

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

AUV PARA PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA DEL FONDO MARINO MEDIANTE UN SONAR DE BARRIDO LATERAL

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Mecatrónico**, que presenta el bachiller:

René Gustavo Quispe Anchante

ASESOR: Mag. Franco Hidalgo Herencia

Lima, Octubre del 2014

Resumen

La exploración subacuática se ha venido desarrollando desde ya hace muchos años tanto con fines arqueológicos y científicos como económicos, pues existen gran diversidad de seres vivos, ecosistemas y minerales bajo el agua. En lo que respecta a la arqueología subacuática, esta tiene por objetivo el estudio de elementos históricos que yacen en un medio acuático con el fin de poder reconstruir el pasado o de realizar rescates de elementos de índole histórica. La particularidad de encontrarse en un medio líquido hace que los profesionales recurran a métodos no convencionales tanto por la forma en que estos elementos se conservan como por la accesibilidad que se tiene a estos elementos (gran profundidad bajo el agua).

Actualmente en el Perú existe un gran potencial para la exploración marina con fines arqueológicos, aunque aún no se cuenta con equipos de alta gama para dichas labores. Entre algunas zonas de interés para estudio podemos mencionar las Islas Chincha ubicadas a unos 20 km de la costa sur del país, el fondo marino del Callao con embarcaciones de la época colonial, entre otros. Para tales estudios existen diversos métodos de prospección que son de gran ayuda para localizar potenciales regiones con material de estudio importante. De entre los más destacados se puede mencionar el método por Sonar de Barrido Lateral (SSS por las siglas en inglés de *Side Scan Sonar*) en el que se obtienen imágenes, construidas a partir de lectura de ecos acústicos, del fondo del mar que son posteriormente analizadas e interpretadas por un experto. Para llevar a cabo estos estudios en nuestro país, generalmente se hace uso de navíos de gran tamaño que necesitan de una gran inversión para cada exploración realizada. Por lo tanto, las investigaciones se ven, en parte, limitadas económicamente. Una alternativa a lo mencionado es la intervención de los AUV's (Autonomous Underwater Vehicle) que vienen siendo desarrollados en diferentes partes del mundo. Esta clase de equipos son más livianos, fáciles de usar (a comparación a los métodos tradicionales) y con un costo menor por exploración.

El presente trabajo tiene por objetivo diseñar un prototipo de un AUV que gestione un sistema de navegación, sistema de propulsión e instrumentos de orientación y medición con el objetivo de controlar adecuadamente el movimiento del equipo para poder realizar escaneos del fondo marino mediante un Sonar de Barrido Lateral. A dicho prototipo se le podrá indicar ciertos parámetros para que de forma autónoma se movilice a un área definida cerca a nuestro litoral y pueda realizar inmersiones y exploraciones en las zonas indicadas para luego volver al punto de inicio y entregar los datos recopilados durante la travesía al usuario investigador. Estos datos recopilados podrán ser posteriormente analizados y procesados por un experto para construir imágenes del fondo marino en las cuales se puedan apreciar restos arqueológicos.

**TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : AUV para prospección arqueológica del fondo marino mediante un Sonar de Barrido Lateral.
Asesor : Franco Hidalgo Herencia
Alumno : René Gustavo Quispe Anchante
Código : 20094306
Tema N° : 50
Fecha : 02-07-2014



Descripción y Objetivos

La exploración bajo el agua se ha venido desarrollando desde hace muchos años. Una de las áreas a la que se le está dando cada vez mayor atención, especialmente en el Perú, es a la arqueología subacuática en la que se estudia, investiga y recopilan elementos de cultura material en ambientes marítimos. Para dichos estudios existen diversos métodos de prospección. De entre los más destacados se puede mencionar el método por Sonar de barrido lateral (*Side Scan Sonar – SSS*) en el que se obtienen imágenes del fondo del mar. Para poder realizar estos estudios en nuestro país, generalmente se hace uso de navíos de gran tamaño que necesitan de una gran inversión para cada exploración realizada, es así que las investigaciones se ven, en parte, limitadas económicamente.

En el presente trabajo se plantea el diseño de un AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) capaz de sumergirse a una profundidad de cien metros bajo el agua, que gestione un sistema de navegación, sistema de propulsión e instrumentos de orientación y medición. A este equipo se le podrá indicar ciertos parámetros para que, de forma autónoma, se movilice a una zona cerca de nuestro litoral, realice inmersiones para escanear la superficie del fondo marino usando un Sonar de Barrido Lateral y, finalmente, regrese al punto de partida para entregar los datos recopilados al usuario.

El documento se divide en 6 capítulos, en el primero se realiza la presentación de la problemática a la que se le dará solución, en el segundo capítulo se presenta el estado del arte, en el tercer capítulo se presentan los requerimientos del sistema mecatrónico y el concepto de solución a la problemática, en el cuarto capítulo se detalla el sistema mecatrónico solución, en el quinto capítulo se detalla el presupuesto para implementar el sistema y finalmente en el sexto y último capítulo se muestran las conclusiones a las que se llegó con este trabajo.

Máximo 100 páginas

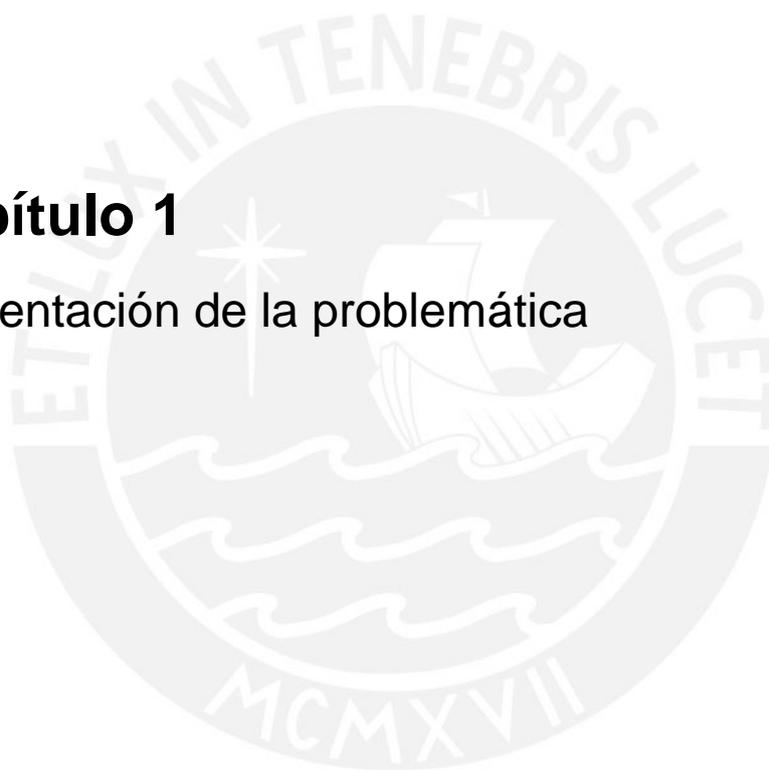


Indice

Capítulo 1	Presentación de la problemática	1
Capítulo 2	Estado del arte	5
Capítulo 3	Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto	10
3.1	Requerimientos del Sistema Mecatrónico	11
3.2	Presentación del Concepto de Solución	12
Capítulo 4	Sistema mecatrónico	15
4.1	Diagrama de Funcionamiento del Sistema Mecatrónico	16
4.2	Sensores, actuadores y otros	19
4.3	Diseño Mecánico	30
4.4	Diseño Eléctrico y Electrónico	43
4.5	Diseño del Software	54
4.6	Diagrama de Flujo del Programa de Control	58
Capítulo 5	Presupuesto	62
Capítulo 6	Conclusiones	66
BIBLIOGRAFIA		68

Capítulo 1

Presentación de la problemática



Desde hace muchos años el ser humano ha usado equipos especiales para poder sumergirse, bucear y explorar bajo el agua. Conforme la tecnología ha ido desarrollándose, se han buscado nuevas formas de facilitar el trabajo del hombre e incluso sustituirlo en casos en que este tenga sus limitaciones. En el caso de exploración marina, han aparecido necesidades tales como inspección superficial de extensas áreas o inmersión a mayores profundidades a los que el hombre puede soportar [1]. Fueron en estas situaciones donde surgió la necesidad de equipos en los cuales el ser humano no intervenga directamente, tales como los ROV's (Remotely Operated Vehicles) y AUV's (Autonomous Underwater Vehicles) salvaguardando de esta forma, la integridad de la persona y facilitando los trabajos de campo [2].

Tomando en cuenta la realidad nacional, se puede decir que el mar peruano guarda un sinnúmero de posibilidades para investigación por sus innumerables especies y hábitats así como los posibles tesoros culturales escondidos bajo el agua como por ejemplo naves en naufragio como el Monitor Atahualpa mostrado en la figura 1-1. A pesar de esto, lamentablemente no se le da la importancia debida al estudio en el fondo del mar, especialmente a la arqueología submarina. Esto posiblemente es debido a que, citando al Dr. Jorge Ortiz, el Perú "tiene una gran riqueza de restos arqueológicos prehispánicos en superficie, lo cual ocupa prioritaria atención por parte de nuestros arqueólogos" [3] es así que los profesionales en el campo dejan en segundo plano la arqueología en el fondo del mar. Por tal motivo, no existe aún mucha inversión en este ámbito.

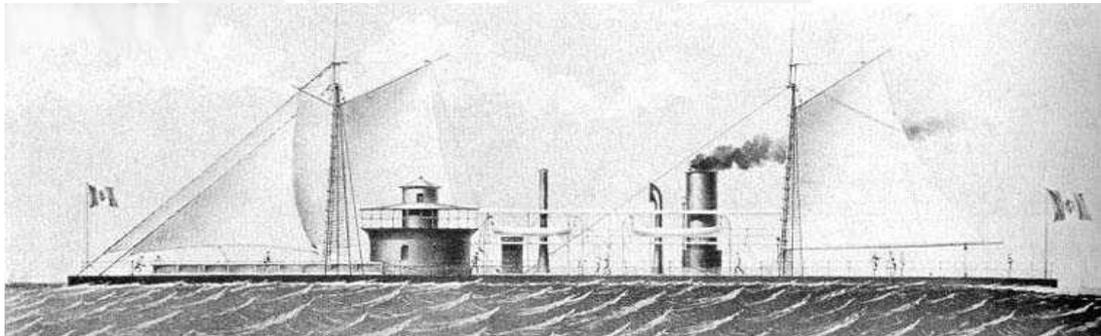


Figura 1-1: Monitor Atahualpa, hundido en el Callao en 1881 después de las batallas de San Juan y Chorrillos de la Guerra del Pacífico.

Fuente: [4]

Entre los distintos tipos de estudios y exploraciones que se realizan para geofísica marina existen: Prospección por Magnetometría, por *Side Scan Sonar* (SSS) y por *Multibeam*. El segundo es un método mediante el cual se obtienen imágenes del fondo del mar (figura 1-2) mediante sonar usando el sistema SSS que consiste en

dos transductores instalados longitudinalmente a lo largo de una estructura que envían ondas acústicas hacia el fondo marino y son reflejadas por este generando un eco el cual es leído por el mismo SSS [5].

Este dispositivo puede ser instalado en un artefacto con forma de torpedo y remolcado por un buque recibiendo esta configuración el nombre de *Towfish* (figura 1-3) o también instalado directamente en un AUV [6]. En nuestro país se usa generalmente el método en el que se remolca por un buque (Unidades Hidrográficas Carrasco y Stiglich de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina del Perú [7]) pero el uso de estos acarrea un alto gasto por exploración ya que para movilizar un navío se necesita de personal y equipo adicional. Es así que el precio por exploración está en el rango de los miles de dólares incluyendo combustible, baterías, personal capacitado para manejar la embarcación, etc. [5]

Para solucionar este problema y hacer más factibles los estudios con fines científicos se puede hacer uso de los AUV's mencionados inicialmente, dichos vehículos son pre-programados para realizar una misión específica. Esta tecnología está en pleno desarrollo tecnológico pues se le avisa en el futuro como un equipo indispensable para uso científico, comercial y militar pues se están desarrollando proyectos para instalar bajo agua observatorios submarinos con estaciones de carga para estos vehículos [8] ya que una de sus mayores limitaciones es la vida de la batería.

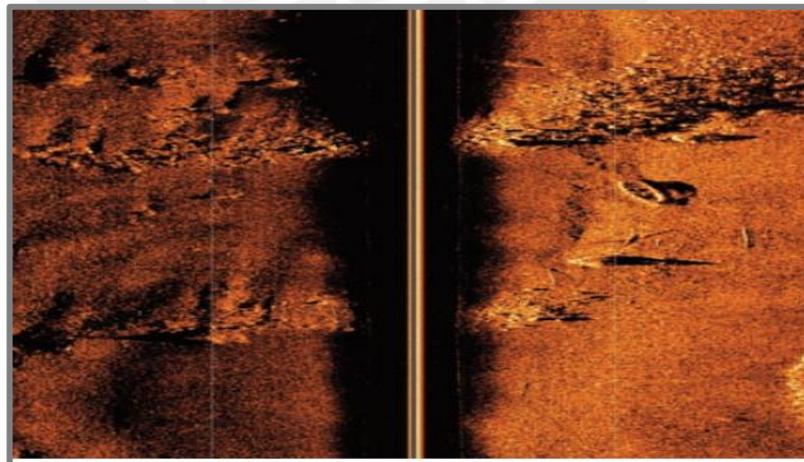


Figura 1-2: Imagen del fondo del mar usando SSS Tritech

Fuente: [9]

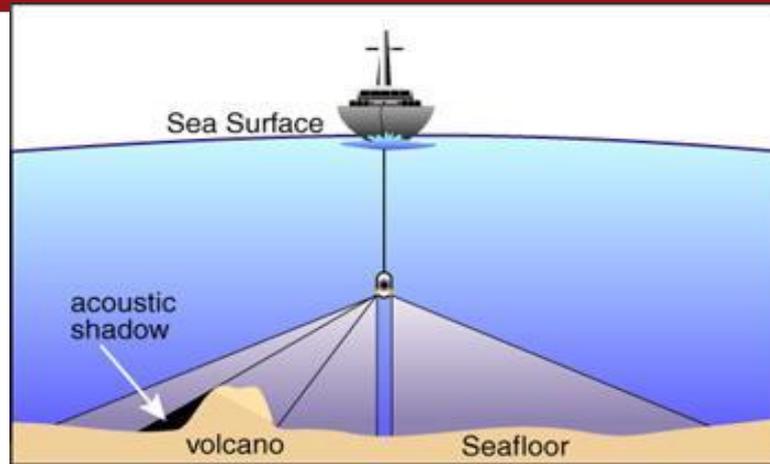


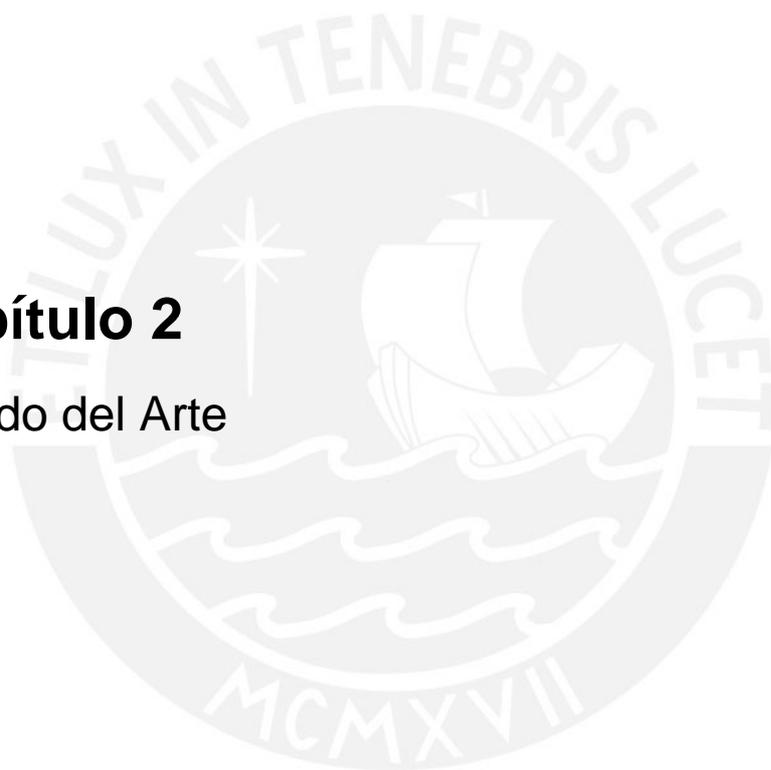
Figura 1-3: Towfish remolcado

Fuente: [10]



Capítulo 2

Estado del Arte



Para exploraciones marinas existen los ROV's y AUV's. Este último es la nueva línea tecnológica que traerá grandes beneficios y reducción de costos pues trabaja sin la necesidad de un operario que lo controle permanentemente.

Actualmente existen equipos AUV que son meramente científicos (no están a la venta pero sí realizan exploraciones) y otros que son comerciales. Ambos han demostrado un gran potencial. Entre algunos AUV podemos encontrar a los mencionados en el siguiente cuadro:

Tabla 2-1: AUV's en el mercado

Fuente: [11], [12], [13]

	Diseñado por	Profundidad max (m)	Uso
Theseus	ISE Research Wood Hole	1000	Investigación
ABE XBenthic	Oceanographic Institution	5000	Investigación
Odyssey	MIT	6000	Investigación
HUGIN	Kongsberg	1000	Militar
REMUS 100	Hydroid	100	Investigación

Entre las aplicaciones más comunes que se le dan a los AUV encontramos:



Figura 2-1: Aplicaciones de AUV.

Fuente: [14]

En la imagen anterior se muestra el ABE (*Autonomous Benthic Explorer*) el cual cuenta con 3 propulsores longitudinales y 2 verticales para controlar la profundidad de inmersión. Adicionalmente cuenta con 2 cámaras de video en sus laterales, y sensores tales como altímetro, magnetómetro, transductor de navegación, etc.

Si bien esta tecnología necesita mayores avances, los logros alcanzados son significativos. Por otro lado, el costo de dichos equipos son muy elevados, por ejemplo, el Remus 100 de Hydroid puede llegar a costar unos 250,000 € [15]. Por esta razón es que tal tecnología no está al alcance de todos.

Con respecto a la tecnología usada por estos equipos para la navegación (como en el Benthic mostrado en la figura 2-1), se puede mencionar el uso de sensores inerciales los cuales brindan información para hallar la posición del equipo en el fondo del mar. Estos sensores pueden ser acelerómetros, giroscopios, compás, altímetro, entre otros [42]. Cada uno obteniendo diferentes señales que caracterizan el movimiento del vehículo (figura 2-2) para en conjunto describir el desplazamiento y con ello su posición.

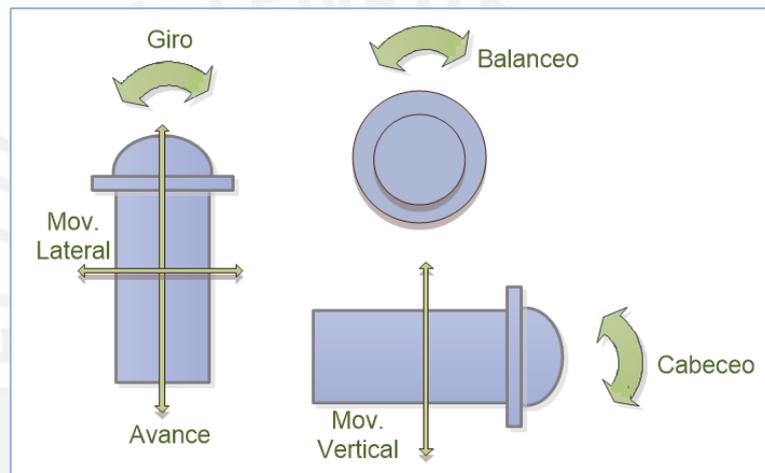


Figura 2-2: Movimiento AUV.

Fuente: Elaboración propia.

En general, dado que los sensores inerciales poseídos por los AUVs acumulan errores a lo largo del tiempo (los valores obtenidos por los sensores son de carácter integrativo, es decir que son sumados a lo largo del tiempo), es necesario que posean alguna otra forma adicional con la que los errores no se acumulen [42]. Bajo estas circunstancias es que se generaliza el uso de sistemas de geolocalización por señales GNSS (*Global Navigation Satellite System*) como por ejemplo el uso de GPS (figura 2-3). Dado que las señales usadas para GPS son ineficientes bajo el agua, los equipos autónomos deben de salir a la superficie del agua cada cierto tiempo para recibir sus coordenadas geográficas con las cuales se pueden corregir los errores de ubicación generados por los sensores inerciales.

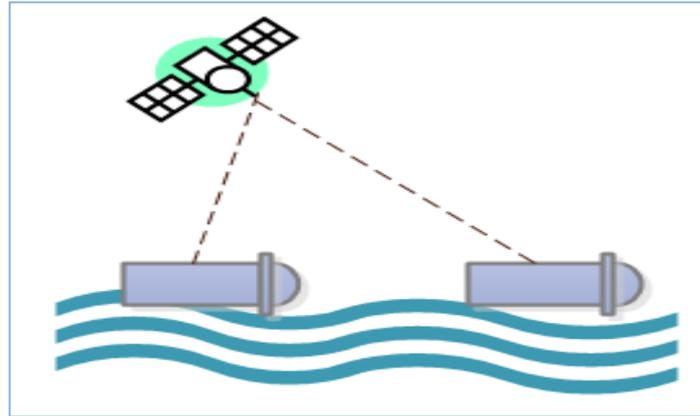


Figura 2-3: Geolocalización por GPS.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, existen diversos métodos por los cuales se puede obtener información del fondo del mar y que son de mucha utilidad para las investigaciones en arqueología submarina, especialmente para la etapa de prospección. Entre los más usados se pueden mencionar prospección por magnetometría, por Sonar de Barrido Lateral y por Onda Multihaz [45]. El primero consiste en el uso de un magnetómetro para medir la magnitud y dirección de los campos magnéticos generados a partir de las características de las rocas bajo el agua. El segundo consiste en el uso de dos transductores que emiten señales acústicas al fondo del mar y procesan el tiempo que demora en regresar el eco para poder generar imágenes. Finalmente, la prospección por Onda Multihaz, es semejante al uso del Sonar de Barrido Lateral con la variante que el equipo usado es más complejo pues se debe usar un transductor especial que emita mayor cantidad de ondas a diferentes ángulos y cubra mayor extensión de superficie. En las figuras 2-4, 2-5 y 2-6 se muestra los resultados (imágenes) obtenidos mediante los métodos de prospección por Magnetometría, Sonar de Barrido Lateral y Onda Multihaz respectivamente.

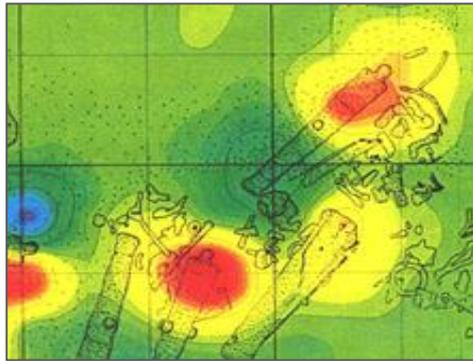


Figura 2-4: Imagen por Magnetometría.

Fuente: [43]



Figura 2-5: Imagen por Sonar de Barrido Lateral.

Fuente: [44]

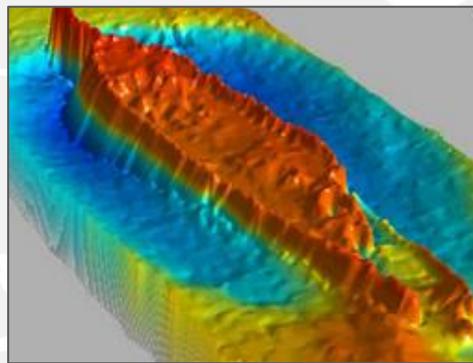


Figura 2-6: Imagen por Onda Multihaz.

