	1	15 min	Raspberry y osciloscopio Techtronics tds 1002	Paquete de datos entre 2.3Ghz - 2.6Ghz.		
	e5: verificación de recepción de datos	1	15 min	Raspberry y osciloscopio Techtronics tds 1002	Paquete de datos entre 2.3Ghz - 2.6Ghz.		
	e6: verificación de voltaje de alimentación	1	10 min	Raspberry y osciloscopio Techtronics tds 1002	5v dc +/- 0.25v		
Requerimientos de salida	s1: verificación de emisión de datos	1	15 min	Arduino y osciloscopio Techtronics tds 1002	Paquete de datos a 10bits		
	s2: verificación de emisión de datos	1	15 min	Arduino y osciloscopio Techtronics tds 1002	Paquete de datos a 10bits		
	s3: verificación de emisión de datos.	1	15 min	Arduino y osciloscopio Techtronics tds 1002	Paquete de datos a 10bits		

s4: verificación de emisión de datos.	1	15 min	Arduin o y osciloscopio Techtronics tds 1002	Pa quete de datos a 10bits		
s5: verificación de emisión de datos.	1	15 min	Arduin o y osciloscopio Techtronics tds 1002	Pa quete de datos a 10bits		

Para este plan de pruebas del subsistema B, se verifica una óptima recepción de los datos que vienen del subsistema A y además de ello que el subsistema B sea capaz de generar datos de salida descritos en los requerimientos del subsistema.

Tabla 20. Pruebas Subsistema B.

Plan de pruebas de Subsistema B (procesamiento de señales)							
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato de ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	e7: verificación de lectura de datos	1	15min	Multímetro Metrama 35xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	Dato digital en comunicación I2C correspondiente a la presión del agua.		
	e8: verificación de lectura de datos	1	15min	Multímetro Metrama 35xp y osciloscopio	Dato digital en ASCII correspondiente al desplazamiento y dirección del robot en el eje Y.		

				Tech troni cs tds 1002			
	e9: verificació n de lectura de datos 9600 baud a 8 bits	1	15m in	M últim etro Mete rma n 35 xp y oscil osco pio Tech troni cs tds 1002	Dato digital en ASCII corresponde nte al desplazamien to y dirección del robot en el eje X.		
	e10: verificació n de lectura de datos	1	15m in	M últim etro Mete rma n 35 xp y oscil osco pio Tech troni cs tds 1002	Dato digital en ASCII corresponde nte al desplazamien to y dirección del robot en el eje Z.		
	e11: verificació n de lectura de datos	1	15m in	M últim etro Mete rma n 35 xp y oscil osco pio Tech troni cs tds 1002	Dato String codificado en ASCII que indica si el robot debe sumergir o emerger.		
	e12: verificació n voltaje	1	10m in	M últim etro	Dato análogo		

	de alimentaci ón			Mete rma n 35 xp y oscil osco pio Tech troni cs tds 1002	entre 0 y 5v Dc +/- 0.45v		
Requerimient os de salida	s6: Verificaci ón de generador y salida de datos	1	15m in	M últim etro Mete rma n 35 xp y oscil osco pio Tech troni cs tds 1002	Valor digital numérico entre 0 y 2m correspondie nte a la profundidad		
	s7: Verificaci ón de generador y salida de datos	1	15m in	M últim etro Mete rma n 35 xp y oscil osco pio Tech troni cs tds 1002	señal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9ms		
	s8: Verificaci ón de generador y salida de datos	1	15m in	M últim etro Mete rma n 35 xp y oscil osco pio Tech	señal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9m		

				troni cs tds 1002			
s9: Verificació n de generador y salida de datos	1	15m in	M	últim etro Meterma n 35 xp y oscil osco pio Tech troni cs tds 1002	señal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9m		
s10: Verificació n de generador y salida de datos	1	15m in	M	últim etro Meterma n 35 xp y oscil osco pio Tech troni cs tds 1002	Dato digital en ASCII		

Para este plan de pruebas del subsistema C, se verifica que el subsistema sea capaz de suministrar energía al subsistema A y B.

Tabla 21. Pruebas Subsistema C.

Plan de pruebas de Subsistema C (Alimentación de la etapa de procesamiento)							
Requerimiento Levantado Componente	No mbre de la prueba	Canti dad de personas para la prueba	Tie mpo de duración estimado para la prueba	Instrum ento HW/SW de medición	Dat o simulado o dato ficha técnica	D ato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Fr ente al requerimie nto levantado
	s21 : verificac	1	10 min	Multím etro Meterman	se ñal Dc de 5v a		

Requerimientos de salida	ión señal de salida.			35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	2A ± 0.56v.		
	s22 : verificac ión señal de salida.	1	10 min	Multím etro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	se ñal Dc de 5v a 2A ± 0.56v.		

Para este plan de pruebas del subsistema D, se verifica que el subsistema tenga la capacidad de recibir ciertas señales con características determinadas y en base a esas señales genere voltajes y corrientes determinadas.

Tabla 22. Pruebas Subsistema D.

Plan de pruebas de Subsistema D (etapa de suministro)							
Requerimiento Levantado Componente	Nombr e de la prueba	Cant idad de personas para la prueba	Tie mpo de duración estimado para la prueba	Instrume nto HW/SW de medición	Dat o simulado o dato ficha técnica	D ato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Fr ente al requerimie nto levantado
Requerimi entos de entrada	e13: verificació n de control de pwm	1	20 min	Oscilos copio Techtronics tds 1002	Se ñal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9ms		
	e14: verificació n de control de pwm	1	20 min	Oscilos copio Techtronics tds 1002	Se ñal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9ms		
	e15: verificació n de	1	20 min	Oscilos copio Techtronics tds 1002	Se ñal pwm con		

	control de pwm				ancho de pulso de 1 a 1.9ms		
	e16: verificación de control de pwm	1	20 min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal pwm con ancho de pulso de 1 a 1.9ms		
	e17: verificación voltaje de alimentación	1	10 min	Multímetro Meterman 35 xp	señal Dc de 14v a 18A $\pm$ 25%.		
Requerimientos de salida	s11: Verificación de características de señal de salida.	1	20 min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A.		
	s12: Verificación de características de señal de salida.	1	20 min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A.		
	s13: Verificación de características de señal de salida.	1	20 min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A.		
	s14: Verificación de características de señal de salida.	1	20 min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A.		

En este plan de pruebas de subsistema E, se verifica que el subsistema sea capaz de generar ciertas rpm y fuerza de empuje, en base a la señal de entrada subministrada por el subsistema D.

Tabla 23. Pruebas Subsistema E.

Plan de pruebas de Subsistema E (Actuadores)							
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	e18: verificación voltaje de suministro.	1	20 min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A.		
	e19: verificación voltaje de suministro.	1	20 min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A.		
	e20: verificación voltaje de suministro.	1	20 min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A.		
	e21: verificación voltaje de suministro.	1	20 min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio Techtronics tds 1002	Señal entre 0 y 14v entre 0-2.5A.		
Requerimientos de salida	s15: Verificación Fuerza de empuje y rpm motor	1	20 min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	rpm entre 0 y 900 con fuerza de empuje de 0 a 2.36kg		
	s16: Verificación	1	20 min	Osciloscopio	rpm		

	Fuerza de empuje y rpm motor			Techtronics tds 1002	entre 0 y 900 con fuerza de empuje de 0 a 2.36kg		
	17: Verificación Fuerza de empuje y rpm motor	1	20 min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	rpm entre 0 y 4900 con un caudal 0-100L/h		
	18: Verificación Fuerza de empuje y rpm motor	1	20 min	Osciloscopio Techtronics tds 1002	rpm entre 0 y 4900 con un caudal 0-100L/h		

En este plan de pruebas se verifica que el subsistema F, sea capaz de generar cierta cantidad de corriente y voltaje que serán las entradas del subsistema D y el subsistema C.

Tabla 24. Pruebas Subsistema F.

Plan de pruebas de Subsistema F (batería)							
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de salida	s19 : Verificación de voltaje de salida	1	15 min	Cargador IMAX B6AC	1 4v dc a 2.5± 10%.		
	s19 : Verificaci	1	15	Cargador IMAX B6AC	1 4v dc a 2.5		

	ón de voltaje de salida				± 10%.		
--	-------------------------------	--	--	--	-----------	--	--

9.3 Plan de pruebas de integración

Tabla 25. Pruebas de integración de subsistemas.

Plan de pruebas del sistema							
Requerimiento Levantado Componente	Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento HW/SW de medición	Dato simulado o dato ficha técnica	Dato medido en banco de prueba con el HW/SW	%Frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada	E1: verificación Recepción de datos	1	40min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	Dato que corresponde a la presión del agua entre 0.2mBar y 0.3Bar.		
	E2: verificación Recepción de datos	1	40min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	Dato digital en ASCII corresponde a la dirección del robot en el eje Y..		
	E3: verificación Recepción	1	40min	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	Dato digital en ASCII para la dirección y el desplazamiento del robot en el eje X.		

	de datos						
	E4: Dato análogo entre 0 y 5V para la dirección del robot en el eje Z con una tolerancia de +/- 0.25v.	1	40m in	Multí metro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	Dato digital en ASCII para la dirección y el desplazamiento del robot en el eje Z		
	E5: verificación Recepción de datos	1	40m in	Multí metro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	Dato codificado en ASCII, formato String que indicara si el robot debe sumergirse o emerger		
	E6: verificación voltaje de alimentación	1	35m in	Multí metro Meterman 35 xp	Voltaje 5v dc +/- 0.15		

Requerimientos de salida	S1:	1	40m in	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	Cuantificación del parámetro profundidad del agua entre 0 y 2 metros con una tolerancia de +/- 20cm en donde se encontrará sumergido el módulo		
	S2:	1	40m in	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	rpm del motor entre 0 y 900 con una fuerza de empuje de 0 a 2.36kg para determinar el movimiento sobre eje X.		
	S3:	1	40m in	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	rpm el motor entre 0 y 900 con una fuerza de empuje de 0 a 2.36kg para el grado de inclinación en la dirección y movimiento sobre el eje Z		
	S4:	1	40m in	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	rpm del motor entre 0 y 4900 que generara un caudal de 0-100L/h para mover el módulo sobre el eje Y (sumergir y emerger).		

	S5:	1	40m in	Multímetro Meterman 35 xp y osciloscopio o Techtronics tds 1002	rpm del motor entre 0 y 4900 que generara un caudal de 0-100L/h para mover el módulo sobre el eje Y (sumergir y emerger).		
--	-----	---	-----------	---	--	--	--

10 DISEÑO INDUSTRIAL

10.1 Conceptualización y definición de diseño.

10.1.1 Análisis de contexto.

La prueba de laboratorio de los prototipos se realizará en ambientes controlados, donde se emulará diferentes tipos ambientes, en los cuales se evidencie la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos del agua, entre los rangos permisibles para nuestro proyecto se contempla:

- El pH podrá variar entre 5 y 9.
- La temperatura podrá variar entre 4 y 24 °C.
- Los niveles de oxígeno disuelto estarán en el rango de 5 mg/L a 12 mg/L de concentración.
- El nivel de profundidad máximo será de 1m.
- El contenedor en donde se llevarán a cabo las pruebas contará con las siguientes características:
- Dimensiones: Altura: 100cm, Ancho: 150cm, Largo:150 cm
- Material transparente.

10.1.2 Casos de uso

10.1.2.1 Casos Típicos.

- El usuario adaptara el módulo de navegación a los módulos de medición mediante un acople mecánico pasivo.
- El usuario encenderá el mando oprimiendo el botón denominado "On".
- El usuario encenderá el módulo de navegación en un lugar seco.
- El usuario encenderá el módulo de navegación oprimiendo el botón denominado "On".
- Todas las pruebas de funcionamiento de los motores deben realizarse en donde el módulo de navegación se encuentre sumergido en agua.
- El usuario controlara los movimientos del módulo de navegación por medio de un mando inalámbrico.

- El módulo de navegación contara con seis grados de libertad que le permitirán desempeñar los movimientos de desplazarse hacia: Arriba, abajo, derecha, izquierda, adelante, atrás.
- El usuario controlara la profundidad a la que se encontrara el módulo de navegación mediante el mando inalámbrico.
- Mediante una interfaz gráfica ubicada en el mando inalámbrico, el usuario podrá visualizar la profundidad a la que se encuentra el módulo de navegación.
- El usuario apagara el mando oprimiendo el botón denominado "Off".
- El usuario apagara el módulo de navegación oprimiendo el botón denominado "Off".

10.1.2.2 Casos Atípicos.

- En caso de que el robot se apague cuando se encuentre sumergido en el agua, el usuario tendrá una cuerda de seguridad con la cual podrá recuperar el sistema.
 - En caso de que el módulo de navegación no esté realizando los movimientos determinados por el usuario, se deberá sacar el robot para inspeccionar los motores.
 - En caso de que el módulo no se esté sumergiendo o saliendo a la superficie basados en la ordenes que le envía el usuario, se deberá sacar el módulo del agua, para revisar el funcionamiento de la bomba y el compresor del sistema.
 - Cuando el módulo de navegación se descargue, el usuario deberá sacar el robot del agua y cargarlo en terreno seco a una toma eléctrica de 120 AC a 60 Hz.
- 1.

10.1.3 Requerimientos Industriales.

10.1.3.1 Requerimientos de uso y función.

10.1.3.1.1 Requerimientos de uso.

10.1.4 **Practicidad:**

El sistema deberá contar con una interfaz de manejo intuitiva y señalizada, en donde el usuario podrá mover bajo el agua, el módulo de navegación en seis grados de libertad (adelante, atrás, arriba, abajo, izquierda, derecha) de una manera sencilla.

El mando inalámbrico del sistema estará diseñado para ser cargado por el usuario con la ayuda de un arnés, con el fin de facilitar el manejo del robot.

10.1.5 **Conveniencia:**

El usuario contara con un manual sobre el funcionamiento de cada uno de los botones, perillas y joystick que controlan inalámbricamente el módulo de navegación.

El usuario contara con una capacitación previa, para el correcto manejo del robot.

Seguridad:

- El sistema deberá contar con una guaya de seguridad para ser recuperado del agua, en caso de que el sistema falle.
- El sistema contará con una parada de emergencia en caso de que se salga del control del usuario.
- El módulo de navegación solo será encendido cuando se encuentre bajo del agua, por seguridad tanto del robot como del usuario.
- No se debe sumergir el robot a más de 2 metros de profundidad para proteger su integridad.

Mantenimiento:

- Se recomienda realizar mantenimiento preventivo de las gomas aislantes que impiden que el agua penetre el casco del robot, cada 30 horas de uso. En caso de cualquier falla, remitir el caso directamente al encargado técnico.
- Se recomienda cargar la batería del mando inalámbrico cada hora de uso para evitar accidentes por la pérdida de la señal del control.

Reparación:

- Se tienen componentes extras del robot en caso de que se requiera la reparación o reemplazo de alguna pieza. Las reparaciones o reemplazos deben ser efectuados por el técnico experto de mantenimiento.
- El sistema está diseñado para que, en caso de ser necesario, el técnico en mantenimiento pueda abrir el módulo de una manera sencilla y rápida.
- Todas las piezas del sistema pueden ser reemplazadas con facilidad.

Manipulación:

- El control inalámbrico del módulo acuático está diseñado para ser cómodo al momento de usarse.

Antropometría:

El usuario puede operar el módulo de navegación a una distancia máxima de 100 metros.

