

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Diseño y Construcción del Submarino para Exploración

Orca I

Patricio Sebastián Carrillo Urgilés

Alfredo Valarezo, Ph. D., Director de Tesis

**Tesis de Grado presentada como requisito
para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico**

Quito, mayo de 2014

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Diseño y Construcción del Submarino para Exploración

Orca I

Patricio Sebastián Carrillo Urgilés

Alfredo Valarezo, Ph.D.

Director de Tesis y Miembro del Comité

Nicolás Soria, Ing.

Miembro del Comité de Tesis

Bernard Herrera, Ing.

Miembro del Comité de Tesis

Ximena M. Córdova, Ph.D.

Decana de la Escuela de Ingeniería

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, mayo de 2014

© Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: _____

Nombre: Patricio Sebastián Carrillo Urgilés

C.I.: 171808765-1

Fecha: Quito, mayo de 2014

Dedicatoria

A mis papas por lo que son y lo que me han enseñado.

A toda mi familia.

Agradecimientos

Agradezco especialmente a Nicolás Soria por toda su ayuda en el proyecto.

Además a Alfredo Valarezo, Bernard Herrera, Fabián Morales y a todo aquel que de una forma u otra me dio una mano en la construcción y salidas.

A mis papas por su ayuda constante en toda mi vida y etapa universitaria.

A Samantha Vernaza por su apoyo incondicional.

Resumen

La presente tesis consiste en la repotenciación del Submarino USFQ proyecto presentado por Nicolás Soria y Daniel Cabrera en el año 2011. El submarino o ROV podrá ser utilizado para investigaciones con el fin de adquisición de datos tanto en mar como lagunas o lagos.

El objetivo final de este trabajo agregar un compartimiento seco para una cámara de 360 grados de libertad además de obtener disminución tanto en dimensiones como en peso del diseño original. Asimismo lograr una nueva configuración de motores, el control de los mismos y resultados obtenidos en una salida de campo.

En la primera parte del proyecto se realiza tanto el nuevo diseño y cálculo de esfuerzo de los distintos componentes a utilizarse. Posteriormente se continúa con la construcción de dichos componentes y el ensamblaje de los mismos.

La segunda parte es la prueba de piscina del nuevo modelo conservando la alineación de motores. Con esto se realiza una nueva alineación, programación de control y nuevamente pruebas de piscina para determinar qué modelo presenta los mejores resultados.

Finalmente se re realizarán distintas pruebas con el modelo definitivo en una salida de campo para probar funcionamiento de elementos tanto mecánicos como electrónicos. Se debe obtener imágenes con el ROV del lugar. Con esto se logra obtener una plataforma para futuras investigaciones realizadas

Abstract

This thesis consists of a repowering based in the project USFQ Submarine presented by Nicolas Soria and Daniel Cabrera in 2011. This Submarine or ROV may be used for research purpose, data acquisition at sea and ponds or lakes.

The ultimate goal is to add a dry compartment for a 360 degrees camera plus get decreased both in size and weight of the submarine. Also achieve a new engine configuration, control and results obtained in a field trip.

The first part of the project is performing a new design and stress calculation of the different components. Then continued with the construction of these components and assembly.

The second part is pool tests of the new model retaining the alignment of motors. Then a new alignment is performed with control programming and testing pool again to determine which model present better results.

Finally, different tests are executed with the final model in a field trip. Mechanical and electronic components are tested. Also, different images are obtained in the field. The university is capable of performing future research investigation with this new design.

Tabla de Contenido

Resumen.....	7
Abstract.....	8
Lista de Figuras.....	12
Lista de Tablas.....	15
1 Información Preliminar del Proyecto.....	16
1.1 Introducción.....	16
1.2 Justificación del Proyecto.....	17
1.3 Objetivos del Proyecto.....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivo Específico.....	18
1.4 ROV.....	19
Definición.....	19
Modelos previos: revisión bibliográfica.....	21
Condiciones de Uso.....	23
Grados de libertad.....	24
Estabilidad, Flotabilidad.....	25
Equilibrio Hidrostático.....	27
Óptica.....	27
Reflexión.....	27
Refracción.....	28
1.5 Submarino USFQ I.....	30
2 Diseño Submarino USFQ II.....	36
2.1 Diseño Compartimiento Cámara.....	36

	10
2.2 Domo.....	38
Esfuerzos en el Domo.....	39
Presión Máxima.....	39
Factor de Seguridad.....	41
2.3 Cilindro.....	43
Esfuerzos en el Cilindro.....	44
Esfuerzos Tangenciales.....	45
Esfuerzos Radiales.....	46
Esfuerzo Tangencial Máximo.....	47
Esfuerzo Radial Máximo.....	48
Factor de Seguridad.....	48
2.4 Base Cámara.....	50
2.5 Brida Inferior.....	51
2.6 Brida Superior.....	52
2.7 Diseño Compartimiento Controladores eléctricos.....	52
2.8 Compartimiento Seco.....	56
2.9 Base Motores.....	57
2.10 Laterales.....	58
2.11 Ensamblaje.....	59
Submarino USFQ II Prototipo 1.....	59
Submarino USFQ II Prototipo 2.....	60
3 Construcción.....	63
3.1 Domo.....	63
3.2 Cilindro.....	64
3.3 Base Cámara.....	65

3.4	Brida Superior e Inferior.....	66
3.5	Laterales y Cilindro	67
3.6	Submarino USFQ	68
4	Submarino USFQ II Prototipo 2.....	70
4.1	Movimiento	70
4.2	Cambios Programación	73
5	Pruebas y Resultados	77
5.1	Pruebas Visibilidad	77
5.2	Hermeticidad	81
5.3	Flotabilidad	82
5.4	Velocidades.....	84
5.5	Fuerza de Resistencia de Fluidos	89
5.6	Pruebas Lago San Pablo.....	91
6	Conclusiones y Recomendaciones	98
6.1	Conclusiones	98
6.2	Recomendaciones.....	99
7	Bibliografía	102
	Anexos	104

Lista de Figuras

Figura 1.4-1 Clasificación vehículo submarinos _____	19
Figura 1.4-2 Componentes básicos ROV _____	20
Figura 1.4-3 Primer Rov, Dimitri Rebikoff (Rebikoff-Niggeler Foundation) _____	21
Figura 1.4-4 CURV (Summers, 2011) _____	22
Figura 1.4-5 Grados de Libertad y movimiento (Christ & Wernli SR, 2007) _____	24
Figura 1.4-6 Centro de Gravedad, flotación (Christ & Wernli SR, 2007) _____	26
Figura 1.4-7 Flotabilidad (Hernandez, 2012) _____	26
Figura 1.4-8 Óptica en un Domo (Scubageek, 2012) _____	29
Figura 1.5-1 Vista Isométrica Submarino USFQ I _____	31
Figura 1.5-2 Vista Superior _____	31
Figura 1.5-3 Vista Frontal _____	32
Figura 1.5-4 Vista Lateral _____	32
Figura 1.5-5 Configuración motores cónica _____	34
Figura 2.1-1 Compartimiento Cámara _____	36
Figura 2.2-1 Domo _____	39
Figura 2.3-1 Cilindro _____	43
Figura 2.4-1 Base Cámara _____	50
Figura 2.5-1 Brida Inferior _____	51
Figura 2.6-1 Brida Superior _____	52
Figura 2.7-1 Compartimiento Controlador (Soria & Cabrera, 2011) _____	53
Figura 2.7-2 cRio, Sabertooth, Plancha Acrílico (Soria & Cabrera, 2011) _____	53
Figura 2.7-3 Nueva Configuración Controladores _____	54
Figura 2.7-4 Conector Controladores _____	55

Figura 2.7-5 Unión a tapa trasera_____	56
Figura 2.8-1 Reducción en Compartimiento seco _____	57
Figura 2.9-1 Reducción base soporte motores_____	58
Figura 2.10-1 Canales en los laterales _____	58
Figura 2.11-1 Submarino USFQ II Prototipo1_____	59
Figura 2.11-2 Reducción Largo ROV _____	60
Figura 2.11-3 Submarino USFQ II Prototipo 2 _____	61
Figura 2.11-4 Submarino USFQ II Prototipo 2 Vista Superior _____	61
Figura 2.11-5 3 Submarinos _____	62
Figura 3.1-1 Domo Tecniformación _____	63
Figura 3.2-1 Unión PVC _____	64
Figura 3.3-1 Base cámara, modelo para base metálica _____	65
Figura 3.4-1 eje Madrino _____	66
Figura 3.4-2 Corte Bridas _____	67
Figura 3.5-1 Canales sobre Laterales _____	68
Figura 3.6-1 Submarino USFQ Prototipo 1 _____	68
Figura 3.6-2 Submarino USFQ Prototipo 2 _____	69
Figura 4.1-1 Nueva Orientación Motores _____	71
Figura 4.1-2 Movimiento Adelante, atrás _____	71
Figura 4.1-3 Movimiento Arriba, Abajo _____	72
Figura 4.1-4 Movimiento Izquierda, Derecha _____	72
Figura 4.1-5 Giros _____	73
Figura 4.2-1 Cambios LABview _____	74
Figura 4.2-2 Circuito Potencia _____	75
Figura 4.2-3 Bloque Potencia _____	75