Fuente: [44]

Capítulo 3

Requerimientos del Sistema Mecatrónico y
Presentación del Concepto

3.1 Requerimientos del Sistema Mecatrónico

Para poder realizar la labor de explorar zonas previamente definidas, el AUV deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

3.1.1 Requerimientos Mecánicos:

- Profundidad máxima de inmersión hasta 100 metros para poder escanear suelo marino de hasta 300m de profundidad con el uso de sensores especializados.
- Armadura externa capaz de soportar presión del agua a la profundidad especificada en el punto anterior para proteger los instrumentos electrónicos contenidos en su interior.
- Velocidad de desplazamiento de 8 nudos náuticos equivalentes aproximadamente a 4 m/s.
- Capacidad para barrer zona de 6 km² de área como mínimo.
- Flotabilidad positiva cercana a cero para evitar la pérdida del equipo en caso de averías, logrando el valor mencionado de flotabilidad, el equipo siempre tratará de salir a la superficie.
- Forma hidrodinámica para disminuir resistencia al avance y poder trasladarse de forma más sencilla ahorrando ligeramente la energía usada para la propulsión del equipo.
- Capa de pintura epóxica para evitar la corrosión rápida de la armadura que estará en permanente contacto con el agua y así alargar el tiempo de vida útil del equipo.

3.1.2 Requerimientos Electrónicos:

- Protección total tipo IP68 [46] para proteger los componentes electrónicos en el interior del sistema
- La batería del vehículo deberá proveer de la suficiente energía para realizar el barrido de la una zona de 6 km² sin ningún problema
- Sensor posición cada cierto tiempo para corregir los errores de lectura en algunos sensores y volver a la ruta original.
- Sensores para conocer el entorno tales como la presión, velocidad, orientación, entre otros.
- Capacidad de memoria suficiente para almacenar la ruta indicada por software (latitud y longitud).

3.1.3 Requerimientos de Control:

- El sistema deberá poseer un solo controlador que se encargue de recibir la ruta generada por el software y poner en funcionamiento los propulsores para acercarse a la zona indicada e iniciar con el barrido siguiendo la ruta previamente indicada.
- El controlador deberá maniobrar el equipo haciendo uso correcto de los propulsores durante las maniobras de inmersión, girar, avanzar, retroceder y emerger.
- Inicialización remota del equipo

3.2 Presentación del Concepto de Solución

En este trabajo se plantea el diseño de un prototipo de AUV para exploración marina principalmente con un Sonar de Barrido Lateral que guardará la información obtenida en una memoria SD ubicada dentro del AUV. Para el funcionamiento del sistema, el usuario deberá portar una laptop con el software del AUV y del SSS instalados. Es decir que para el funcionamiento del Sistema se necesitarán del AUV y una laptop que transmitirá información mediante comunicación inalámbrica Zigbee.

Para el proceso de exploración se diseña un AUV del cual podemos observar sus vistas en las figuras 3.2-1, 3.2-2, 3.2-3 y 3.2-4. En ellas se muestra la estructura la cual está diseñada en Aluminio. Este equipo posee 4 propulsores capaces de desplazar el equipo [anexo 3], dos para movimiento vertical (descender o ascender a la superficie del agua) y dos para movimiento horizontal (ambos propulsores en funcionamiento en el mismo sentido) o para el giro (ambos propulsores en funcionamiento pero en direcciones opuestas), dos flotadores (uno a cada lado) mecanizados a partir de espuma de poliuretano HD-1 y principalmente con un Sonar de Barrido Lateral (dos transductores laterales) para obtener datos del relieve submarino. En el diseño se tiene en cuenta la autonomía suficiente [anexo 4] para realizar las exploraciones.

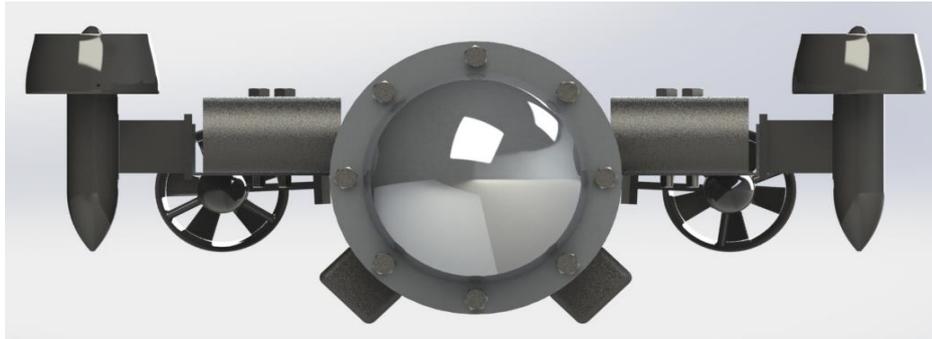


Figura 3.2-1: Vista Frontal del AUV

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.2-2: Vista isométrica del AUV

Fuente: Elaboración propia

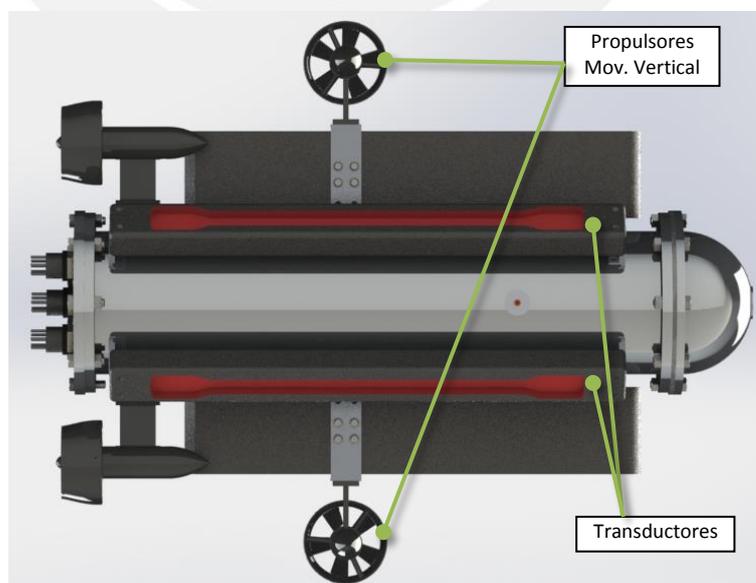


Figura 3.2-3: Vista inferior del AUV

Fuente: Elaboración propia

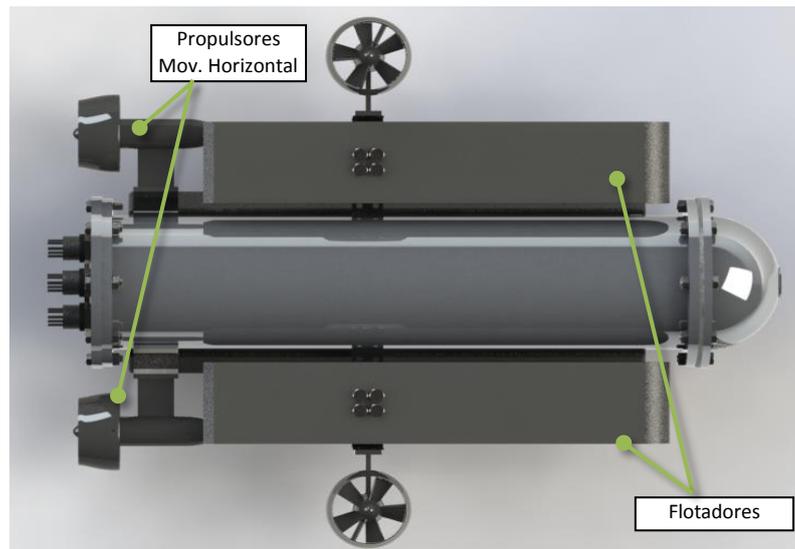
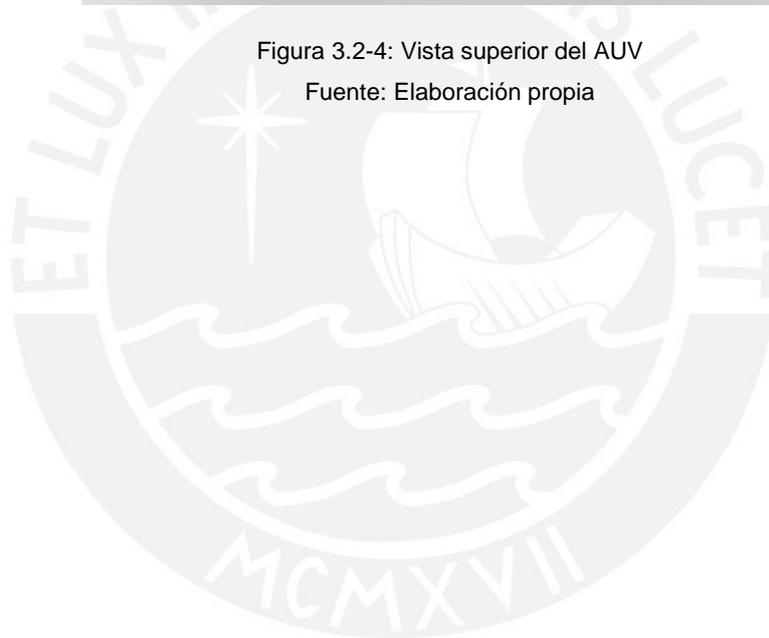


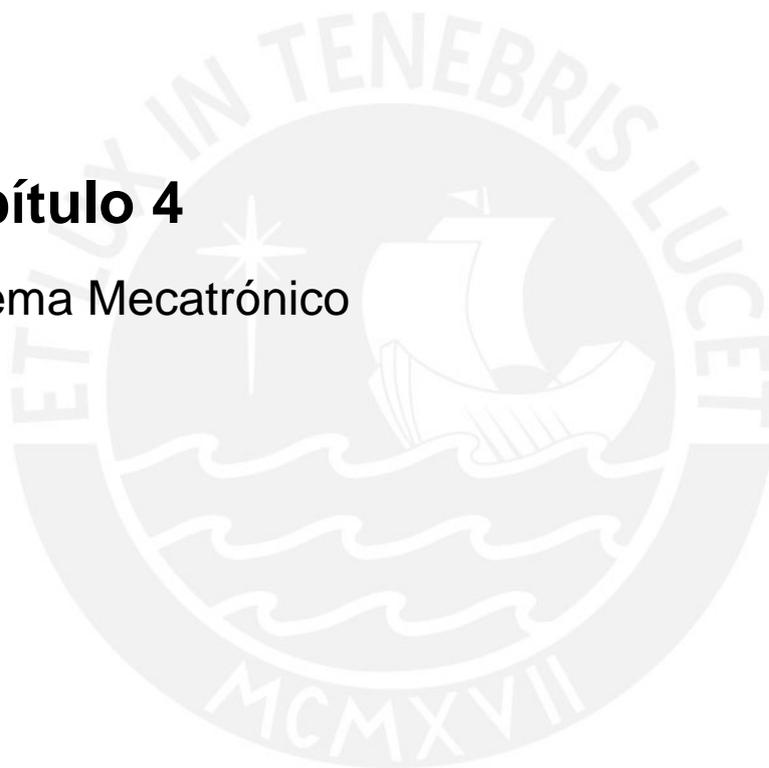
Figura 3.2-4: Vista superior del AUV

Fuente: Elaboración propia



Capítulo 4

Sistema Mecatrónico



4.1 Diagrama de Funcionamiento del Sistema Mecatrónico

Para el funcionamiento, inicialmente el usuario deberá colocar el AUV en el agua y mediante comunicación inalámbrica, se iniciará el equipo mediante la laptop (PC->XStick->XBee->AUV). El AUV obtendrá su posición mediante su GPS y dicha posición será enviada a la computadora, en la cual el software recibirá dicha información y solicitará al usuario que ingrese 4 puntos (latitud y longitud por cada punto) los cuales definirán la zona a ser escaneada. Este primer proceso previo a la exploración es resumido en la figura 4.1-1 donde se aprecia las entradas y salidas en información de cada uno de los elementos: usuario, PC y AUV.

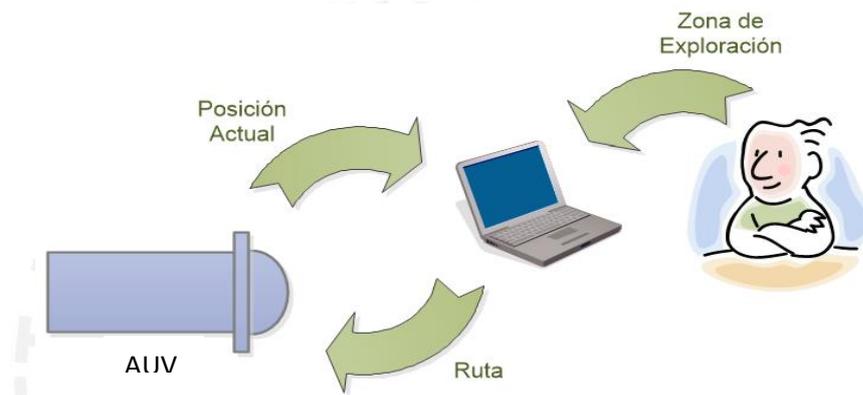


Figura 4.1-1: Etapa previa a la exploración

Fuente: Elaboración propia

Una vez que el AUV cuenta con la ruta está listo para iniciar la exploración. En la figura 4.1-2 se puede observar el proceso de exploración de forma más didáctica: en el estado 1 ya se recibió la ruta generada, entonces el AUV se acerca a la zona de exploración y realiza el escaneo (2). Una vez que acabó de explorar, regresa y entrega los datos obtenidos (3).

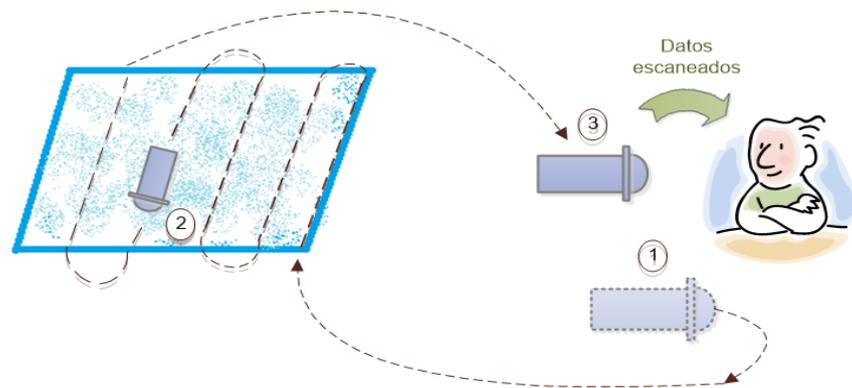


Figura 4.1-2: Funcionamiento de la solución

Fuente: Elaboración propia

De una forma más detallada, una vez el usuario define la zona a escanear, el software, haciendo uso de los 4 puntos y la posición actual del AUV, generará una ruta en base a rectas que el vehículo tendrá que seguir y enviará los puntos necesarios al vehículo el cual al recibirlos estará listo para emprender la misión.

Al iniciar la misión, el vehículo se acercará a la zona indicada navegando superficialmente en el agua. Una vez en la zona, procederá a realizar la inmersión a la profundidad indicada y avanzará conforme a la ruta anteriormente definida. Al llegar al punto final, el equipo regresará al punto inicial en el que comenzó la misión y estará en modo StandBy esperando a ser recogido por el usuario para la descarga de los datos obtenidos.

Para evitar posibles errores en la navegación, el equipo cuenta con un sistema IMU (*Inertial Measurement Unit*) para controlar su posición y además un GPS para revertir los errores generados por el IMU, por lo que el equipo deberá salir a la superficie cada 460 metros [anexo 5] para recibir sus coordenadas geofísicas y así mitigar los errores de lectura generado por otros sensores usados en la navegación.

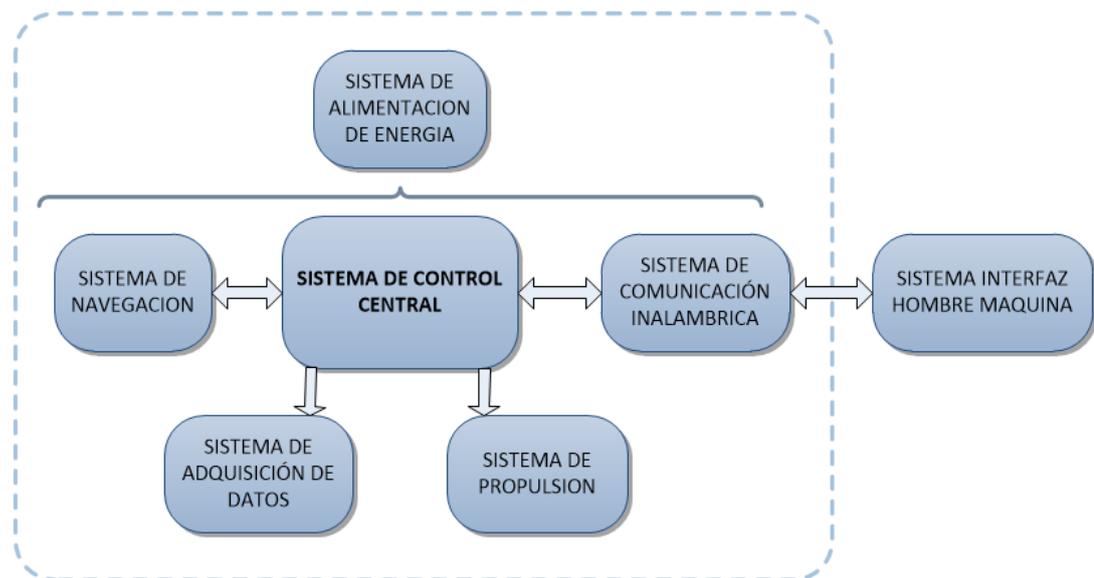


Figura 4.1-3: Diagrama de bloques del sistema mecatrónico

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de la figura 4.1-3 corresponde al funcionamiento del sistema mecatrónico propuesto. Tal como se observa, el sistema total cuenta con 6 subsistemas adicionales al Sistema Principal de Control Central. Los sistemas ubicados dentro de las líneas punteadas son los que se encuentran en el AUV, y los que se encuentran fuera son externos al AUV.

Sistema de Propulsión: Es el encargado de recibir las órdenes del Sistema de Control Central con respecto al movimiento del AUV para realizar las acciones de avance, retroceso, inmersión, emersión y así poder seguir la ruta deseada. Este sistema contará con controladores para los propulsores que se ubicarán estratégicamente para obtener la mayor facilidad de desplazamiento.

Sistema de Alimentación de Energía: Es el sistema cuya función es la de brindar energía a todos los implementos necesarios para el buen funcionamiento del sistema mecatrónico. Contará con baterías especializadas para el circuito de control y el de potencia. Adicionalmente, contará con un sistema de alarma de agotamiento de batería, el cual al ser activado, parará cualquier actividad y se enfocará en emerger al equipo para volver al punto inicial de la misión.

Sistema de Comunicación Inalámbrica: Se encargará de recibir y transmitir información para la comunicación entre el equipo y el usuario mediante el uso de una computadora portátil. Este sistema contará con un módulo de transmisión de datos inalámbrico para mayor comodidad evitando usar cables pues el equipo ya debería estar colocado en el agua.

Sistema Interfaz Hombre-Máquina: Sistema que consta de un módulo de transmisión inalámbrica de datos y de un software que será el médium entre el usuario y el AUV. Dicho software será intuitivo y fácil de usar para que el usuario configure el equipo de la forma más eficiente posible. Dicha configuración hecha por el usuario deberá indicar al equipo ciertos parámetros para la misión tales como Zona de barrido, profundidad de inmersión y velocidad de crucero deseada.

Sistema de Adquisición de Datos: Es el sistema que se encargará de activar los aparatos para la exploración. En este caso se usará un escáner de barrido lateral el cual deberá ser inicializado por el sistema de control central. Dicho sensor usará dos transductores a cada lado de la estructura del AUV y enviará señales sonoras para recibir el eco y procesarla como información para que esta se almacene finalmente por el Sistema de Control Central.

Sistema de Navegación: Es el encargado de mantener al AUV en la ruta previamente definida para poder realizar el escaneo de la superficie en el fondo marino de forma eficaz. Dicho sistema contará con múltiples sensores para llevar a cabo su tarea. Entre ellos podemos mencionar a un acelerómetro, sensor de presión, giroscopio, GPS, magnetómetro, etc.

Sistema de Control Central: Es el encargado de controlar todos los periféricos envueltos en el proyecto. Esta vez se usará un Arduino Mega debido a su capacidad de mayores salidas PWM(13) y canales seriales(4) a comparación de sus similares.

4.2 Sensores, actuadores y otros

4.2.1 Sensores

Sensor Inercial (IMU)

El sensor Inercial ADIS16367 de 6 grados de libertad está compuesto por un giroscopio digital de 3 ejes y un acelerómetro también digital de 3 ejes. Se puede encontrar su hoja de datos en el anexo 7-1. Este sensor permitirá obtener las aceleraciones y giros del AUV los cuales se irán adicionando a la posición original para hallar su posición actual.



Figura 4.2.1-1: Sensor ADIS 16367

Fuente: Anexo 6-11

Tabla 4.2.1-1: Especificaciones ADIS

Fuente: Elaboración propia

Modelo	Alimentación	Consumo corriente	Interfaz	Sensor	Rango de Trabajo	Precisión
ADIS 16367	5V	49mA	SPI	Giroscopios Acelerómetros	+ - 300°/s + -18g	0.05°/s 3.33 mg

Sonar de Barrido Lateral

En este proyecto se propone la adquisición del Sonar de Barrido Lateral o SSS (*Side Scan Sonar*) SeaKing de 325 Khz para realizar la prospección del relieve bajo el mar. El kit incluye dos transductores y un Pod (recipiente en forma de barril) con la circuitería de control del sensor, mostrados en la figura 4.2.1-2. Ambos transductores envían

ondas acústicas hacia el fondo marino y realizan la lectura de los respectivos ecos, es así que se obtiene la distancia hacia el fondo marino las que luego son convertidas a pixeles para facilitar su visualización. El Pod posee 4 conectores, dos en cada lado, de los cuales dos son usados para conectar los transductores, otro llamado AUX está pensado para conectar algún otro sensor o periférico y un último conector llamado Main (principal) para su alimentación y transmisión de información. Además incluye 2 softwares con los cuales se analizan los datos: Seanet Pro y Seanet DumpLog.



Figura 4.2.1-2: Sensor SSS Tritech

Fuente: Anexo 7-3

El conector Main consta de 6 pines cuyas funciones son mostradas en la figura 4.2.1-3. El Pod puede transmitir información en dos modos: con protocolo Arcnet (PC) o RS-232 hacia cualquier dispositivo que funcione con el protocolo. Dado que usaremos la transmisión RS-232, sólo se necesitarán los pines 1 (Tx), 2 (Rx), 3 (VC), 4 (GND) y 5 (RS-232gnd-PC). Cabe resaltar que el detalle de los datos transmitidos, como el formato de información, son brindados junto con la adquisición de este sensor por lo que no se entrará en más detalle de estos.

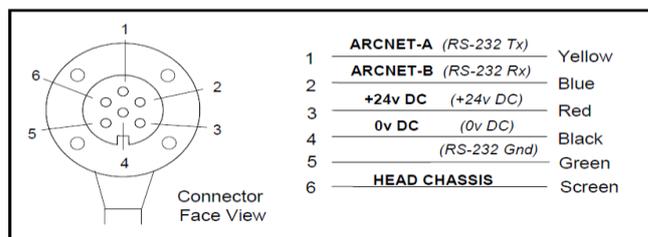


Figura 4.2.1-3: Conector Principal Sensor SSS Tritech

Fuente: [16]

En la tabla 4.2.1-2 se muestran las características técnicas de este sensor. Se usará un voltaje de alimentación de 22.2V y se usará la versión en 325 KHz para mayor alcance.

Tabla 4.2.1-2: Especificaciones SSS

Fuente: Elaboración propia

Modelo	Alimentación	Consumo corriente	Alcance	Frecuencia operación	Interfaz
SeaKing SSS	20-36 V	500 mA	200m	325 kHz	Serial

Sensor de Presión

Es usado un transductor de presión diferencial modelo TDH30 de la marca Transducers Direct mostrado físicamente en la figura 4.2.1-4 y sus pines en la figura 4.2.1-5. Este sensor de pequeño tamaño recubierto por un cuerpo de acero inoxidable será ubicado en la parte inferior del AUV. Su conexión eléctrica está compuesta por 4 pines DIN color rojo en el pin 1(vcc), negro - pin 2 (tierra), blanco pin - 3 (señal de salida) y una cuarta conexión que no es usada. Puede trabajar con señal de salida en voltaje (V out) o corriente (I out). Para leer el valor sensado directamente se usará el modo de salida en voltaje. En la tabla 4.2.1-3 se pueden apreciar las características de este dispositivo.