Ergonomía:

- El peso del robot se mantendrá en el rango de 12kg.
- El módulo de navegación podrá trabajar a temperaturas de 10°C.
- El módulo de navegación no contará con iluminación

Percepción:

- El usuario deberá tener una capacitación previa sobre el uso del mando inalámbrico y del módulo de navegación, para evitar cualquier accidente y pueda utilizar de manera correcta el artefacto sin causarle daños a su integridad.

10.1.5.1.1 *Requerimientos de función.***Mecanismos:**

- El sistema podrá desplazarse en seis grados de libertad (adelante, arriba, abajo, atrás, derecha, izquierda).
- El módulo podrá dar giros hacia la derecha e izquierda de 65°.
- El módulo podrá subir y bajar con un ángulo de giro de 65°.
- El módulo de navegación contará con uniones pasivas para anclarse a otros módulos sin afectar sus ángulos de giro o su funcionamiento.
- Confiabilidad:
- El módulo de navegación está diseñado exclusivamente para ser operado bajo el agua.
- El módulo de navegación podrá soportar el ser sumergido hasta 30 metros de profundidad, sin embargo, se le sugiere al usuario que no sumerja el dispositivo a más de 2 metros con el fin de no alterar el funcionamiento.
- El sistema no tendrá interferencia ante otros dispositivos inalámbricos.

Versatilidad:

- El módulo podrá funcionar en una gran variedad de cuerpos hídricos, tales como piscinas, peceras, lagos, ríos que cumplan con los parámetros fisicoquímicos permisibles para el proyecto.
- **Resistencia:**
- La estructura del módulo puede soportar la presión de hasta 50 metros bajo el agua.
- Los cuatro motores del robot pueden soportar la presión de hasta 200 metros de profundidad.
- La estructura del robot puede soportar colisiones con rocas cuando se esté operando bajo el agua.

Acabado:

- Se El sistema tendrá un acabado industrial, sin bordes filosos que puedan lastimar al operario o alguna especie acuática.
- Las hélices de los motores estarán protegidas con un armazón que impedirán su colisión con objetos cuando el módulo se encuentre en funcionamiento.

10.1.5.2 Requerimientos de producción.**10.1.5.2.1** *De estructura.*

- Número de componentes:
 - El módulo de toma de muestras contará con 5 bombas peristálticas junto con sus recipientes, las cuales se encargarán de la recolección y almacenamiento de dichas muestras.
 - El módulo de medición contará con los 5 sensores necesarios para la obtención de los parámetros fisicoquímicos.

- El módulo de comunicación contará con un sistema de flotabilidad (boya).
- Carcasa:
 - Tanto el módulo de medición como el de recolección de muestras tendrán una carcasa de forma cilíndrica resistente al agua y presión aproximada de 121 Kpa.
- Unión:
 - Los módulos contarán con una unión pasiva para poder realizar la integración al prototipo general.
- Centro de gravedad:
 - El sistema de boya otorgará a los módulos la flotabilidad necesaria para que no se excedan de la profundidad máxima deseada (2m).
- Estructuralidad:
 - El sistema se compondrá de 3 estructuras principales:
 - Módulo de medición
 - Módulo de toma de muestras.
 - Sistema de flotabilidad y comunicación (boya).

10.1.5.2.2 *Técnicos productivos.*

- Modo de producción:
 - El principal modo de producción será artesanal, con la ayuda de producción manufacturada para la realización de cortes necesarios, para la producción de piezas especiales.
- Estandarización:
 - Los dos módulos (medición y toma de muestras) tendrán la misma forma externa pero diferente configuración para su correcto funcionamiento.
- Prefabricación:
 - Se implementará un sistema de flotabilidad prefabricado por una empresa especializada en el tema.
- Materias primas:

- Se implementará en la carcasa de los módulos el material de Policloruro de Vinilo (PVC), el cual tiene las siguientes características:
 - No se oxida ni se corroe.
 - Alta resistencia al choque.
 - Tiene una densidad de 1.42 gr/cm^3 .
 - Es impermeable a gases y líquidos.
 - Resistente a las acciones de hongos y bacterias.
- Costo de Producción:
 - El sistema mecánico tendrá un valor de 1 a 2 millones de pesos colombianos aproximadamente.

10.1.5.2.3 *Legales y Normativos.*

- Patente:
 - El Proyecto contará con una patente relacionado con los sistemas de recolección, medición y navegabilidad del prototipo.
- Norma:
 - El proyecto se basará en la norma "Norsok Standard U-102", esto en relación a los componentes básicos que constituyen un ROV (Remote Operated Vehicle).

10.1.5.3 *Requerimientos estéticos y de identificación.*

10.1.5.3.1 *Formales:*

- Estilo:
 - Acabado industrial, que permitirá la impermeabilización de cada uno de los módulos.
 - La unión de los módulos tendrá apariencia biomimética de una serpiente.
- Unidad:
 - El sistema será fácil de reproducir, para en un futuro realizar una línea de producción.
 - Cada uno de los módulos serán proporcionales y semejantes en las características físicas como la longitud.
 - Cada uno de los módulos tendrá la simplicidad de forma máxima posible (módulos cilíndricos).
- Interés:

- Se podrá unir los módulos mediante acoples mecánicos pasivos.
- La unión de los módulos tendrá apariencia biomimética de una serpiente.
- Cada uno de los módulos operarán bajo el agua.
- El robot tendrá una configuración modular.
- Equilibrio:
 - El robot tendrá una simetría en cada uno de sus módulos, en la cual todos serán de forma cilíndrica.
- Superficie:
 - Cada uno de los módulos tendrá una estructura lisa y color blanco.

10.1.5.3.2 *Identificación:*

- Impresión:
 - Cada módulo tendrá etiquetada la forma en la cual se deberán unir a los otros módulos.
- Ubicación:
 - Cada módulo tendrá una posición específica dentro del prototipo general.
- Ubicación:
 - En el módulo de medición, habrá etiquetas para la identificación de cada uno de los sensores que hace parte de este módulo.
 - Para cada módulo, habrá una etiqueta que identifique la conexión correspondiente a la carga de la batería.
 - Para el módulo de toma de muestras, habrá etiquetas para la identificación de cada una de las muestras (de 1 a 5 muestras).

10.1.5.4 *Procesos.*

El grupo de investigación Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida, perteneciente a la Universidad El Bosque, en la línea de investigación Usos de los Campos Electromagnéticos en la Salud y Calidad de Vida, AREA VIDA SALUDABLE, se encuentra trabajando en un sistema robótico sumergible para la evaluación e inspección del agua, debido a los altos índices de contaminación en los cuerpos fluviales. La fase 1 del macroproyecto está siendo financiada por la Vicerrectoría de Investigaciones según NOVENA convocatoria interna 2017. Mediante la participación de auxiliares de investigación con el fin de apoyar en tareas específicas del

proyecto, el cual tiene como finalidad realizar un prototipo de un robot modular bio-inspirado en una serpiente, capaz de medir y tomar muestras en cuerpos hídricos.

Tabla 26. Presupuesto para realización de proyecto.

Tareas del proyecto	Horas
Desarrollar especificaciones funcionales	2.0
Desarrollar arquitectura del sistema	2.0
Desarrollar especificaciones de diseños preliminares	2.0
Desarrollar especificaciones de diseño detalladas	2.0
Desarrollar plan de pruebas de aceptación	2.0
Subtotal	10.0

Tabla 27. Desarrollo del proyecto.

TAREAS DEL PROYECTO	HORAS SEMANALES	COSTO MATERIAL	OTROS COSTOS	TOTAL, POR TAREA
COMPRA E INVESTIGACIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	2	\$5.655.000	\$500.000	\$6155000
DESARROLLO DE LA PARTE ELECTRÓNICA	2	-	-	-
COMPRA O DESARROLLO DEL SOFTWARE	2	-	-	-
COMPRA E INVESTIGACIÓN DE MATERIALES MECÁNICOS	2	\$600.000	\$20.000	\$620.000
DESARROLLO DE LA PARTE MECÁNICA	2	-	-	-
COMPRA E INVESTIGACIÓN DE BOYA PARA LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.	2	\$225.000	\$150.000	\$375000
SUBTOTAL	12	6.480.000	670.000	7.150.000

Tabla 28. Entrega del proyecto

Instalación del sistema	2.0
--------------------------------	------------

Capacitación al personal	2.0
Realizar pruebas de aceptación	2.0
Realizar revisión posterior al proyecto	2.0
Documentación	2.0
Subtotal	10.0

10.1.5.5 Normativas.

Para el desarrollo del Snake Robotic System For Underwater Testing and Inspection, se tiene en cuenta la norma internacional *Norsok Standard U-102*, en la cual se explica las normas mínimas relacionadas con el desarrollo de un vehículo operado remotamente ROV.

Teniendo en cuenta este documento se esclarece el tipo de robot que se desarrollara en este proyecto; en donde se le considera un ROV, el cual se define como un equipo utilizado en el agua con la capacidad de observar el entorno y posicionarse a control remoto desde la superficie a través de un cable [6].

Los sistemas que hacen parte de un ROV comprenden un sistema de manejo, un sistema de control de superficie y equipos asociados a una funcionalidad específica [15]. Dentro de las funcionalidades esperadas del prototipo a desarrollar se encuentra que el robot deberá ser capaz de llevar sensores adicionales... Los vehículos de clase II deberían poder funcionar sin pérdida de la función original mientras portan al menos dos sensores adicionales [15]; según esta norma el robot está catalogado como un ROV de clase 2.

10.2 Planificación de la producción.

10.1.6 Alternativas de configuración.

10.1.6.1 Diseño 1 módulo de medición.

Diseño #1

En este primer diseño se puede evidenciar como se organizarían los componentes electrónicos dentro de la carcasa del módulo de navegación, se agruparían los componentes dentro del módulo según su función, para optimizar espacio y disminuir la cantidad de cableado.

La primera propuesta de diseño se usarían dos motores en el módulo de navegación, uno en cada costado para poder desplazarse hacia delante, atrás, derecha e izquierda.

Para desplazarse hacia arriba y abajo, el módulo tendría integrado en su interior un compartimiento (lastre de submarino) en donde se almacenaría una cantidad específica de agua, la cual permitiría sumergir el módulo y se desecharía el líquido para emerger a la superficie. Este lastre implica que el módulo de navegación tenga grandes dimensiones para poder abarcar el sistema en su interior.

El proceso de sumergirse y emerger, lo realizaría con lentitud ya que el sistema para almacenar el líquido es netamente mecánico.

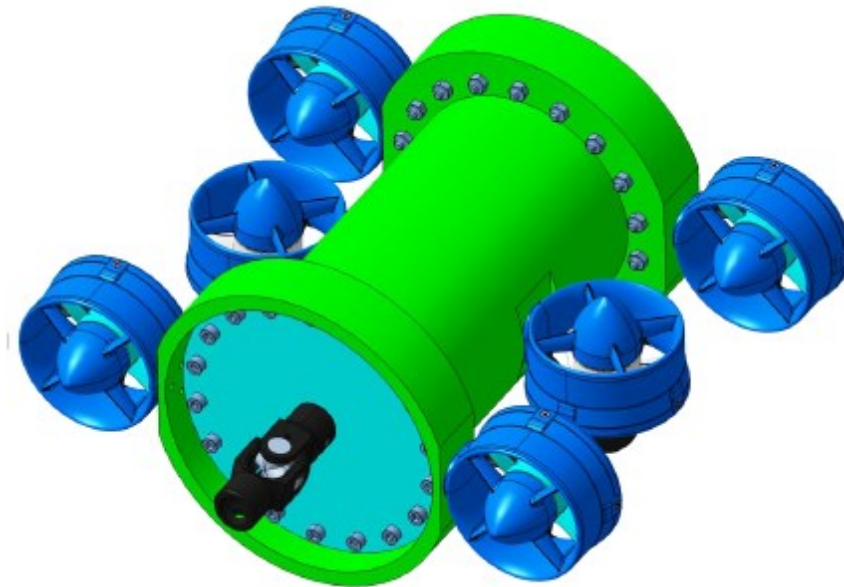


Ilustración 56. Diseño 1 de módulo de navegación.

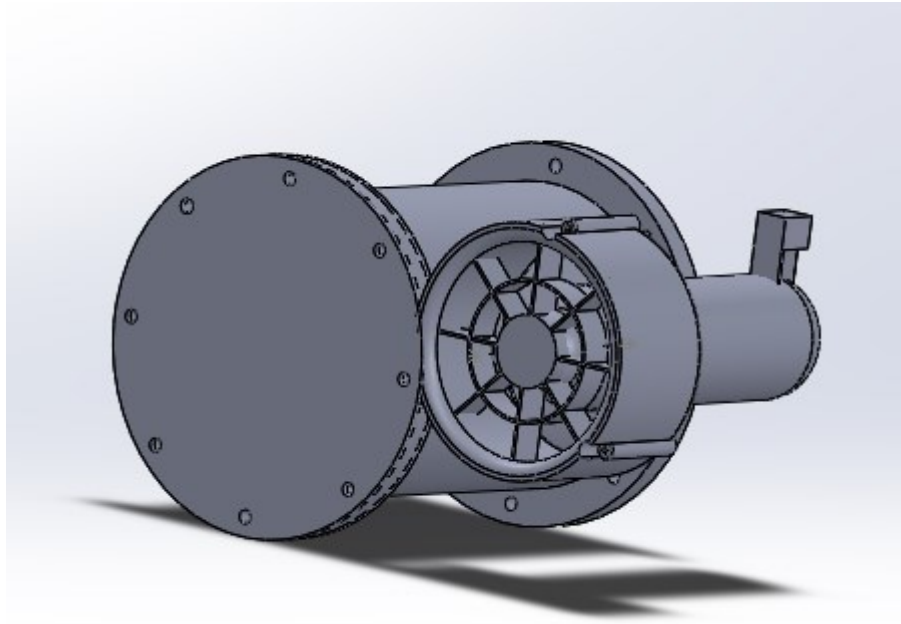


Ilustración 57. Diseño 1 de módulo de navegación.

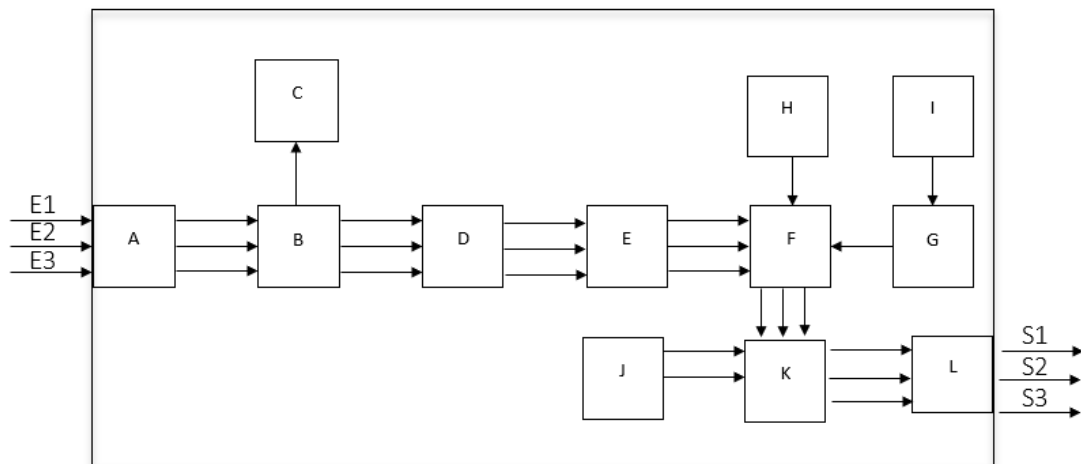


Ilustración 58. Diseño 1 de módulo de navegación.