Figura 4.2-4 Reguladores Cámara	76
Figura 5.1-1 Diferentes Tamaños de Cilindros	77
Figura 5.1-2 Imagen Base	78
Figura 5.2-1 Hermeticidad	81
Figura 5.3-1 Flotabilidad Submarino USFQ II Prototipo 1	82
Figura 5.3-2 Flotabilidad Submarino USFQ II Prototipo 2	83
Figura 5.5-1 Coeficientes de Fricción (Soria & Cabrera, 2011)	89
Figura 5.6-1 Modelo Definitivo Orca I	92
Figura 5.6-2 Flotabilidad Ligeramente Positiva	92
Figura 5.6-3 Hermeticidad de Equipos eléctricos.	93
Figura 5.6-4 Foto tomada con la cámara Panasonic	94
Figura 5.6-5 Foto entre superficie y agua	95
Figura 5.6-6 Flotabilidad del cable	96

Lista de Tablas

Tabla 1.4-1 Requerimientos Generales (Soria & Cabrera, 2011)	23
Tabla 1.5-1 Datos Submarino 2011 (Soria & Cabrera, 2011)	30
Tabla 1.5-2 Componentes Submarino	33
Tabla 1.5-3 Fuerza de cada Motor según el eje en configuración cónica	34
Tabla 1.5-4 Valores Resultantes Alineación	35
Tabla 2.1-1 Componentes compartimiento seco	37
Tabla 2.2-1 Datos Domo	40
Tabla 2.2-2 Resultados Presión máxima y profundidad	41
Tabla 2.2-3 Factor de Seguridad a diferentes profundidades	42
Tabla 2.3-1 Presión vs Profundidad	45
Tabla 2.3-2 Factor de seguridad a diferentes profundidades	49
Tabla 5.1-1 Comparación Lente 90 grados	79
Tabla 5.1-2 Comparación Lente 45 grados	80
Tabla 5.3-1 Masa en superficie y masa adicionales para lograr flotabilidad positiva	84
Tabla 5.4-1 Resultados Submarino USFQ I	85
Tabla 5.4-2 Resultados Submarino USFQ II Opción 1	86
Tabla 5.4-3 Resultados Submarino USFQ II Prototipo 2	87
Tabla 5.4-4 Comparación	87
Tabla 5.4-5 Comparación porcentajes	88
Tabla 5.5-1 Valores Previos	90
Tabla 5.5-2 Resultados Fuerzas	91
Tabla 5.6-1 Resultados Finales	97
Tabla 5.6-2 Comparación Final	97

1 Información Preliminar del Proyecto

1.1 Introducción

El Colegio de Ciencias e Ingeniería de la Universidad San Francisco de Quito creó el laboratorio de vehículos autónomos. Este laboratorio ha diseñado y construido un vehículo terrestre, varios UAVs (acrónimo en inglés por Unmanned Aerial Vehicles) y un ROV (acrónimo en inglés por Remoted Operated vehicle). El ROV llamado "Submarino USFQ" es una plataforma submarina creada como presentación final de carrera de tesis titulada "Submarino USFQ" de autores Nicolás Soria y Daniel Cabrera presentada en Mayo del 2011. En base a los resultados de este proyecto se plantea como objetivo de este proyecto realizar cambios ya sea en tamaño, pesos y aditamento de instrumentos para obtener mejores resultados y realizar una prueba representativa.

Actualmente, los submarinos para investigaciones tienen costos muy elevados que superan los \$20,000 (WIX, 2013). Por esto, el trabajo de investigación, diseño y construcción por parte de universidades es de gran utilidad para desarrollar y aplicar este tipo de tecnología. Además, distintas instituciones como universidades, petroleras, etc., pueden utilizar estos equipos para estudios de vida marina, corrosiones en estructuras submarinas, operaciones de rescate, entre otras.

El objetivo de este proyecto es realizar la optimización en cuanto a motores, reducir el tamaño de la plataforma y comparar los resultados. Esto es,

comportamiento en sumersión y estabilidad para realizar grabaciones o tomas de fotos significativas. Para esto, deberá poseer motores y un centro de mando que, conjuntamente con el operador, responda frente a cambios del medio para dar un control efectivo a este ROV. Asimismo, un sistema de audio y sensores para reconocimiento del entorno donde se realicen distintos estudios.

El equipo deberá cumplir con parámetros básicos de funcionamiento que son: estabilidad, hermeticidad de componentes electrónicos, sistema de recolección de información, funcionamiento mecánico, provisión de energía y utilización de varios sensores.

1.2 Justificación del Proyecto

El Ecuador no ha desarrollado muchas inversiones en lo que es proyectos de ámbito submarino. Se debe crear una entidad especializada en ROV y vehículos similares para investigaciones nacionales. Usualmente, investigadores extranjeros realizan distintas observaciones principalmente en las islas Galápagos o costa ecuatoriana. Los equipos utilizados son propios, es decir acabadas sus investigaciones regresan al país de origen y también los resultados obtenidos.

Para investigadores, los equipos tienen un costo muy elevado y no se cuenta con el personal capacitado. Es por esto que la universidad necesita fomentar la creación de nuevos vehículos aptos para distintas investigaciones.

Estas pueden ser extracciones de muestras, tomas de temperaturas, corrosión en estructuras, vida marina, entre otras.

Se entenderá de mejor manera lo que es la vida en espacios donde el hombre no puede alcanzar por limitaciones físicas (lugares no aptos para buceo) Además, se ampliará el conocimiento del hombre en cuanto a vida y condiciones marinas para que el país tenga más aporte en ámbitos investigativos a nivel mundial.

1.3 Objetivos del Proyecto

1.3.1 Objetivo General

- Diseño y construcción de una nueva plataforma submarina. Incluir resultados obtenidos a partir de comparaciones con modelo base.

1.3.2 Objetivo Específico

- Reducir el tamaño de la plataforma (60% del Submarino USFQ I).
- Implementar nuevo sistema de control.
- Diseñar un nuevo compartimiento seco para incluir una cámara de 360 grados de movimiento.
- Diseñar e implementar una nueva alineación de motores.

- Comparar resultados obtenidos para determinar si existen mejoras en velocidades de avance, sumersión y giro del sistema.

1.4 ROV

Definición

En la actualidad, existen distintos tipos de vehículos submarinos. La utilización de estos equipos es variada por lo que su estructura y componentes son adaptados de acuerdo al fin. En la Figura 1.4-1 encontramos la clasificación de estos tipos de vehículos. (Christ & Wernli SR, 2007)

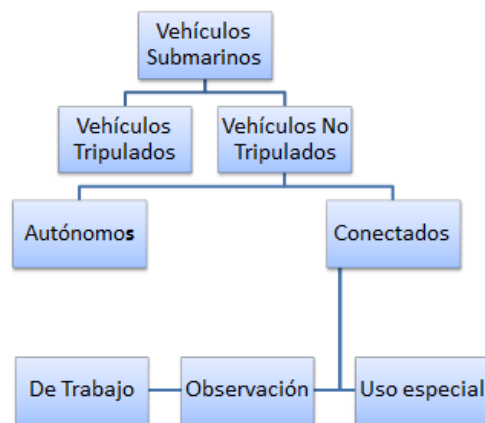


Figura 1.4-1 Clasificación vehículo submarinos

Un ROV se encuentra en la categoría de vehículo no tripulado. Actualmente existen muchas formas, tamaños y se dividen en: trabajo, observación o uso especial. Su estructura cuenta comúnmente con: motores, cámaras, sistemas de control, cables de potencia/comunicación y distintos

sensores de acuerdo a la aplicación final de la plataforma. Los ROVs mas especializados cuentan con equipos como sonares, brazos robóticos, aspiradoras, equipamiento para soldadura, entre otros (Christ & Wernli SR, 2007).

La forma básica de control se encuentran en la Figura 1.4-2. Tenemos un controlador tipo joystick que envía señales análogas que son procesadas por un CPU. El operador observa estas señales en un monitor y según sea requerido se manda una señal a través de una conexión con el ROV para que este realice una actividad específica. Cabe recalcar que en el CPU es necesario realizar una programación en software para adaptar las señales del controlador a las indicaciones de salida a motores y equipos e implementar resultados en pantalla.

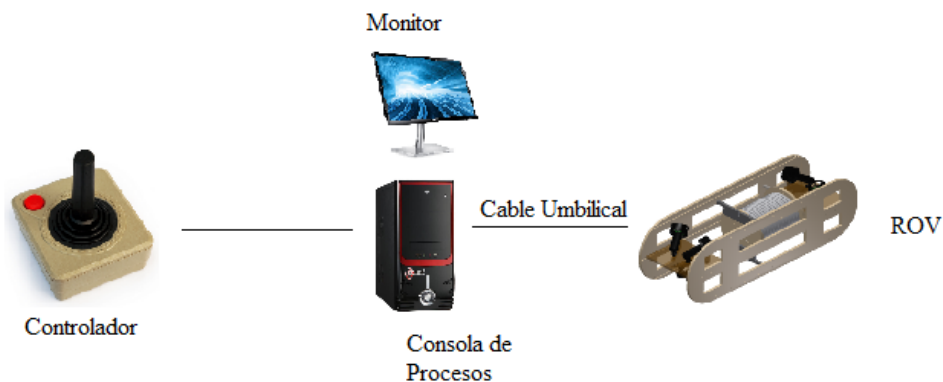


Figura 1.4-2 Componentes básicos ROV

En el diseño de un ROV primero se debe definir las condiciones en las que se va a utilizar este equipo. Dichas condiciones influyen en la elección de la estructura y los componentes a utilizarse. Entre las especificaciones están: medio de trabajo, profundidad, fin (observación, trabajo o uso especial), presupuesto, peso y dimensiones.