Figura 4.2.1-4:
Sensor de presión
Fuente: [17]

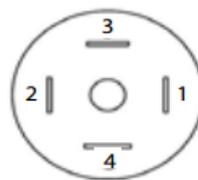


Figura 4.2.1-5: Pines sensor presión
Fuente: [17]

Tabla 4.2.1-3: Especificaciones sensor presión

Fuente: Elaboración propia

Modelo	Alimentación	Consumo corriente	Rango de Trabajo	Precisión	Interfaz
TDH30-BG0250-03-D004	12-36 V	3mA (V out)	3-250 psi	2.5 psi	Señal analógica

Xbee

Es un módulo de comunicación inalámbrico, mostrado en la figura 4.2.1-6, que utiliza el protocolo Zigbee basado en IEEE_802.15.4. Esencialmente, permite sustituir 2 cables de transmisión de información lo que permite mayor flexibilidad con respecto al uso del hardware ya que no necesitará una conexión física. En este proyecto, el Xbee irá montado sobre un Wireless SD Shield para Arduino Mega que está ubicado dentro del AUV y se comunicará con una PC antes de empezar la misión de exploración.

En la tabla 4.2.1-4 se pueden apreciar datos técnicos referentes a este módulo tales como tensión de alimentación y la interfaz de comunicación.



Figura 4.2.1-6: XBee

Fuente: [18]

Tabla 4.2.1-4: Especificaciones XBee

Fuente: Elaboración propia

Modelo Xbee	Alimentación	Consumo corriente	Alcance	Interfaz
Series 2	3.4V	50 mA	100m	Serial

XStick

Para el sistema de transmisión inalámbrico que usará la PC, se propone el uso de un XStick, mostrado en la figura 4.2.1-7, el cual es un adaptador USB que se conecta a una computadora para la comunicación inalámbrica con un XBee. Esto permitiría una mejor portabilidad y transporte que un módulo XBee para una PC.



Figura 4.2.1-7

Fuente: [19]

GPS (Global Positioning System)

El módulo GPS **SKM53** de la marca **Skynav**, mostrado en la figura 4.2.1-8, es un dispositivo de pequeñas dimensiones (30x20x11.4mm) cuya función es la de recibir las coordenadas geográficas con ayuda de hasta 12 satélites y luego transmitir la información mediante transmisión serial de datos.



Figura 4.2.1-8: GPS

Fuente: [20]

En la tabla 4.2.1-5 se mostrarán mayores detalles técnicos referentes a este GPS SkyNav.

Tabla 4.2.1-5: Especificaciones GPS

Fuente: Elaboración propia

Modelo	Alimentación	Consumo corriente	Precisión	Interfaz
SKM53	5 V	55 mA	3m	Serial

Compás

Para la necesidad de un compás se hace uso del sensor magnético de tres ejes HMC 2003 de la marca Honeywell. Dicho sensor posee 3 salidas analógicas de las cuales se pueden obtener la lectura de la señal magnética de los 3 ejes a partir de las cuales el AUV podrá orientarse. Estas salidas irán conectadas a los pines analógicos del Arduino.



Figura 4.2.1-9: HMC2003

Fuente: [21]

Tabla 4.2.1-6: Especificaciones Magnetómetro

Modelo	Alimentación	Consumo corriente	Interfaz	Rango de Trabajo	Precisión
HMC2003	6-15V	20mA	Señal Analógica	+2 Gauss	40 uGauss

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Actuadores

Propulsor

El propulsor **400HFS-L** de la marca **CrustCrawler** es un actuador diseñado especialmente para usos en AUV's y ROV's. Este propulsor tiene una cubierta hecha de aluminio T6 para proteger sus componentes sensibles al agua. Posee una fuerza de propulsión de hasta aproximadamente 6Kg. Para su funcionamiento se hará uso de controladores específicos recomendados por el fabricante para el control. Es importante notar que existen 2 configuraciones de estos propulsores: Propulsión en sentido horario (Right Hand Propeller) o en sentido antihorario (Left Hand Propeller) los cuales giran en direcciones opuestas y son usados para compensar las fuerzas tangenciales ejercidas por las hélices. Durante la operación de este dispositivo también se debe tomar en cuenta no superar los 130W pues de hacerlo el motor sufriría graves daños por calentamiento excesivo. En el anexo 3 se comprueba la idoneidad de este propulsor para desplazar el equipo.



Figura 4.2.2-1: Propulsor
Fuente: [36]

Este propulsor deberá ser alimentado por un voltaje que esté entre 12 y 50V como lo mostrado en la tabla 4.2.2-1 y posee una profundidad máxima de trabajo de 100m.

Tabla 4.2.2-1: Especificaciones Propulsor

Fuente: Elaboración propia

Modelo	Alimentación	Consumo corriente	Propulsión	Profundidad de Trabajo (máx)
400HFS-L	12-50 V	5 A	6 Kg	100 m

4.2.3 Otros

Controlador: Arduino Mega

Para el sistema de control central se optó por la plataforma de hardware libre Arduino en su versión Mega 2560 Rev3. Esta plataforma es de fácil aprendizaje y uso debido a su lenguaje intuitivo para usuarios con nociones básicas de programación. Además cuenta con múltiples puertos analógicos y salidas PWM lo que fue un factor crítico al seleccionarlo en este proyecto.

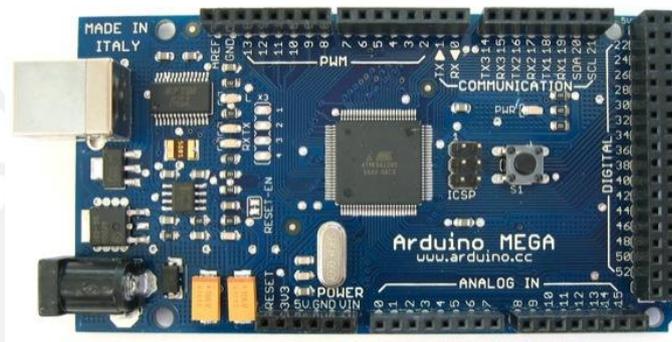


Figura 4.2.3-1: Arduino Mega

Fuente: [22]

Tabla 4.2.3-1: Especificaciones Arduino Mega

Fuente: Elaboración propia

Microprocesador	Alimentación	Consumo corriente x pin
ATMega 1280	7-12 V	40 mA

Sistema de comunicación inalámbrico: Wireless SD Shield

Para el Sistema de Comunicación Inalámbrica se decidió usar un shield para el Arduino Mega mostrado en la figura 4.2.3-2. Este shield permite la comunicación inalámbrica mediante el uso de un módulo inalámbrico, se diseñó para el uso con XBee pero puede usar cualquier otro tipo de módulo compatible. Además posee una ranura para insertar una memoria SD en la cual se puede almacenar información usando la librería SD [23] de Arduino la cual podrá ser

usada para almacenar mayor cantidad de información para la ruta recibida por software en un futuro de ser necesario. Este Shield es compatible tanto para Arduino Uno como para Arduino Mega [24].

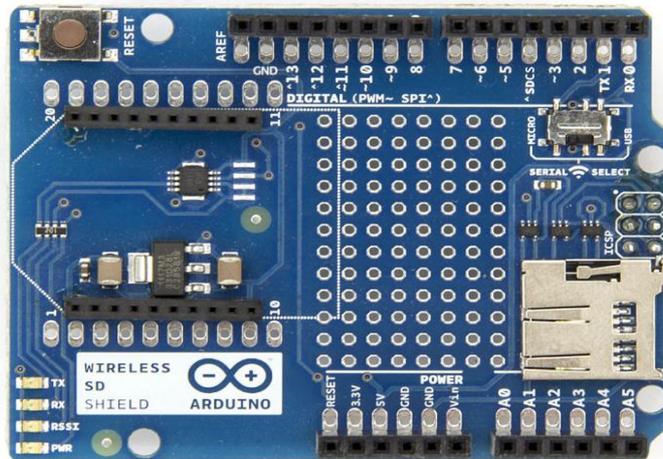


Figura 4.2.3-2: Wireless SD Shield

Fuente: [25]

Controlador de velocidad del propulsor

El controlador de velocidad (ESC Electronic Speed Controller) **Phoenix ICE2 HV40** de la marca **Castle Creations**, mostrado en la figura 4.2.3-3, es recomendada por el fabricante de los propulsores (Crust Crawlers) pues tiene funcionalidades especiales como arranque suave tanto en reversa como avance, protección por límite de corriente, entre otras. Usa Modulación por Ancho de Pulsos (PWM) para el control del motor en el propulsor. Se alimenta con 5V y genera pulsos cuadrados de períodos entre 1ms (reversa), 1.5ms (neutro) y 2ms (avance).

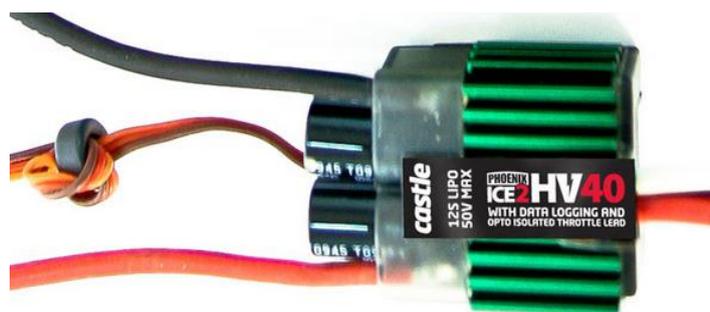


Figura 4.2.3-3: Controlador de velocidad

Fuente: [26]

Baterías

Se usarán 4 unidades de baterías LiPo Venom 50C de 5000mAh y 22.2V que brindarán aproximadamente 6 horas de autonomía [anexo 4]. Además una unidad de batería LiPo 20C de 14.8V y 5000mAh para la electrónica de Control. En la figura 4.2.3-3 se pueden observar las 2 batería: al lado izquierdo se encuentra la de 22.2V y al derecho la de 14.8V



Figura 4.2.3-4: Baterías LiPo

Fuente: [27]

4.2.4 Ubicación de componentes

En la figura 4.2.4-1 se muestra una vista lateral en semi-corte donde se aprecian las ubicaciones enumeradas de los componentes electrónicos antes mencionados y en la tabla 4.2.4-1 la descripción del componente.

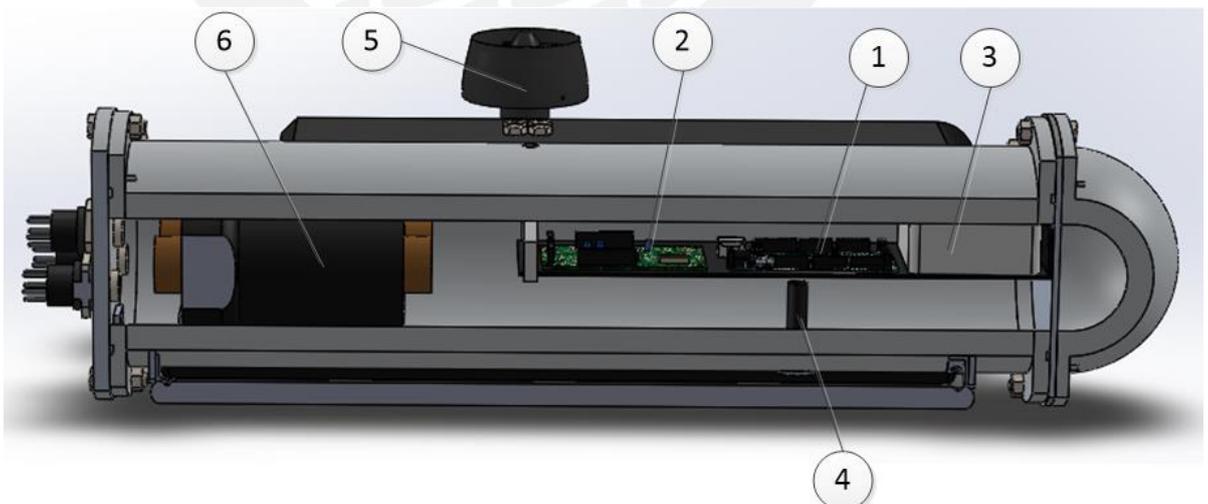


Figura 4.2.4-1: Ubicación componentes

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2.4-1: Lista componentes

Fuente: Elaboración propia

N°	Item
1	Arduino Mega
2	Placa Principal (incluye sensor inercial, Xbee, Shield, GPS, compás y ESC)
3	Baterías (contenedor)
4	Sensor de Presión
5	Propulsor
6	Pod de Side Scan Sonar



4.3 Diseño Mecánico

Para el diseño del AUV se tomó en cuenta la presión máxima de 1005KPa (manométrica) [anexo 1] a la cual va a poder trabajar, además del peso necesario para poder tener una flotabilidad positiva [anexo 2] cercana a cero con el uso de flotadores fabricado de espuma de Poliuretano. La armadura exterior está hecha en material de Aluminio puesto que presenta una buena relación peso resistencia [anexo 1] que resulta muy ventajoso en este tipo de equipos acuáticos para minimizar el volumen de los flotadores. Adicionalmente, la estructura está recubierta con pintura epóxica anticorrosiva en base y acabado de 2 mils de espesor de película seca por recomendación en su hoja de datos [anexo 7-12].

El equipo cuenta con una armadura en la cual albergará en su interior todos los dispositivos electrónicos excepto algunos sensores instalados en la superficie cuya función es interactuar con el entorno tales como sensor de presión ubicado en la parte inferior, Sonar de Barrido Lateral (SSS) en ambos costados de la carcasa, 3 conectores de 6 pines cada uno de la marca SEACON XSG-6-BCL los cuales serán usados para conectar ambos transductores del SSS y otro para las conexiones respectivas de los propulsores que son en total 4 de los cuales 2 son usados para avanzar, retroceder o girar y los otros 2 para sumergirse o emerger del agua.

En la figura 4.3-1, Se pueden observar las vistas del sistema completo del AUV, en la figura 4.3-1a se observa una vista superior de corte B-B en la que se pueden apreciar diversos componentes internos del sistema.

En la figura 4.3-1b, se observa una vista lateral del sistema, en esta vista se puede apreciar los componentes a lo largo del eje axial del equipo.

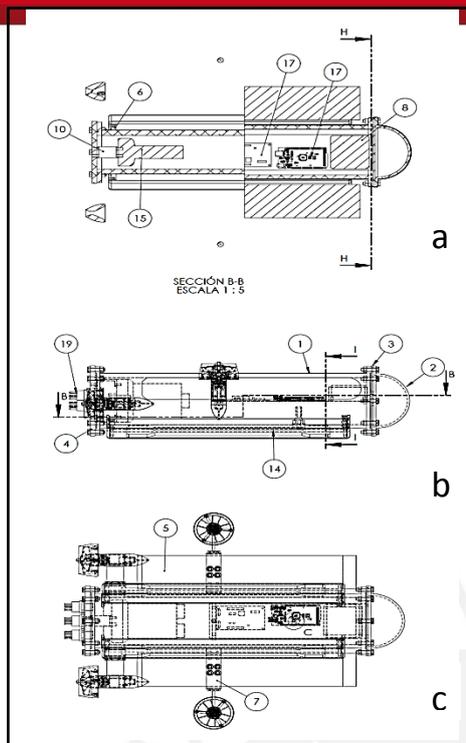


Figura 4.3-1: Vistas Principales AUV
Fuente: Elaboración propia.

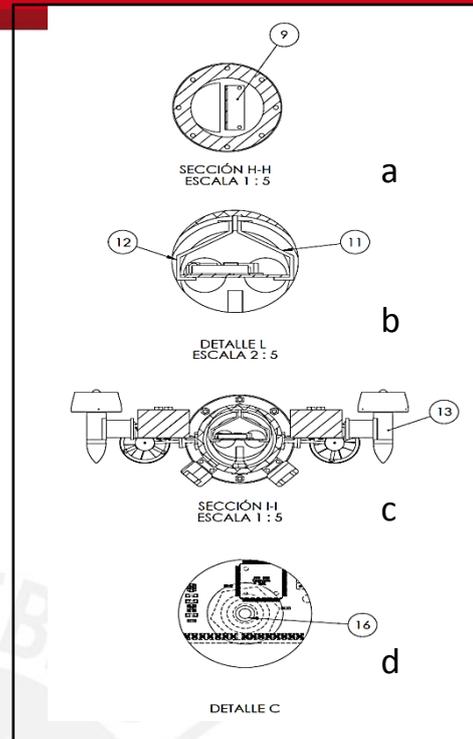


Figura 4.3-2: Detalles y Secciones AUV
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.3-1c, se observa una vista inferior del equipo. en donde se puede apreciar de mejor manera los sensores de barrido lateral y los flotadores hechos de espuma de poliuretano.

Adicionalmente, en la figura 4.3-2 se observan algunos detalles y vistas de corte realizados en la figura 4.3-1. En la imagen 4.3-2a se observa la sección H-H la cual es una vista de corte realizada a la imagen 4.3-1a, en esta se aprecia la posición de la pieza en L (soporte interno 2) que sirve de soporte a la base (Soporte interno 1) donde irán las placas de los componentes electrónicos.

La figura 4.3-2b muestra el detalle L de la figura 4.3-2c la cual es una vista frontal de corte, en este detalle se indican los elementos 11 (Soporte interno 4) y 12 (Soporte interno 5) los cuales son piezas que se unen en la parte superior mediante un apriete simple pues una de ellas tiene un eje y el otro un agujero los cuales son adheridos a un soporte ubicado en la parte superior de la carcasa. Su objetivo es el de brindar un soporte adicional para la base donde irán los componentes electrónicos.

En la figura 4.3-2d, se ve un detalle C de la figura 3.3-1c donde se observa la ubicación del sensor de presión en la parte inferior de la carcasa.

Finalmente, en la figura 4.3-3 se muestra la vista isométrica del AUV completo.

En ambas figuras mostradas anteriormente, se señalan los componentes principales los mismos que son descritos y referenciados en la tabla 4.3-1:

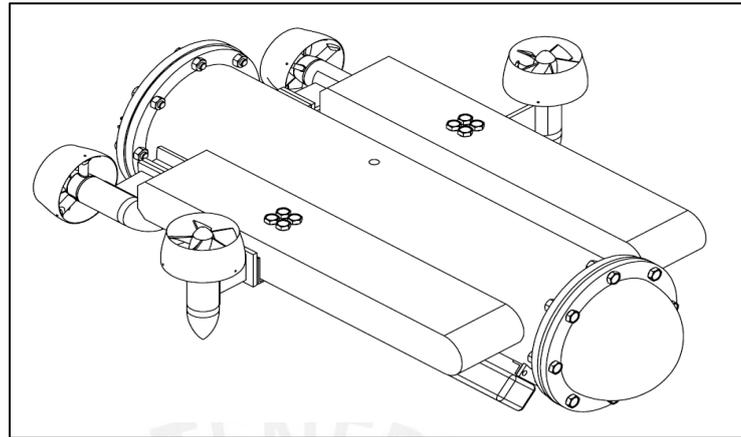


Figura 4.3-3: Vista Isométrica AUV

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3-1: Descripción componentes principales:

Fuente: Elaboración propia.

Pos.	Cant.	Descripción
1	1	Casco Principal
2	1	Domo semiesférico
3	1	Tapa Anterior
4	1	Tapa Posterior
5	2	Flotador HD-1
6	4	Unión L N°1
7	2	Unión L N°2
8	1	Soporte interno 1
9	1	Soporte interno 2
10	2	Soporte interno 3
11	2	Soporte interno 4
12	1	Soporte interno 5
13	4	Propulsor eléctrico
14	2	Transductor de Sonar de Barrido Lateral
15	1	Pod de Sonar de Barrido Lateral
16	1	Sensor de Presión
17	1	Arduino Mega
18	1	Placa Principal
19	3	Casco Principal

El ensamble mostrado en las figuras anteriores cuenta con un sub-ensamble el cual consta de 7 partes que se encuentran unidas mediante soldadura TIG para mejor calidad (cordones de soldadura indicados en el plano ES-01 de la figura 4.3-4). La parte principal es un tubo de Aluminio de 550mm de longitud al cual se le soldarán algunos soportes para los sensores laterales y conexiones para los propulsores. En la parte inferior se le suelda un cilindro que sirve de conexión roscada (ítem 6) al cual se le acoplará el respectivo sensor de presión.

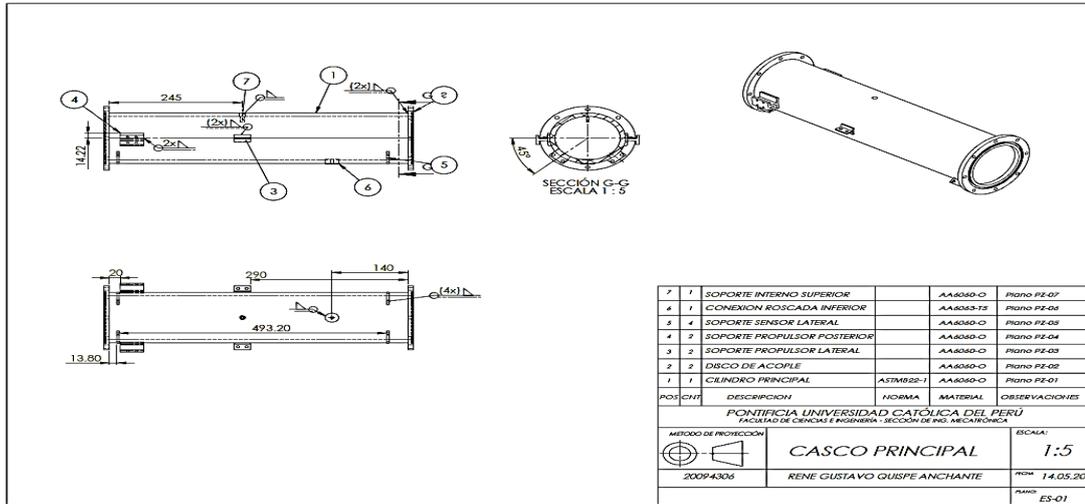


Figura 4.3-4: Plano ES-01

Fuente: Elaboración propia.

La pieza principal es un tubo de aluminio de 550mm de longitud, 140mm de diámetro exterior y 5mm de espesor de material aluminio AA6060-O mostrado en la figura 4.3-5. Cuenta con un agujero M25 en la parte inferior a la que posteriormente se le soldará una conexión roscada para el sensor de presión y un agujero en la parte superior para soldar un soporte para elementos internos (PZ-07).

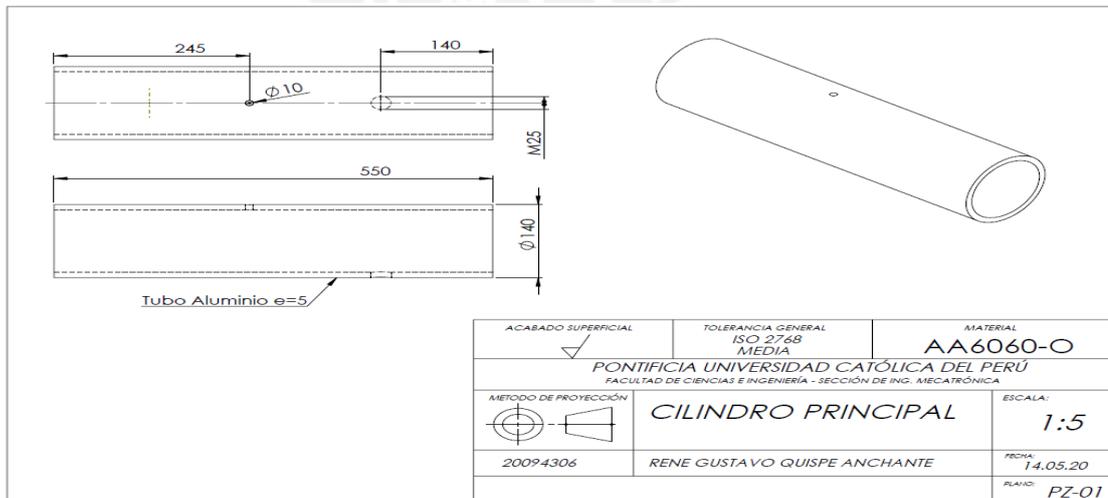


Figura 4.3-5: Plano PZ-01

Fuente: Elaboración propia.