10.1.6.2 Diseño 2 módulo de medición.

Diseño #2

En este segundo diseño se puede demostrar cómo se organizarían los componentes electrónicos dentro de la carcasa del módulo de navegación, se agruparían los componentes dentro del módulo según su función, para optimizar espacio y disminuir la cantidad de cableado.

Esta segunda propuesta de diseño implica seis motores en el módulo, están distribuidos en dos grupos.

El primer grupo compuesto por cuatro motores, apuntan todos en la misma dirección y generaran el desplazamiento del módulo hacia adelante, atrás, derecha e izquierda a una gran velocidad.

El segundo grupo este compuesto por dos motores posicionados verticalmente, los cuales permitirán el desplazamiento hacia arriba y abajo.

Tener los seis motores implicara que no es necesario una carcasa del módulo de navegación tan grande, ya que se optimizaran los espacios de los componentes.

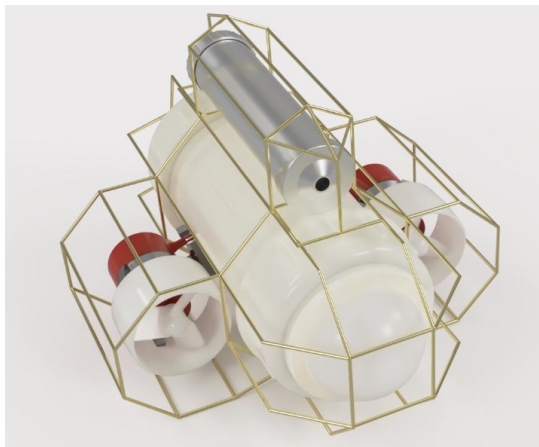


Ilustración 59 .Diseño 2 de módulo de navegación.



Ilustración 60. Diseño 2 de módulo de navegación.

Este diseño es algo similar al diseño 1, la diferencia es que la transmisión de datos es de forma alámbrica, esto no cumple con los requerimientos establecidos anteriormente en donde se pide comunicación de forma inalámbrica

10.1.7 Evaluación y presentación de la alternativa a desarrollar*Tabla 29. Cuadro de evaluación de alternativas de conIlustración.*

Criterio	Alternativa1		Alternativa2		Peso
	Evaluación	Ponderación	Evaluación	Ponderación	
Funcionalidad	4	1	5	1.25	25%
Operatividad	3	0.6	5	1	20%
Instalación	3	0.45	3	0.45	15%
Mantenimiento	2	0.2	4	0.4	10%
Materiales	4	0.2	3	0.15	5%
Eficiencia	3	0.75	4	1	25%
Totales		3.2		4.25	100%

Se decidió escoger la alternativa 2 por su confiabilidad a la hora de la puesta en marcha del módulo de navegación, además que la construcción del sistema es un poco menos complicada que la alternativa1, además, tiene un alto grado de eficiencia.

La alternativa escogida requiere de varios materiales para su construcción, sin embargo, los costos no exceden el presupuesto.

10.1.8 Diseño Detallado

Aplicativo: Gracias al diseño escogido en la sección de alternativa final y al modelamiento realizado virtualmente en el software "SolidWorks" se realizó un acercamiento a los materiales y componentes tanto estructurales como mecanismos el proceso de selección de materiales.

1. Estructura del modulo

Se denomina estructura del módulo, al cilindro que va a contener la tecnología y tendrá sujeto los motores además de proteger los componentes internos del contacto con él agua.

Se muestra en la Ilustración.12 la estructura principal, que está de color verde neón y verde aguamarina.

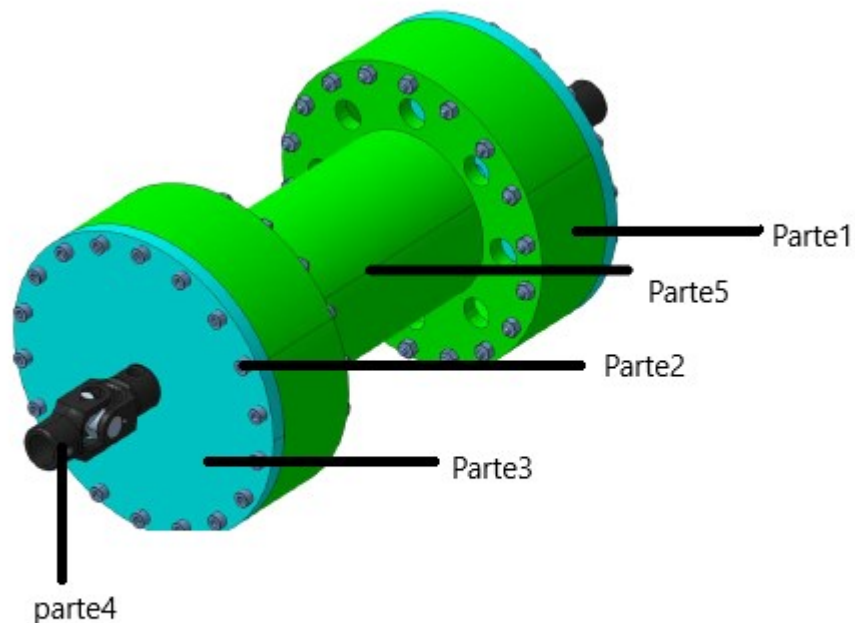


Ilustración 61. Partes de la estructura del módulo.

Materiales empleados:

- **Parte1:** Tubo PVC 2A25160 circular de 16cm de diámetro interno, 1cm de grosor y 12cm de largo, para la construcción de las dos caras de mayor diámetro de la estructura.
- **Parte2:** 18 tornillos de acero inoxidable 8x70mm con tuerca.
- **Parte3:** Lamina de acrílico de 1.5cm de espesor.
- **Parte4:** Tubo de aluminio de 15mm6082 t6 de 100mm de largo.
- **Parte 5:** Tubo PVC-O 500 circular de 8.4cm de diámetro interno, 0.31cm de grosor y 16cm de largo, para la construcción del cuerpo de la estructura.

Ficha técnica tubo PVC 2A25160

Tabla 30.ficha técnica del PVC.

Tubería Alcantarillado PTM			De	e
CÓDIGO	SERIE	DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR	ESPESOR DE PARED
		mm	mm	mm
2A25160	25	160	160.1	3.2
2A25200	25	200	200.1	4.0
2A25250	25	250	250.1	5.0
2A25315	25	315	315.1	6.3
2A25355	25	355	355.2	7.1
2A25400	25	400	400.2	8.0
2A25450	25	450	450.2	8.0
2A25500	25	500	500.2	10.0
2A25630	25	630	630.2	12.5
2A20110	20	110	110.0	2.8
2A20160	20	160	160.1	3.9
2A20200	20	200	200.1	4.9
2A20250	20	250	250.1	6.2
2A20315	20	315	315.1	7.9
2A20355	20	355	355.2	8.9
2A20400	20	400	400.2	10.0
2A20450	20	450	450.2	11.2
2A20500	20	500	500.2	12.4
2A20630	20	630	630.3	15.7
2A16110	16.5	110	110.0	3.3
2A16160	16.5	160	160.1	4.8
2A16200	16.5	200	200.1	6.0
2A16250	16.5	250	250.1	7.4
2A16315	16.5	315	315.1	9.4
2A16355	16.5	355	355.2	10.6
2A16400	16.5	400	400.2	11.9
2A16450	16.5	450	450.2	13.4
2A16500	16.5	500	500.2	14.9
2A16630	16.5	630	630.3	18.7



Ilustración 62. PVC.

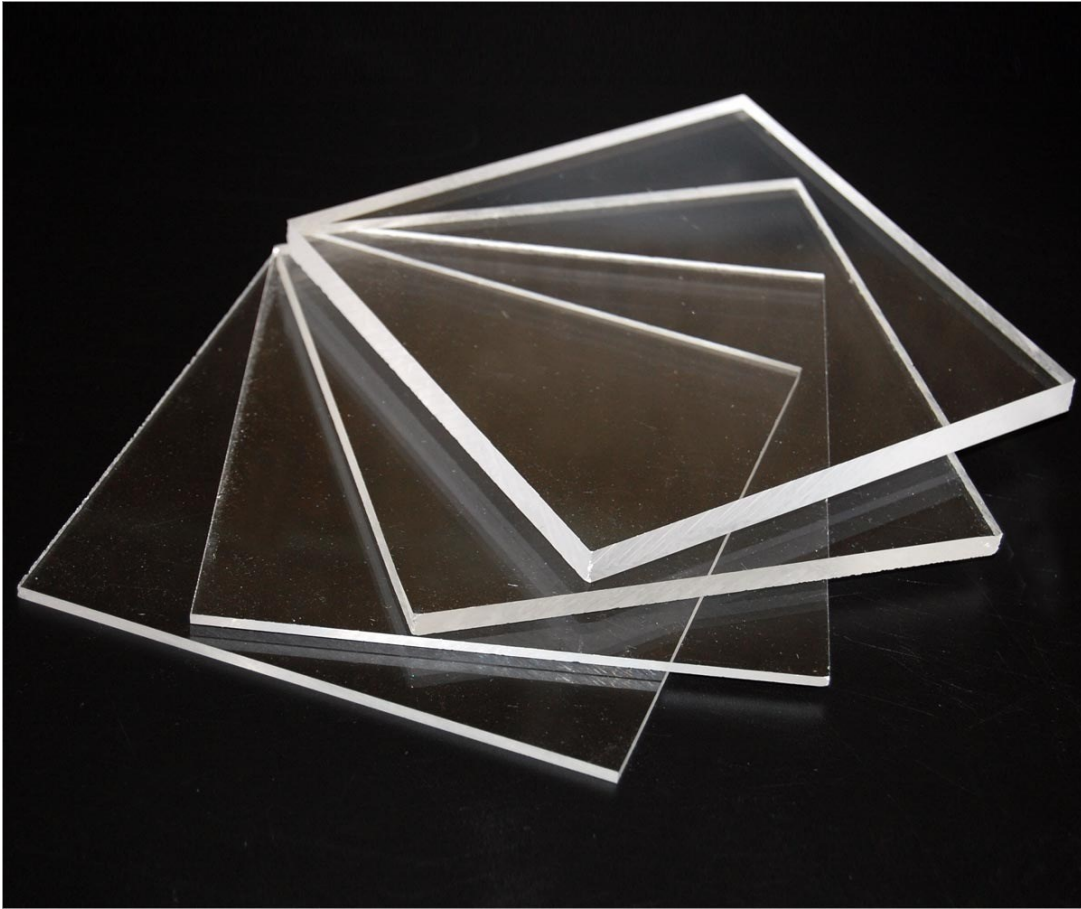
Tornillos de acero inoxidable



Ilustración 63. tornillos de acero inoxidable.

CARACTERÍSTICAS

- Tornillo autotaladrante inoxidable con punta de acero templado soldada a la caña del tornillo, que permite el taladrado y roscado directo del acero, sin necesidad de taladro previo.
- Combina las propiedades del acero inoxidable (cabeza y caña en A2 (AISI 304)) con las de los tornillos autotaladrantes (punta acero templado), permitiendo su empleo como tornillos autotaladrante con protección a la corrosión.
- Recubrimiento en silver ruspert, de alta resistencia a la corrosión, quedando así la punta protegida en los ambientes más agresivos.
- Ideal donde se requiera una aplicación autotaladrante con propiedades del acero inoxidable.
- Propiedades mecánicas idénticas a los tornillos autotaladrantes tradicionales (ISO 10666).

Lamina acrílico*Ilustración 64. Láminas de acrílico.**Tabla 31. Propiedades físicas de la lámina.***Propiedades Físicas**

PROPIEDAD	AGRYLIT ST ¹ MÉTODO DE PRUEBA	UNIDAD	VALOR TÍPICO
FÍSICAS			
Transmisión de Luz	ASTM D - 1494	%	55.00
Pérdida de Transmisión de Luz	ASTM E - 903		
0 Hrs.		%	55.00
1000 Hrs.		%	51.50
Pérdida Total		%	7
Difusión de Luz	ASTM E - 903 - 96	%	95.00
Índice de Amarillamiento ²	ASTM D - 1925	Delta	5
Comentario			Cambio Ligero
Dureza	ASTM D - 2583	U.B.	45 - 50
Transmisión de Luz Ultra Violeta	ASTM E - 903 - 96	%	62.70
Transmisión de Luz Visible	ASTM E - 903 - 96	%	85.00
Transmisión de Luz Cercano Infra Rojo	ASTM E - 903 - 96	%	80.30
Nebuloso	ASTM D - 1003 - 07	%	112.31
MECÁNICAS			
Resistencia a la Tensión	ASTM D - 638	kg/cm ²	820.00
Resistencia a la flexión	ASTM D - 790	kg/cm ²	1,680.00
Resistencia al Impacto Izod	ASTM D - 256	J/m	370.00

TÉRMICAS			
Coefficiente de Expansión Térmica Lineal	ASTM D - 696	*10 ⁻⁶ mm/mm °C	2.60
Conductividad Térmica (Factor U)	ASTM C - 177	Wm / m² °K	0.23
	ASTM C - 1363	BTU / hr ft² °F	1.30
Conductividad Térmica (Factor R)	ASTM C-177	m² °K / Wm	4.35
	ASTM C - 1363	hr ft² °F / BTU	0.77
Coefficiente de Ganancia de Calor Solar	NFRC 201 - 2010	-	0.33
Coefficiente de Sombreado	NFRC 201 - 2010	-	0.37
Comportamiento a la Flama / OTRAS			
Propagación de Llama	ASTM E - 84	-	105
Desarrollo de Humo	ASTM E - 84	-	510
Velocidad de Combustión	ASTM D - 635	in/min.	>2.50
Clasificación de Inflamabilidad (IBCPC)	ASTM D - 635	-	CC2



Ilustración 65. Tubos de aluminio.

Tabla 32. Ficha técnica tubo de aluminio.

Detalles rápidos

Lugar del origen:	Jiangsu, China (Mainland)	Grado:	Serie 6000, Serie 1000, Seri...	Forma:	Redonda, ovalada, cuadrada
Tratamiento de sup...	Anodizado, acabado de mo...	Diámetro externo:	2,5mm ~ 250mm	Longitud:	Personalizado
Grosor:	0,3mm	Aplicación:	Decoración, industria, etc.	Dureza:	160-205 Rm/Mpa
Aleación o no:	Es aleación	Templado:	T3 - T8	Al (Min):	98.8%
Espesor de Pared:	0,3mm-50mm	Número de Modelo:	Channel-Alu-018	Marca:	Canal
Nombre del produc...	Tubo de aluminio	Material:	Aleación o no aleación de ...	Qué Tenda:	T3-T8
Las normas:	GB/T 5237, EN12020-1.2, ...	Los certificados:	ISO, CE, SGS, etc.	Tratamiento de sup...	Acabado de molino, anodiz...
Color de la superfic...	Plata, bronce, champán, ne...				

Ficha técnica tubo PVC-O 500 circular

Tabla 33. Ficha técnica de los tubos de PVC.