Modelos previos: revisión bibliográfica

La necesidad del ser humano de conocer y dar una explicación lógica a las cosas ha sido el factor por el cual el mundo se ha desarrollado tan rápido. Es así que nace la investigación submarina. El hombre tiene que dar soluciones a sus limitaciones físicas por lo que se crean equipos especiales para llegar donde el cuerpo no alcanza. Así, nacen los primeros ROVs con la acreditación de algunas personas hacia Dimitri Rebikoff como el creador del primer ROV aunque su equipo fue utilizado principalmente para la arqueología. (Rebikoff-Niggeler Foundation) véase Figura 1.4-3.

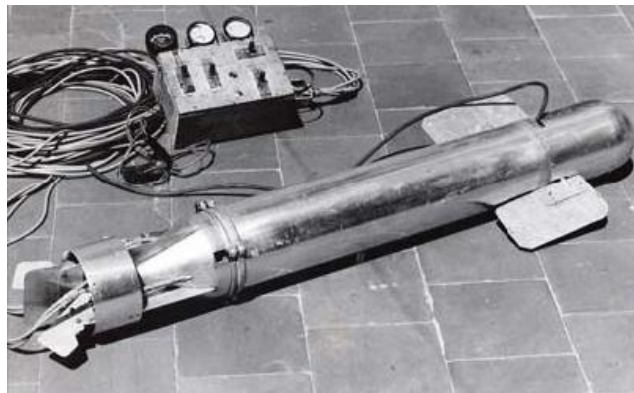


Figura 1.4-3 Primer Rov, Dimitri Rebikoff (Rebikoff-Niggeler Foundation)

La marina de los Estados Unidos crea en el año 1961 el CURV (cable controlled underwater research vehicle por sus siglas en inglés) considerado como el verdadero inicio de los ROVs de hoy en día. Su utilización fue exclusivamente la recuperación de torpedos perdidos en aguas marinas para su posterior desarme. Llegaba a profundidades máximas de 850 metros. Véase Figura 1.4-4 (Pike, 1999)



Figura 1.4-4 CURV (Summers, 2011)

La historia de los ROVs se desarrolló rápidamente tanto como su fin. La utilización de los equipos eran ya no solamente para recuperación de torpedos, se comenzaban a incluir actividades como investigación, soldadura, rescate humano y tomas de muestra. La evolución fue muy rápida, en el año 1970 solo 1 compañía (marina de los Estados Unidos) producía estos equipos y para el año 1984 ya existían 27 como la PHOCAS de Finlandia o British Aircraft Corporation del Reino Unido. (Christ & Wernli SR, 2007).

Los vehículos varían según tamaño, función, costo, capacidad de movimiento, velocidad, capacidad de inmersión, etc. Además se da desarrollo a nivel personal, donde estudiantes crean sus propias máquinas y generan controles propios. Existen también competencias interuniversitarias para fomentar el desarrollo de nuevos equipos. Es decir, las posibilidades hoy en día son muy amplias.

Condiciones de Uso

Como se especificó en la introducción, la tesis se basa en un proyecto previamente realizado. Por esto, las condiciones de uso deben ser las mismas con las cuales se realizó dicho proyecto. Los requerimientos se encuentran descritos en la tabla 1.4-1.

Requerimientos Generales	
Profundidad De Inmersión	50 metros
Autonomía	2 horas
Peso	40 kilogramos
Dimensiones	Largo 0,7m Ancho 0,50m Alto 0,50m
Flotabilidad	Positiva
Velocidad	5 nudos
Maniobrabilidad	mínimo 5 grados de libertad
Materiales	no corrosibles
Equipos	Cámara de video, hidrófono, cámara de video 360 grados
Diseño	Ensamblaje Modular

Tabla 1.4-1 Requerimientos Generales (Soria & Cabrera, 2011)

En el capítulo resultados, se presentan las condiciones del vehículo que se lograron después del rediseño y repotenciación del modelo anterior.

Grados de libertad

Todo vehículo puede ser configurado para tener máximo 6 grados de libertad. Un grado de libertad es el movimiento ya sea de traslación o rotación sobre un eje. Se tiene máximo 3 movimientos de traslación y 3 movimientos de rotación, además de la combinación de los mismos. En el caso de los ROVs, los grados de libertad dependen de la posición con las que se diseñen los motores. En la Figura 1.4-5 se encuentran estos movimientos con sus nombres en inglés. Cabe recalcar que comúnmente los ROVs no poseen movimientos de Cabeceo (pitch) y Balanceo (Rol)

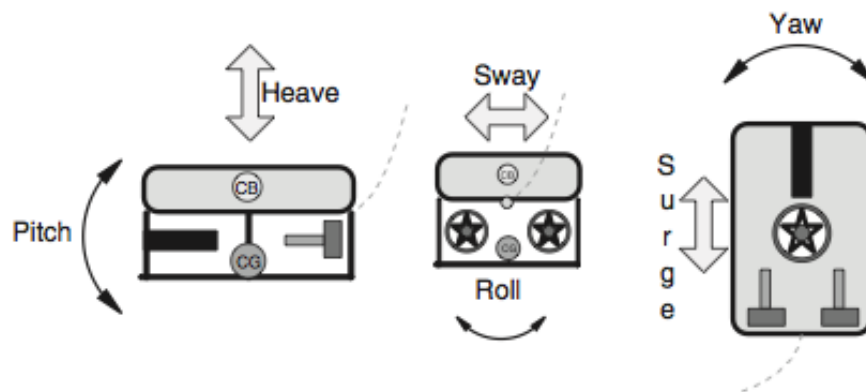


Figura 1.4-5 Grados de Libertad y movimiento (Christ & Wernli SR, 2007)

Los nombres de la figura Figura 1.4-5 significan; Heave: subir, bajar traslación sobre el eje z. Pitch: cabeceo. Sway: izquierda derecha o traslación en

el eje x. Roll: balanceo. Surge: adelante, atrás o traslación sobre el eje y. Yaw: giro sobre eje z.

Estabilidad, Flotabilidad

Cualquier ROV, independientemente su función, requiere estabilidad. Es decir, que este cuerpo permanezca en el mismo sitio sin importar el paso del tiempo o de condiciones marinas. La estabilidad influye mucho en el diseño del ROV que se desee construir. Se debe tomar en cuenta el centro de gravedad y el centro de flotabilidad. Estos, deben encontrarse alineados verticalmente, con el centro de gravedad bajo y el centro de flotación alto (véase Figura 1.4-6). Así, se logra estabilidad para las cámaras instaladas en el sistema y el regreso a una misma posición si alguna corriente influye sobre el vehículo. (Christ & Wernli SR, 2007)

Para la flotabilidad necesitamos tomar en cuenta los principios de Arquímedes:

1. Un cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza vertical de empuje (flotación) igual al peso del fluido que desplaza.
2. Un cuerpo que flota desplaza su propio peso en el fluido en el que se encuentra (White, 2008)

Entonces, si el peso del ROV es mayor al empuje, este se hunde y se determina como flotabilidad negativa. Si son iguales el cuerpo se queda estable o una flotabilidad neutra y si el empuje es mayor al peso el cuerpo sube o tiene una flotabilidad positiva. En la Figura 1.4-7 podemos observar lo expuesto anteriormente.

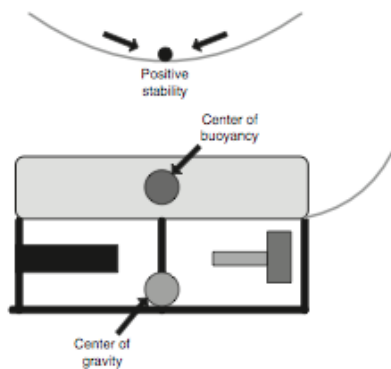


Figura 1.4-6 Centro de Gravedad, flotación (Christ & Wernli SR, 2007)

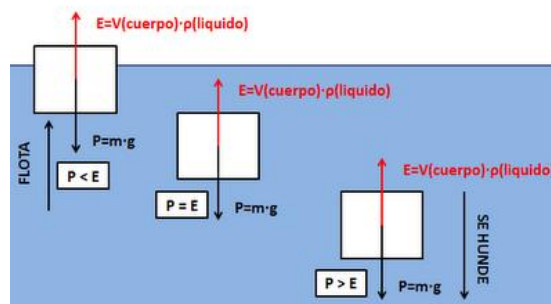


Figura 1.4-7 Flotabilidad (Hernandez, 2012)

En el vehículo a diseñar lo óptimo sería llegar a una flotabilidad neutra pero por seguridad, se utilizará una flotabilidad ligeramente positiva. Así, el ROV sale

a la superficie si se pierde la comunicación con los motores. Esta flotabilidad no debe afectar al desempeño de los motores al momento inmersión .

Equilibrio Hidrostático

Si un cuerpo posee una geometría simétrica a través del eje central, entonces el centro de gravedad y de flotación se encuentran alineados por ese mismo eje. La posición básica de flotación se da por:

$$F_b = (\gamma \text{ del fluido})(\text{volumen desplazado}) = \text{peso del cuerpo que flota}$$

Ecuación 1 Posición básica de flotación

Óptica

Reflexión

Cuando la luz incide sobre una superficie de un material esta se refleja o cambia de dirección. El cambio de dirección se da según la ley de la reflexión: un rayo que actúa sobre un plano de incidencia, genera un ángulo con el mismo y el rayo reflejado tendrá el mismo ángulo sobre dicha superficie. (Jenkins & White, 1950)

Si la superficie es lisa, hablamos de una difusión especular mientras que si es rugosa o presenta irregularidades se describe como una reflexión difusa.

Refracción.