Otra pieza para el ensamble ES-01-Casco Principal es un Disco de Acople el cual irá también soldado al tubo de la figura 4.3-4 en sus dos extremos para luego atornillarle sus tapas. Dicho disco cuenta con 8 agujeros M8 para su atornillado con las tapas delantera y además posee una ranura de trayecto circular de profundidad 2.9mm en la cual irá un o-ring Parker serie2-252 para el correcto sellado con la tapa para evitar el ingreso del agua. El diseño de la ranura se desarrolló en base a las recomendaciones hechas en la hoja de datos de o-ring Parker [anexo 7-15].

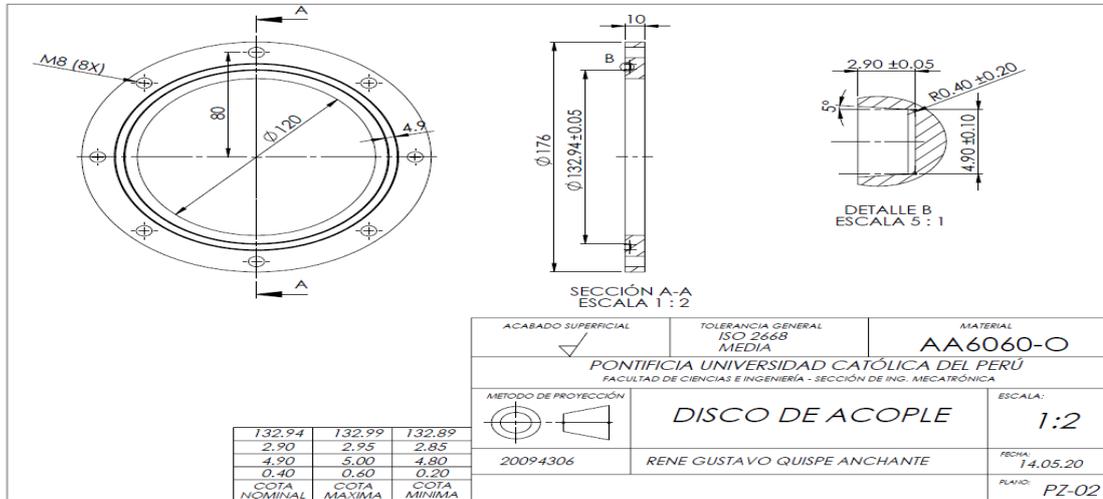


Figura 4.3-6: Plano PZ-02

Fuente: Elaboración propia.

Para el acople de los propulsores laterales (que se dedicarán al movimiento para emerger/sumergir) se propone dos soportes (figura 4.3-7) que irán soldados a los lados laterales del Cilindro Principal. Dichos soportes poseen una curvatura en su base para facilitar y mejorar la calidad de la soldadura con respecto al cilindro al cual son soldados. Sus dos agujeros M6 servirán para atornillar otra conexión que servirá para modificar la configuración de posición de los propulsores si se requiere.

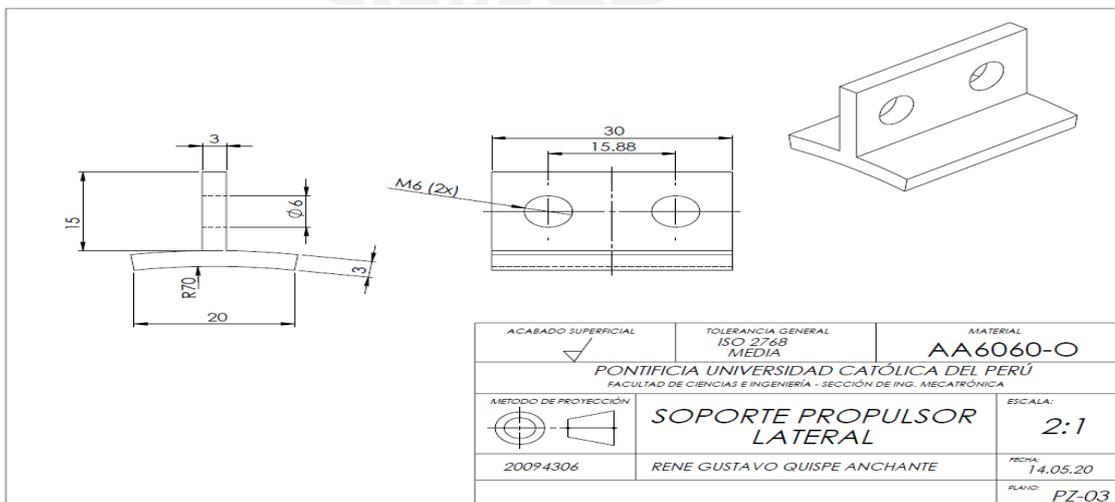


Figura 4.3-7: Plano PZ-03

Fuente: Elaboración propia.

Otra pieza que será unida al Cilindro Principal será la de la figura 4.3-8 en el plano PZ-04-Soporte Propulsor Posterior la cual, al igual que el soporte anterior, cuenta con base curvada para una mejor soldadura. A estas piezas irán directamente conectados los dos propulsores traseros para el avance del vehículo y serán ubicada en el mismo eje horizontal del centro de gravedad del AUV para minimizar las inestabilidades por torques generados al avanzar en línea recta.

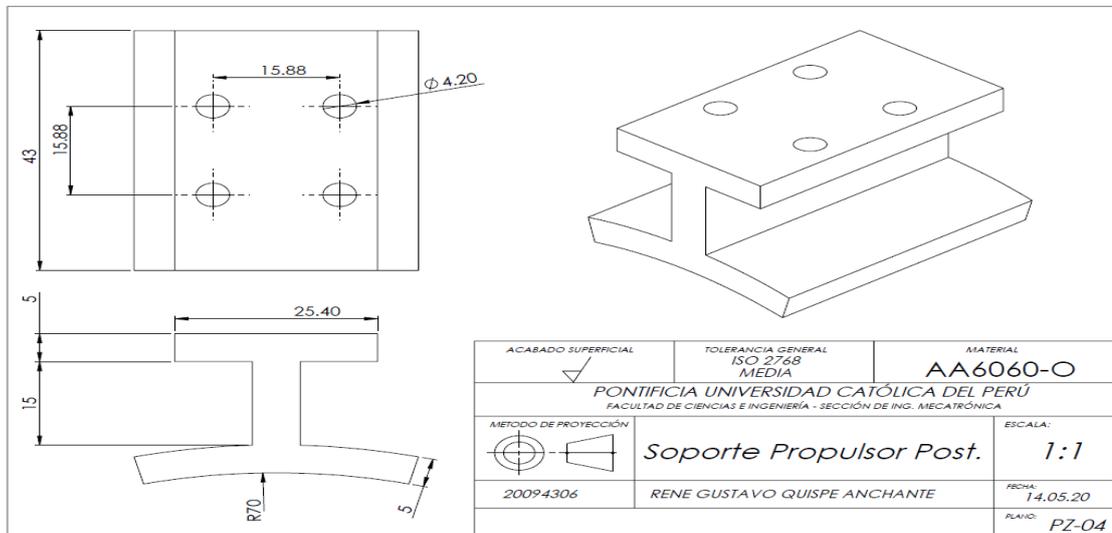


Figura 4.3-8: Plano PZ-04

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente a los ya mencionados, se agregará un último soporte (figura 4.3-9 PZ-05-Soporte Sensor Lateral) para los sensores de barrido lateral. Este contará al igual q los demás, una curvatura en su base para mejor soldado y dos agujeros M6 para agregar conexiones que se adapten al tipo de sensor a usar.

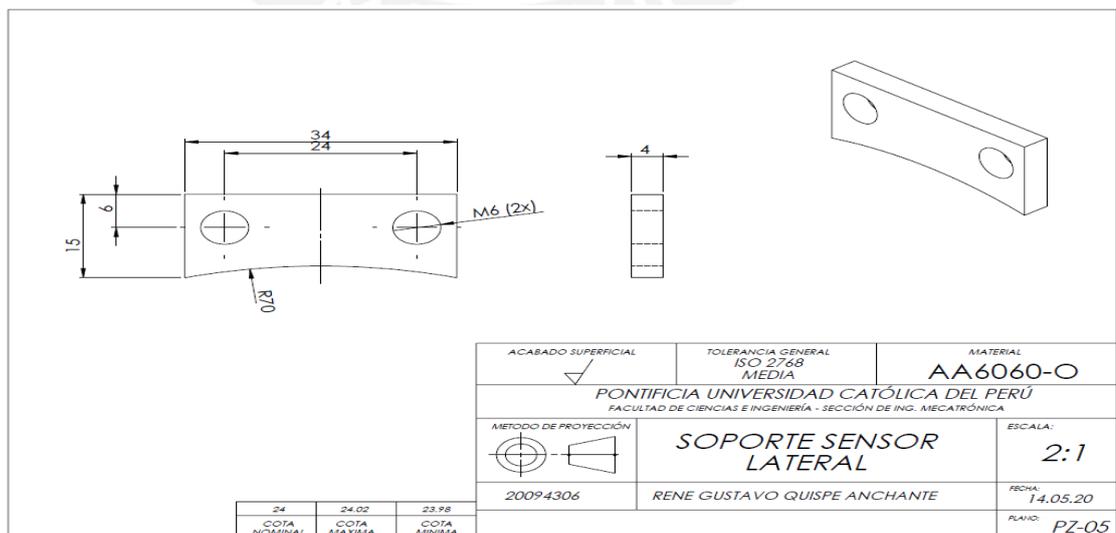


Figura 4.3-9: Plano PZ-05

Fuente: Elaboración propia.

Otra pieza a soldar en el ensamble ES-01 es una conexión mostrada en el plano PZ-06-Conexión Roscada Inferior a la cual irá acoplada el sensor de presión TDH30 con su conexión NPT de ¼ de pulgada. Dicha pieza poseerá un espesor de 14mm para un conexión fuerte entre esta y el sensor.

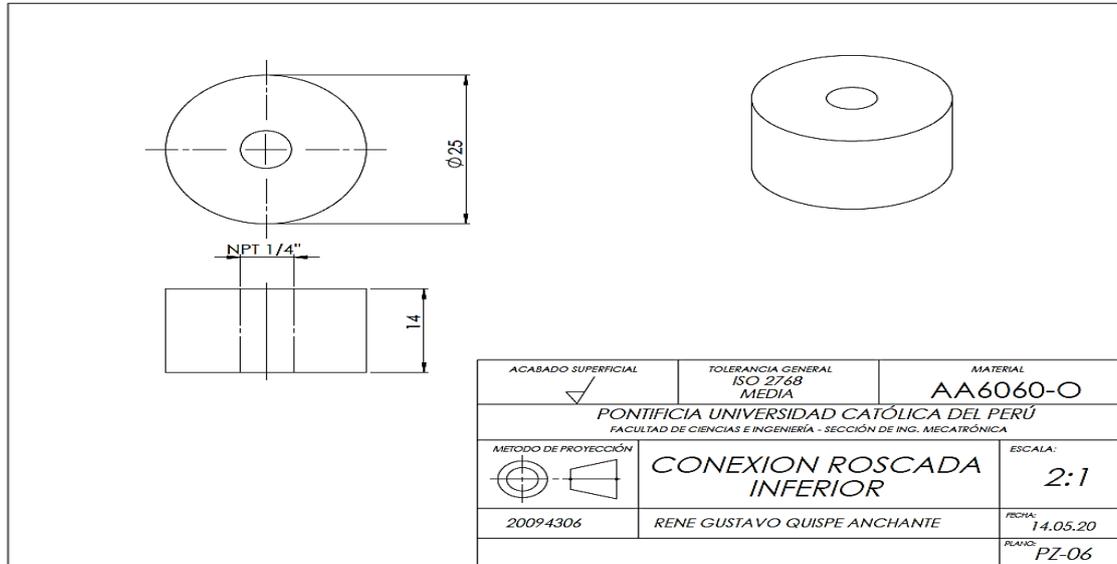


Figura 4.3-10: Plano PZ-06

Fuente: Elaboración propia.

La última pieza correspondiente al ensamble ES-01 (figura 4.3-4) es un soporte superior para elementos internos. Esta pieza cuenta con un agujero pasante en la parte inferior en donde irán acoplados mediante apriete otras 2 piezas de plástico (PZ-15 y PZ-14).

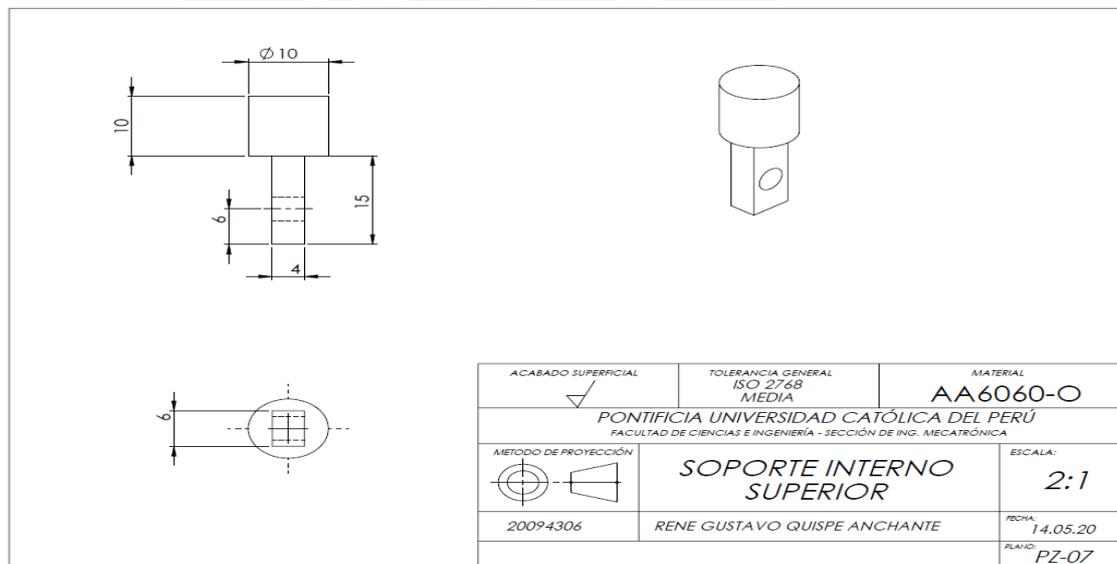


Figura 4.3-11: Plano PZ-07

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se tiene el Casco Principal, de deberán anexar las otras pieza. En la figura 4.3-12 se muestra el plano PZ-08-Domo Semiesférico el cual servirá para que la estructura posea mejor forma hidrodinámica al avanzar y que contenga un sensor de detección de obstáculos de corto alcance en la parte frontal. Esta pieza posee 8 agujeros M8 para atornillarse con la Tapa delantera y los discos de acople del Casco Principal.

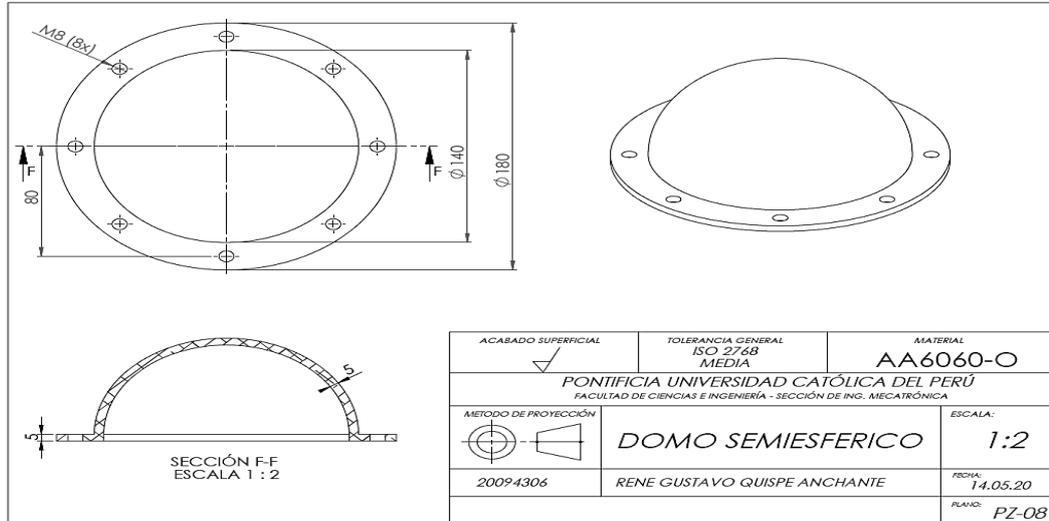


Figura 4.3-12: Plano PZ-08

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.3-13, se muestra el plano PZ-09-Tapa Anterior la cual contiene a la tapa que se ubicará en la parte frontal del AUV, se ubica entre el Casco Principal y el Domo. Posee agujeros M8 para unirse a los otros discos y pequeños agujeros en la parte central donde irán los soportes para la circuitería electrónica que se ubica internamente al equipo

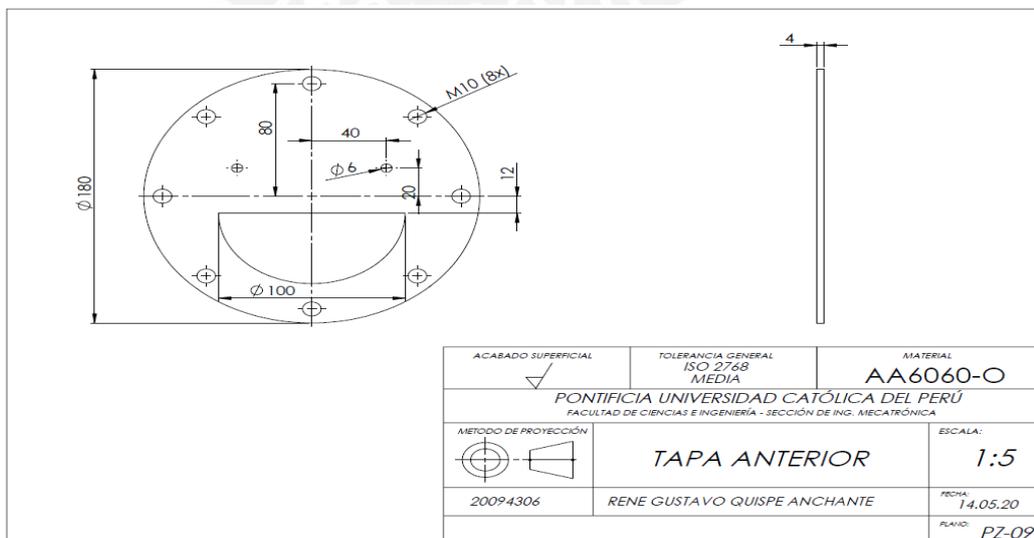


Figura 4.3-13: Plano PZ-09

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestra la Tapa Posterior la cual poseerá tres agujeros en la parte central tipo UNF a los cuales se acoplarán los conectores acuáticos Seacon de $\frac{3}{4}$ de pulgada con 6 pines cada uno. Adicionalmente cuenta con otros agujeros, en la parte central, de menor diámetro que servirán para acoplar soportes para soportar equipos que irán dentro del casco del AUV.

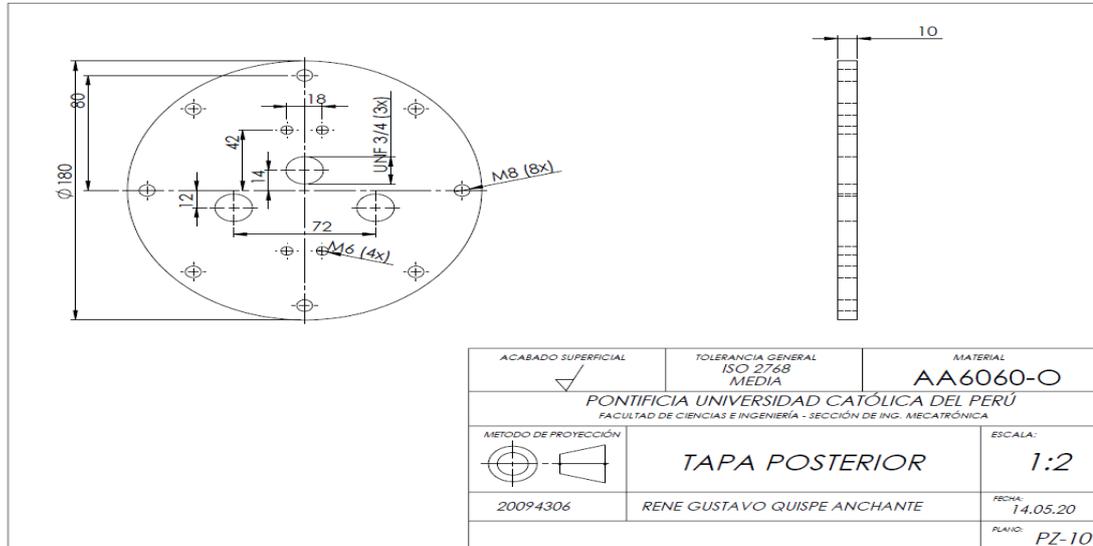


Figura 4.3-14: Plano PZ-10

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.3-15 se muestra el Soporte Interno 1 en el cual se apoyarán las placas a usar. Dicho soporte será acoplado a la pieza PZ-12 y sostenido por la tapa delantera. Se fabricará de un material de menor calidad que el casco porque este no estará en un entorno hostil ya que se encontrará protegido dentro del casco principal.

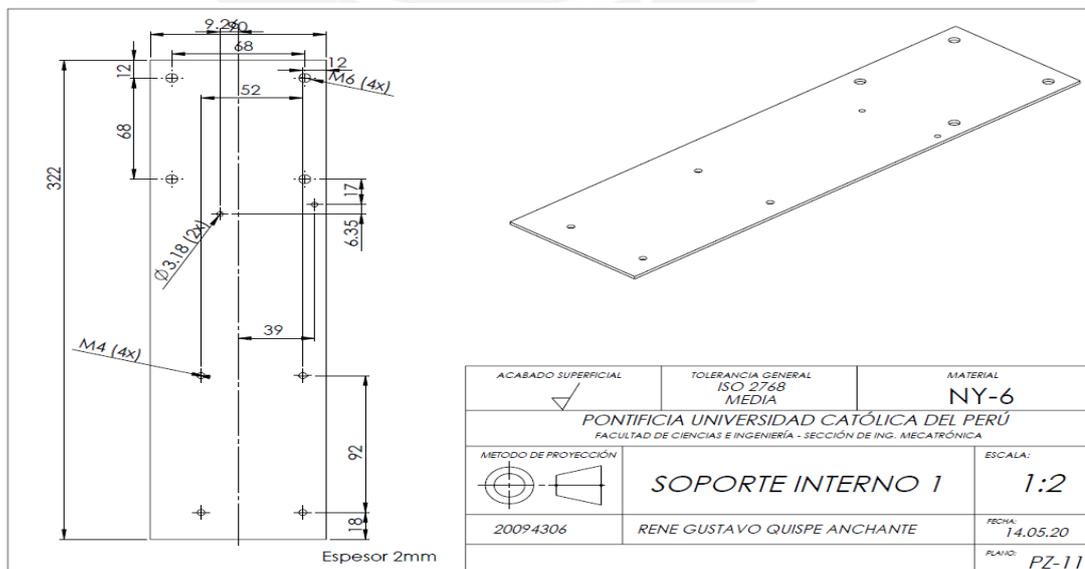


Figura 4.3-15: Plano PZ-11

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.3-16 se muestra el Soporte Interno 2, que junto con la pieza PZ-11 servirán de apoyo de los circuitos electrónicos y será soportado por la tapa delantera PZ-09.