Tubería		TOM*								
Clase de Material		PVC-O 500								
Presión Nominal (bar)		PN12,5			PN16		PN20		PN25	
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Exterior (DE)		Diámetro Interior (DI)	Espesor Nominal (e)	Diámetro Interior (DI)	Espesor Nominal (e)	Diámetro Interior (DI)	Espesor Nominal (e)	Diámetro Interior (DI)	Espesor Nominal (e)
	min.	max.								
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
90	90,0	90,3	-	-	84,0	2,0	84,0	2,5	82,2	3,1
110	110,0	110,4	104,4	2,2	104,0	2,4	103,2	3,1	101,4	3,8
125	125,0	125,4	118,8	2,5	117,8	2,8	117,0	3,5	115,2	4,3
140	140,0	140,5	133,0	2,8	132,4	3,1	131,2	3,9	129,2	4,8
160	160,0	160,5	152,0	3,2	151,4	3,5	150,0	4,4	147,6	5,5
200	200,0	200,6	190,0	4,0	189,2	4,4	187,4	5,5	184,4	6,9
225	225,0	225,7	213,6	4,5	212,8	5,0	210,8	6,2	207,4	7,7
250	250,0	250,8	237,4	5,0	236,4	5,5	234,2	6,9	230,6	8,6
315	315,0	316,0	299,2	6,3	298,0	6,9	295,2	8,7	290,6	10,8
355	355,0	356,1	337,4	7,1	336,0	7,8	332,4	9,8	327,2	12,2
400	400,0	401,2	379,8	8,0	378,4	8,8	374,8	11,0	369,0	13,7
450	450,0	451,4	427,6	8,9	426,0	9,9	421,4	12,4	415,0	15,4
500	500,0	501,5	474,6	9,9	472,8	11,0	468,6	13,7	461,2	17,1
630	630,0	631,9	597,8	12,6	595,8	13,8	590,4	17,3	581,0	21,6
710	710,0	712,0	674,8	14,2	671,4	15,4	665,6	19,2	654,6	24,4
800	800,0	802,0	760,4	16,3	757,8	17,4	750,4	21,6	-	-



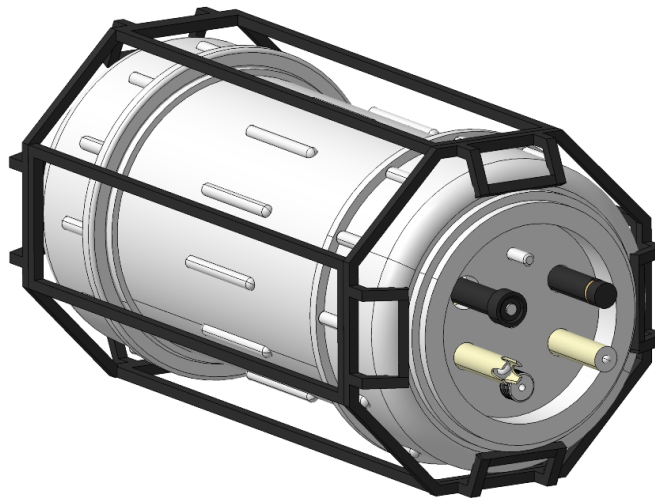
*Ilustración 66. Tubos de PVC.**Tabla 34. Ficha técnica tubo de PVC.***Características técnicas**

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA TUBERÍA	Tubería TOM® PVC-O 500			
Presión Nominal (bar)	12,5	16	20	25
Clase de material	500			
MRS (MPa)	50			
Coefficiente global de servicio (C)	1,4 ⁽¹⁾			
Esfuerzo de diseño (MPa)	36			
Presión mínima de rotura a 50 años (bar) ⁽²⁾	17,5	22,4	28,0	35,0
Presión mínima de rotura a 10 horas (bar) ⁽²⁾	25,0	30,0	37,0	48,0
Presión mínima de rotura a reventamiento (bar) ⁽²⁾	32,0	38,0	48,0	60,0
Presión de prueba máxima en obra (bar) ⁽³⁾	17,5	21,0	25,0	30,0
Rigidez Circunferencial (kN/m²) ⁽⁴⁾	5	7	11	20
Relación de dimensiones (SDR)	51,0	45,8	36,0	29,0
Módulo de elasticidad a corto plazo (MPa)	4.000	> 4.000		
Resistencia a tracción axial (MPa)	> 48			
Resistencia a tracción tangencial (MPa)	> 85			

Selección de Materiales.

Se denomina estructura del módulo, al cilindro que va a contener la tecnología y tendrá sujeto los sensores además de proteger los componentes internos del contacto con el agua.

A continuación, se muestra en la Ilustración 43 la estructura principal, en la cual se señala los materiales en los que será realizada.

*Ilustración 67. Estructura básica del diseño de módulos de medición.*

- **Parte 1:** Tubo PVC Tipo Dresser circular de 4 pulgadas de diámetro interno, 0,6 cm de grosor y 24cm de largo, utilizado en el cuerpo de los módulos.

Tabla 35. Ficha técnica de material de PVC.

Tubería Alcantarillado PTM			De	e
CÓDIGO	SERIE	DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR	ESPESOR DE PARED
		mm	mm	mm
2A25160	25	160	160.1	3.2
2A25200	25	200	200.1	4.0
2A25250	25	250	250.1	5.0
2A25315	25	315	315.1	6.3
2A25355	25	355	355.2	7.1
2A25400	25	400	400.2	8.0
2A25450	25	450	450.2	8.0
2A25500	25	500	500.2	10.0
2A25630	25	630	630.2	12.5
2A20110	20	110	110.0	2.8
2A20160	20	160	160.1	3.9
2A20200	20	200	200.1	4.9
2A20250	20	250	250.1	5.2
2A20315	20	315	315.1	7.9
2A20355	20	355	355.2	8.9
2A20400	20	400	400.2	10.0
2A20450	20	450	450.2	11.2
2A20500	20	500	500.2	12.4
2A20630	20	630	630.3	15.7
2A16110	16.5	110	110.0	3.3
2A16160	16.5	160	160.1	4.8
2A16200	16.5	200	200.1	6.0
2A16250	16.5	250	250.1	7.4
2A16315	16.5	315	315.1	9.4
2A16355	16.5	355	355.2	10.6
2A16400	16.5	400	400.2	11.9
2A16450	16.5	450	450.2	13.4
2A16500	16.5	500	500.2	14.9
2A16630	16.5	630	630.3	18.7

10.1.8.1 Selección de componentes mecánicos.

10.1.8.1.1 Acople mecánico para tapas de los módulos.

A continuación, se muestra la selección del componente de un acople de caucho, que permite permeabilidad en las tapas de cada uno de los módulos.



Ilustración 68. Empaques de tubo Dresser de 4".

10.1.8.1.2 Cable UTP.

A continuación, se muestra la selección del cable que conectará la boya (módulo Bluetooth) con el módulo de los sensores y el módulo de toma muestras.

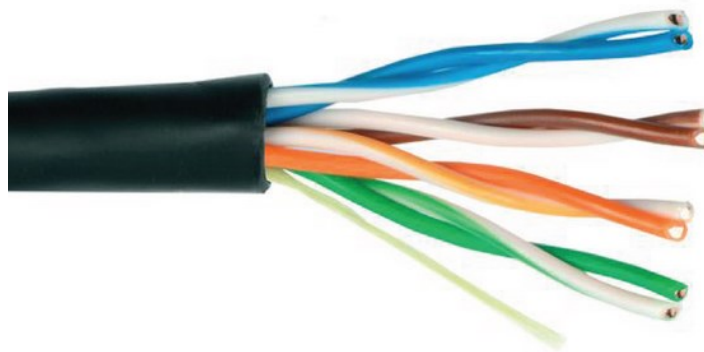


Ilustración 69. Cable UTP categoría 6, 4 Hilos

10.1.8.1.3 Acoples

A continuación, se muestra la selección del componente de un acople de caucho, que permite permeabilidad en las tapas de cada uno de los módulos.

Specifications

Parameter	Value
Face Seal O-ring Size	170
Radial Seal O-ring Size	442
Material	Nitrile Rubber (NBR)
Size Standard	AS568

Ilustración 70. Ficha técnica de acoples en caucho.

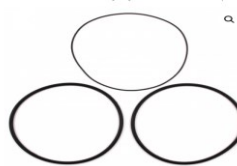


Ilustración 71. O-ring de Blue Robotics.

10.1.8.2 Definición de componentes principales.

10.1.8.2.1 Estructura de módulo de medición.

A continuación, se muestra una infografía que explica la implementación de los principales materiales dentro del módulo de medición.

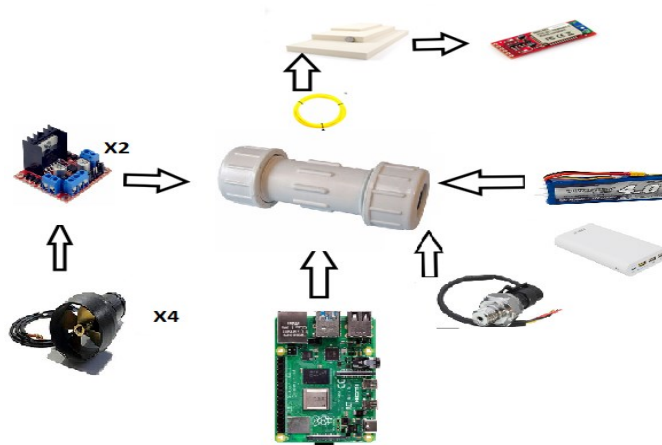


Ilustración 72. Infografía de los materiales principales del módulo de navegación.

- **Estructura principal de los módulos:**

La estructura principal está compuesta por un tubo mecanizado de PVC, con acoples de caucho adaptados a las tapas de acrílico de 1.5cm de espesor, las cuales irán atornilladas al cuerpo de la estructura mediante tornillos de acero inoxidable. En la tapa de acrílico se encontrará además los acoples mecánicos necesarios para el posicionamiento de cada uno de los sensores. En el cuerpo cilíndrico de la estructura, se encontrará otros acoples mecánicos para la colocación del switch, el conector USB y además de la adaptación de un penetrador específico para el paso de los cables desde el interior del módulo hacia el exterior. Cada uno de los acoples mecánicos mencionados deben ser impermeables, es decir no permitan el flujo de agua hacia el interior de la estructura donde se encuentra el desarrollo de la electrónica.

- **Joints:**

Para la unión mecánica de los módulos, se implementará una juntura (Joint) de acople mecánico pasivo, el cual le otorgará movimiento y unión a cada uno de los módulos pertenecientes al Snake.



Ilustración 73. Joints.

- ***Estructura de flotabilidad para sistema de comunicación:***

Esta estructura debe tener una densidad tal que mantenga la flotabilidad de los módulos a una profundidad máxima de 2 metros; de igual manera contiene el sistema de comunicación inalámbrico, conectado mediante el cable *fathom R.O.V Tether R2* al módulo de medición.

10.1.8.3 Aplicación de normativas.

El prototipo de los módulos debe cumplir con la norma IEC 60529, la cual establece cómo clasificar los grados de protección proporcionados por las estructuras que contienen los componentes eléctricos.

“...el código IP indica el nivel de protección contra el acceso de partículas peligrosas al interno del mismo contenedor, así como contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, entre los cuales, el polvo y el agua.” [16].

Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, entre los cuales el polvo:

IP 0x: Ninguna protección

IP 1x: Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 50mm

IP 2x: Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 12mm

IP 3x: Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 2,5mm

IP 4x: Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 1mm

IP 5x: Aparatos protegidos contra el polvo

IP 6x: Aparatos completamente protegidos contra el polvo

Segunda cifra característica – Protección contra la penetración dañina del agua:

IP x0: Ninguna protección

IP x1: Aparato protegido contra la caída vertical de gotas de agua

IP x2: Aparato protegido contra la caída de gotas de agua con inclinación máxima de 15°

IP x3: Aparato protegido contra la lluvia con caída hasta 60° de inclinación

IP x4: Aparato protegido contra el rociado de agua

IP x5: Aparato protegido contra los chorros de agua

IP x6: Aparato protegido contra las olas y chorros de agua potentes

IP x7: Aparato protegido contra los efectos de la inmersión temporal.

IP x8: Aparato protegido contra los efectos de la sumersión.[16]

De acuerdo con esta norma nuestro sistema debe cumplir con el grado de protección IP-68 o IP-69k, asegurando así la sumersión total del prototipo en un cuerpo hídrico a una distancia máxima de 2 metros.

10.1.8.4 Análisis ergonómico y antropométrico.

El usuario, interactuará con los módulos mediante una GUI (Guide User Interface) implementada en un ordenador, estará ubicado a una distancia máxima de 10 metros de la posición del sistema robótico.

En esta interfaz el usuario, podrá elegir 5 profundidades diferentes a las cuales desea tomar cada una de las 5 muestras de 100ml de agua; de igual manera se visualizará los datos de las 5 variables (PH, D.O, profundidad, temperatura y conductividad) entregadas por el módulo de medición.

10.1.9 Implementación- producción.

10.1.9.1 Plan de Implementación.

Una vez comprado los sensores se procederá a tomar las medidas correspondientes para implementar en un programa CAD, el cual tendrá el diseño fundamental del prototipo, que posteriormente será maquinado en el material PVC.

El proceso de maquinado será realizado con la intervención del director de proyecto, ya que el diseño del prototipo será una creación directa del docente. Se tiene un tiempo estimado que en el proceso de maquinado se demore un aproximadamente de 5 días.

10.3 Documentación.

10.1.10 Modelo Bidimensionales.

10.1.10.1 Planos técnicos.

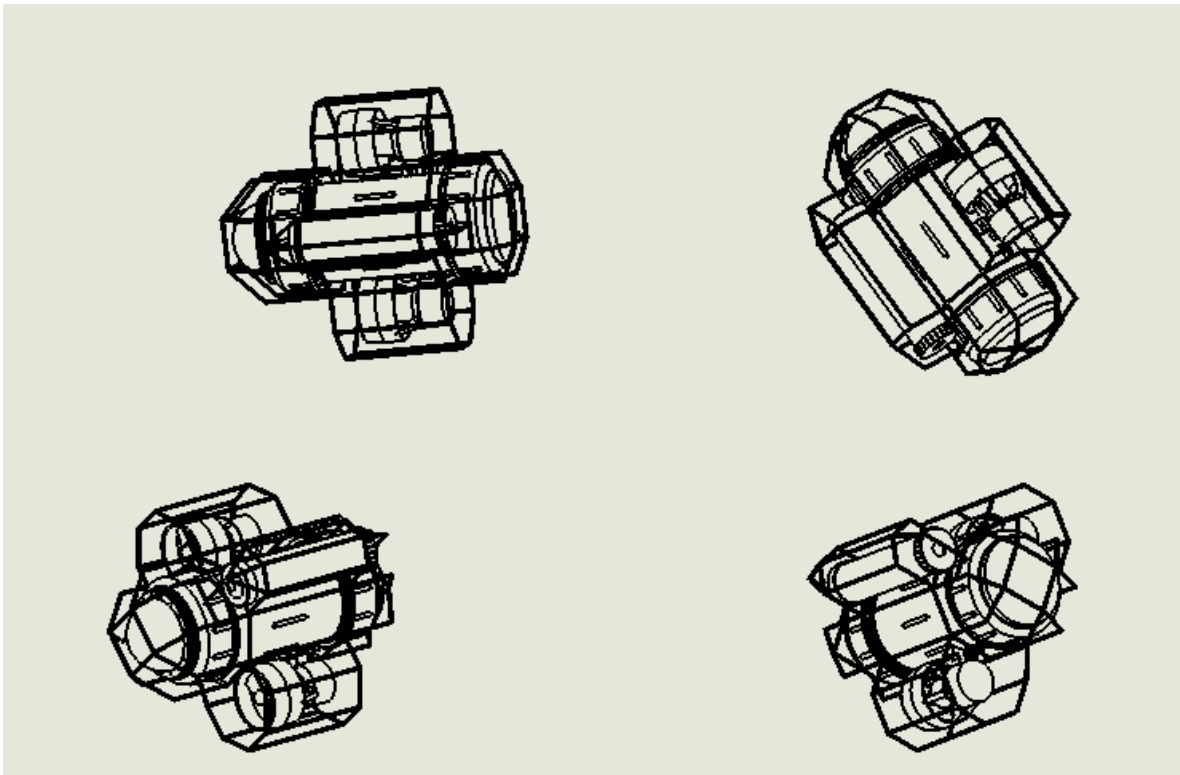


Ilustración 74. Plano bidimensional del módulo de medición.