Se define la refracción de la luz al cambio de dirección que sufre un rayo cuando pasa por dos medios de diferente densidad. Mientras mayor sea la densidad del medio, más lento es la velocidad de los rayos sobre el mismo. “La luz que llega a un medio ópticamente menos denso se refracta o se desvía de la normal” (Wilson, 1991) . Con esto se explican fenómenos como los arco iris que es luz blanca que se divide al pasar por agua de lluvia que se encuentre en el aire.

Superficies Esféricas

Los efectos de la reflexión y refracción inciden en cómo se observan los objetos. Cuando se divisa un objeto, dependiendo las condiciones, se puede apreciar la imagen real o imagen virtual que se genera del objeto. En una imagen real observamos las figuras erguidas y/o invertidas pero su tamaño no cambia. Asimismo, los rayos incidentes convergen a la superficie de observación. En una imagen virtual, el objeto observado puede aumentar o reducir su tamaño. En esta, los rayos que inciden del objeto a la superficie de observación divergen y no pueden formarse. (Wilson, 1991)

Las características de la reflexión y refracción de la luz son el determinante de cómo un observador o cámara que se encuentran en un medio como el aire, perciben un objeto que se encuentra sumergido. El objeto en cuestión parece estar más cerca de donde realmente se localiza. Cuando se utiliza un medio de

separación entre medio agua-fluido la forma del objeto influye en el campo de visión y forma de la imagen creada. Si este medio de separación (tomando características de lentes) es una superficie delgada, transparente y plana, el ángulo máximo de visión es de 97,2 grados. Cuando se utiliza un medio tipo semiesfera o domo, se elimina el problema de visión por lo que se pueden tomar imágenes de mayor ángulo de visión. También se pueden identificar imágenes mas cercanas a la superficie del domo de mejor brillo y saturación de color.

En una superficie de forma de semiesfera los rayos luminosos que se proyectan del objeto desembocan al punto focal del domo, por lo que es el mejor punto donde debe ser posicionado el lente de la cámara. Cabe recalcar que la imagen tomada por dicho lente es la imagen virtual generada por las condiciones anteriormente expuestas (Jenkins & White, 1950). En la Figura 1.4-8 se observa cómo se genera esta imagen virtual además del punto focal de la semiesfera.

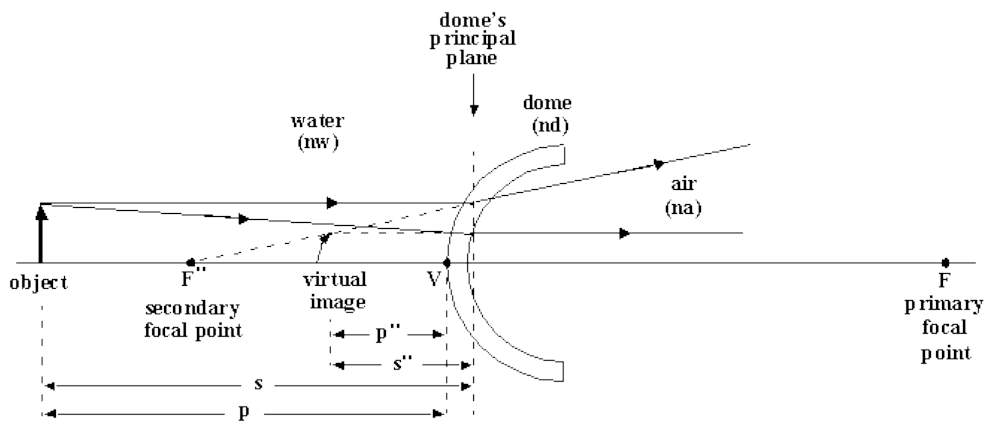


Figura 1.4-8 Óptica en un Domo (Scubageek, 2012)

1.5 Submarino USFQ I

En la tesis presentada en el año 2011 por Nicolás Soria y Daniel Cabrera, se obtuvo un ROV con las especificaciones encontradas en la Tabla 1.5-1.

Datos Submarino 2011			
Variable	Variable Específica	Valor	Unidad
Dimensiones	Largo	1200	mm
	Ancho	350	mm
	Alto	420	mm
Masa	Masa Total	38,3	kg
Velocidades	Velocidad línea Recta	0,834	m/s
		1,622	nudos
	Velocidad de Subida	0,199	m/s
		0,387	nudos
Tiempo	Tiempo de giro	28,695	sec
Aceleración	Aceleración Horizontal	2,54	m/s ²
	Aceleración Vertical	1,61	m/s ²
Grados de Libertad	G. libertad totales	5	G.L.
Profundidad	Profundidad máxima	50	m

Tabla 1.5-1 Datos Submarino 2011 (Soria & Cabrera, 2011)

Las figuras: Figura 1.5-1 Vista Isométrica hasta la Figura 1.5-4 Vista Lateral, muestran el modelo anterior. Estas, presentan una base para el futuro rediseño y repotenciación que representa el objetivo de esta tesis.

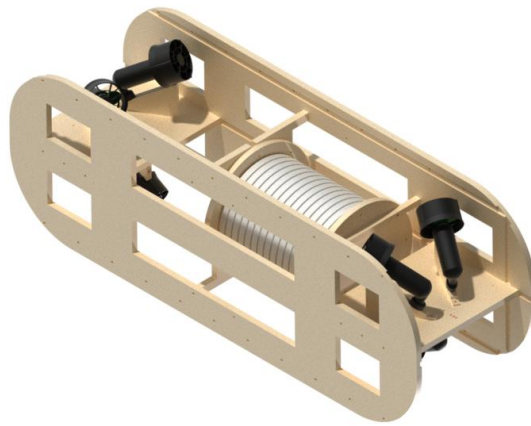


Figura 1.5-1 Vista Isométrica Submarino USFQ I

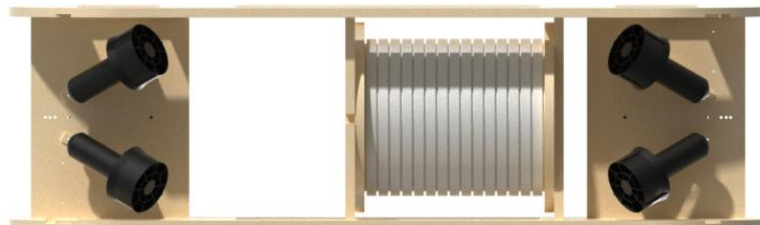


Figura 1.5-2 Vista Superior



Figura 1.5-3 Vista Frontal

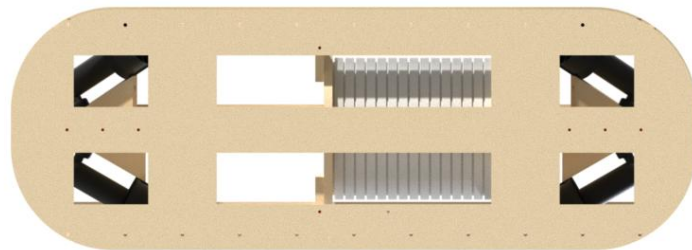


Figura 1.5-4 Vista Lateral

Los componentes que conforman este diseño son los encontrados en la

Tabla 1.5-2

Componentes Submarino			
Estructura		Eléctrico/Electrónico	
Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad
Motor Seabotix BTB-150	6	CRIO	1

Laterales	2	Sabertooth	3
Tapa Superior	1	Hidrófono	1
Tapa Trasera	1	Joystick	1
Perfiles Triangulares	6	Cable Audio	1
Base Motores	2	Cámara Video	1
Cilindro	1	Cable Ethernet	1
O ring	4	Superflex	1
Empaque	2	Espaguete térmico	1
Barras Delanteras	2	Baterías 12v	2
Barras T	2	Batería 6v	2
Prensa Estopa	7		
Pernos/Rosca/Arandela	56		
Varilla Roscada	4		
Ejes Acero	7		

Tabla 1.5-2 Componentes Submarino

La configuración de los motores es de forma cónica. Se toma 6 motores en total, 3 en la parte frontal y 3 en la parte posterior. Los motores mantienen una separación angular de 60° entre cada uno y de 30° tomando como referencia la base (véase Figura 1.5-5).

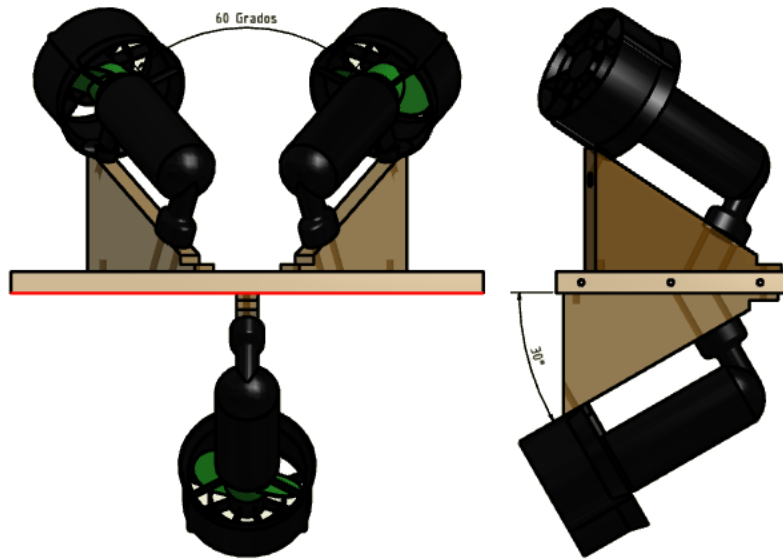


Figura 1.5-5 Configuración motores cónica

Cada motor cuenta con una fuerza de 21,57 N. Con la configuración cónica se llegó a las fuerzas encontradas en la Tabla 1.5-3.