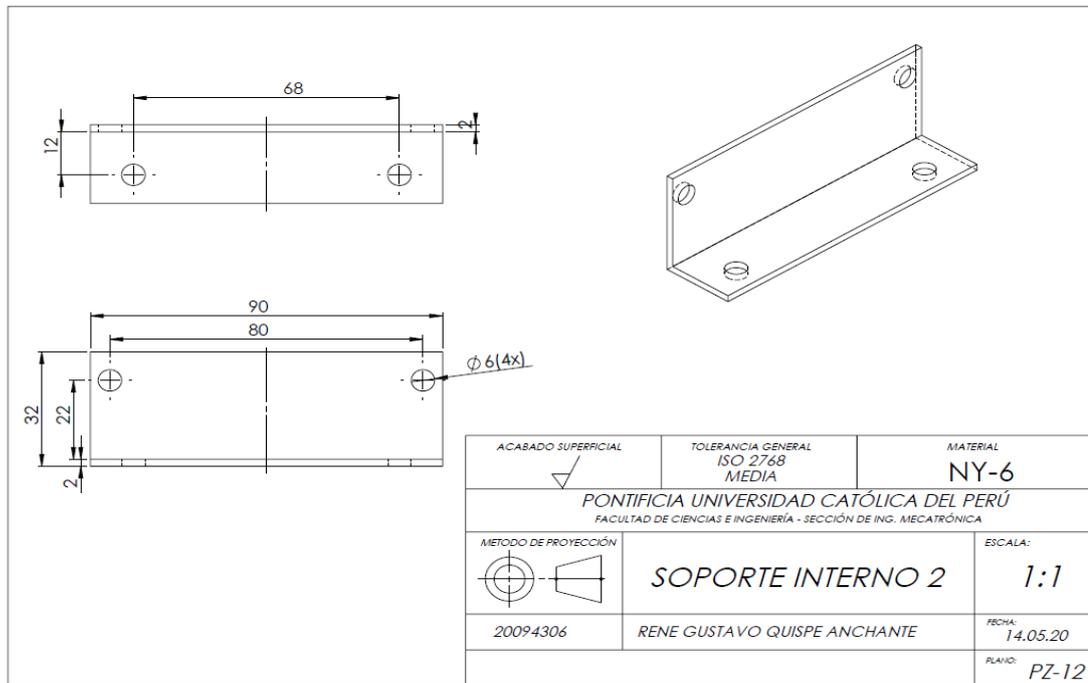


Figura 4.3-16: Plano PZ-12

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del casco también se encontrará el Pod del Sonar de Barrido Lateral y para su sujeción correcta se proponen dos perfiles en forma de U para ser sostenido por la tapa trasera la cual será más fornida que la delantera pues tendrá mayores accesorios como las conexiones Seacon. El plano de uno de estos perfiles es mostrado en la figura 4.3-17.

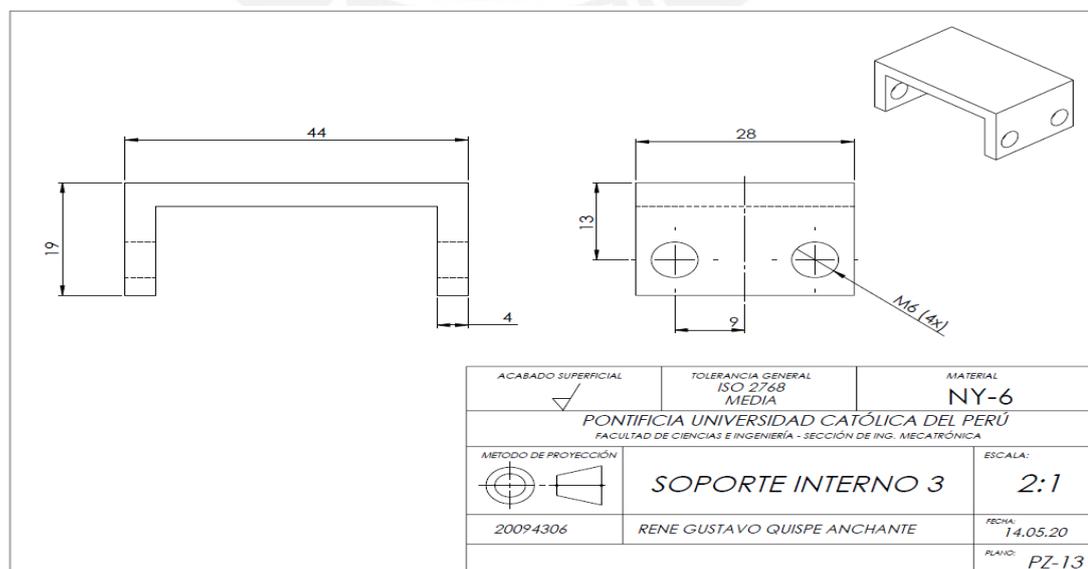


Figura 4.3-17: Plano PZ-13

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 4.3-18 y 4.3-19 se muestran dos soportes internos, que serán unidos en la parte superior por un apriete. El Soporte Interno 4 posee un eje que pasará como pasador por el soporte superior de la pieza PZ-07 y entrará en el agujero de la pieza PZ-15 haciendo un ajuste. Estas piezas serán elaboradas mediante impresión 3D debido a su dificultad de realizarlas mediante mecanizado convencional y la pérdida de material al realizarlo por CNC (sólo será mecanizado el eje y agujero para el ajuste). El ajuste elegido es un ajuste fino H7/m6 para evitar el giro entre eje y agujero [28] considerando un grado de calidad IT9 se obtiene una tolerancia de 30 micras. Entonces se hallarán las dimensiones mínimas y máximas que deberán poseer las piezas para que cumplan la función deseada:

$$T = 30u$$

$$CN = 4$$

$$\Delta_{pos_{eje}} = +4u$$

$$\Delta_{pos_{agujero}} = 0$$

$$CM_{eje} = CN + \Delta + T = 4.034$$

$$Cm_{eje} = CN + \Delta = 4.004$$

$$CM_{agujero} = CN + \Delta + T = 4.030$$

$$Cm_{agujero} = CN + \Delta = 4.000$$

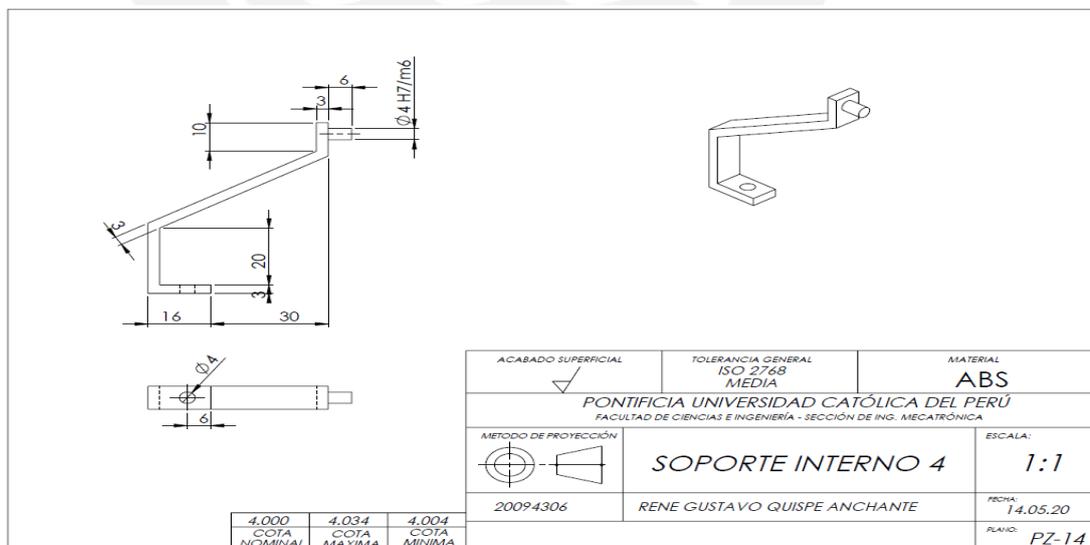


Figura 4.3-18: Plano PZ-14

Fuente: Elaboración propia.

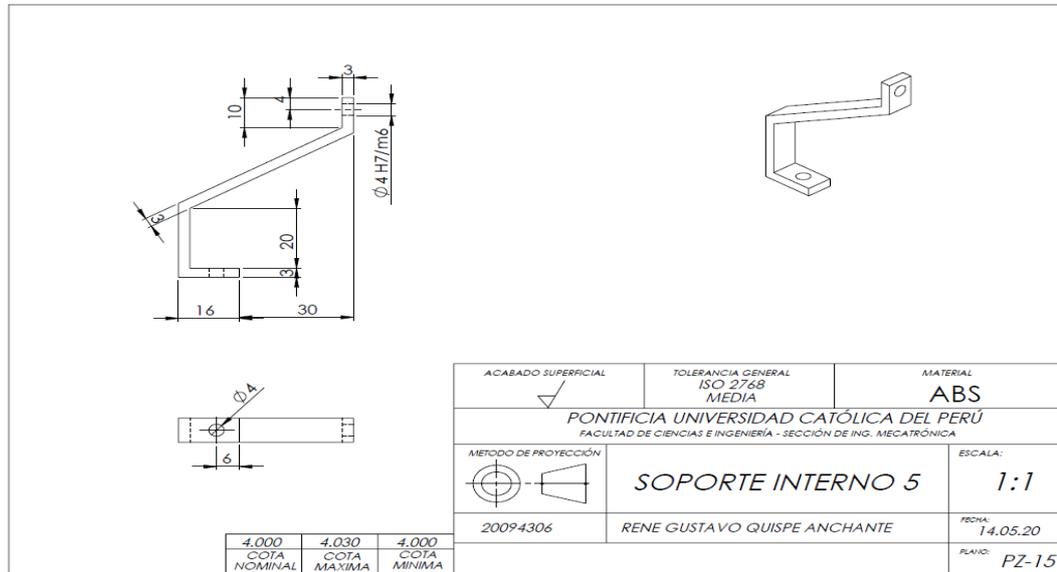


Figura 4.3-19: Plano PZ-15

Fuente: Elaboración propia.

Ahora se presentarán en las siguientes figuras las uniones que sostendrán accesorios externos. Dichas uniones no necesitarán ser de material especial como aluminio pues al ser perfiles el efecto de la alta presión sobre ellos se puede depreciar. Primero se muestra la Unión L N°1 (figura 4.3-20) la cual sostendrá el sensor de barrido lateral, por lo que se debe tener especial cuidado en la ubicación de sus agujeros.

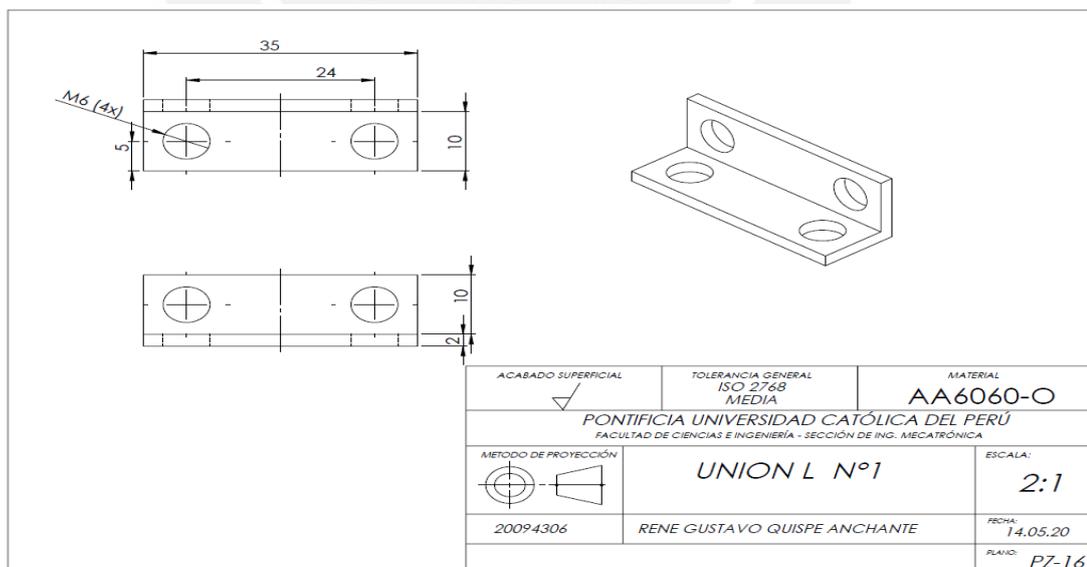


Figura 4.3-20: Plano PZ-16

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente unión corresponde a los soportes para los propulsores que estarán a cargo del movimiento vertical del AUV. Estas uniones podrán ser reemplazadas por otras si existe la necesidad. La forma que poseen actualmente fue diseñada para que sostenga además de los propulsores, a los flotadores que servirán para acercarse a la flotabilidad nula. Es necesario que se ubiquen en el eje vertical del centro de gravedad y de flotación para mitigar inestabilidades por el movimiento de los propulsores.

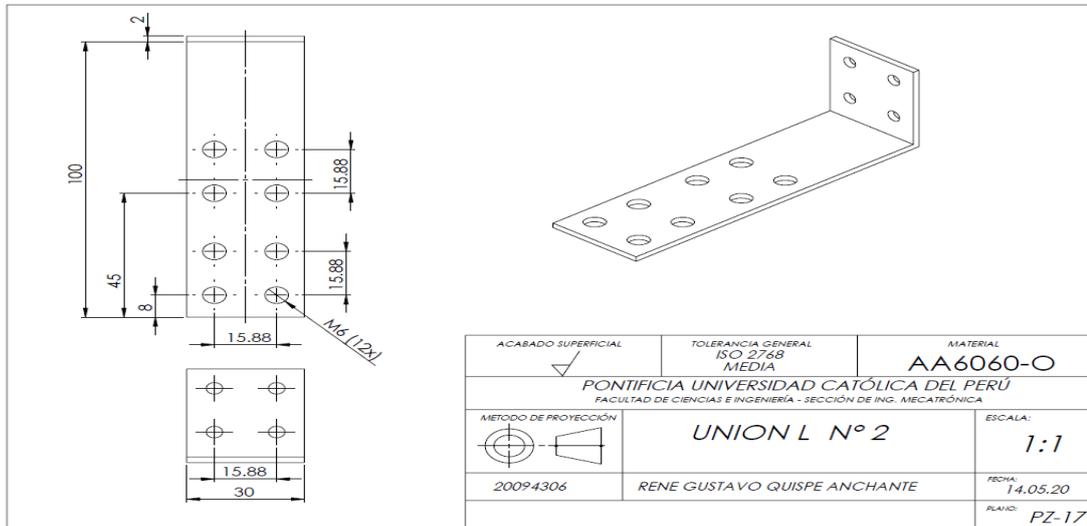


Figura 4.3-21: Plano PZ-17

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la figura 4.3-22, se muestra el plano PZ-18 correspondiente al respectivo mecanizado que se le realizará a la plancha de Espuma de Poliuretano para fabricar los flotadores. Dicha pieza contará con 4 agujeros M8 para su acoplamiento a la pieza PZ-17. El diseño de esta pieza se realizó según los cálculos obtenidos en el anexo 2.

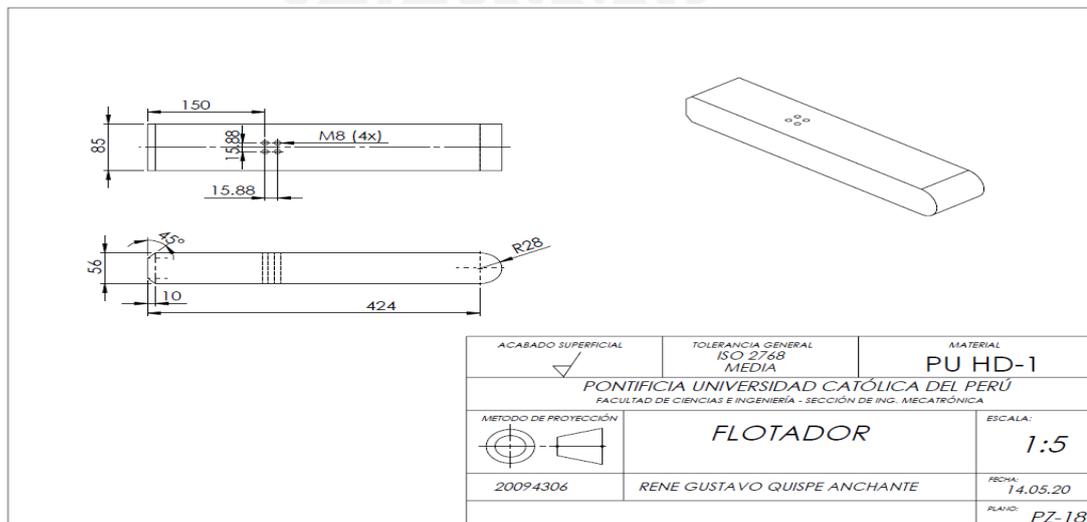


Figura 4.3-22: Plano PZ-18

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Diseño Eléctrico y Electrónico

El Sistema de Control Central consiste en la plataforma de hardware libre Arduino en su versión MEGA cuyo esquemático es el que se muestra en la figura 4.4-1. Dicha plataforma cuenta con 12 entradas analógicas, 54 pines de entrada/salida digital, de los cuales 14 generan salidas PWM, y 4 canales para comunicación serial. De entre los mencionados, se usarán 4 salidas PWM para controlar la velocidad de los propulsores y 3 canales seriales para comunicación con el sensor inercial, módulo XBee y con el sensor de adquisición de datos Side Scan Sonar. Además, esta plataforma proporciona pines para comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) los cuales son SS, MOSI, MISO y SCK en los pines 50, 51, 52 y 53 respectivamente. A pesar de que el hardware proporciona este tipo de comunicación, actualmente no está incluido en el lenguaje Arduino por lo que se usaran instrucciones de una librería específica llamada SPI Library [29].

Como se puede observar en el respectivo esquemático, el Arduino Mega está basado en el microcontrolador ATmega1280 que posee una memoria flash de 128KB, 8KB de SRAM y 4KB de EEPROM. Además se le puede alimentar vía USB o a través del pin VIN mediante el uso de una fuente de energía externa como lo puede ser una batería.

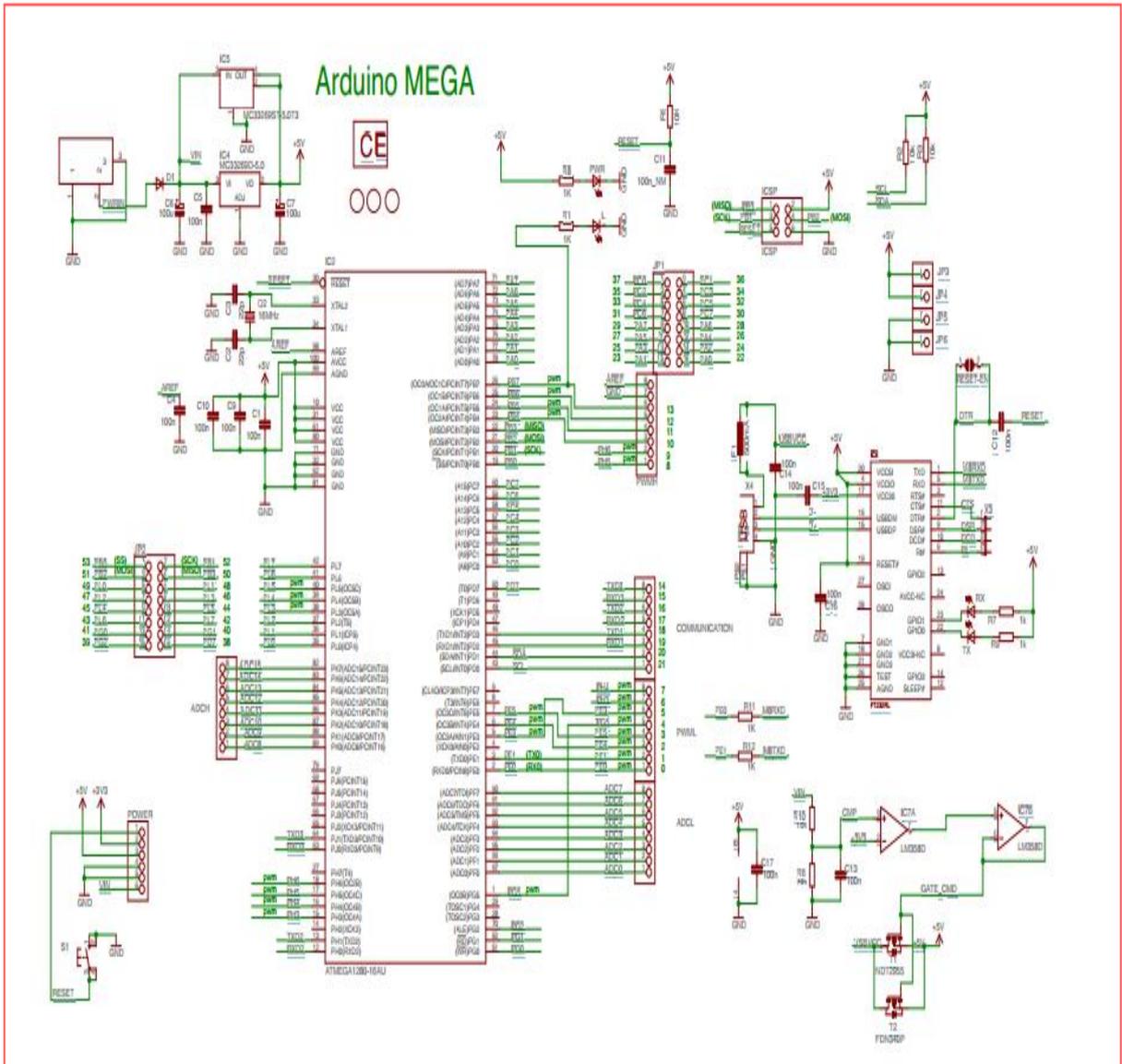


Fig. 4.4-1: Esquemático de Arduino Mega

Fuente: [22]

El Sistema de Comunicación Inalámbrico está compuesto por un módulo de comunicación inalámbrico que estará acoplado en un Shield SD inalámbrico (Wireless SD Shield) del cual se muestra su diagrama esquemático en la figura 4.4-2. Dicho Shield permite al Arduino Mega comunicarse de forma inalámbrica usando un módulo de comunicación inalámbrico (en el caso del presente trabajo será un Xbee) y además una muesca para insertar una memoria SD para adicionar espacio de almacenamiento y guardar información usando la librería SD [23] mediante comunicación SPI (Serial Peripheral Interface). Se deberá tomar en cuenta que de usar esta librería, el pin 4 funcionara como CS y no podrá ser usado de otra forma.

El XBee deberá ser colocado en el socket ubicado en la placa del módulo Wireless SD Shield y a su vez, esta placa deberá ser montada encima de la placa del Arduino Mega.

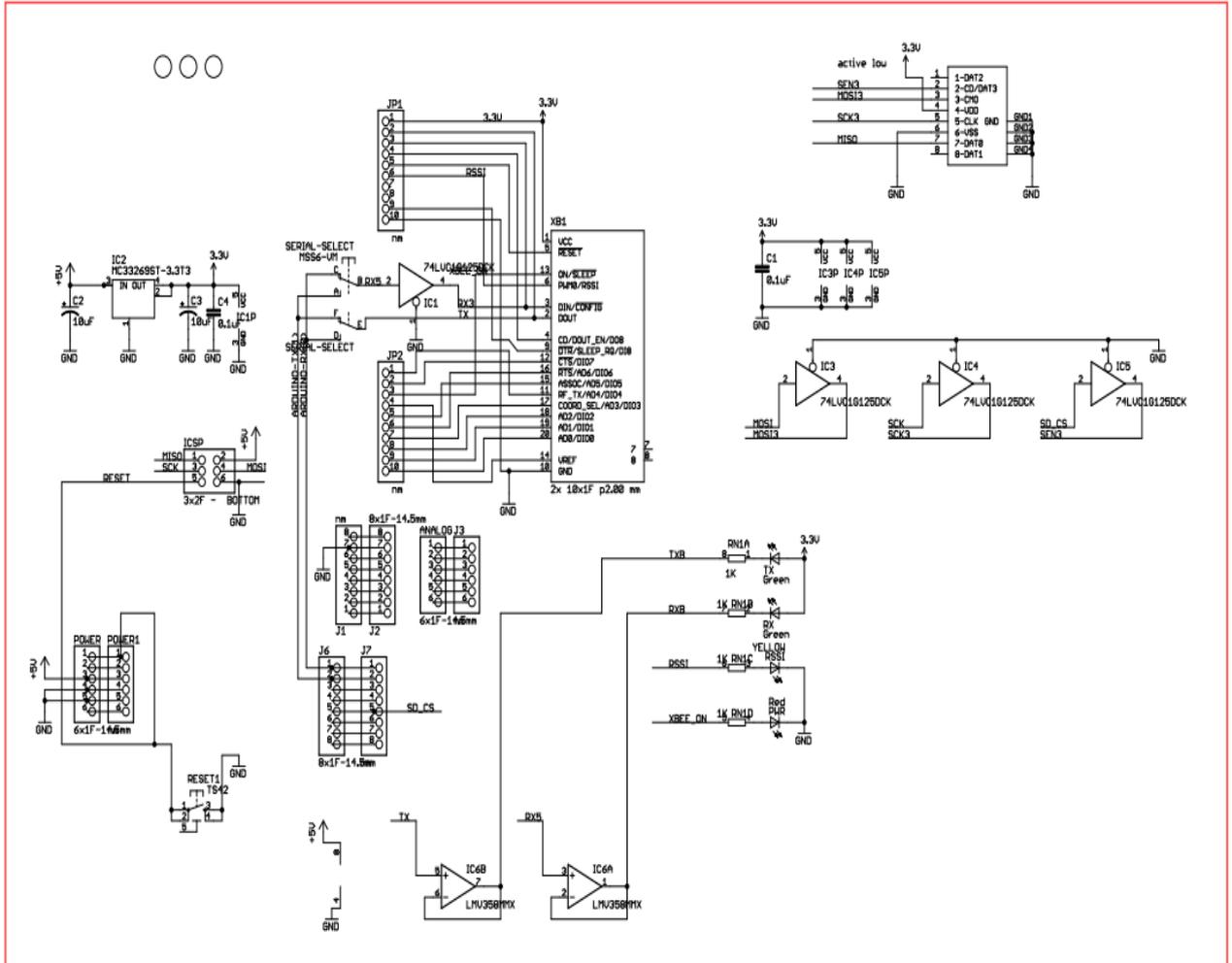


Figura 4.4-2: Esquemático de Wireless SD Shield

Fuente: [25]

Para el Sistema de navegación, se usarán 4 sensores: el sensor inercial, GPS, compás y presión. Sus respectivas conexiones se mostrarán a continuación.