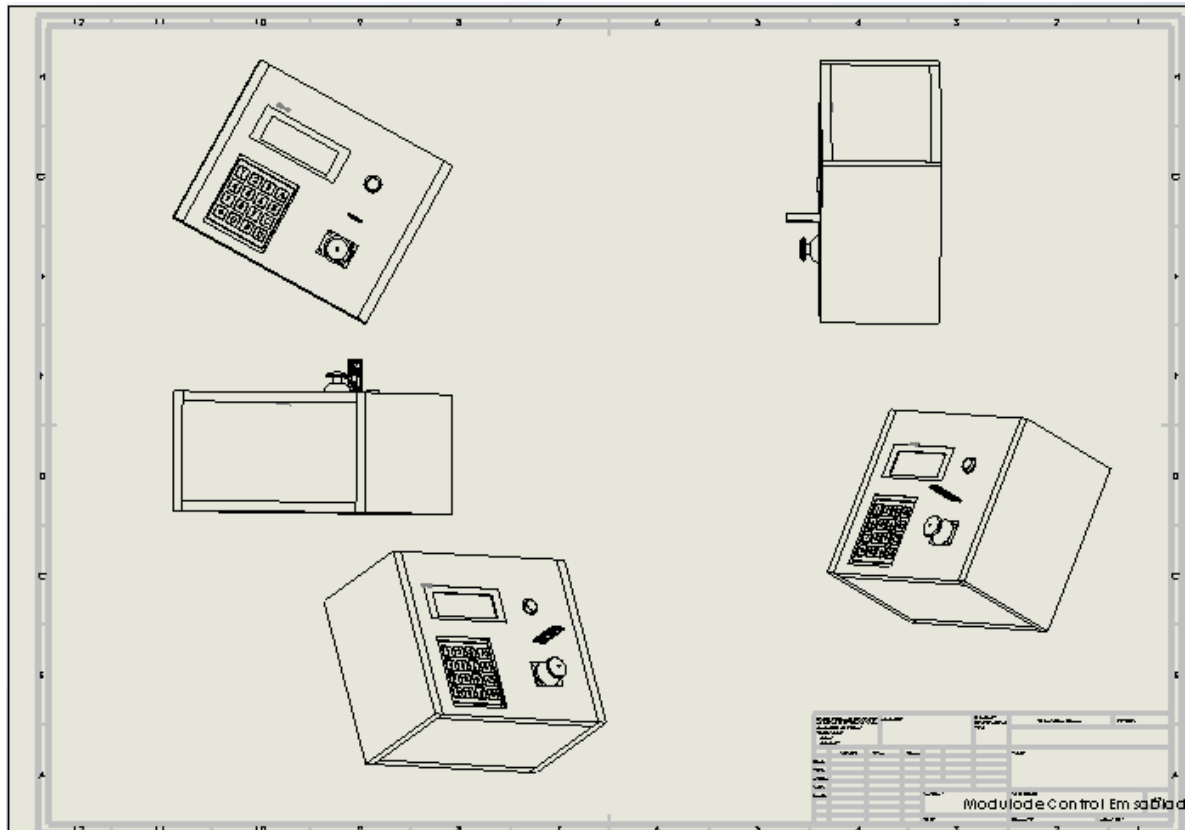


Ilustración 75. Plano bidimensional del módulo de control.

10.1.11 Modelos tridimensionales.

10.1.11.1 Modelo.

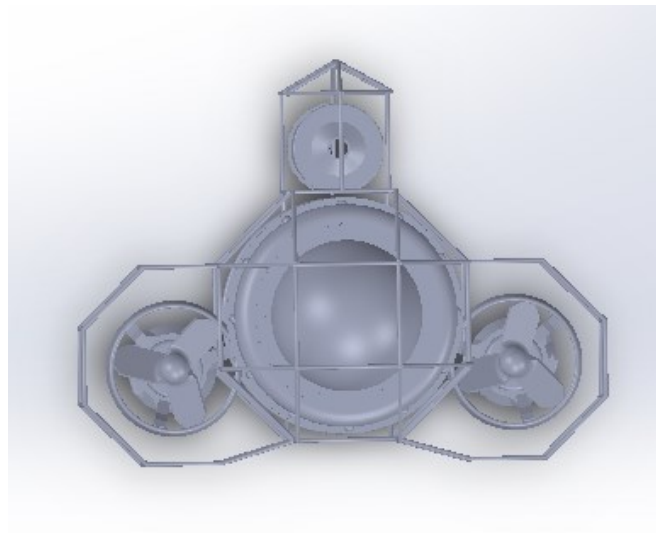


Ilustración 76. Plano bidimensional del módulo sumergible.

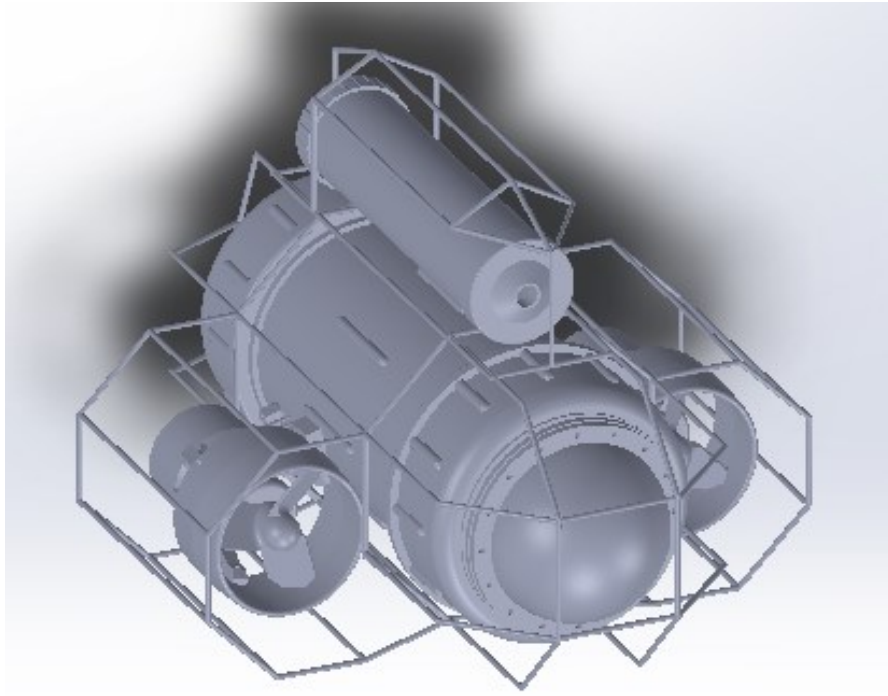


Ilustración 77. Plano tridimensional del módulo sumergible.



Ilustración 78. Plano tridimensional del módulo de control.

11 IMPLEMENTACIÓN

11.1 Implementación de subsistemas

11.1.1 Implementación de circuito acondicionador de señal

Para lograr una buena adquisición de los datos generados por el sensor de presión, fue necesario realizar el diseño de un circuito para acondicionar la señal entregada por el sensor A-100 sensor de presión análoga, esto se debe a que el sensor posee un rango de lectura muy grande, que se acerca a los 100 psi y cuando se encuentra cerca a esa presión, es que se obtiene como salida análoga 5v, sin embargo, nuestro prototipo, nunca se encontrara en un ambiente sumergido, en donde la presión llegue a 100psi, es por ello que se encontró como necesidad, realizar una etapa de acondicionamiento de señal.

Inicialmente se estableció un rango de trabajo para el sensor de presión basado en nuestras especificaciones técnicas. Para este caso limitamos el rango de funcionamiento del sensor, en donde 0.5v nos indica que el módulo de navegación se encuentra en la superficie y 0.62v indica que el prototipo se encuentra a 2metros de profundidad. Teniendo en cuenta que el voltaje de referencia del ADS1115 utilizado para el proyecto, cuenta como referencia 5v, se construyó un acondicionador de señal con el integrado LM358, el cual amplifica el voltaje entregado por la salida del sensor, dando como resultado una salida de 5v, cuando el sensor se encuentre a 2metros de profundidad.

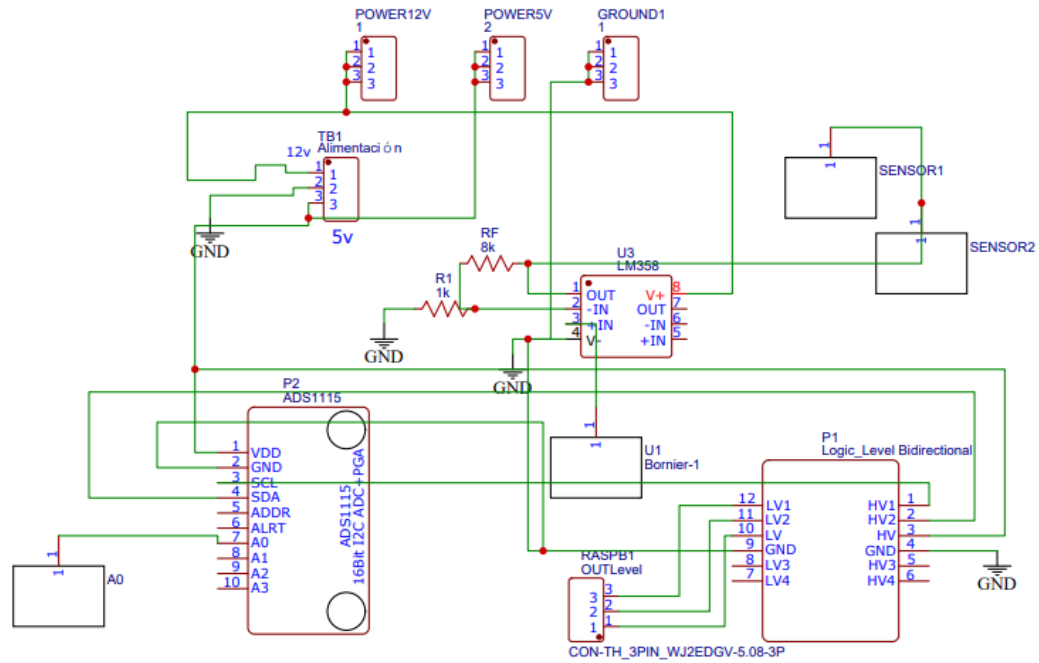


Ilustración 79. Esquemático del circuito acondicionador de señal.

Implementación del circuito acondicionador de señal

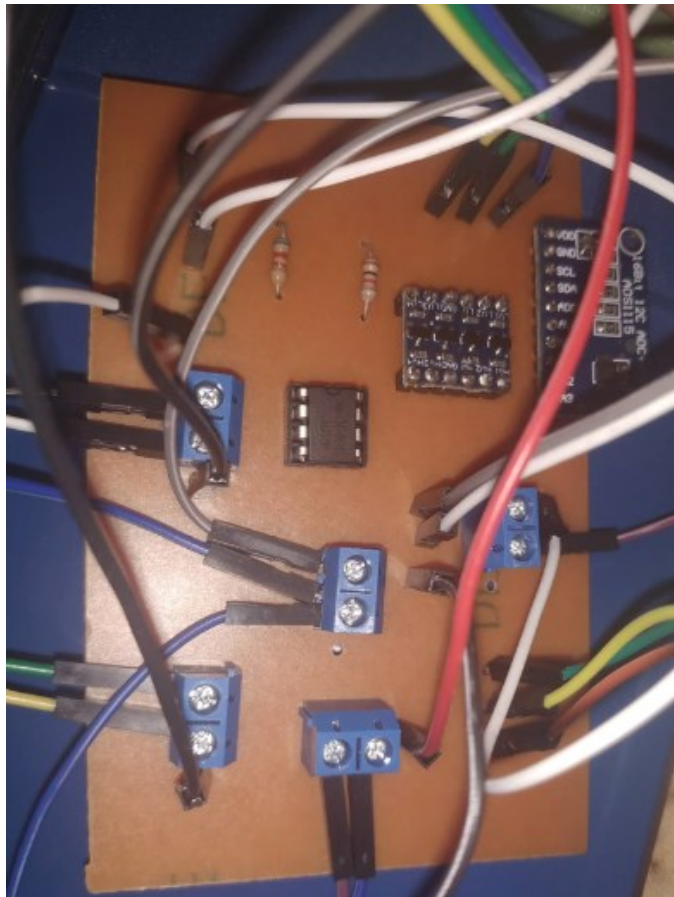
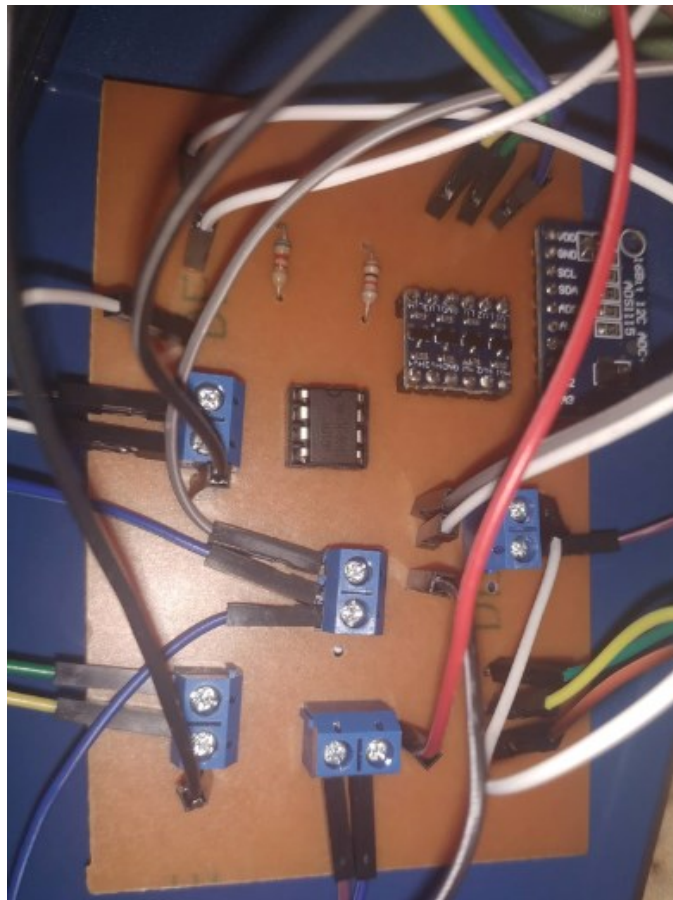


Ilustración 80. Circuito acondicionador de señal.

11.1.2 Implementación de un ADC.

Las señales generadas por el circuito acondicionador de señal son analógicas, por ende, es importante contar con un ADC externo, que permita leer dichas señales generadas en base a las lecturas del sensor de presión, para que posteriormente la información sea transferencia por I2C a la Raspberry y en base a la adquisición de datos, se pueda realizar control. Para ello se escogió el ADS1115 el cual nos permitirá leer la señal análoga y enviar los datos por I2C.