A,B,D,E		
Descripción	Valor	Unidad
Fy	10,785	N
Fx	16,1775	N
Fz	9,3401	N
C,F		
Descripción	Valor	Unidad
Fy	10,785	N
Fx	18,68	N
Fz	0	N

Tabla 1.5-3 Fuerza de cada Motor según el eje en configuración cónica

Para lograr todos los grados de libertad que posee el ROV se juega con la dirección en la que trabaja cada motor. Como se combinan las fuerzas de cada motor, tenemos una resultante ya sea para avanzar, dar marcha atrás, subir/ bajar o girar. La configuración de motores cónica brinda las fuerzas resultantes encontradas en la Tabla 1.5-4

Valores Resultantes Según Alineación		
Descripción	Valor	Unidad
F total X	101,76	N
F total Y	64,53	N
F total Z	37,25	N

Tabla 1.5-4 Valores Resultantes Alineación

2 Diseño Submarino USFQ II

2.1 Diseño Compartimiento Cámara

Una de las principales adiciones al submarino USFQ II es la implementación de una cámara Panasonic BB-HCM511A cuyas especificaciones se encuentran en anexos A. La posición de la cámara debe ser al frente del ROV, es decir posición contraria a la de conexión de cables a superficie para asegurar mejor visibilidad. La cámara no es resistente al agua, por lo que se requiere diseñar un compartimiento seco. El mismo debe ser apto para cubrir la cámara completamente y además poseer una o más caras transparentes que sean aptas para buena visibilidad entre el ambiente y el lente de la cámara. Con estas especificaciones se llegó al diseño de la Figura 2.1-1

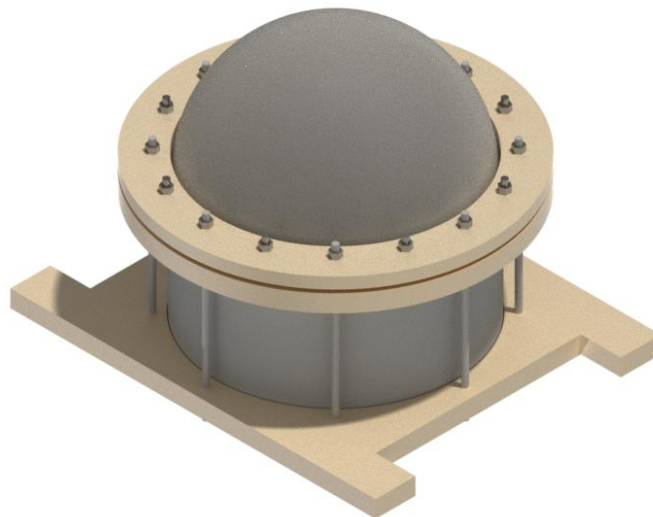


Figura 2.1-1 Compartimiento Cámara

En la Tabla 2.1-1 se observa los componentes que integran el diseño del compartimiento seco de la cámara. Para la visibilidad de la cámara se utiliza un

domo, con este tenemos mayor visibilidad y libre movimiento como se describe en la parte de óptica del capítulo 1. Además superficies esféricas tienen mejor soporte para presiones.

Componentes Compartimiento Seco		
Nombre	Material	Cantidad
Base Cámara	Tecnopolímero (Grilón)	1
Brida Inferior	Tecnopolímero (Grilón)	1
Brida Superior	Tecnopolímero (Grilón)	1
Domo	PMMA (acrílico)	1
Cilindro	PVC	1
O Ring	Caucho	2
Empaque	Caucho	1
Varilla Roscada	Acero Inoxidable	8
Tuerca Mm M6	Acero Inoxidable	24
Rodela Plana 1/4	Acero Inoxidable	32
Rodela Presión 1/4	Acero Inoxidable	24
Perno c/hex 8x50	Acero Inoxidable	8

Tabla 2.1-1 Componentes compartimiento seco

Los componentes críticos en este compartimiento son el cilindro y domo. Cuando el ROV se encuentre sumergido, serán estos los que soportan la presión ejercida por el agua además de soportar las presiones ejercidas por el sellado.

2.2 Domo

Una forma semiesférica o domo brinda una mejor visibilidad a la cámara por su amplio rango de movimiento. La elección de una forma de semiesfera sobre una forma plana también se debe a que el domo actúa como un elemento adicional a la óptica. El domo reduce los problemas de refracción, distorsión radial y aberraciones cromáticas que puedan existir en la toma de imágenes submarinas (Hydroflex, 2011).

Los materiales de producción de domos pueden ser en acrílico o vidrio. La inclinación fue por un domo de acrílico ya que tiene buena visibilidad, su costo de producción es mucho menor, resiste mejor a los golpes y su peso es menor en comparación a uno realizado en vidrio. Además, existen métodos de limpieza de diferentes rayones que se puedan generar con el paso del tiempo.

En la Figura 2.2-1, observamos la forma del domo de radio exterior 195mm, 101mm de alto, 25.4mm de brida y 4mm de espesor, las medidas exactas se encuentran en los planos de la sección Anexos C. Se utiliza un espesor de pared de 4mm ya que es el máximo con el que se puede conseguir la forma de Domo.



Figura 2.2-1 Domo

Esfuerzos en el Domo

Es necesario determinar si el domo de acrílico tolerará la presión que ejerce el agua a una profundidad máxima de 50 metros (establecida anteriormente). Además, esta profundidad no puede ser crítica para el domo, es decir, se debe trabajar con un factor de seguridad a la profundidad dada y tener una fiabilidad de trabajo.

Presión Máxima

Para determinar la presión de trabajo que pueda soportar el domo, utilizaremos la siguiente fórmula

$$P = \frac{2 * \sigma_t * E * t}{R - 0.2 * t}$$

Ecuación 2 Presión para una Cabeza esférica (Lozano, 2012)

donde P es la presión de diseño o presión máxima,
 σ_t valor del esfuerzo tangencial máximo del material,

E eficiencia de la junta,

R Radio interior, D diámetro interior,

t espesor de pared.

Para el cálculo de la presión máxima tenemos los valores encontrados en

la Tabla 2.2-1

Datos Domo Acrílico		
Dato	Valor	Unidad
Esfuerzo(UTS)	70	Mpa
E	0,4	N/a
t	4	mm
Radio	101,6	mm

Tabla 2.2-1 Datos Domo

Se utiliza un esfuerzo UTS (ultimate tensile strength por sus siglas en inglés), es decir la presión a la cual falla el material. Para el caso del acrílico este valor es de 70 MPa (MatWeb). Con esto se determina la presión a la cual el domo falla y a que profundidad ocurre esto. Además se utiliza una eficiencia de junta de tipo brida, con una eficiencia E de 0,4 (León Estrada, 2001). Utilizando la Ecuación 2 además de los datos del domo obtenemos:

$$P = \frac{2 * \sigma_t * E * t}{R - 0.2 * t} = \frac{2 * 70 \text{ Mpa} * 0,4 * 4 \text{ mm}}{101,6 \text{ mm} - 0,2 * 4 \text{ mm}} = 2,222 \text{ MPa}$$

Presión (Mpa)	Presión(atm)	Profundidad (m)
2,22	21,932	210,8

Tabla 2.2-2 Resultados Presión máxima y profundidad

Entonces, para los datos de diseño, el domo soportará una presión máxima de 2,22 MPa y esto ocurre a una profundidad de 210,8 metros.

Factor de Seguridad

Es necesario también calcular un factor de seguridad dado por la Ecuación 3.

$$F.S. = \frac{P_{max}}{P_{50m}}$$

Ecuación 3 Factor de seguridad domo

Reemplazando valores tenemos

$$F.S. = \frac{P_{max}}{P_{50m}} = \frac{2,22 \text{ Mpa}}{0,604 \text{ Mpa}} = 3.68$$

El factor de seguridad es mucho mayor tomando en comparación al determinado por presiones ejercidas en el cilindro. Es por esto que el elemento que realmente determina una profundidad máxima de sumersión es el cilindro. Superficies con formas esféricas soportan mejor presiones que superficies con

formas cilíndricas. En la Tabla 2.2-3 se muestran los factores de seguridad a distintas profundidades.

Profundidad (m)	Presión Externa (Mpa)	Factor Seguridad
0	0,1	21,940
10	0,2	11,006
20	0,3	7,346
30	0,4	5,512
40	0,5	4,411
50	0,6	3,677
75	0,9	2,596
100	1,1	2,007
125	1,4	1,635
150	1,6	1,380
175	1,9	1,193
200	2,1	1,051
210,8	2,2	1

Tabla 2.2-3 Factor de Seguridad a diferentes profundidades

En la parte anexos se encuentran las simulaciones realizadas en Autodesk Inventor 2014. Se realizaron en base a la presión máxima de operación y a restricciones según la forma de anclaje en el ROV. En estas simulaciones se pueden comprobar la validez de los cálculos anteriormente realizados.

2.3 Cilindro

El cilindro se diseña de tal forma que cubra la base y una altura de la cámara. Además, el largo se obtiene para que el lente de la cámara se alinee con el centro focal del domo. Cabe recalcar que se deben realizar pruebas de visibilidad de imagen de la cámara para establecer si existe un significativo cambio según la posición del lente de la cámara. Si no existen cambios significativos el cilindro puede ser de menor altura para evitar tener mas volumen de aire dentro del compartimiento seco.