Para el GPS SkyNav SKM53 Series que cuenta con antena GPS embebida y con 6 pines para su funcionamiento los cuales se muestran en la figura 4.4-3 se diseñó el conexionado mostrado en el esquemático de la figura 4.4-4 en el cual se puede apreciar 3 bloques de conectores.

El primer bloque CON11 cuenta con 2 pines y servirá para suministrar la energía de 5V, el segundo bloque GPS2 cuenta con 5 pines a los cuales llegarán directamente las conexiones del sensor GPS que serán usadas (el pin PPS para pulso auxiliar de 200ms no será usado). En el bloque 3 ARD-09 se encuentran 3 pines para realizar su conexión con el Arduino para los pines TX, RX y un pin de Salida Digital, que en este caso será D49, para resetear el sensor si así fuese necesario.

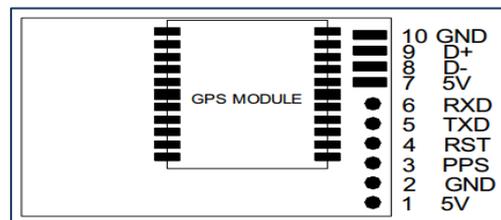


Figura 4.4-3: Pines SkyNav53

Fuente: [20]

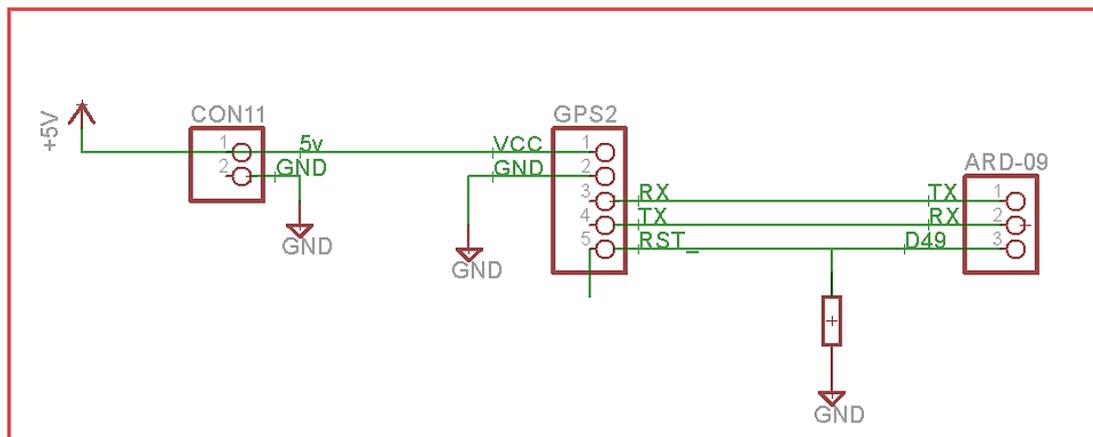


Figura 4.4-4: Esquemático de conexiones GPS

Fuente: Elaboración propia

El sensor inercial de seis grados de libertad ADIS 16367, viene con una interfaz para facilitar el conexionado entre los componentes electrónicos. El sensor se conecta directamente al PCB mediante un cable plano y el PCB posee a su vez 2 sockets: J1 y J2. La conexión sensor-PCB y los sockets son mostrados en la figura 4.4-5.

El J1 contiene las conexiones suficientes y necesarias para poder trabajar con el sensor y el J2 posee las conexiones auxiliares en caso se desee adicionar algún dispositivo. Para el trabajo desarrollado en este documento, es únicamente necesario usar las conexiones proveídas en el socket J1 y es que a partir de esto

se diseña el esquemático de la figura 4.4-6 para las conexiones del sensor inercial y el Sistema de Control Central (Arduino Mega).

En el esquemático se muestran 3 bloques de conexiones. El primer bloque CON12 contiene 2 pines para la alimentación necesaria. El segundo bloque J1-IMU4 contiene las conexiones para realizar las respectivas uniones con el socket J1. Finalmente, el tercer bloque de 4 pines servirá para realizar la conexión con el Arduino Mega y realizar la comunicación SPI a través de sus pines SCK, MISO, MOSI y SS_.

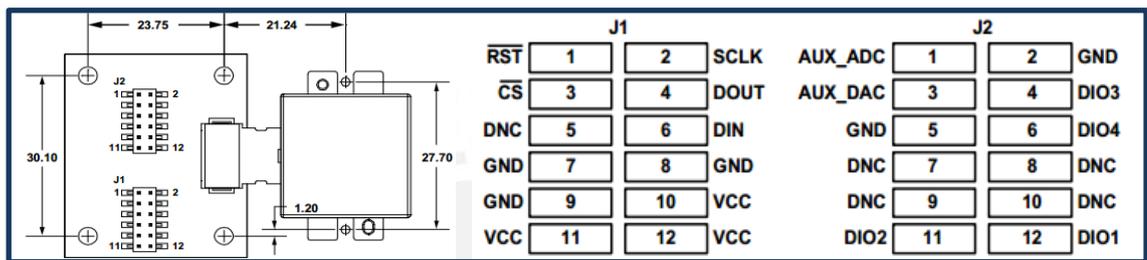


Figura 4.4-5: Pines ADIS 16367

Fuente: [30]

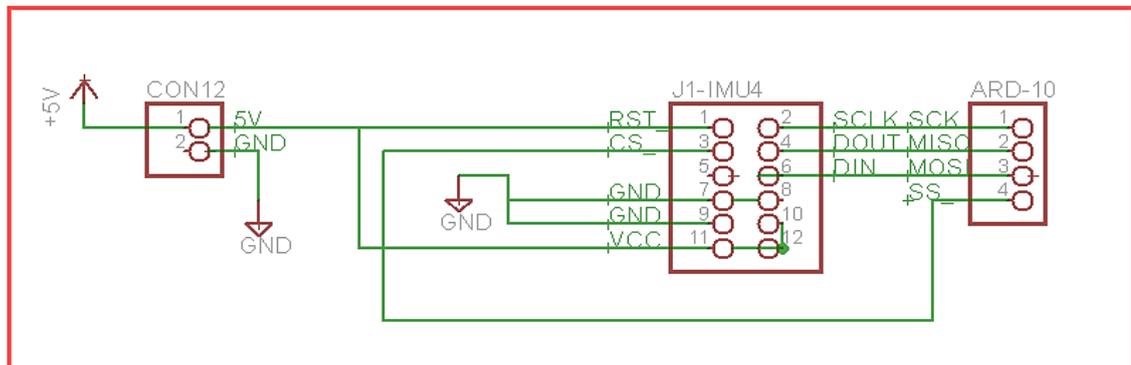


Figura 4.4-6: Esquemático de conexiones Sensor Inercial

Fuente: Elaboración propia

El sensor de presión TDH30 permitirá conocer la presión externa y de esa forma saber indirectamente la profundidad a la que el AUV está sumergido. En la figura 4.4-7 se muestran los pines físicos del sensor de los cuales el número 4 (parte inferior) se deja sin conexión.

En la figura 4.4-8 se muestra el esquemático del conexionado propuesto. Dicho esquemático consta de 3 bloques. El primero CON13 sirve para la alimentación requerida, el segundo bloque contiene los 3 pines para la conexión directa con el sensor de presión y el tercer bloque ARD-11 consta de únicamente un pin pues

este pin será la salida del TDH30 que emitirá un voltaje que será leído por un canal analógico en el Arduino Mega para su procesamiento.

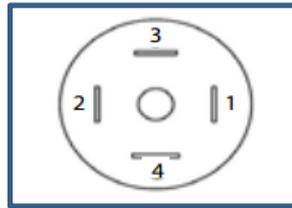


Figura 4.4-7: Pines TDH30
Fuente: [17]

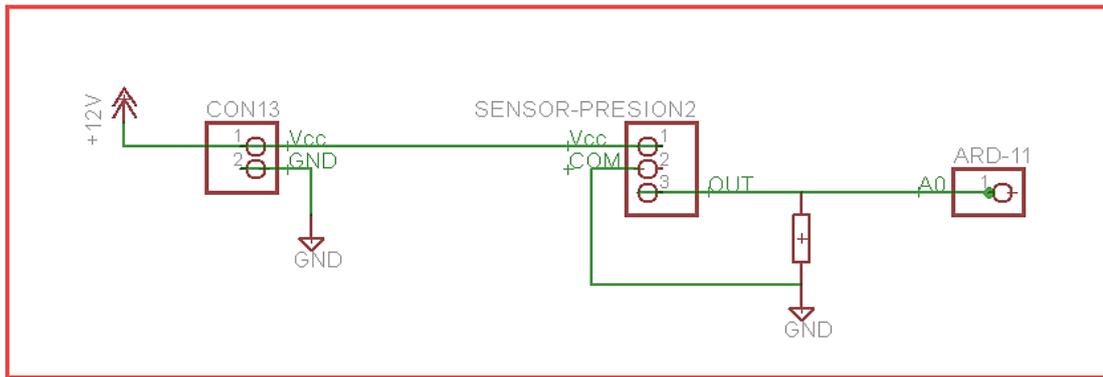


Figura 4.4-8: Esquemático para Sensor Presión
Fuente: Elaboración propia

El compás HMC2003 de la marca Honeywell, permitirá hallar la orientación angular del AUV en base a las mediciones del campo magnético terrestre. Este sensor está compuesto por dos sensores, el HMC1001 y el HMC1002, el primero cuenta con un sensor magnético en un eje y el segundo en dos ejes pudiendo unirse para poder obtener una lectura en los tres ejes que brinda el HMC2003. Las conexiones necesarias entre este sensor y el sistema del AUV se muestran en la figura 4.4-9.

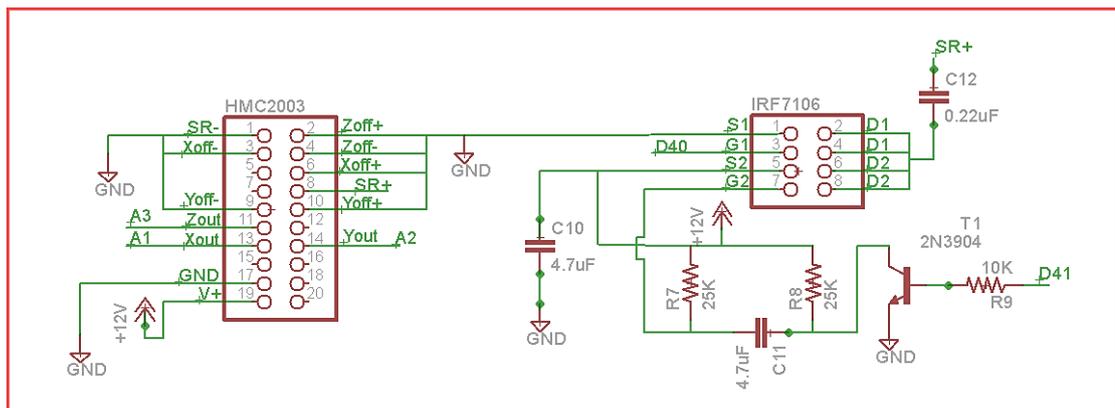


Figura 4.4-9: Esquemático sensor Magnético
Fuente: Elaboración propia

El esquemático del sensor magnético muestra las conexiones con los pines analógicos A1, A2 y A3 del Arduino, que realizarán las lecturas en los tres ejes, y también con los pines digitales D40 y D41 del Arduino para poder setear los valores de lectura en caso algún campo magnético de gran intensidad descalibre el sensor.

Para el Sistema de Alimentación de energía, se propone el conexionado mostrado en el esquemático de la figura 4.4-10 en el cual se muestra el uso de 2 reguladores de voltaje: el LM 212 y el LM278. El primero recibirá un voltaje de 14.8 V y brindará un voltaje reducido constante de 12V que alimentará a algunos componentes con este requerimiento. Luego, ese mismo voltaje de 12V ingresará al integrado LM278 para reducir el voltaje a 5V continuos para alimentar a los otros dispositivos.

El primer bloque BAT 14.8V mostrado en el esquemático servirá para la alimentación inicial mediante una batería, el segundo bloque consta de 3 pines para poder distribuir la alimentación necesaria a los demás dispositivos electrónicos, dicha alimentación consta de un pin de 12V, otro pin de 5V y de una pin para la conexión a tierra o masa.

Adicionalmente, cabe mencionar que, en este esquemático no se tomó en cuenta la batería de 22.2V para el circuito de potencia que alimentará a los propulsores y al sensor de Escaneo por barrido lateral (SSS) pues este será mostrado directamente en el esquemático final general de la figura 4.4-11.

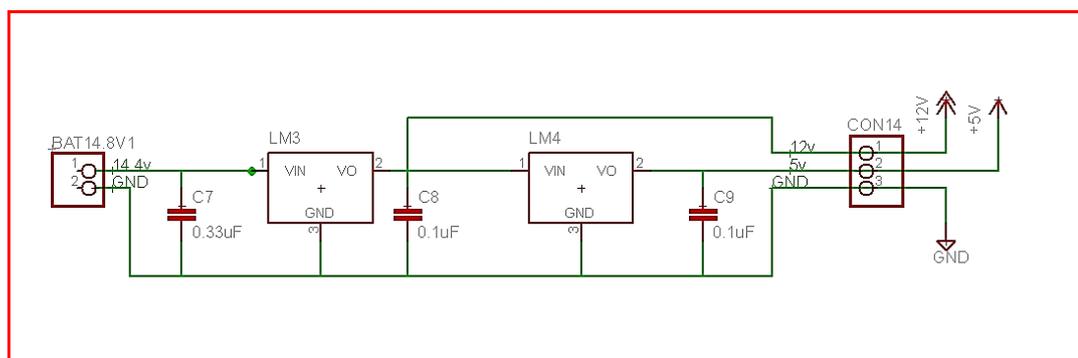


Figura 4.4-10: Esquemático para regulación de Alimentación

Fuente: Elaboración propia

Para el Sistema de Propulsión se plantea el esquemático de la figura 4.4-11 en el cual se muestra el bloque ARD-12 con 4 pines para el ingreso de las señales PWM de control provenientes del Arduino Mega, el bloque CON15 con los 2 pines para la alimentación y además otros 4 bloques de 3 pines cada uno a los que serán

conectados los ESC (Electronic Speed Controller) para cada uno de los 4 propulsores usados. El cableado del ESC consiste de 3 hilos delgados de control, uno rojo para la alimentación del controlador (no se usa ya que el controlador ya tiene su propia alimentación), marrón para tierra (también sin usar ya que controlador tiene su propia alimentación), uno naranja para la señal PWM y otros 2 hilos gruesos color rojo y negro para alimentación al propulsor y tierra respectivamente.

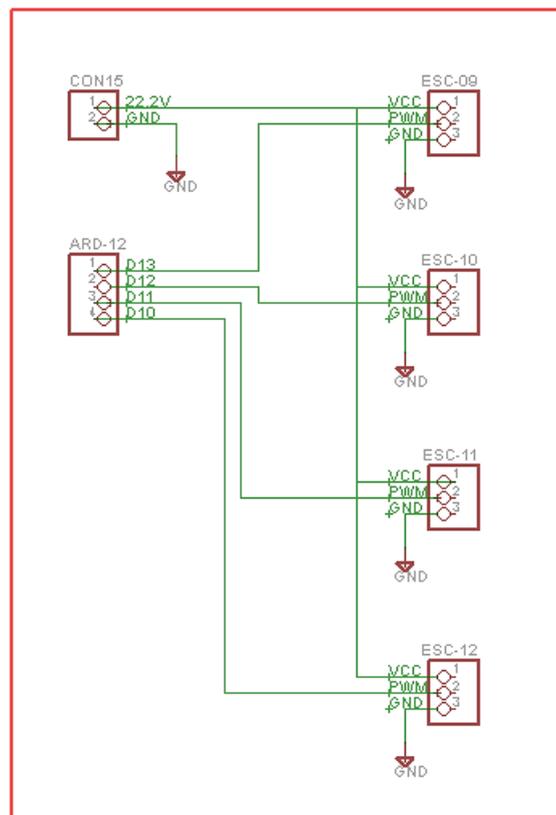


Figura 4.4-11: Esquemático Sistema de Propulsión

Fuente: Elaboración propia

Para el Sistema de Adquisición de Datos, se plantea el esquemático de la figura 4.4-12 que consta de únicamente un sensor que es el Side Scan Sonar SeaKing cuyo conector posee 6 pines ya mencionados y mostrados anteriormente en la figura 4.2-3. En el mencionado esquemático consta de dos bloques de 2 pines cada uno, el que se encuentra en la parte superior posee las conexiones de alimentación de la batería de 22.2V y el bloque que se encuentra en la parte inferior son las 2 conexiones seriales del Arduino TX y RX para los pines 18 y 19 respectivamente del canal 1.

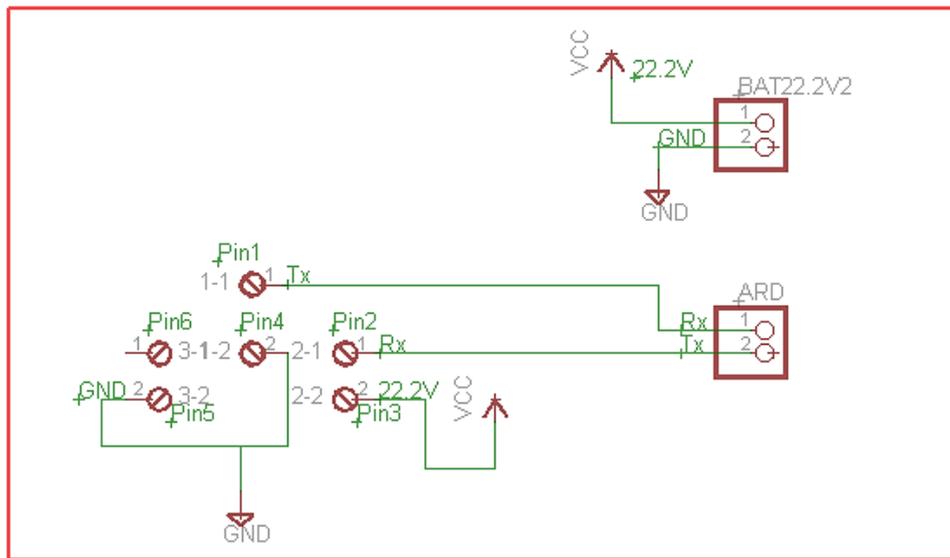


Figura 4.4-12: Esquemático Sistema Adquisición de Datos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.4-13 se encuentra un diagrama simplificado de bloques en el que se muestran todos los dispositivos y las señales de comunicación entre los Sistemas componentes del AUV.

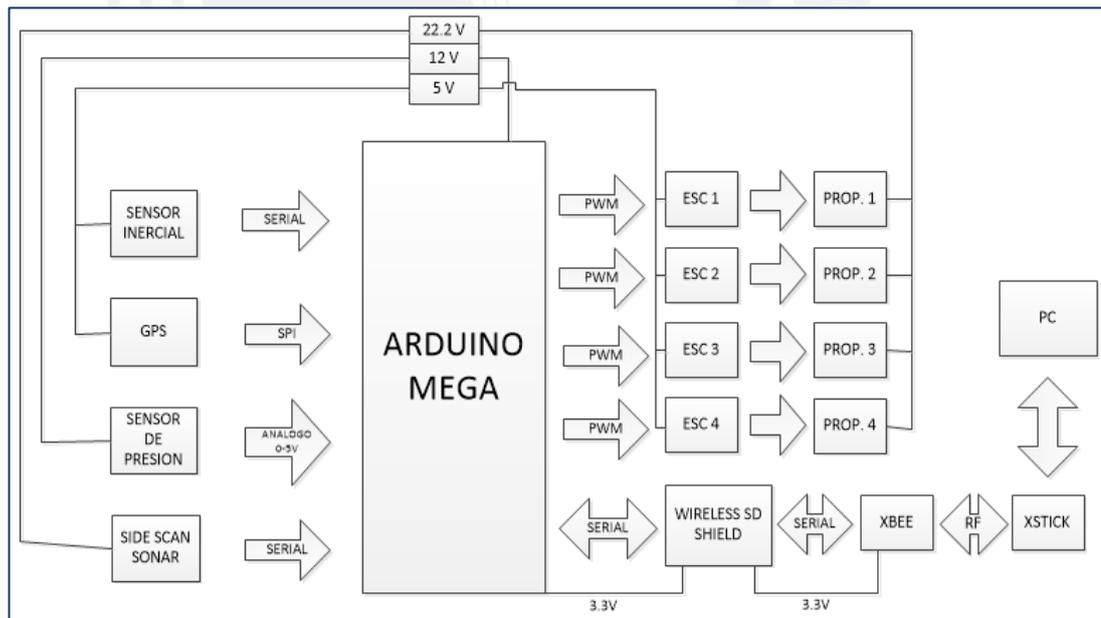


Figura 4.4-13: Diagrama simplificado de bloques

Fuente: Elaboración propia

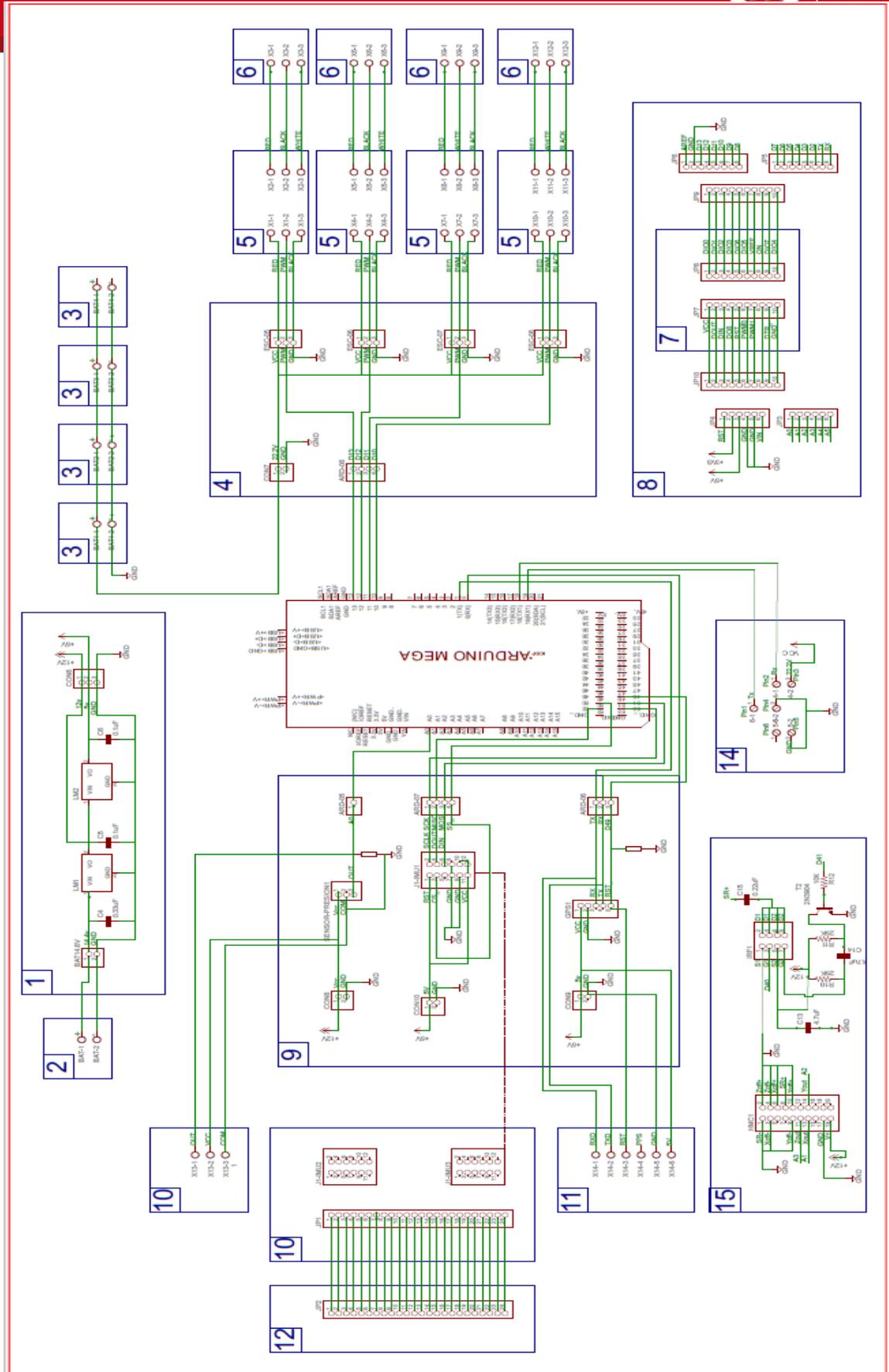


Figura 4.4-12: Diagrama de conexiones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.4-12 se muestra el esquemático electrónico general en el cual se muestra el conexionado de todos los elementos electrónicos involucrado en el desarrollo del sistema completo. En el esquema se puede visualizar que algunas conexiones, sockets y otros han sido agrupados en cuadros con un número en la esquina superior izquierda del bloque con el fin de identificar las conexiones que pertenecen a un solo dispositivos, sensor o sistema. A continuación se indican los cuadros:

Cuadro 1: Conexión del sistema de regulación de Alimentación

Cuadro 2: Batería Li-Po de 14.8V

Cuadro 3: Batería Li-Po de 22.2V

Cuadro 4: Conexión del sistema de propulsión

Cuadro 5: ESC – Electronic Speed Controller

Cuadro 6: Propulsor CrustCrawler

Cuadro 7: Xbee

Cuadro 8: Wireless SD Shield para Arduino

Cuadro 9: Conexión del sistema de navegación

Cuadro 10: Sensor de Presión

Cuadro 11: GPS SkyNav

Cuadro 12: Sensor Inercial ADIS

Cuadro 13: PBC para sensor Inercial ADIS

Cuadro 14: Side Scan Sonar

Cuadro 15: Magnetómetro Honeywell HMC2003

4.5 Diseño del Software

Como se mencionó inicialmente en el Concepto de Solución, antes de realizar una misión, el AUV tendrá que comunicarse con una computadora portátil para recibir información sobre la zona de exploración y realizar también algunas otras configuraciones de parámetros para la misma. En el presente trabajo se desarrolla el diagrama de flujo necesario con el que se podrá programar el software para llegar a los resultados deseados, las especificaciones técnicas (tipos de datos), y finalmente se propone un diseño de interfaz que deberá ser elaborada posteriormente.