*Ilustración 81. Implementación del ads1115.*

11.1.3 Implementación del circuito desplazador de voltaje:

Uno de los elementos más importantes del circuito del módulo de navegación es el desplazador de voltaje, debido a que la Raspberry pi 3 solo permite 3.3v como máximo a la entrada, de los dos puertos SCL y SDA, los cuales están encargados de la comunicación I2C, por ende, es importante la implementación de un desplazador de voltaje, que deje como nivel superior 3.3v.

Para ello se implementó un Level shifter, el cual está encargado de bajar el voltaje de las señales I2C, dejando como máximo 3.3v, con el fin de no quemar los puertos de la Raspberry.

A continuación, presento la implementación del level shifter al circuito de prueba.

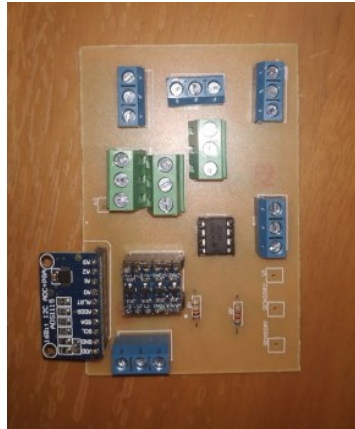


Ilustración 82. Implementación del integrado level shifter.

11.1.4 Implementación del módulo de comunicación Bluetooth HC-05.

A continuación, presentamos la implementación del módulo de comunicación en el sistema de flotabilidad ("boya"), para ello se realiza una conexión alámbrica mediante un cable de 4 hilos hacia el módulo principal, este cable alimenta el módulo bluetooth y comunica serialmente la Raspberry Pi 3 con el bluetooth, mediante los puertos seriales (TX y RX).



Ilustración 83. Implementación de modulo bluetooth.

11.1.5 Implementación etapa de potencia:

Para suministrarles voltaje tanto a los drivers de los motores, como a la Raspberry, se implementaron dos fuentes de energía:

- Batería PowerBank

En la siguiente Ilustración se muestra la conexión realizada entre la PowerBank y la Raspberry, la cual permite suplir de energía el controlador.



Ilustración 84. Conexión de la Raspberry a PowerBank.

- Batería Lipo 4s Turnigy:

En la siguiente Ilustración se muestra la conexión realizada entre la batería y un módulo de distribución, el cual nos permite regular el voltaje a 5v y 12v, con el fin de alimentar los drivers de los motores y a su vez polarizar los integrados que componen el circuito.

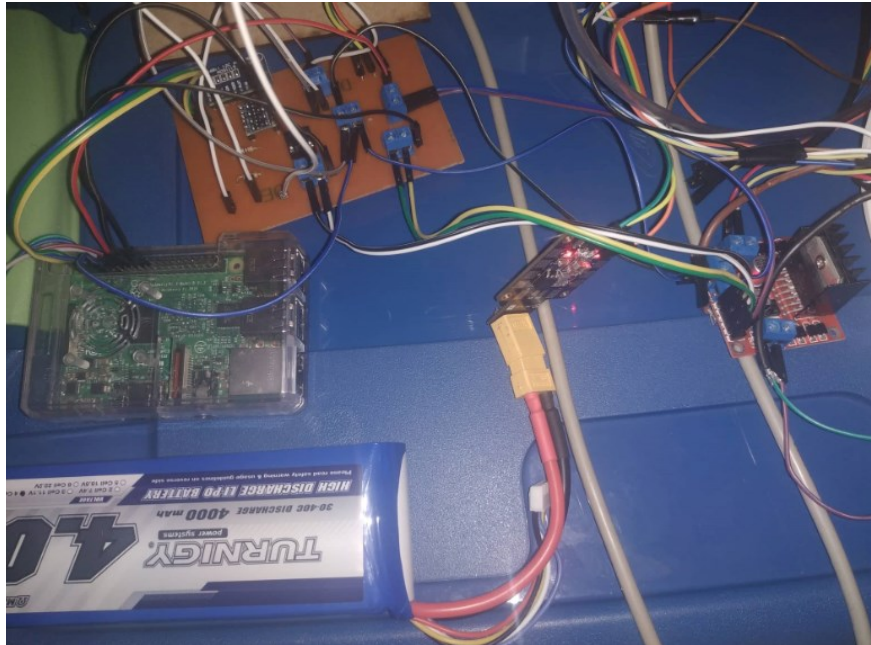


Ilustración 85. Alimentación de los integrados y de los dos L293N.

Los puentes H son los encargados de suplir la potencia requerida por parte de las dos Thruster y de las dos bombas peristálticas.

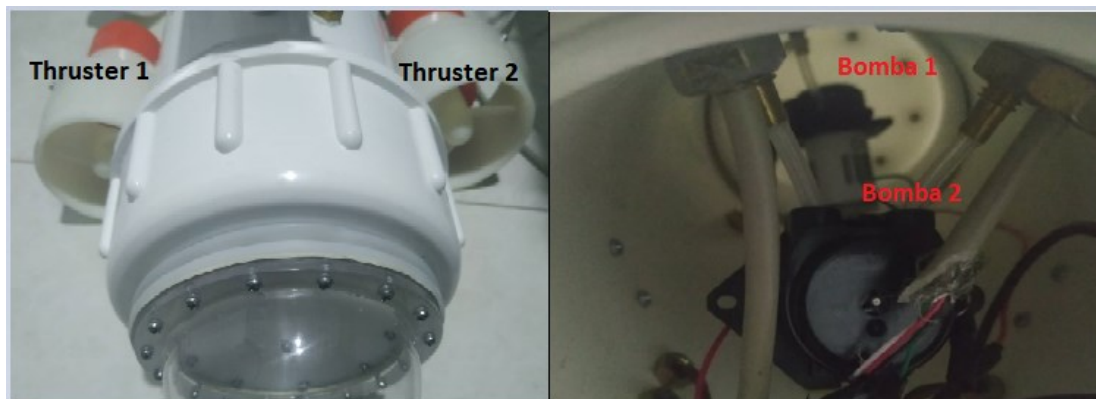


Ilustración 86. implementación de los actuadores del sistema.

Las dos Thruster fueron conectadas al puente H1 y las bombas peristálticas al puente H2. Para lograr activar las Thruster, se usaron dos señales PWM a la entrada del puente H1, para controlar independientemente el sentido de giro de cada motor, por otro lado, solo se usó una señal PWM para las bombas peristálticas, ya que el principio de funcionamiento radica en que siempre están funcionando las dos al mismo tiempo, pero con sentido de giro opuesto.

11.1.6 Mando del robot:

Se desarrolló inicialmente el diseño del mando inalámbrico, el cual lo compone un keypad, el cual permite asignar un Setpoint inalámbricamente, para que posteriormente el robot realice el respectivo control PID; además de ello cuenta con un Joystick el cual permitirá que el usuario pueda mover el robot en el eje X y Z con la ayuda de las thruster, por medio de la comunicación bluetooth. Además de ello cuenta con una pantalla LCD, con el fin de que el usuario pueda ver la instrucción que le está solicitando al módulo de navegación. Por otro lado, un Arduino Mega es el encargado del procesamiento de las señales.



Ilustración 87. Diseño del mando inalámbrico del módulo de control

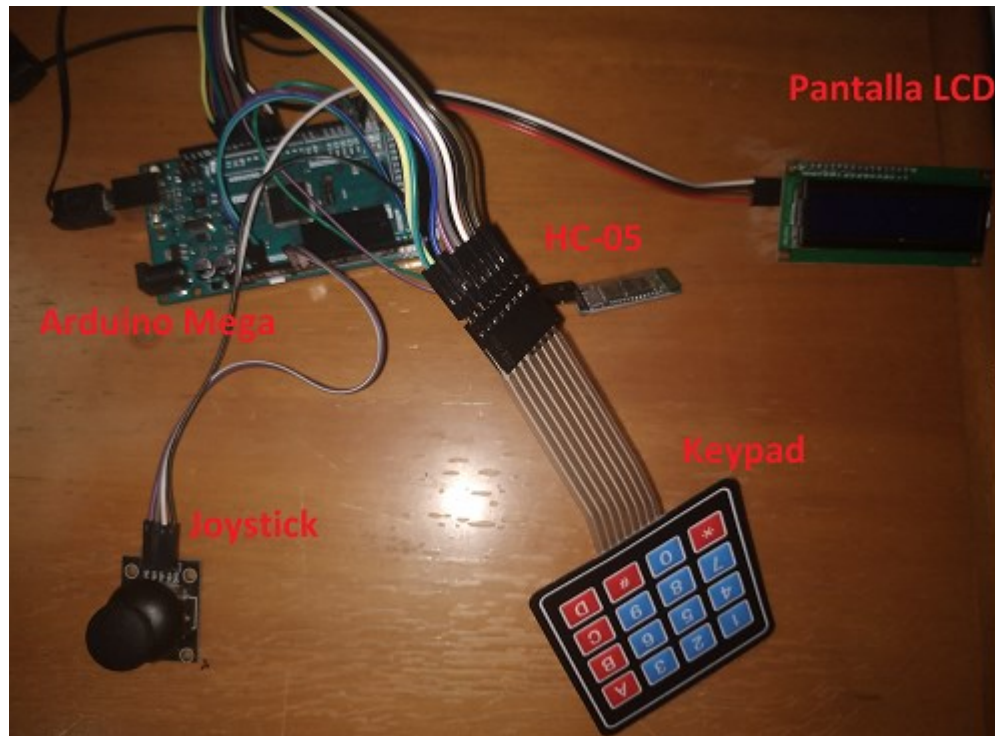


Ilustración 88. Implementación de los componentes del módulo de control inalámbrico

11.2 Integración del sistema

11.2.1 Integración del módulo de navegación.

La lógica con la que fue programado el módulo de navegación, se encuentra expuesta en el siguiente diagrama de flujo, en donde se evidencia, que una vez que se han importado las librerías necesarias para su funcionamiento, procede a inicializar todas las variables, posteriormente se crean y definen las funciones encargadas de mover los cuatro actuadores, en donde las bombas peristálticas se moverán de acuerdo a la señales generadas por el PID y las thruster tendrán dos señales pwm que definirán la intensidad de su movimiento. Se estableció la recepción de datos mediante el protocolo de comunicación bluetooth y de acuerdo con los caracteres recibidos por el serial, se dispone a ejecutar ciertas funciones, que son traducidas en movimientos en el eje X, Y y Z:

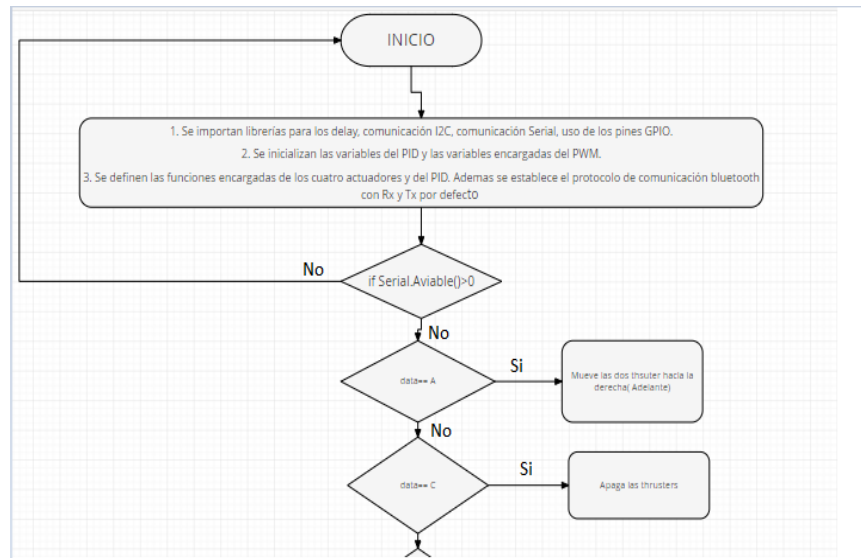


Ilustración 89. Sección de definición de variables e importación de librerías

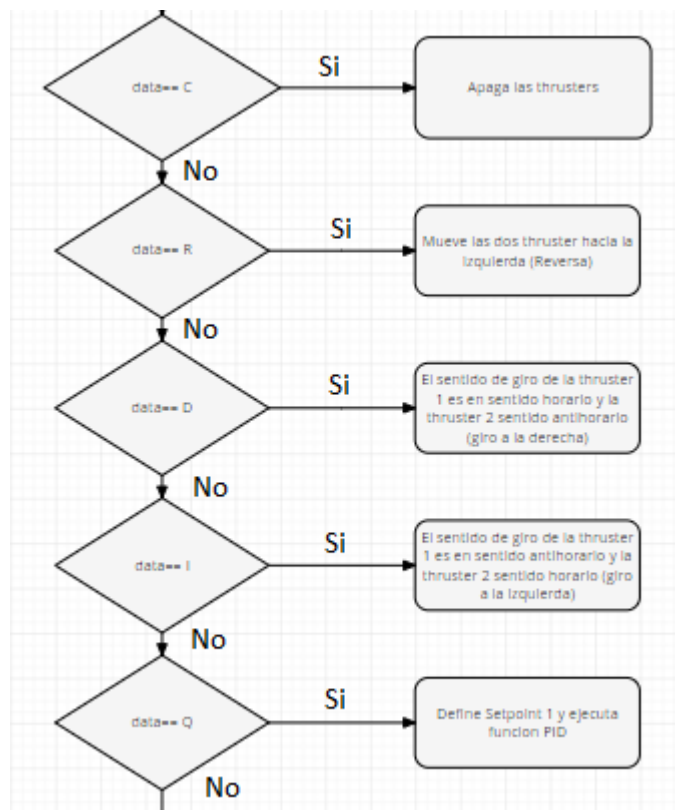


Ilustración 90. Sección de verificación de caracteres recibidos y ejecución de funciones

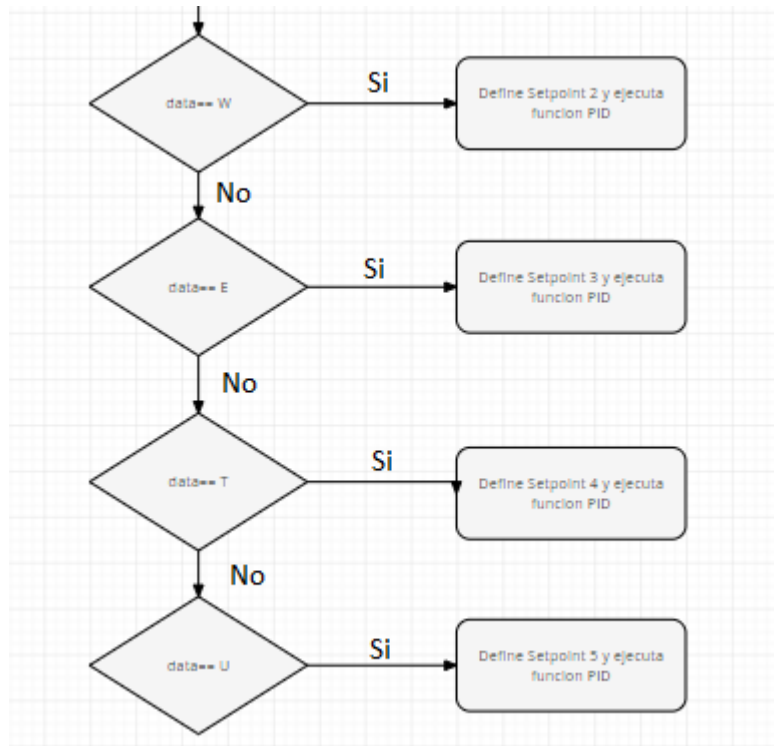


Ilustración 91. Sección de verificación de caracteres recibidos y ejecución de funciones

Para la integración del módulo de navegación fue necesario introducir toda nuestra electrónica implementada y desarrollada en una capsula hermética previamente diseñada por nuestro director del proyecto; El prototipo cuenta con tres partes fundamentales:

- La capsula principal del módulo de navegación, en la que se encuentran en su interior la Raspberry, junto con los dos puentes H, una batería Lipo y una PowerBank que alimenta a la Raspberry, además del circuito encargado de la etapa de amplificación del sensor y el sensor de presión, el cual se encuentra acoplado a la tapa trasera del módulo.
- Otra del parte principal del módulo es el sistema de flotabilidad "Boya", en este se encuentra el módulo de comunicación bluetooth.
- Por último, el módulo de comando, el cual está compuesto por una caja en mdf que contiene un Arduino Mega, un keypad 4x4, pantalla LCD con comunicación I2C, Joystick y un módulo bluetooth HC-05.