Para el cilindro se tomo una unión de PVC de 200mm de radio interno y un espesor de pared de 4mm. El espesor de pared se toma a partir de componentes ya existentes en el mercado. Diseñar componentes a medida tiene costo elevado por lo que se toman elementos prefabricados y se evalúa el desempeño según especificaciones. Con esto se cubre la cámara y queda un espacio para las conexiones de control y potencia.



Figura 2.3-1 Cilindro

Esfuerzos en el Cilindro

Diferentes tipos de recipientes, ya sean cilindros de presión, hidráulicos, tuberías o cañones de armas se exponen tanto a esfuerzos tangenciales como radiales a lo largo de su geometría (Budynas & Nisbett, 2006).

En este caso, es necesario la selección y compra de un cilindro de presión. Se utiliza como base una unión de PVC de 200mm de diámetro interno y 4 milímetros de espesor de pared.

Para los cálculos de esfuerzos primero es necesario definir la presión a 50 metros de profundidad que es el valor máximo de funcionamiento. La presión de un líquido, dependiendo de la profundidad esta dada por la **Ecuación 4**

$$P = \gamma h + P_0$$

Ecuación 4 Presión (Munson & Young)

donde:

P: es la presión, γ es el peso específico

h la altura y P_0 es la presión en la superficie

A nivel del mar, donde se espera el submarino sea mayormente utilizado, tenemos que la presión es de 1 atmósfera o 101325 Pa, el peso específico del agua de mar es 10065 N/m. En la **Tabla 2.3-1** observamos los valores de presión a distintas profundidades.

Profundidad (m)	Presión (Pa)	Presión (atm)
0	101.325,0	1,0
25	352.950,0	3,5
50	604.575,0	6,0
75	856.200,0	8,5
100	1.107.825,0	10,9
125	1.359.450,0	13,4
150	1.611.075,0	15,9

Tabla 2.3-1 Presión vs Profundidad

Entonces, a 50 metros de sumersión se tiene una presión de 604.575 Pa o 6 atmósferas.

Esfuerzos Tangenciales

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 - r_i^2 r_o^2 (p_o - p_i) / r^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

Ecuación 5 Esfuerzo tangencial (Budynas & Nisbett, 2006)

donde σ_t es el esfuerzo tangencial, p_i presión interna,

p_o presión externo, r_i radi□ interno, r_o radio externo

y r es el radio promedio

Substituyendo los valores por la unión de PVC de 200mm de diámetro interno y 4 milímetros de espesor de pared, con una presión interna de 1 atm y presión externa 6 atm (50 metros profundidad) tenemos

$$\sigma_t = \frac{(0,1013 \text{ MPa})(0,1 \text{ m})^2 - (0,6046 \text{ MPa})(0,104 \text{ m})^2 - (0,1 \text{ m})^2(0,104 \text{ m})^2(0,6046 \text{ MPa} - 0,1013 \text{ MPa})/(0,102 \text{ m})^2}{(0,104 \text{ m})^2 - (0,1 \text{ m})^2}$$

$$\sigma_t = -13,1846 \text{ MPa}$$

El signo negativo de los esfuerzos tangenciales nos indica que se encuentra en compresión.

Esfuerzos Radiales

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 + r_i^2 r_o^2 (p_o - p_i) / r^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

Ecuación 6 Esfuerzo Radial (Budynas & Nisbett, 2006)

*donde σ_t es el esfuerzo radial, p_i presión interna,
 p_o presión externo, r_i radio interno, r_o radio externo
y r es el radio promedio*

Substituyendo los valores por la unión de PVC de 200mm de diámetro interno y 4 milímetros de espesor de pared, con una presión interna de 1 atm y presión externa 6 atm (50 metros profundidad) tenemos

$$\sigma_r = \frac{(0,1013 \text{ MPa})(0,1 \text{ m})^2 - (0,6046 \text{ MPa})(0,104 \text{ m})^2 + (0,1 \text{ m})^2(0,104 \text{ m})^2(0,6046 \text{ MPa} - 0,1013 \text{ MPa})/(0,102 \text{ m})^2}{(0,104 \text{ m})^2 - (0,1 \text{ m})^2}$$

$$\sigma_r = -0,360351 \text{ MPa}$$

El signo negativo nos indica que los esfuerzos radiales se encuentran en compresión..

La tubería seleccionada es una unión de PVC de 200 mm de radio interior. Según especificaciones , esta soporta una presión externa de 1.2 MPa antes de su fractura. Se utiliza esta presión y nuevamente se determinan los valores de esfuerzo tangenciales y radiales para determinar el factor de seguridad con el cual se esta trabajando.

Esfuerzo Tangencial Máximo

Para el esfuerzo tangencial máximo utilizamos los mismos valores anteriores, solo cambia la presión externa por un valor de 1.2 MPa.

$$\sigma_{tmax} = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 - r_i^2 r_o^2 (p_o - p_i) / r^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_{tmax} = \frac{(0,1013 \text{ MPa})(0,1 \text{ m})^2 - (1,2 \text{ MPa})(0,104 \text{ m})^2 - (0,1 \text{ m})^2(0,104 \text{ m})^2(1,2 \text{ MPa} - 0,1013 \text{ MPa})/(0,102 \text{ m})^2}{(0,104 \text{ m})^2 - (0,1 \text{ m})^2}$$

$$\sigma_{tmax} = -28,66 \text{ MPa}$$

Esfuerzo Radial Máximo

Para el esfuerzo tangencial máximo utilizamos los mismos valores anteriores, solo cambia la presión externa por un valor de 1.2 MPa.

$$\sigma_{rmax} = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 + r_i^2 r_o^2 (p_o - p_i) / r^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_{rmax} = \frac{(0,1013 \text{ MPa})(0,1 \text{ m})^2 - (1,2 \text{ MPa})(0,104 \text{ m})^2 + (0,1 \text{ m})^2 (0,104 \text{ m})^2 (0,2 \text{ MPa} - 0,1013 \text{ MPa}) / (0,102 \text{ m})^2}{(0,104 \text{ m})^2 - (0,1 \text{ m})^2}$$

$$\sigma_{rmax} = -0,6668 \text{ MPa}$$

Factor de Seguridad

Se determina el factor de seguridad utilizando la Ecuación 7

$$F.S. = \frac{\sigma_{max}}{\sigma}$$

Ecuación 7 Factor de Seguridad

Según los esfuerzos tangenciales el factor de seguridad es

$$F.S. = \frac{\sigma_t \text{ max}}{\sigma_t} = \frac{-28,66 \text{ Mpa}}{-13,18 \text{ Mpa}} = 2,17$$

Según los esfuerzos radiales el factor de seguridad es

$$F.S. = \frac{\sigma_r \max}{\sigma_r} = \frac{-0,6668 \text{ Mpa}}{-0,360351 \text{ Mpa}} = 1,85$$

Entonces, el factor de seguridad a 50m de sumersión es 1,85 ya que es el menor valor que resulta utilizando los esfuerzos radiales. Este valor nos da seguridad al momento de utilizar la unión de P.V.C. y puede ser incluida en el diseño. En la Tabla 2.3-2 se encuentra el factor de seguridad a diferentes profundidades.

Profundidad (m)	Presión Externa (Mpa)	Esfuerzo Radial	Esfuerzo Tangencial	Factor Seguridad Esfuerzo Radial	Factor Seguridad Esfuerzo Tangencial
0	0,1	-0,101	-0,102	6,582	281,139
10	0,2	-0,153	-2,718	4,355	10,544
20	0,3	-0,205	-5,335	3,254	5,373
30	0,4	-0,257	-7,951	2,597	3,605
40	0,5	-0,309	-10,568	2,161	2,712
50	0,6	-0,360	-13,184	1,851	2,174
60	0,7	-0,412	-15,800	1,618	1,814
70	0,8	-0,464	-18,417	1,437	1,556
80	0,9	-0,516	-21,033	1,293	1,363
90	1,0	-0,568	-23,650	1,175	1,212
100	1,1	-0,619	-26,266	1,077	1,091
109,1579732	1,2	-0,667	-28,662	1,000	1,000

Tabla 2.3-2 Factor de seguridad a diferentes profundidades

En la parte anexos se incluyen los análisis en Autodesk Inventor con lo que se comprueba la validez de los datos anteriormente expuestos.

2.4 Base Cámara

Es el soporte de la cámara y unión con la estructura del submarino. Además posee la única salida de comunicación entre cámara-superficie a través de una prensa estopa para impedir pequeñas filtraciones. La Figura 2.4-1 muestra la forma de esta pieza.

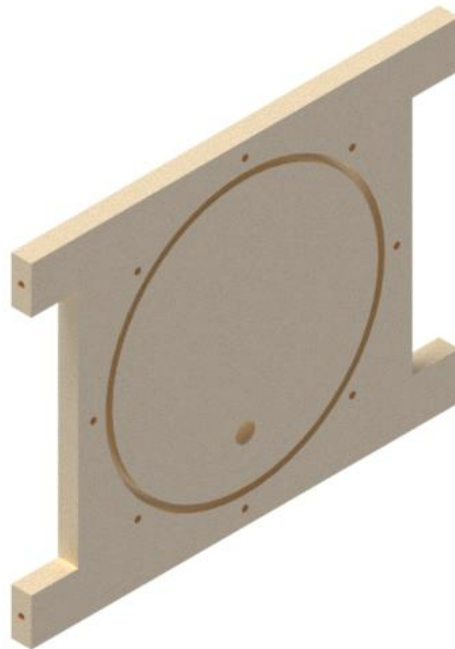


Figura 2.4-1 Base Cámara

Esta base para la cámara es de 15 mm de espesor diseñado para construirse del material Grilón que es un termoplástico de buenas propiedades mecánicas apto para soportar la presión que se ejerce tanto del agua como del ajuste por tornillos sin fin para crear un sello contra el agua. Se diseña además un canal de 7mm de profundidad que sirve de guía para el cilindro de PVC así la

unión es fija. En el canal va también un sello de tipo O-ring para que la presión entre la base y el cilindro cree un compartimiento libre de filtraciones que puedan darse por pequeñas aberraciones que existan en el cilindro o la base. Se crean además 8 perforaciones para los tornillos sin fin que son la conexión con las bridas y el domo.