En la figura 4.5-1 se muestra un diagrama de bloques del funcionamiento general, el software recibirá la posición actual en la que se encuentra el AUV (asumiendo que ya se encuentra en el mar preparado para emprender la misión) y enviará dicha información al programa. Luego, usando la aplicación libre Google Maps de la empresa del mismo nombre se observará en el programa un mapa con la posición actual del AUV y de sus alrededores y el usuario deberá ingresar la zona a explorar (4 puntos) para que el sistema haga su trabajo y mediante algunos algoritmos especializados generará un ruta para acercarse a la zona indicada, realizar un barrido y finalmente regresar al punto de inicio en el que se inició la misión. Dicha ruta será almacenada en un arreglo y enviada al AUV. Una vez cargada la información, se podrá dar inicio a la misión.

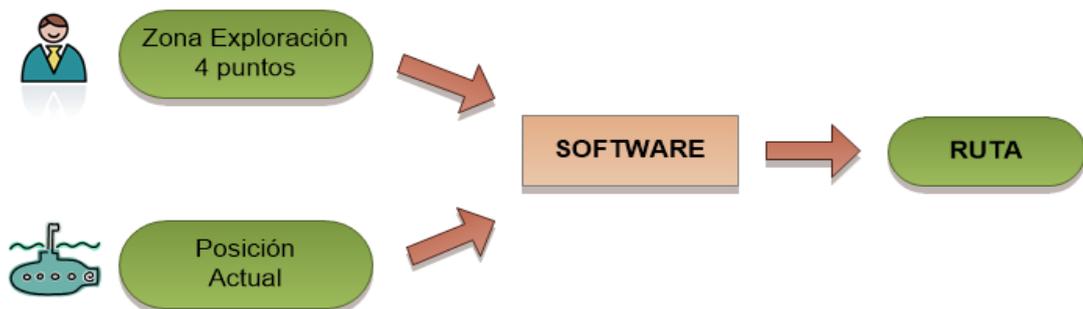


Figura 4.5-1: Diagrama de bloques de funcionamiento del Software

Fuente: Elaboración propia

Al momento de diseñar el software se debe de tomar en cuenta el tamaño de memoria disponible del Sistema de Control Central ubicado dentro del AUV. En nuestro caso, especial atención se debe tener al momento de generar una ruta, pues los datos que se transmitirán al Arduino serán de tipo Double para latitud y longitud. Para usar datos numéricos con decimales en arduino, necesitaremos usar variables del tipo FLOAT o DOUBLE (en Arduino no existe ninguna diferencia entre ambos) que pueden ser tan grande como 3.4028235×10^{38} con 7 dígitos decimales de precisión, dichas variables son almacenadas en 32 bits (4 bytes) [31].

Cada punto en la ruta tendrá 2 valores (latitud y longitud), dado que cada valor tiene un tamaño de 4 bytes se tendrá un total de $2 \times 4 = 8$ bytes por punto. Recordando los valores de memoria del Arduino Mega [22] mostrados en la Tabla 4.5-1, se decidió usar la memoria EEPROM debido a su tamaño y a que no almacenarán datos para alguna otra función que no sea la ruta. Por lo tanto, con los 4KB (4096 Bytes) de memoria se podrán almacenar un máximo de 512 puntos en la EEPROM del Arduino Mega (esta cantidad variará de ser usado otro tipo de plataforma que no sea Arduino Mega).

Tabla 4.5-1.
Fuente: Elaboración propia

MEMORIA ARDUINO MEGA 2560			
Tipo Memoria	Tamaño	Tipo	Descripción
FLASH	256 KB	No volátil	Se almacena el programa
SRAM	8 KB	Volátil	Se almacenan y manipulan variables al ejecutar el programa
EEPROM	4 KB	No volátil	Se usa para almacenar información a largo plazo

A continuación, se procederá a detallar la interfaz propuesta del Software mencionado.

Una vez lanzada la aplicación, se podrá observar la ventana mostrada en la figura 4.5-2 en la cual se aprecia la primera y principal ventana que consta de 2 indicadores y 4 botones:

- Indicador Conectado: Comprueba que exista señal bidireccional con el AUV.
- Indicador Ruta Cargada: Comprueba que exista una ruta cargada en el AUV.
- Nueva Exploración: Servirá para llevarnos a la ventana del mismo nombre (figura 4.5-3) en la que ingresarán los parámetros para la nueva misión a realizar.
- Iniciar Exploración: Comprobará si el indicador de Ruta Cargada se encuentra en estado correcto y de ser así enviará una señal al AUV para que avance e inicie la misión encomendada.
- Configuración: Con esta opción, se podrán modificar algunos parámetros para la exploración tales como velocidad de crucero, profundidad para exploración, etc.
- Salir: Cerrará la ventana y finalizará la aplicación.



Figura 4.5-2: Ventana Principal Software

Fuente: Elaboración propia

Al hacer clic en el botón “Nueva Exploración” nos llevará a una nueva ventana como la mostrada en la figura 4.5-3. En dicha ventana, se mostrará la ubicación actual ORIGEN del AUV y sus coordenadas geográficas, además el usuario deberá indicar 4 puntos los cuales definirán la zona a explorar. En la sección izquierda de la ventana se podrán observar las coordenadas geográficas de los puntos seleccionados.



Figura 4.5-3: Ventana Nueva Exploración Software

Fuente: Elaboración propia

Una vez se tengan definidos los 4 puntos necesarios, se deberá seleccionar el botón “Generar Ruta” para que el programa ejecute los algoritmos indicados para obtener la ruta que guiará al AUV. La ventana Generar Ruta se muestra en la figura 4.5-4 y en ella se puede apreciar con mayor claridad la zona a explorar y la ruta que seguirá el AUV. Dicha ventana cuenta con 3 botones:

- Cargar Ruta: Al seleccionar esta opción, el software envía la ruta generada al AUV en forma de arreglo bidimensional del tipo float.

- Ver Coordenadas: Esta opción permitirá visualizar la ruta generada de forma analítica pues se mostrarán todos los puntos geográficos incluidos en la ruta y se verá la zona y ruta alineadas con los ejes en los cuales fueron trabajados.
- Volver: Para cerrar la ventana actual y volver a la anterior.

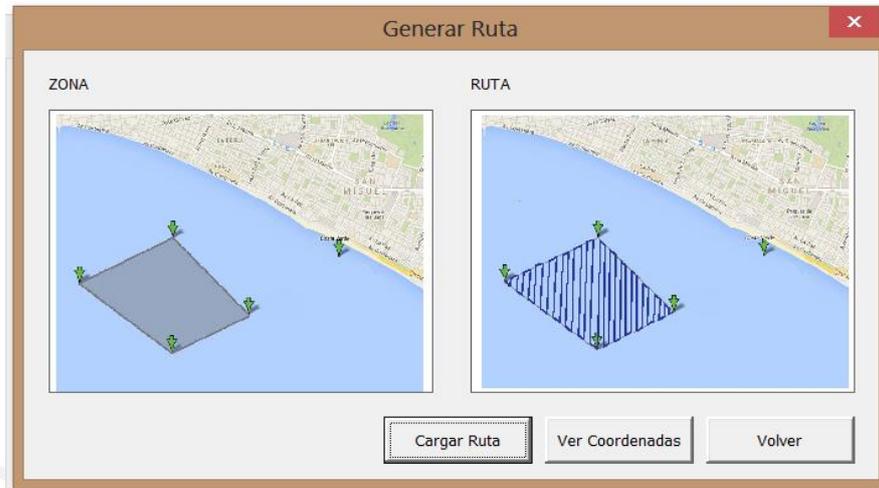


Figura 4.5-4: Ventana Generar Ruta Software
Fuente: Elaboración propia

Al seleccionar la opción “Ver Coordenadas”, se visualizará una nueva ventana del mismo nombre como la mostrada en la figura 4.5-5. En dicha ventana se mostrarán en el lado izquierdo la coordenadas de los puntos que comprenden la ruta generada para la misión y al lado derecho se observa la zona y la ruta con sus respectivos ejes cartesianos a partir de los cuales fueron trabajados.

En la parte inferior se pueden observar 2 botones, el botón que indica “Exportar” servirá para exportar los datos de las coordenadas de la ruta hacia otro formato como por ejemplo una tabla de Excel.

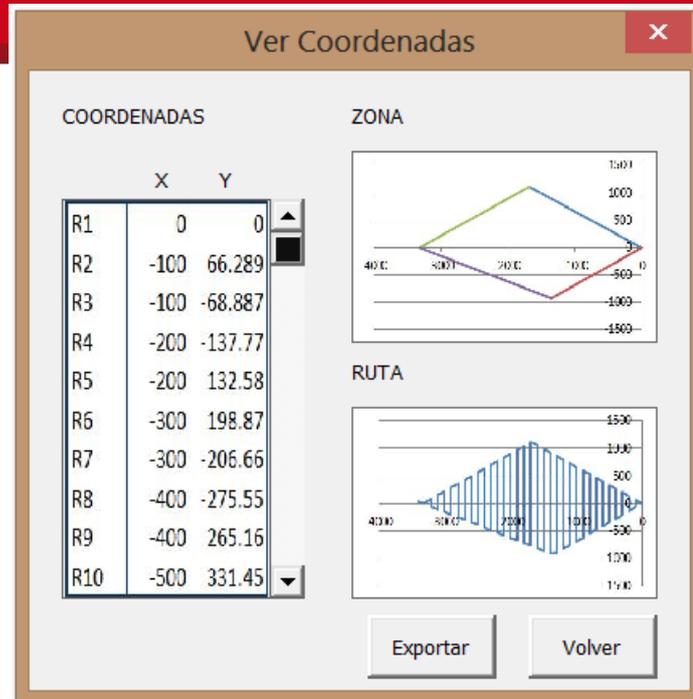


Figura 4.5-5: Ventana Ver Coordenadas Software

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5-6 se muestra gráficamente la solución para generar la ruta: P1, P2, P3 y P4 son los 4 puntos de la zona a explorar. Se obtiene la recta de P1 a P3, y se hallan sus perpendiculares L_i cada 100m (valor obtenido según alcance del SSS) para obtener así la intersección de estas perpendiculares con L_a y L_b las cuales serán intercaladas según se avance con L_{12} y L_{23} así como con L_{14} y L_{34} .

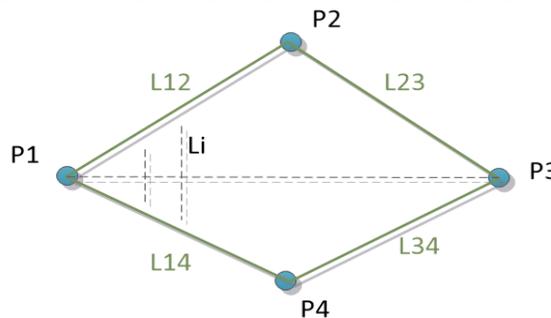


Figura 4.5-6: Diagrama generar ruta.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5-7 se muestra el diagrama de flujo para implementar el programa de generación de ruta en base a la solución propuesta mostrada en la figura anterior. El bloque catalogar hará que los puntos 1 y 3 sean tales que la recta que los une L_{13} sea de menor longitud que L_{24} para que la ruta posea la menor cantidad posible de giros optimizando de esta forma la trayectoria. Los puntos son leídos en formato de coordenadas geográficas para luego ser convertidos a cartesianas y

realizar un giro en este plano cartesiano haciendo que P1 y P3 estén sobre el eje horizontal X para facilitar el entendimiento de los cálculos. Al obtener los puntos de la ruta, estos serán vueltos a su formato de coordenadas geográficas y enviadas al AUV.

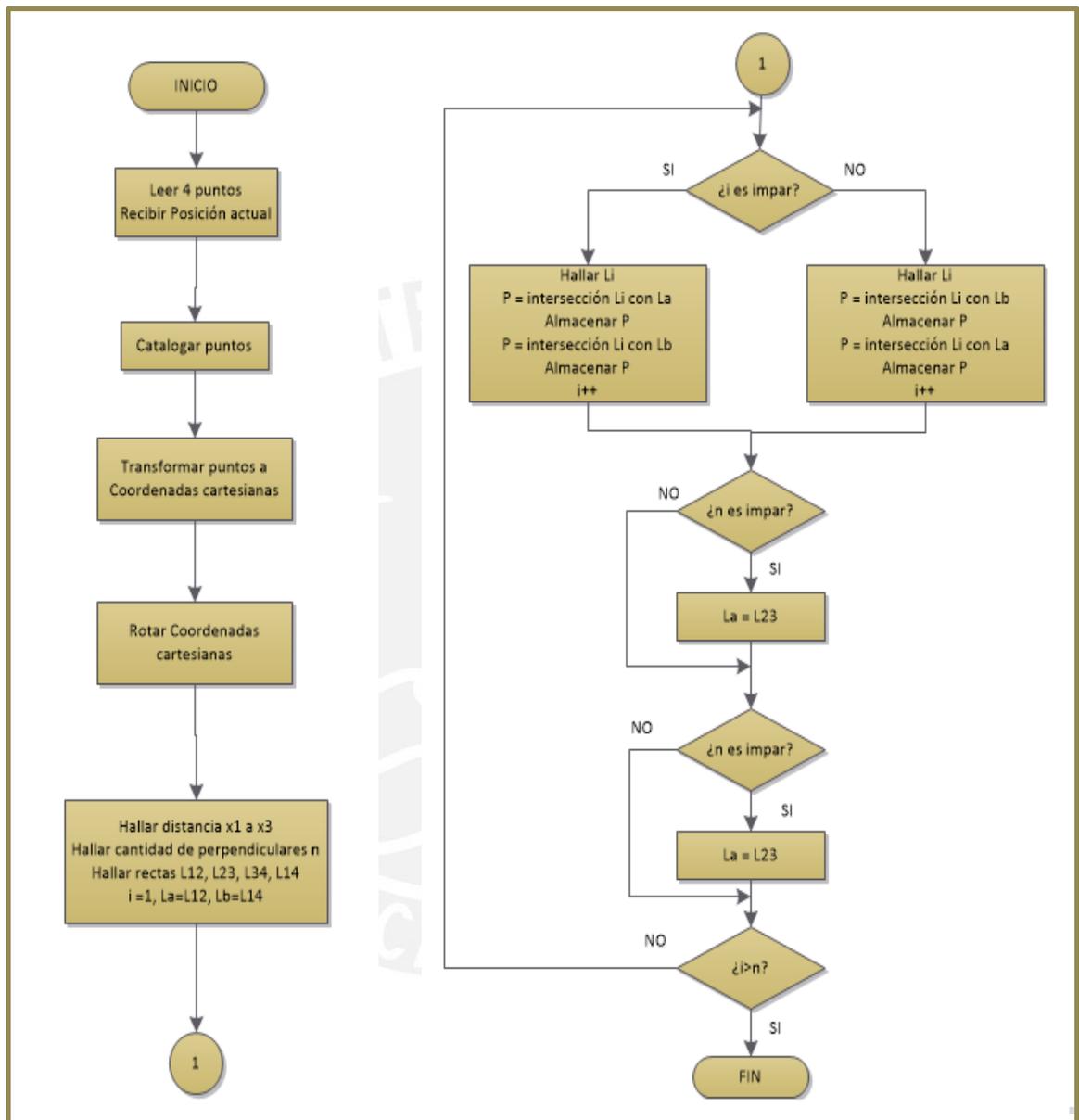


Figura 4.5-7: Diagrama de flujo para generar ruta.

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Diagrama de Flujo del Programa de Control

En la figura 4.6-1 se muestra el diagrama de flujo de control del AUV que consta de 3 sub-rutinas las cuales son desarrolladas en diagramas separados. En las figuras 4.6-2 y 4.6-3 se muestran los diagramas del flujo de las sub-rutinas cortas “Acercarse a Zona” y “Regresar a Origen”. La primera es en la que el AUV comienza la misión y se dirige hacia la zona a explorar mientras que la segunda es en la que el AUV terminó de realizar el barrido y regresa al punto de inicio para poder ser recogido por el usuario y entregar los datos.

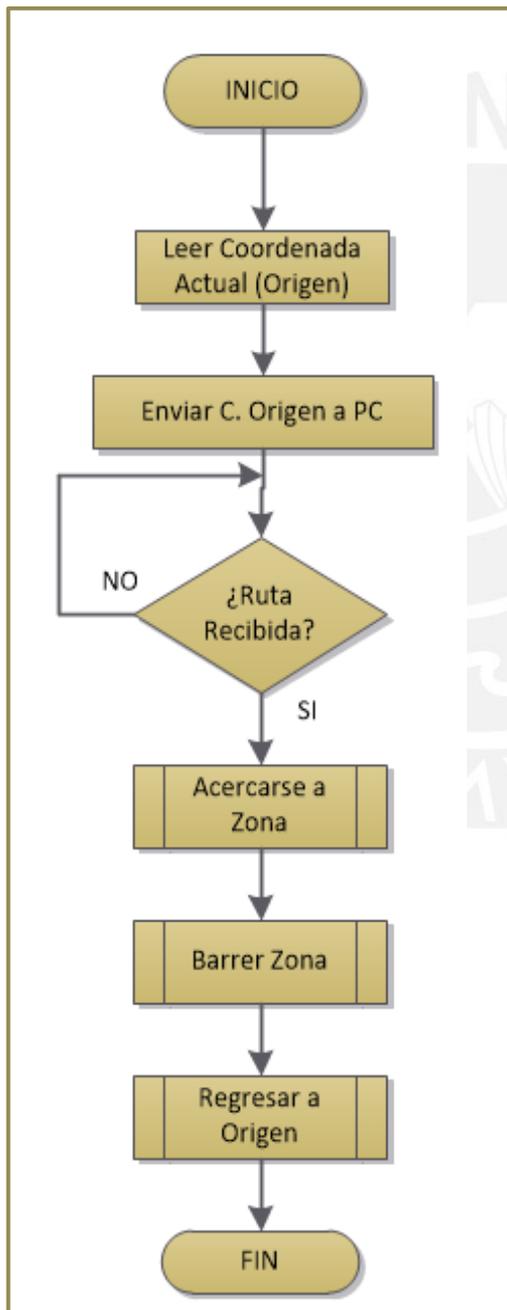


Figura 4.6-1: Diagrama de Flujo Principal
Fuente: Elaboración propia

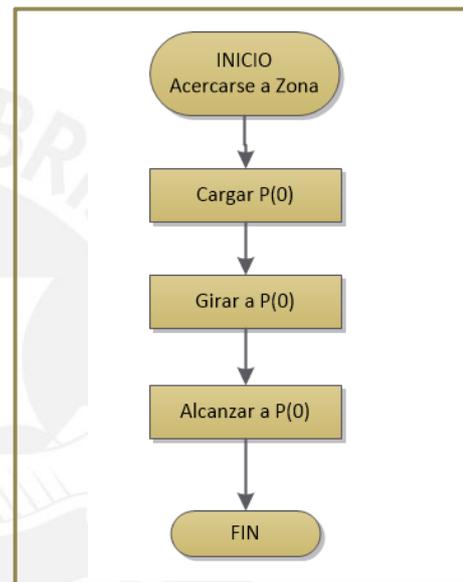


Figura 4.6-2: Diagrama flujo sub1
Fuente: Elaboración propia

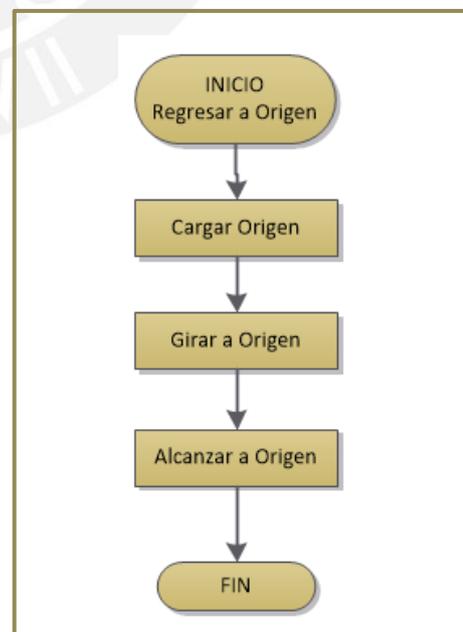


Figura 4.6-3: Diagrama flujo sub2
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.6-4a se muestra la subrutina “Barrer Zona” en la que el AUV ya llegó a la zona y comienza a realizar el recorrido en zig-zag para realizar el barrido. En las figura 4.6-4b y 4.6-4c se muestran las sub-rutinas usadas en el procedimiento de “Barrer Zona”.