A continuación, presentamos una imagen de la estructura fundamental del módulo de navegación.



Ilustración 92. Capsula principal del módulo de navegación.

Para las pruebas iniciales, se dejó solo dentro de la capsula los cuatro actuadores, junto con sus respectivos puente H, además del sensor de presión, los demás componentes electrónicos se dejaron en la superficie, con el fin de monitorear el comportamiento del robot. Se está montando el PCB para reducir el espacio que abarca toda la electrónica, con el fin de que quepa dentro de la capsula sin problema.

La capsula tendrá dentro de ella 5 partes fundamentales, las cuales son:

- **Raspberry Pi 3 b+:** Esta tarjeta está programada con el código llamado "PID2Blue3.py", en ella se realiza el proceso de adquisición de datos referente a la lectura del sensor de presión y ejecutara la activación de 2 funciones principales, una de ella es el PID que se basa en la lectura del sensor y activa las dos bombas peristálticas y la otra función es la activación de las thruster con combinaciones de giro, para efectuar los movimientos en el eje X y Y. El código desarrollado lo puede consultar en el siguiente enlace ubicado en mi árbol de documentación.

<https://drive.google.com/file/d/1S0pmGXeQDM5HgxpIY4z4TLHTKntEe87T/view?usp=sharing>

- **L298N:** Este módulo nos permite controlar el sentido de giro de los 4 actuadores, además de su velocidad de giro. Se encuentra conectado a la Raspberry y se ejecuta con tres señales PWM.

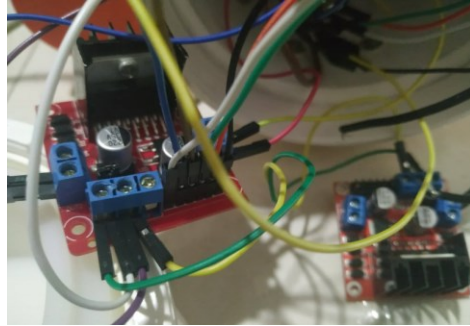


Ilustración 93. Módulos puente H.

- **Sensor de presión:** Mediante este componente podemos determinar el valor exacto de la presión ejercida por mca:



Ilustración 94. Sensor de presión análogo

- **Batería Lipo:** Para la alimentación de la etapa de potencia y lógica, se utilizó una batería tipo Lipo de 14v a 5A.
- **PowerBank:** Se encarga de suplir energía a la Raspberry mediante un puerto USB.
- **Bluetooth:** Mediante este elemento realizamos la comunicación entre el módulo de navegación y el módulo de control.
- **Ads1115:** Encargado de recibir la señal analógica emitida por el sensor y transferirla por comunicación I2C.
- **Level shifter:** Se encarga en desplazar el voltaje emitido por el ADC, dejando como máximo 3.3v.

- **Bombas peristálticas:** Mediante estos elementos podemos inyectar agua o sacarla del compartimiento, también podemos inyectar aire o en su efecto sacarlo.
- **Thruster:** Son motores acuáticos que nos permiten mover el módulo en el agua en el eje X y Z

11.2.2 Integración del módulo de control:

Para la integración del módulo de muestras fue necesario conectar todos los componentes que integran el módulo de control. Como se encuentra en proceso de construcción la caja que contendrá todos los elementos, se realizaron las pruebas sin dicho armazón.

A continuación, presento una imagen de las conexiones del módulo de control.

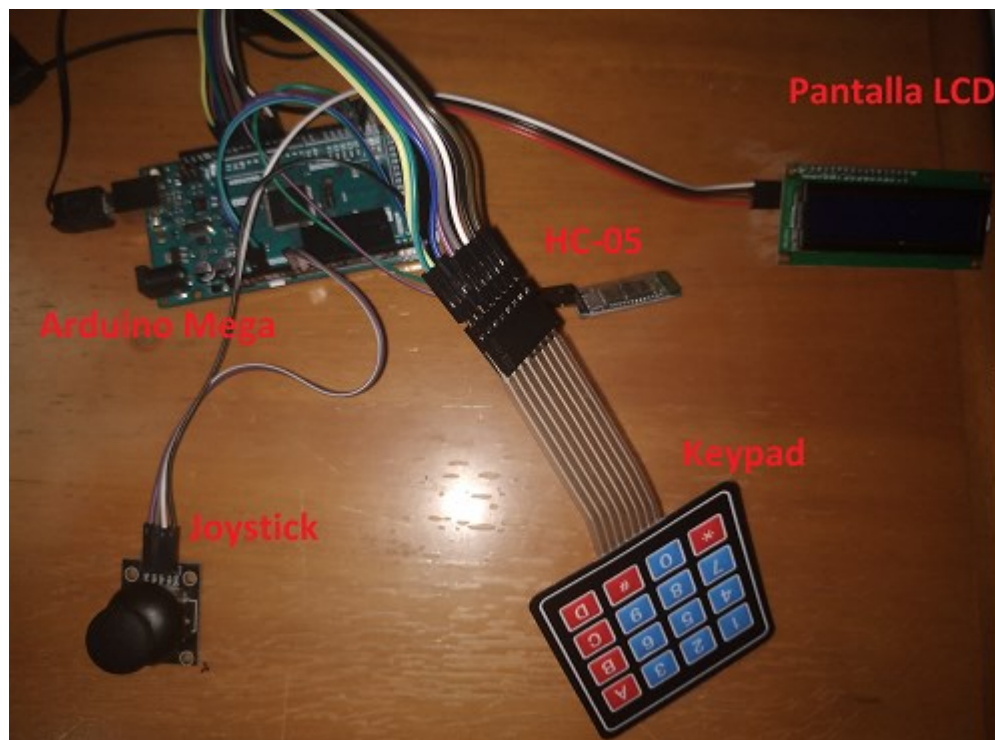


Ilustración 95. Partes fundamentales del módulo de control.

La integración tecnológica completa del módulo de muestras comprende principalmente 5 partes, las cuales son:

- **Tarjeta de adquisición Arduino Mega:** Esta tarjeta está programada con un código llamado "MotoresJoy.ino", en estas tarjetas se encuentran el proceso para el envío de caracteres vía bluetooth a la Raspberry, de acuerdo al sentido en que mueva el Joystick o oprima alguna tecla del keypad para efectuar el PID y que el robot se mueva en el eje Y. El código desarrollado lo pueden consultar en el siguiente enlace ubicado en mi árbol de documentación.

https://drive.google.com/file/d/1-IrdNoaCiYacg5Q7LhJS_huu_jZNyFkC/view?usp=sharing

- **Joystick:** Es una resistencia variable en base de su posición, nos permite mover el robot en el eje X y Z similar a un mando de control de videojuegos.
- **Pantalla LCD:** Nos permite visualizar la instrucción que le fue encomendada al módulo de navegación.
- **Keypad:** Es una matriz de letras de 4x4 que nos permite que el usuario pueda identificar una instrucción y enviarla, para que el módulo de navegación ejecute una acción determinada.
- **Bluetooth:** Mediante este elemento realizamos la comunicación entre el módulo de control y el módulo de navegación.

12 PRUEBAS

12.1 Pruebas de componentes

12.1.1 Pruebas del sensor de presión.

En este caso la prueba individual del sensor de presión no se pudo realizar independientemente del circuito acondicionador de señal, el Ads1115 y el level shifter, dado que el sensor entrega una señal analógica con una amplitud demasiado baja, por ende es necesario amplificar la señal, sin embargo esta señal amplificada no puede ser leída directamente por la Raspberry, por ende se necesita un ADC externo como lo es el Ads1115, el cual le enviara la señal del sensor por I2C a la Raspberry, pero como los puertos SDA y SCL

de I2C de la Raspberry tienen como lectura máxima 3.3v, es necesario el Level shifter para que garantice que los datos enviados por el ads1115 no superen los 3.3v, por tal razón la prueba del sensor se realizó mediante la implementación del circuito de acondicionamiento de señal, el Ads1115, el level shifter y la Raspberry para visualizar por consola la salida del sensor.

12.1.2 Pruebas de bobas peristálticas:

En esta prueba se realizó la polarización de cada una de las 2 motobombas implementadas en nuestro módulo de navegación; para ello se le aplico un voltaje de 12 V comprobando así el correcto funcionamiento de cada uno de los motores de las bombas peristálticas.



Ilustración 96. Pruebas de funcionamiento de las bombas peristálticas.

12.1.3 Pruebas del bluetooth:

En esta prueba se realizó la comprobación de conectividad mediante el protocolo Bluetooth entre la Raspberry y el Arduino, para ello el módulo Bluetooth maestro, se conectó

al Arduino y el esclavo a la Raspberry, además de ello se construyó un script en Python y en C para la transmisión y recepción de datos.

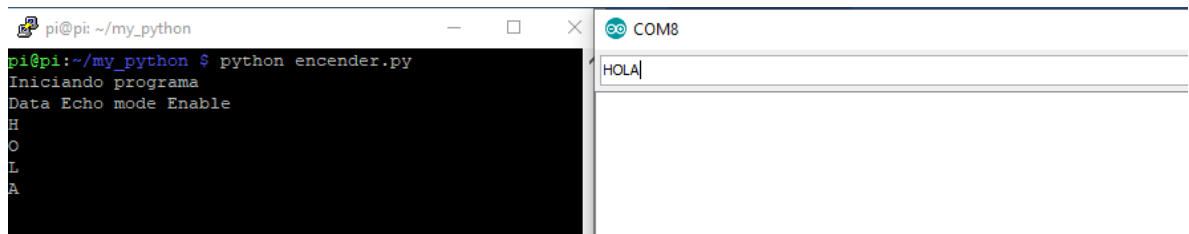


Ilustración 97. Prueba de transmisión de datos del bluetooth

12.2 Pruebas de subsistemas

Para este apartado se prueba el sensor de forma conjunta con su respectivo circuito acondicionador de señal, el ads1115, el level shifter y las Raspberry, que nos ayuda a verificar el voltaje generado por el sensor, la gráfica generada está comparada con respecto a un valor de referencia; estas gráficas serán presentadas en el capítulo de resultados y estudiadas a detalle en el capítulo de discusión.

12.2.1 Prueba de sensor de presión:

En esta prueba se realizó la medición de la profundidad, los datos de referencia fueron obtenidos mediante la medición con un flexómetro, para ello el proceso consistió en:

1. Sumergir paulatinamente el módulo en un tanque a 4 cm, 7 cm y por último 9 cm, se tomaron 10 datos de medición durante 5 minutos por cada paso de profundidad.



Ilustración 98. Prueba de sensor de presión.

Mediante un script en Python se guardaron los datos y posteriormente se exportaron a Excel para su análisis, para conocer más información de la prueba efectuada puede consultar el siguiente enlace ubicado en mi árbol de documentación.

<https://drive.google.com/file/d/1fAWojYRwsCB1oOi6e6sK3AJHtgVQ8UU6/view?usp=sharing>

12.2.2 Prueba de los Puente H junto con los actuadores

En esta prueba se realizó la implementación del código del encendido de las las bombas peristálticas, para ello se puso a prueba el funcionamiento de las bombas peristálticas mediante el llenado del tanque de aluminio ballast.

Para más información, se adjunta enlace con un video en donde se evidencia que una de las bombas peristálticas está sacando el aire del tanque de aluminio, mientras la segunda bomba se encarga de llenar de agua el tanque.

https://drive.google.com/file/d/1g_Zyl-5VvA70vsMTPjeec0eEjWkOdKbn/view?usp=sharing



Ilustración 99. Prueba de los puentes H

12.3 Prueba de integración del sistema.

La integración del sistema completo correspondió a una prueba en tanque, las especificaciones de la prueba serán explicadas más adelante en el capítulo de prueba del sistema; sin embargo, se realizó inicialmente una prueba para verificar el encendido de las thruster de manera inalámbrica en la superficie, se adjunta el enlace del video en donde se evidencia el funcionamiento.

<https://drive.google.com/file/d/1fVWRPJQR28yyJ1rkCxsP44TsshyaQDx/view?usp=sharing>



Ilustración 100. Pruebas de la activación de los motores, de manera inalámbrica

También se llevaron a cabo pruebas del PID en el tanque, en donde se le indica al robot que vaya a la profundidad de 60cm, que es aproximadamente la profundidad del tanque. En donde se evidencia el funcionamiento de las bombas peristálticas basadas en el control PID.

Se adjunta enlace con un video en donde se evidencia el funcionamiento del PID del prototipo, en donde la intensidad del PWM está basada en el error entre la profundidad real y el Setpoint.

<https://drive.google.com/file/d/1kiHKOeyWxVHzvSIM7mDm10NKSoU8HzaA/view?usp=sharing>



Ilustración 101. Pruebas del PID

13 AJUSTES

Se realizó un ajuste en cuanto al sensor, ya que inicialmente se usó el sensor A-30, el cual era ideal para llevar a cabo el funcionamiento entre 0 y 2 metros de profundidad, sin embargo, dicho sensor no contaba con los estándares de calidad necesarios y su lectura variaba cada vez en que se polarizaba, así que se decidió optar por el sensor A-100 de la reconocida marca Atlas Scientific, el cual cuenta con una lectura más estable, a pesar de que está construido para censar en profundidades que superan los 30 metros de profundidad.

[Datasheet](#)

A-100 Analog Pressure Sensor

Ilustración 102. Sensor A-100 de Atlas Scientific.

14 PRUEBAS DEL SISTEMA

14.1 Prueba módulo de navegación

Se realizó una prueba al módulo de navegación, en donde se evidenciará su funcionamiento, leyendo los datos recibidos con la ayuda del módulo bluetooth en el puerto serial y aplicando el algoritmo de PID en base a las señales recibidas.



Ilustración 103. Ballast extra de tubos de PVC.

En esta prueba se asignó inicialmente un Setpoint de 890, equivalente a 50cm aproximadamente, en donde se evidencia que el sistema poco a poco se acerca al umbral determinado por el usuario llamado Setpoint

Tabla 36. Datos exportados a Excel prueba1 parte 1.

Tiempo(segundos)	Setpoint	PID
0	890	68
1	890	102
2	890	136
3	890	170
4	890	204
5	890	238
6	890	272
7	890	306
8	890	341
9	890	375
10	890	409
11	890	443
12	890	477
13	890	511
14	890	545
15	890	579
16	890	613
17	890	647
18	890	682
19	890	716
20	890	750

Tabla 37. Datos exportados a Excel prueba1 parte 2.