2.5 Brida Inferior

Es la unión entre la base de la cámara y el cilindro por lo cual posee un canal para el espesor del cilindro. Además, es la base donde se asienta el domo. La Figura 2.5-1 muestra la forma de la pieza.

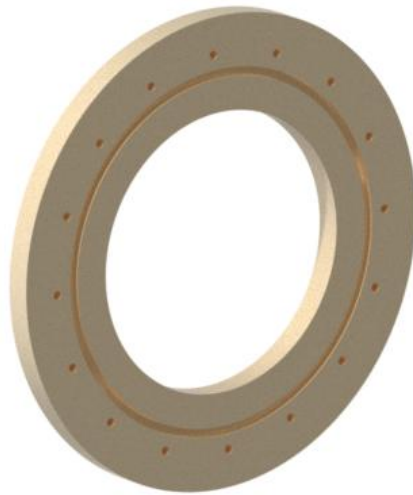


Figura 2.5-1 Brida Inferior

Al igual que la base de la cámara es de 15 mm de espesor, esto es para poder realizar el canal de 7mm de profundidad y tener 8 mm restantes de estructura. El material grilón también es la elección para esta pieza. Tiene 16 perforaciones, esto es 8 para conexión con el cilindro y 8 para la brida superior.

2.6 Brida Superior

Se diseña para crear un compartimiento tipo brida inferior-sello-domo-brida superior. Es entonces el sello para evitar filtraciones que puedan darse en el domo.

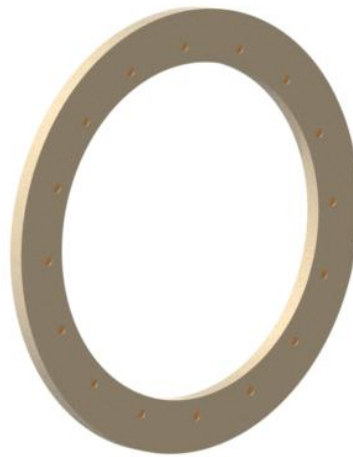


Figura 2.6-1 Brida Superior

Se diseña de 10mm de espesor para poder ejercer presión de sellado y para que futuras modificaciones puedan realizarse en esta pieza. Una de estas modificaciones puede ser la inclusión de luces led, como se tiene 10mm pueden realizarse perforaciones para que las luces puedan ser incrustadas y fijas a la pieza.

2.7 Diseño Compartimiento Controladores eléctricos.

El antiguo compartimiento seco donde se ubicaban los controladores tenía una medida de 445mm, esto es, tomando en cuenta las tapas que sellan al

cilindro y las barras que son las que conectan con la estructura para que el compartimiento quede fijo. Dentro del compartimiento seco se encontraba el procesador cRIO y los controladores Sabertooth 2x10 Figura 2.7-1.

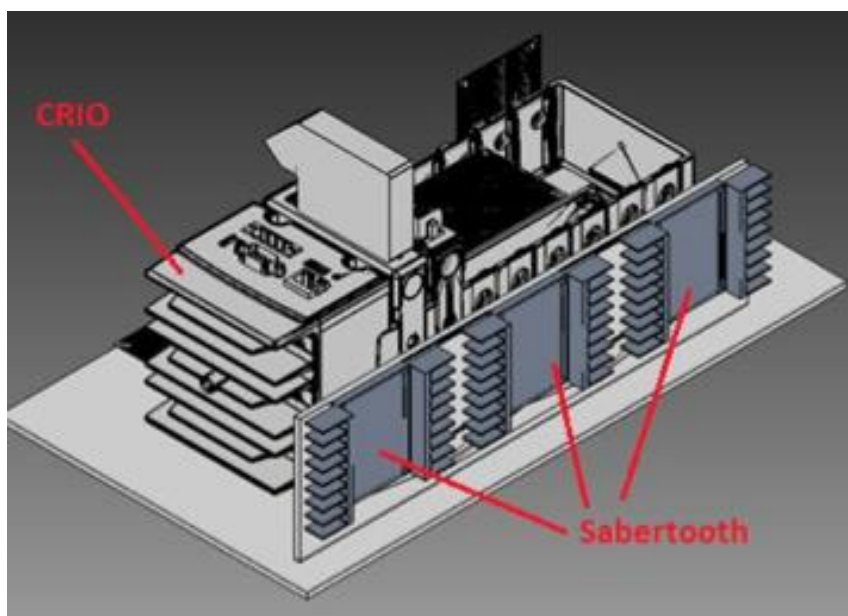


Figura 2.7-1 Compartimiento Controlador (Soria & Cabrera, 2011)

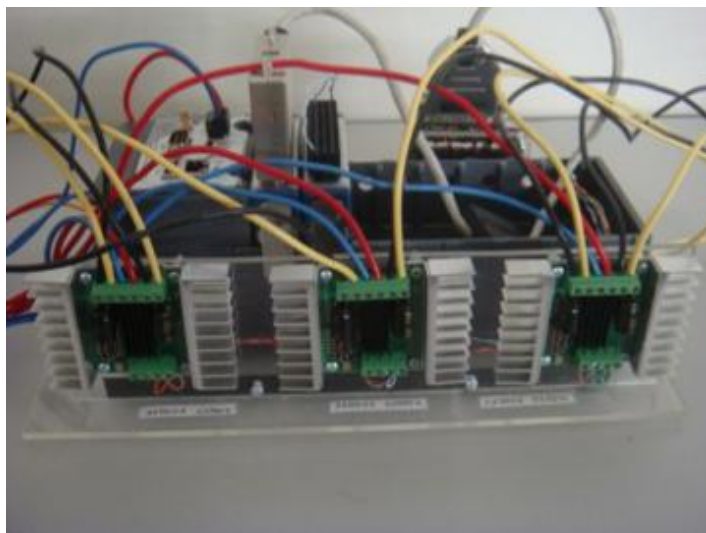


Figura 2.7-2 cRio, Sabertooth, Plancha Acrílico (Soria & Cabrera, 2011)

Estos se encontraban montados sobre una plancha de acrílico y sujetos al cilindro por medio de 2 perfiles de tipo C que estaban pegados dentro del cilindro con masilla epóxica. La limitación del largo del cilindro esta dada por el procesador cRIO, ya que tiene unas dimensiones de 274mm x 93,1 x 88,1. En total, en ensamblaje de el procesador y controladores sobre la plancha de acrílico tenían una longitud de 320mm. Con la meta de aprovechar y optimizar todo el espacio posible se decidió remover este procesador para llevarlo a superficie, es decir, ya no es necesario su ubicación dentro del agua y la comunicación será realizada por cables. Solo los controladores de los motores Sabertooth serán ubicados dentro del cilindro, además de placas de sensores y distintos conectores. Se ensayo con distintas configuraciones con el programa Autodesk Inventor 2014 y se llego a la mejor opción de la Figura 2.7-3

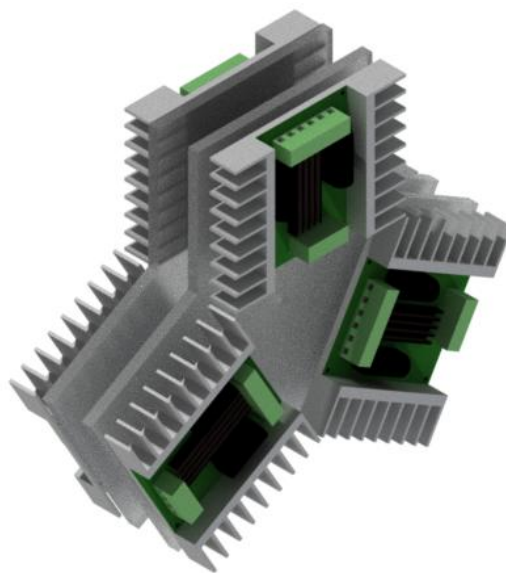


Figura 2.7-3 Nueva Configuración Controladores

Con esta configuración tenemos lugar para todas las placas eléctricas y controladores. Además, por su forma triangular, tenemos espacio libre para cables y conexiones existentes en el ROV. Para conectar los controladores a la estructura se utiliza 3 varillas sin fin que a su vez se enlazan en una pieza de grilón que conecta todo por medio de pernos. véase Figura 2.7-4.

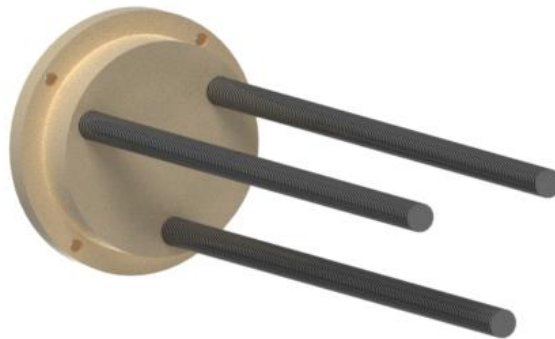


Figura 2.7-4 Conector Controladores

Esta pieza tiene 7 perforaciones, 3 roscadas para las varillas sin fin que son las guías del módulo controlador y 4 perforaciones para empernar esta pieza a la tapa trasera del compartimiento de control.