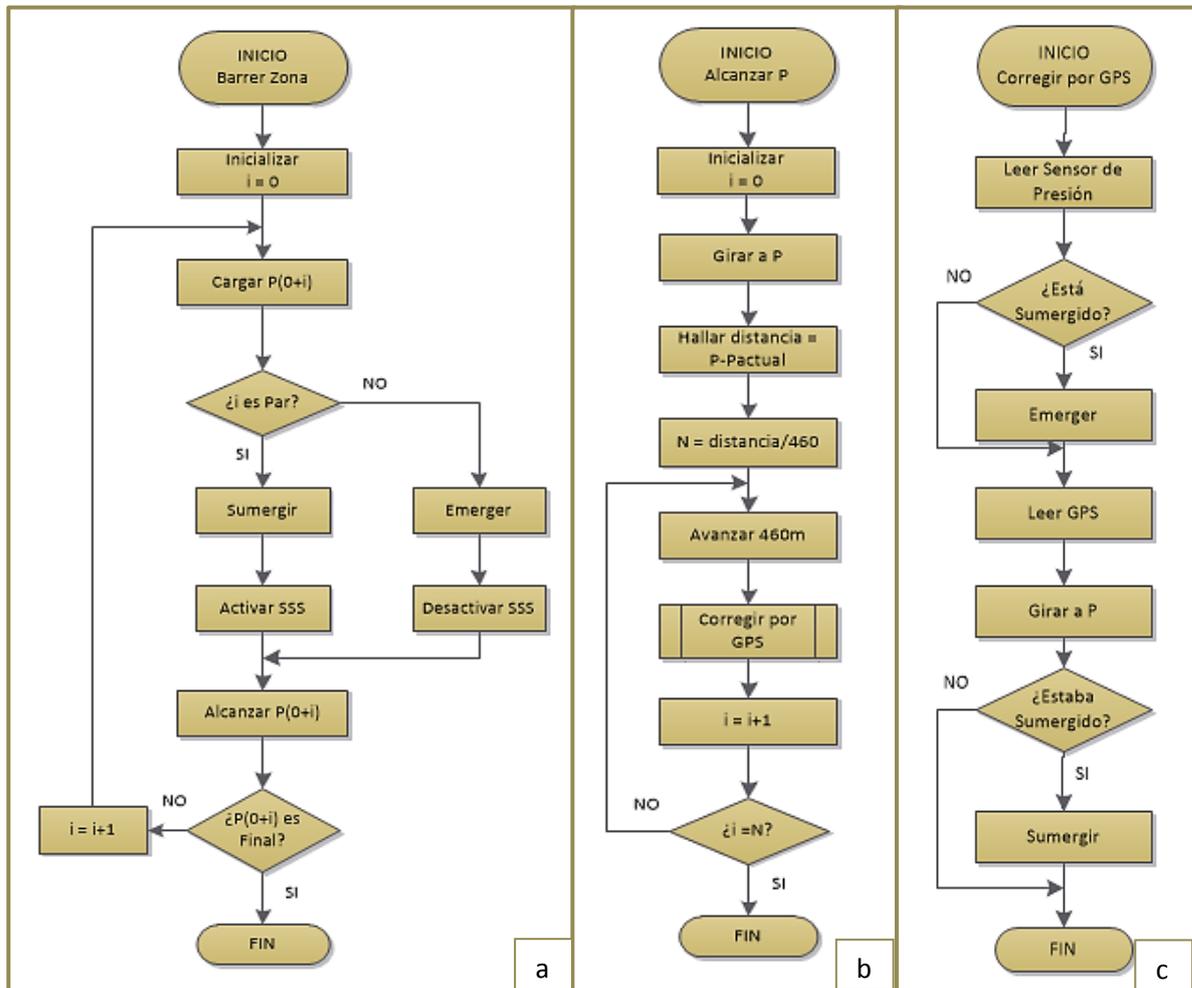
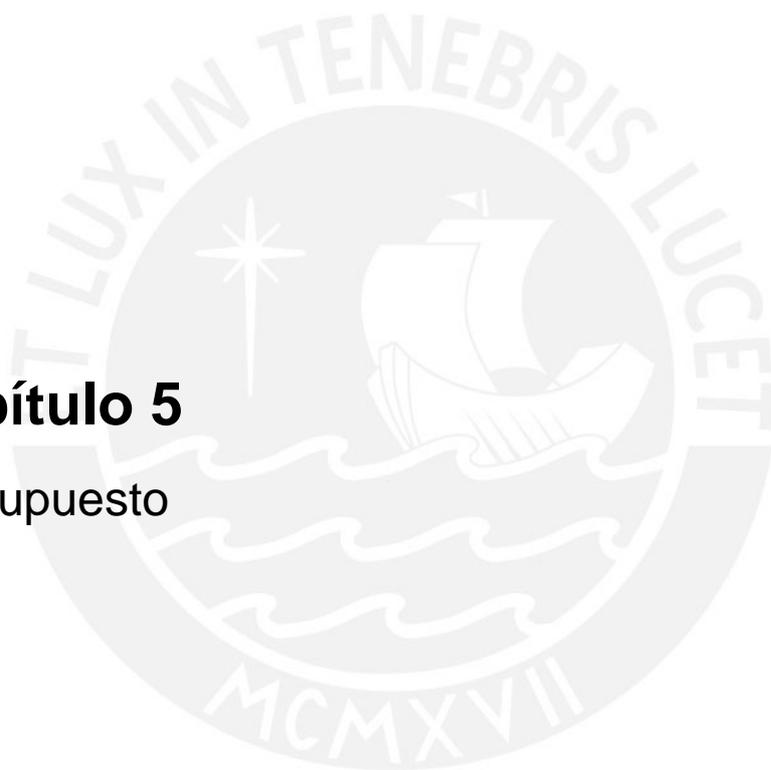


Figura 4.6-4: Diagrama de flujo de Barrer zona con sus subrutinas

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 5

Presupuesto



En este capítulo se presentará la inversión necesaria para la implementación de este proyecto. En la tabla 5-1 se muestra el presupuesto final por los equipos electrónicos y los equipos mecánicos. Cabe resaltar que el precio del Side Scan Sonar es indicado aparte pues es el componente más caro e importante del AUV por lo que se le consideró como un accesorio.

Tabla 5-1: Presupuesto AUV

Fuente: Elaboración propia

	Total (USD)
Componentes de Mecánica	2,708.41
Componentes de Electrónica	5,659.30
Sonar de Barrido Lateral	15,914.00
TOTAL General	24,281.71

En la tabla 5.2 se muestran los precios de cada uno de los componentes electrónicos. La tabla ha sido dividida en los sub-sistemas mencionados en el capítulo 4 con el objetivo de identificar qué tipo de componentes son los que necesitarán una mayor inversión. Cabe resaltar que, debido a que una proforma puede contener varios componentes y un solo precio de shipping, para temas de visualización en la tabla, el precio de shipping se ha cargado al Sistema que posee mayor cantidad de componentes en una misma proforma.

Tabla 5-2: Presupuesto de Componentes Electrónicos

Fuente: Elaboración propia

	Descripción	Cant	Valor Unitario		Total		Total Sistema	Total Shipping
			Soles	Dólares	Soles	Dólares		
Sistema Alimentación de Energía	Batería 22.2V de 5000mAh	4	285.58	101.99	1,142.32	407.97	813.75	241.86
	Batería 14.8 V	1	363.97	129.99	363.97	129.99		
	Cargador	1	279.97	99.99	279.97	99.99		
	Conector Seacon de 6 pines	3	164.08	58.60	492.24	175.80		
Sistema de Propulsión	Propulsor	4	1,677.20	599.00	6,708.80	2,396.00	3,231.80	68.45
	Soporte para Montaje	4	165.20	59.00	660.80	236.00		
	Electronic Speed Controller (ESC)	4	419.86	149.95	1,679.44	599.80		
Sistema de Navegación	Sensor Inercial	1	1,652.42	590.15	1,652.42	590.15	1,033.49	50.00
	Sensor Presión	1	208.32	74.40	208.32	74.40		
	Cable DIN 4pin mini (1m)	1	49.28	17.60	49.28	17.60		
	Magnetómetro HMC2003	1	868.76	310.27	868.76	310.27		
	Módulo GPS	1	115.00	41.07	115.00	41.07		
Sistema de Comunicación Inalámbrica	Wireless SD Shield	1	83.66	29.88	29.88	29.88	95.88	58.00
	Xbee	1	47.60	17.00	47.60	17.00		
	Xstick	1	137.20	49.00	137.20	49.00		
Sistema de Adquisición de datos	Side Scan Sonar	1	44,007.60	15,717.00	44,007.60	15,717.00	15,717.00	237.00
Sistema de Control	Arduino Mega	1	185.00	66.07	185.00	66.07	66.07	-

	Total (USD)
TOTAL SIN SSS	5,240.99
ENVIO	418.31
SSS con envío	15,954.00
TOTAL ELECTRONICA	21,613.30

Para el Sistema de Alimentación de Energía, los dos tipos de batería y el cargador se encuentran presupuestados en el anexo 6-12 así como el precio del envío hasta Lima vía FedEx mientras que el conector SeaCon fue cotizado por Amron international y se puede ver el documento en el anexo 6-7.

Para el Sistema de Propulsión, todos los componentes indicados en la tabla pertenecientes a este rubro están presupuestados en el anexo 6-10 incluyendo el envío a Lima por USPS.

Para el Sistema de Navegación, la cotización por el Sensor Inercial se puede encontrar en la propuesta del anexo 6-11 realizada por DigiKey vía web y su precio de envío no ha sido tomada en cuenta en la tabla porque será cargado al Sistema de Comunicación inalámbrica que es el que posee más ítems en esa proforma. Con respecto al Sensor de Presión TDH30 con su respectivo cable adaptador, estos fueron presupuestados por el proveedor Transducers Direct en el anexo 6-9, precio incluye envío a Lima pero adicionalmente se cobra un monto de 50 USD por transacción bancaria electrónica el cual ha sido tomado como precio de envío en la tabla mostrada. El magnetómetro HMC2003 de Honeywell fue presupuestado por Digijey y se puede encontrar en el anexo 6-11. El módulo GPS para Arduino de la marca SkyNav puede ser adquirido localmente, su cotización se muestra en el anexo 6-5.

Para el Sistema de Comunicación Inalámbrica, tanto el Wireless SD Shield, el XBee y como el XStick, se encuentran presupuestados en el anexo 6-13 en la cotización elaborada por DigiKey vía Web que indica adicionalmente el precio de envío a Lima vía USPS.

Para el Sistema de Adquisición de Datos, como mencionado anteriormente, el sensor usado en este caso es un sensor comercial especializado el cual tiene un precio elevado al igual que todos los sensores para el mismo fin en el rubro. Se presupuestó con la compañía Trittech International y su cotización se puede encontrar en el anexo 6-8.

Finalmente, para el Sistema de Control Central, se usa un Arduino Mega el cual puede adquirirse localmente, una cotización puede encontrarse en el anexo 6-14.

Por otro lado, en la tabla 6-3, se muestra el presupuesto para el diseño mecánico del AUV que incluye mecanizado, material y acabado.

El costo de mecanizado para las piezas PZ se pueden observar en el anexo 6-6 en la que también se aprecia el costo de soldadura MIG en aluminio para diseñar el ensamble ES-01

La plancha de espuma de poliuretano para diseñar los flotadores es presupuestada en el anexo 6-2 y las pinturas de recubrimiento epóxico anticorrosivo para la estructura del AUV son presupuestadas en el anexo 6-1 (2 kits para base y acabado).

Tabla 5-3: Presupuesto de Componentes Mecánicos

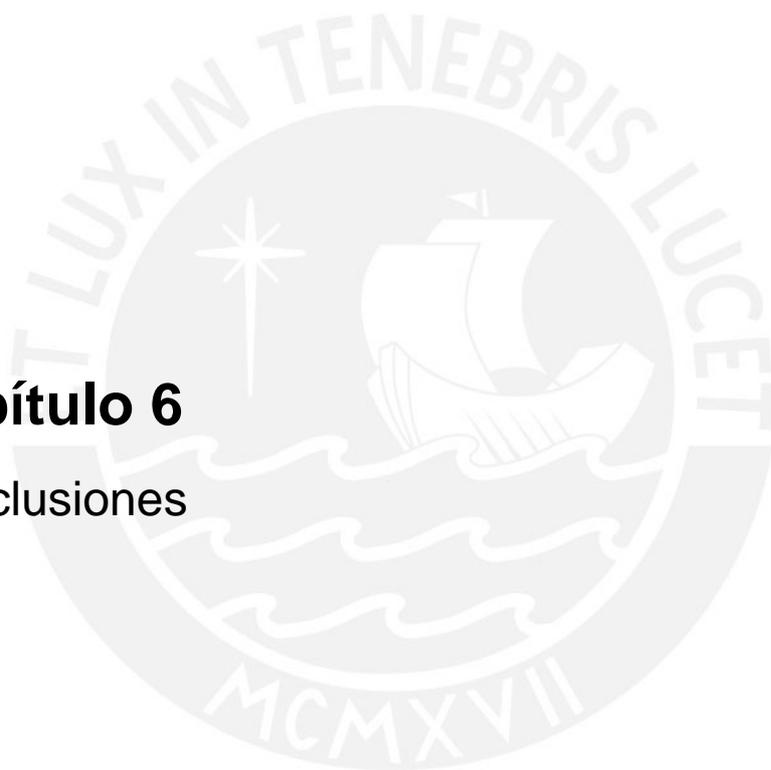
Fuente: Elaboración propia

Pieza	Cant	P.U	Total
PZ-01	1	25.00	25.00
PZ-02	2	40.00	80.00
PZ-03	2	80.00	160.00
PZ-04	2	120.00	240.00
PZ-05	4	30.00	120.00
PZ-06	1	15.00	15.00
PZ-07	1	20.00	20.00
PZ-08	1	120.00	120.00
PZ-09	1	80.00	80.00
PZ-10	1	60.00	60.00
PZ-11	2	70.00	140.00
PZ-12	1	90.00	90.00
PZ-13	2	60.00	120.00
PZ-14	1	33.77	33.77
PZ-15	1	33.24	33.24
PZ-16	4	30.00	120.00
PZ-17	2	40.00	80.00
PZ-18	2	70.00	140.00
ES-01	1	350.00	350.00
Tubo Redondo Aluminio	1	896.27	896.27
Plancha HD-1	1	4,383.07	4,383.07
KIT epóxico Base	1	138.60	138.60
KIT epóxico Acabado	1	138.60	138.60

	S/	USD
Total	7,583.54	2,708.41
IGV	1,365.04	487.51

Capítulo 6

Conclusiones



A continuación se presentan las conclusiones a las que se llegaron en el presente trabajo:

- El Sistema propuesto cumple con los requerimientos necesarios para navegar y obtener datos del fondo del mar con los cuales se podrían construir imágenes posteriormente.
- El equipo diseñado será capaz de soportar profundidades de hasta 100 metros bajo el agua con un factor de seguridad de 4.8 y tiene una autonomía máxima de 6h con 50 minutos para un recorrido de hasta 99Km en línea recta alcanzando una velocidad de 4m/s.
- El Sistema propuesto posee un costo por exploración mucho menor al que normalmente se incurre mediante el uso de navíos que remolcan towfish para realizar escaneos por Sonar de Barrido Lateral.
- El uso de este equipo permitiría realizar exploraciones de manera más frecuente lo que da mayor flexibilidad al planificar los estudios arqueológicos debido al bajo costo de operación.
- Para la estabilidad del sistema, es crítico que el centro de flotabilidad del AUV esté siempre verticalmente por encima del centro de gravedad para que el sistema tienda a estabilizarse ante cualquier perturbación externa. Esto fue tomado en cuenta al momento del diseño por lo que una de las funciones de los flotadores de espuma de poliuretano fue lograr dicha condición.

BIBLIOGRAFIA

- [1] DIVE DISCOVER
“History of Oceanography”. Consulta 4 de junio del 2014
<<http://www.divediscover.whoi.edu/history-ocean/index.html>>
- [2] MARINE TECHNOLOGY SOCIETY
Bruce H. Robinson, “The Coevolution of Undersea Vehicles and Deep-Sea Research”. MTS Journal. Vol.33 N°4.
- [3] HISTARMAR
“Arqueología Submarina y Naufragios en el Perú”. Consulta 3 de junio del 2014.
<<http://www.histarmar.com.ar/SubArch/ArqsubPeru.htm>>
- [4] ANTONIO BISAMA CUEVAS
Álbum gráfico militar de Chile: Campaña del Pacífico: 1879-1884. Santiago de Chile: Universo, 1909
- [5] MAG. CARLOS AUSEJO CASTILLO
Director del Centro Peruano de Arqueología Marítima y Subacuática.
Comunicación personal. Consulta 29 de abril de 2014.
- [6] INSTITUT DE CIENCIES DEL MAR
“Técnicas y Métodos de Estudio en Geología Marina”. Consulta: 4 de junio del 2014.
<<http://ww2.icm.csic.es/gma/es/content/tecnicas-y-metodos-de-estudio-en-geologia-marina#ACÚSTICAS>>
- [7] DIRECCION DE HIDROGRAFIA Y NAVEGACION – MARINA DE GUERRA DEL PERU
“Unidades Hidrográficas”. Consulta: 8 de junio de 2014
< <https://www.dhn.mil.pe/index.asp?pag=unidades>>
- [8] TECOMUNICA
“Submarinos autónomos”. Consulta 8 de junio de 2014
< <http://tonicarpio.com/periodismo/submarinos-autonomos>>
- [9] TRITECH
“ROV/AUV Side Scan”. Consulta 12 de junio de 2014.
<<http://www.seatronics->

group.com/assets/uploads/resources/2010/4/245fd5fe-93d9-49fa-a262-80244cb5ee5f.pdf>

- [10] RALSTON & ASSOCIATES
“Side Scan Sonar”. Consulta 20 de junio de 2014.
<<http://gralston1.home.mindspring.com/Sidescan.html>>
- [11] UNOLS
“Inventory of Deep Submergence Research Vehicles and Science Equipment”. Consulta: 3 de junio del 2014.
<<http://www.unols.org/committees/dessc/inventory/vehicles.html>>
- [12] KONSBERG
“Autonomous Underwater vehicle - Hugin”. Consulta 9 de junio de 2014.
<<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/B3F87A63D8E419E5C1256A68004E946C?OpenDocument>>
- [13] KONSBERG
“Autonomous Underwater vehicle – Remus 100”. Consulta 20 de junio de 2014.
<<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/D241A2C835DF40B0C12574AB003EA6AB?OpenDocument>>
- [14] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA)
“Autonomous Benthic Explorer”. Consulta: 8 de junio de 2014
< <http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/subs/abe/abe.html> >
- [15] PAUL NEWMAN
“Unmanned vehicles for shallow and coastal waters. Consulta 9 de junio de 2014.
<http://www.ths.org.uk/documents/ths.org.uk/downloads/shallowwater_auv_and_usv.pdf>
- [16] TRITECH
”SeaKing Sidescan Operators Manual”. Consulta: 4 de junio del 2014.
<<http://www.tritech.co.uk/media/support/manuals/seaking-sidescan-operator-manual.pdf>>
- [17] TRANSDUCERS DIRECT
“Pressure Transducer TDH30 Data Sheet”. Consulta 16 de junio de 2014
<[http://www.transducersdirect.com/HeleoCart/Data/SoftGoodPreview/TDH30_\(10.11\).pdf](http://www.transducersdirect.com/HeleoCart/Data/SoftGoodPreview/TDH30_(10.11).pdf)>

- [18] Xbee Guia de Usuario
“Guia de Usuario Xbee Series 1. Consulta: 15 de junio de 2014
<www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf>
- [19] DIGI
“XStick®”. Consulta: 6 de junio de 2014
<<http://www.digi.com/products/wireless-modems-peripherals/wireless-range-extendors-peripherals/xstick>>
- [20] WEBTRONICO
“SkyNav SKM53 Series DataSheet”. Consulta 12 de junio de 2014
<http://www.webtronico.com/documentos/SKM53_DS_030609.pdf>
- [21] HONEYWELL
“HMC2003 DataSheet”. Consulta 12 de junio de 2014.
<http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacatalog-documents/Missiles-Munitions/HMC_2003.pdf>
- [22] ARDUINO REFERENCE
“Arduino MEGA”. Consulta: 10 de junio del 2014.
<<http://arduino.cc/es/Main/ArduinoBoardMega>>
- [23] ARDUINO Reference
“SD Library”. Consulta: 12 de junio de 2014
<<http://arduino.cc/en/Reference/SD>>
- [24] MECHANAKA
“Getting started with the Arduino and XBee”. Consulta 17 de junio de 2014
<<http://www.mechakana.com/blog/getting-started-with-the-arduino-and-xbee/>>
- [25] ARDUINO REFERENCE
“Wireless SD Shield”. Consulta: 13 de junio de 2014
<<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoWirelessShield>>
- [26] CASTLE CREATION
“Phoenix Ice2 HV Specs”. Consulta: 4 de junio de 2014
<<http://www.castlecreations.com/products/phoenix-ice2-hv.html>>
- [27] ATOMIK RC
“Venom LiPO Batteries”. Consulta: 4 de junio de 2014

- <<http://www.atomikrc.com/collections/venom-lipo-batteries/5000mah-6000mah>>
- [28] AREA DE DISEÑO – SECCION ING. MECANICA
2010 “Dibujo Mecánico I”. PUCP – Publicaciones para la docencia.
- [29] ARDUINO Reference
“SPI Library”. Consulta: 12 de junio de 2014
< <http://arduino.cc/en/Reference/SPI> >
- [30] ANALOG DEVICES
“ADIS 16367 DataSheet”. Consulta 12 de junio de 2014
< http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADIS16367.pdf >
- [31] ARDUINO REFERENCE
“float”. Consulta 17 de junio de 2014
< <http://arduino.cc/es/Reference/Float> >
- [32] BLOG PUCP
“Ciencia y Tecnología en América Latina”. Consulta 3 de junio del 2014.
<<http://blog.pucp.edu.pe/item/54468/ciencia-y-tecnologia-en-el-peru-y-america-latina>>
- [33] CRAM
“Exploración mediante robot Submarino”. Consulta: 3 de junio del 2014.
<<http://cram.org/wp-content/uploads/2014/01/informe-rov-cadiz.pdf>>
- [34] WIKIPEDIA
“Oceanography”. Consulta 4 de junio del 2014
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Oceanography#History>>
- [35] TRITECH
“SeaKing Sidescan Sonars Towfish, SK150 and ROV Sidescan”.
< <http://www.tritech.co.uk/media/support/manuals/seanet-system-rov-sidescan-sonar-operator-manual.pdf> >
- [36] CRUST CRAWLER
“400HFS-L Hi-Flow Thruster Data Sheet”. Consulta: 4 de junio de 2014
< http://www.crustcrawler.com/products/urov2/docs/HiFlow_400HFS-L_Thruster_Data_Sheet.pdf >

- [37] UNESCO
1983 “Algorithms for Computation of fundamental properties of seawater”.
Consulta 17 de junio de 2014
< http://www.jodc.go.jp/info/ioc_doc/UNESCO_tech/059832eb.pdf>
- [38] IMARPE
1999 “Crucero de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos BIC José Olaya”. Consulta 17 de junio de 2014.
< <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/handle/123456789/1578?show=full>>
- [39] WIKIPEDIA
“Fórmula UNESCO”. Consulta el 17 de junio de 2014
<http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:C%C3%A1lculo_de_la_densidad_del_agua_del_mar>
- [40] PAUL LEAN SIFUENTE
2011 “Introducción a la Ingeniería de Materiales”. Pucp - Publicaciones para la docencia.
- [41] SHIGLEY, MISCHKE AND BUDYNAS
“Mechanical Engineering Design” 7th edition – Mc Graw-Hill
- [42] PHILIPP WOOCK – CHRISTIAN FREY
Deep-Sea AUV Navigation Using Side-Scan Sonar Images and Slam
- [43] SURFACE INTERVAL DIVING COMPANY
“Shipwreck Project”. Consulta el 17 de junio de 2014.
<<http://www.computer-therapy.com/sidco/qar.html>>
- [44] CLUB DE BUCEO DEPORTIVO
“¿Cómo se busca un barco hundido?”. Consulta el 17 de junio de 2014
< <http://zco1999.wordpress.com/2012/05/17/como-se-busca-un-barco-hundido/>
>
- [45] CARLOS LEON AMORES
Director de Programas de Arqueología de la fundación Icasur.
“Metodología de la Arqueología subacuática”.
- [46] ENCLOSURES AND DEGREES OF PROTECTION
<http://www2.schneider-electric.com/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/electrical-environmental-constraints/general-knowledge/ect166.pdf>