21	890	784
22	890	818
23	890	852
24	890	886
25	890	920
26	890	954
27	890	988
28	890	880
29	890	880
30	890	880
31	890	880
32	890	880
33	890	880
34	890	880
35	890	880
36	890	880
37	890	880
38	890	880
39	890	880
40	890	880
41	890	880
42	890	880

Tabla 38. Datos exportados a Excel prueba1 parte 3.

42	890	880
43	890	880
44	890	880
45	890	880
46	890	880
47	890	880
48	890	880
49	890	860
50	890	860
51	890	860
52	890	860
53	890	860
54	890	860
55	890	860
56	890	860
57	890	860
58	890	860
59	890	860
60	890	860
61	890	860
62	890	860

En esta segunda prueba, se asignó un valor diferente de Setpoint y por medio de la comunicación bluetooth.

Tabla 39. Datos exportados a Excel prueba2 parte 1.

Tiempo(segundos)	Setpo	PID
0	910	68
1	910	102
2	910	136
3	910	170
4	910	204
5	910	238
6	910	272
7	910	306
8	910	341
9	910	375
10	910	409
11	910	443
12	910	477
13	910	511
14	910	545
15	910	579
16	910	613
17	910	647
18	910	682
19	910	716
20	910	750

21	910	784
22	910	818
23	910	852
24	910	886
25	910	886
26	910	886
27	910	886
28	910	886
29	910	887
30	910	887
31	910	887
32	910	887
33	910	889
34	910	887
35	910	888
36	910	888
37	910	895
38	910	897
39	910	897
40	910	897
41	910	897
42	910	897

Tabla 40. Datos exportados a Excel prueba2 parte 2.

Tabla 41. Datos exportados a Excel prueba2 parte 3.

43	910	900
44	910	900
45	910	900
46	910	900
47	910	901
48	910	900
49	910	900
50	910	900
51	910	900
52	910	901
53	910	899
54	910	899
55	910	899
56	910	899
57	910	899
58	910	899
59	910	899
60	910	899
61	910	899
62	910	900
63	910	900
64	910	900

En esta segunda prueba, se puede evidenciar que el módulo sumergible, nunca llega al Setpoint, esto se debe a que el tanque en donde se realizaban las pruebas no posee dicha profundidad. Sin embargo, se puede evidenciar el funcionamiento del algoritmo de control del sistema

Estos datos fueron obtenidos con la ayuda de un computador portátil y un programa en java libre, que permite almacenar las señales del sensor, en un archivo Excel.

15 MANUALES

15.1 Manual encendido

Para la utilización de los módulos es necesario seguir el *Manual de Inicio Rápido del Snake Robotic System*, ver Anexo 20.1.

Ilustración 104. CMD de la Raspberry, evidenciando funcionamiento del PID*Ilustración 105. Prueba1 del algoritmo PD.*

La primera prueba, como se evidencia en la figura 115, el sistema cuenta con un poco de ruido en la señal de salida del sensor, esto se debe al campo magnético generado por los motores que se encuentran dentro del interior del módulo, además de los cables del circuito. Sin embargo, se puede evidenciar que se asignó un valor de Setpoint al prototipo el cual se encuentra determinado en la gráfica, por el color azul, mientras que el color verde, representa el voltaje de salida del sensor.

Se enviaron dos valores de Setpoint, de manera inalámbrica y se evidencia que el sistema con la ayuda del algoritmo PD, realizó el control, para tratar de ajustarse al valor asignado, a pesar de las perturbaciones que se encontraban en el entorno de pruebas, ya que a medida que el robot se sumergía o emergía, los cables de la boya ejercían un peso extra sobre él, desestabilizando su trayectoria. Inicialmente el módulo se encontraba a una profundidad diferente a la del valor del Setpoint y se puede evidenciar como el sistema inyecta agua y saca aire del lastre, con el fin de sumergirse y posicionarse en un punto más cercano del Setpoint, una vez que alcanzó el nivel de la señal paso, la sobrepasó y posteriormente realizó una corrección, hasta que se le fue asignado un segundo valor de Setpoint, el cual se encontraba más cerca de la superficie, por ende el prototipo saca agua del lastre y paralelamente inyecta aire.

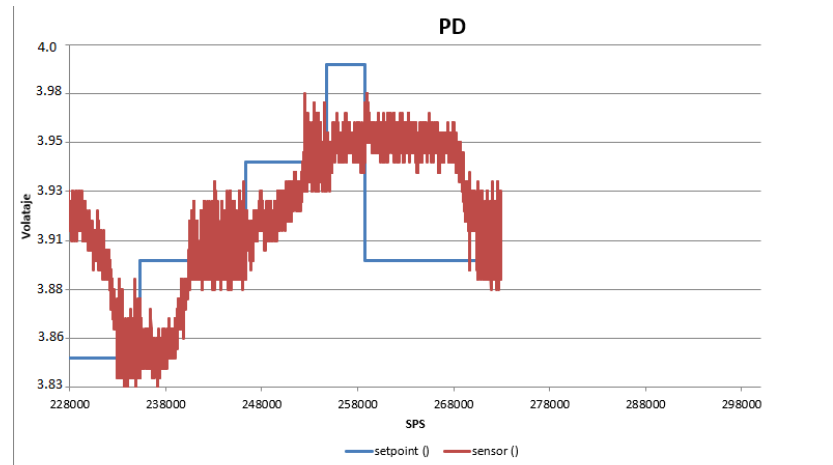


Ilustración 106. Prueba 2 del algoritmo PID.

En Ilustración 112, en donde se evidencia que el sistema lleva a cabo el control PD, para ajustarse a cada uno de los Setpoint que se demuestran en la gráfica de color azul. La señal del sensor, la cual es de color roja, presenta un poco de ruido, debido a las perturbaciones del ambiente, además de ello por el campo magnético generado dentro del módulo, que interfiere un poco en su lectura, además de ello como el sensor está diseñado para profundidades que superen los treinta metros, posee una gran variación en la lectura del sensor, ya que el robot se mueve solo entre cero y 2 metros.

Se puede demostrar que una vez que al robot se le fue determinado el valor de Setpoint 3.9, el robot realiza un cambio en su posición, ya que se encontraba a una profundidad más grande, para ello saca agua del lastre y paralelamente inyecta aire, con el fin de emerger y posicionarse en el punto determinado, sin embargo debido a la aceleración realizada al efectuar un cambio de posición, el prototipo se desfasa y tiene que hacer un ajuste para posicionarse en el Setpoint determinado.

En uno de los Setpoint asignado en el orden de los 3.99v, se puede evidenciar que el robot no lo alcanza, esto se debe a que en el tanque en donde fueron desarrolladas las pruebas del prototipo, no cumple con dicha profundidad, por ende, el robot al llegar al final del tanque, solo se lograba obtener una lectura del orden de los 3.95v.

17 DISCUSIÓN

El algoritmo de control posee un umbral de error, debido a que el sensor utilizado para medir la presión a la que se encuentra el sistema no es el adecuado, ya que dicho sensor está diseñado para medir profundidades que superan los 80metros, por ende, al usarse para medir profundidades menores a las de 2 metros, presenta una estabilidad en su voltaje de salida, lo que genera una gran variación en el voltaje de su salida.

16.1 Requerimientos de sensor de presión:

A continuación, se presenta la información del sensor

A-100 Analog Pressure Sensor	
Reads	Pressure (PSIG)
Range	100 PSIG (689.47 kPa)
Resolution	1mv (.025 psi /0.17 kPa)
Accuracy	<± 0.1 PSI (0.689 kPa)
Response Time	< 1ms
Data protocol	Analog voltage
Data format	0.5 VDC – 4.5 VDC
Operating voltage	5 VDC
Durability	IP67

A small, cylindrical, grey-colored pressure sensor with a black cable extending from the top. It has a green circular logo with 'A-100' on the side.

Ilustración 107. Información técnica del sensor de presión

A base de la información suministrada por el fabricante del sensor, se puede determinar el cumplimiento de los requerimientos funcionales que fueron determinados:

- El prototipo sumergible, deberá operar bajo el agua, a una profundidad de 2metros. De acuerdo a las características descritas en el datasheet del sensor, se puede demostrar que el sensor puede llegar a medir profundidades de 68metros.

Otro de los puntos acordados está basado en la precisión del sensor, en donde se indica que el sensor debe tener un error de +/- 10cm, no obstante, se puede evidenciar que el sensor no cumple con dicha característica.

- De acuerdo con las pruebas realizadas, se evidencio que el sensor tiene un error superior al 30% de sus mediciones, esto se debe a que está construido para realizar lecturas en profundidades más grandes.

16.2 Mejoras del dispositivo

Una de las más grandes mejoras que podría tener el prototipo, sería en el cambio del sensor de presión, por uno con un rango menor, con el fin de que la señal suministrada en cada una de las posiciones bajo el agua, sean más limpias y precisas, además de que se establezca el valor de voltaje de salida. Esto contribuiría a mejorar el control PID que implementa el sistema para el movimiento del eje Y.

Otra de las mejoras que se le podría realizar a un segundo prototipo, es en acomodar las bombas peristálticas que se encuentran en el interior del módulo, de una mejor manera, con el fin de optimizar el espacio, puesto que la posición vertical en las que se encuentran obstruye a la electrónica en su interior.

18 CONCLUSIONES

Se logro diseñar un algoritmo de control PID que le permite al sistema sumergir y emerger, de acuerdo con una variable determinada por el operario asignada como Setpoint.

Se logro implementar un control remoto, que permite operar de manera inalámbrica el módulo sumergible.

Se diseño un sistema de transmisión de datos inalámbricos con el protocolo bluetooth entre el módulo sumergible y el módulo de control remoto

Se logro implementar un sistema de operación que permite mover el módulo sumergible en el eje X y Y.

Se construyo un manual de funcionamiento en donde se indican los cuidados que se deben tener con el prototipo y así mismo se le indica el usuario los procesos que debe llevar acabo para operarlo.

Se construyó un módulo sumergible totalmente hermético capaz de sumergirse hasta una profundidad de 2 metros, con una tolerancia de 50cm, además de ello es capaz de arrastrar a un módulo pasivo que se le sujete, que no exceda 14kg fuerza.

Se logro construir una interfaz que le muestra al usuario que instrucción se le determino al módulo sumergible.

El sistema cuenta con una autonomía mayor a 20minutos.

Se pudo implementar el sensor escogido durante el diseño funcional del proyecto, sin embargo, se evidencio que el sensor no es el ideal para la medición de la profundidad en el rango solicitado, ya que este fabricado para mediciones de 90metros de profundidad, mientras que el prototipo sumergible funciona en el rango de 0 a 2metros de profundidad, por ende, las mediciones son muy inestables y el valor de voltaje de salida, es muy pequeño. Por eso fue necesario la construcción de una etapa de pre-amplificación que permitiera corregir la salida del sensor.

Se construyó un PCB, con el fin de implementar varios componentes en un solo circuito y de esta manera optimizar el espacio, sin embargo, se evidencio que el espacio dentro del módulo cilíndrico es muy pequeño, por ende, se dificulta el acceso a la electrónica que se encuentra adentro.

El módulo de control se construyó de una manera en que el usuario le sea fácil controlar el módulo de navegación, por ende, se implementó un joystick, el cual asemeja los controles que tienen los videojuegos y un keypad, para digitar la profundidad a la que desea conducir al prototipo.

Se realizó la sintonización del PD, para mejorar la respuesta del sistema, con una estabilidad óptima y que sus tiempos de respuesta, sean los adecuados

Se implementaron los procedimientos más importantes, sobre la carga de la pila Lipo en el manual de usuario, con el fin de prever accidentes o daños al dispositivo.

Se optimizó el uso de PWM, puenteando en sentido contrario las dos bombas peristálticas, con el fin de usar menos puertos de la Raspberry, para usos futuros.

No se realizaron pruebas en ríos, puesto que debido a la norma se deben solicitar permisos al distrito para lograr realizar pruebas en ambientes reales, sin embargo, este tipo de pruebas serán contempladas para el siguiente prototipo.

19 REFERENCIAS DOCUMENTALES

- [1] A. A. Transeth, K. Y. Pettersen, and P. Liljebäck, «A survey on snake robot modeling and locomotion,» *Robotica*, vol. 27, nº 1, p. 999–1015, 2009.
- [2] J. Yuh, «Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey,» *2000 Kluwer Academic Publishers. Printed in The Netherlands.*, nº 2, p. 24, 2000.
- [3] P. Liljebäck, K.Y Pettersen, K.Y., Stavdahl, O., Gravdahl, J.T, Snake Robots Modelling, Mechatronics, and Control, Noruega: 1st ed. Series Editors' Foreword, p.1., 2011.
- [4] T. N. Oil. T. Federation. a. N. I. T. Norsok, Manned underwater operations, Noruega: NORSOK STANDARD, 2013.
- [5] J. Neubert. a. H. Lipson, «Soldercubes: a self-soldering self-reconfiguring modular robot system,» *Auton. Robots*, vol. 40, nº 4, pp. 139-158, 2016.
- [6] G. Liu, Y. Zhang, J. Zhao. a. Y. Zhu, D. Bie, «Modeling the fractal development of modular robots,» *Adv. Mech. Eng*, vol. 9, nº 5, p. 1–9, 2017.
- [7] Alireza Akbarzadeh a, b, and Hadi Kalani b «Design and Modeling of a Snake Robot Based on,» *Advanced Robotics*, vol. 26, nº 13, p. 537–560, 2012.
- [8] A. Arockia Selvakumar, Vivek. P. Godeswar. R. Manimaran, M. Manjunathaa, «A Low Cost Underwater Robot with Grippers for Visual Inspection,» *Procedia*, vol. 1, nº 8, p. 108–115, 2018.

- [9] A. A. Transeth, K. Y. Pettersen, and P. Liljebäck, «A survey on snake robot modeling and locomotion,» *Cambridge University Press*, vol. 27, n° 1, p. 18, 2009.
- [10] S. Hirose, «Biologically Inspired Robots: Snake-Like Locomotors and Manipulators,» *Oxford University Press*, n° 7, p. 220, 1993..
- [11] Deisy, Yisneth. Forero. Quintero. Marco Andres Meza Calderon, «Diseño y construcción de un robot acuático,» *Universidad Piloto de Colombia*, vol. I, n° 9, p. 134, 2015.
- [12] Institut français de recherche pour l' exploitation, «Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer,» *ifremer*, vol. 1, n° 10, 2002.
- [13] Yoerger. D. R, Whitcomb. L. e. Fornari. D. J, Bowen A. D, «Exploring deepest depths: Preliminary design of a novel light-tethered hybrid ROV for global science in extreme environments,» *Journal of the Marine Technology Society Journal*, n° 11, pp. 92-101, 2004.
- [14] Gerad. Dooly. 1, Edin. Omerdi'c, Joseph. Coleman. , Thomas. Newe, Daniel. Toal and Romano Capocci, «Inspection-Class Remotely Operated,» *Marine Science and Engineering*, vol. 1, n° 12, pp. 100-132, 2017.
- [15] Bowen. A. D, Yoeger D.R, Whitcomb L.L, Audren Cloitre, «Propulsive Performance of an Underwater Soft Biomimetic Batoid Robot,» *Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, United States of America*, n° 15, pp. 15-22, 2014.
- [16] Austin. Buchan, Howie. Choset, David Rollinson, «Virtual Chassis for Snake Robots: Definition and,» *Advanced Robotics*, n° 15, pp. 1-22, 2012.
- [17] A. A. Transeth, K. Y. Pettersen, and P. Liljebäck, «A survey on snake robot modeling and locomotion,» *Robotica*, vol. 27, n° 1, pp. 999-1015, December 2009.