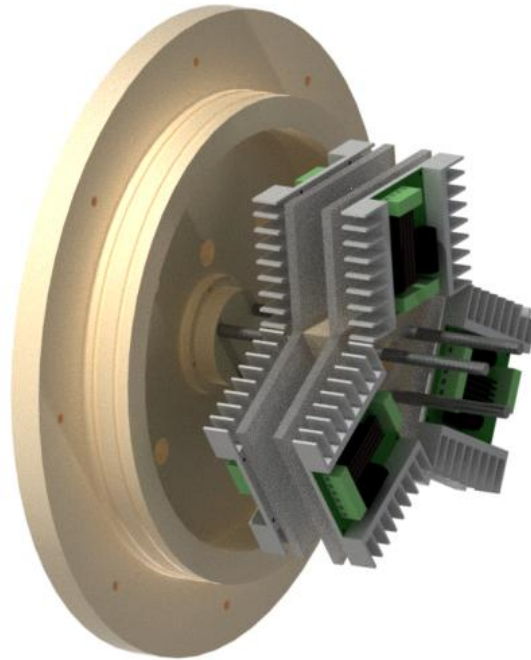


Figura 2.7-5 Unión a tapa trasera

Con este diseño se asegura la sujeción de todos los módulos de control. Además se facilita el manejo manual.

2.8 Compartimiento Seco

Como resultado del cambio de conexiones en la parte de control se reduce el espacio necesario para conexiones dentro del cilindro. Es por esto que el espacio restante se puede reducir, sin cambiar las características del cilindro o de las tapas originales de la plataforma. La reducción del largo del antiguo compartimiento seco se muestra en la Figura 2.8-1

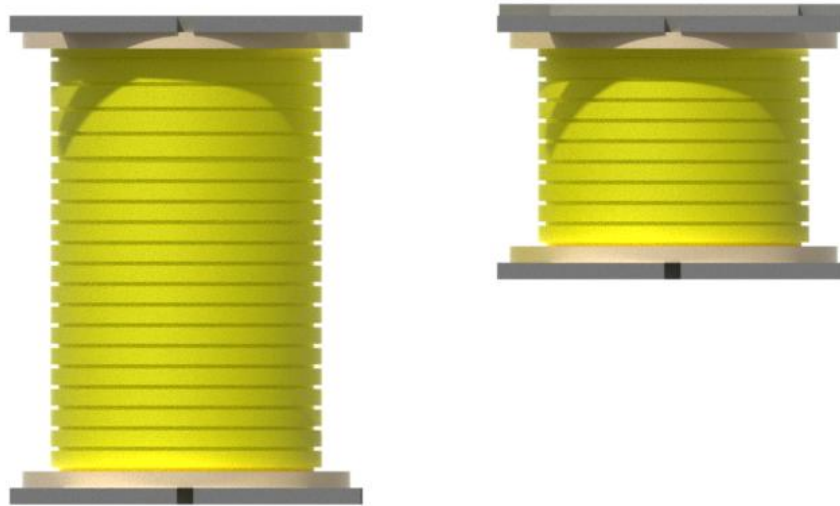


Figura 2.8-1 Reducción en Compartimiento seco

En total la reducción en el largo fue de 205mm. Los cálculos de esfuerzos sobre este cilindro no se incluyen en esta tesis porque solo se realiza un corte transversal. El desempeño de este compartimiento ya fue probado con anterioridad tanto teórica como computacionalmente en la tesis de Nicolás Soria y Daniel Cabrera.

2.9 Base Motores

En la base de los motores se realizan cortes a los dos lados que son pedazos de plancha no utilizados. En total la reducción fue de 75 mm, 50mm en un lado y 25mm en otro. Con esto se disminuye el espacio que estos ocupan en la estructura. La Figura 2.9-1 muestra la el corte de esta base y el modelo antiguo, ambos con los motores en su respectiva disposición.



Figura 2.9-1 Reducción base soporte motores

2.10 Laterales

En los laterales, soportes de todos los equipos, se extienden los canales anteriormente realizados y se incluye el canal para que sea guía del compartimiento seco de la cámara. No se cambia la distancia para las primeras pruebas para no perder el antiguo modelo. Si los resultados son los óptimos se realizarán los cortes respectivos.

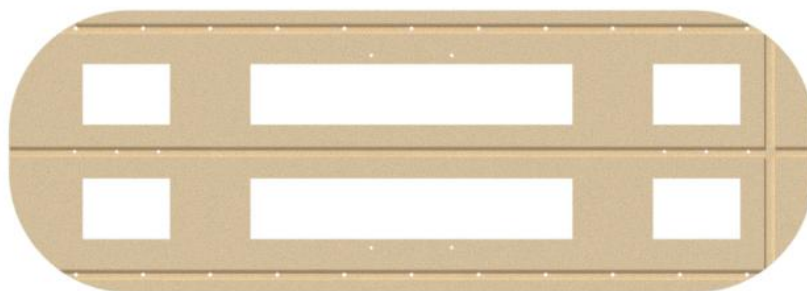


Figura 2.10-1 Canales en los laterales

2.11 Ensamblaje

Submarino USFQ II Prototipo 1

Según la unión de los componentes tanto de la tesis presentada en el año 2011 como los nuevos componentes se llega al nuevo modelo de la Figura 2.11-1

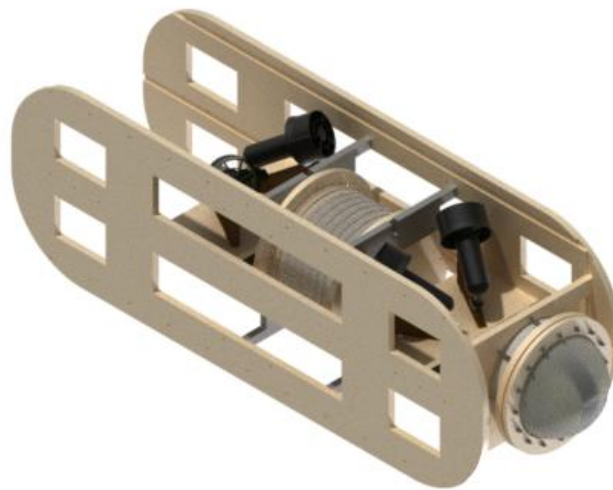


Figura 2.11-1 Submarino USFQ II Prototipo1

En este modelo se presenta la reducción de tanto el compartimiento seco de los controladores como la de las bases de los motores además de la adición del compartimiento de la cámara. La Figura 2.11-2 presenta la disminución del largo a la que se llega por la optimización de los componentes. El largo que se disminuye es de 355mm.

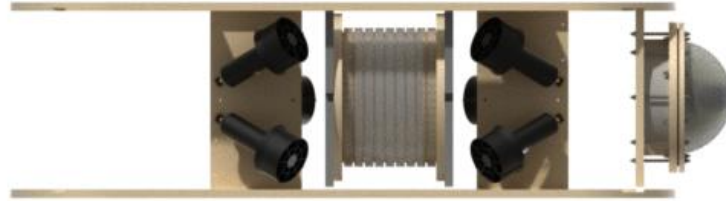


Figura 2.11-2 Reducción Largo ROV

Se conserva la antigua configuración de los motores para poder evaluar el desempeño según las nuevas características del ROV.

Submarino USFQ II Prototipo 2

El modelo expuesto en la Figura 2.11-3 es otro diseño de submarino. Este presenta una disposición de motores alternativa para ahorrar aun más espacio. En el presente se adicionan además los cortes de los laterales y los mismos componentes anteriores. Se evaluará el comportamiento de las dos opciones de submarinos para ver cual se comporta mejor y si existe una mejora a comparación con el primer modelo para realizar los cortes correspondientes.

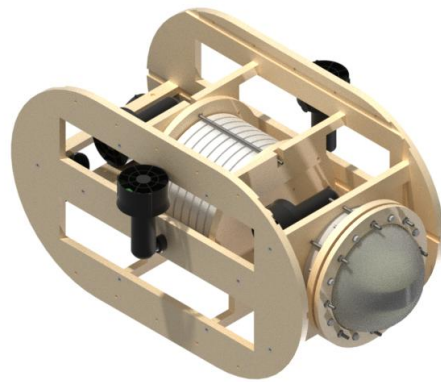


Figura 2.11-3 Submarino USFQ II Prototipo 2

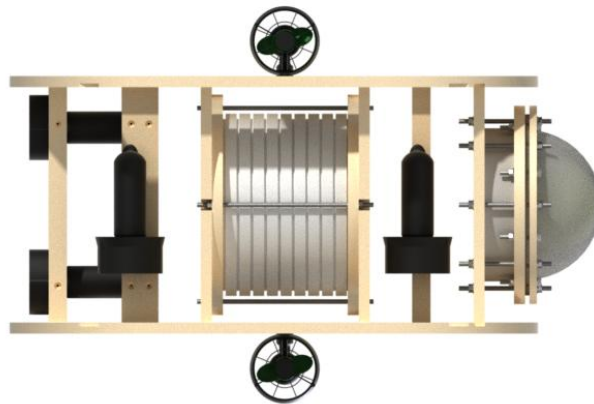


Figura 2.11-4 Submarino USFQ II Prototipo 2 Vista Superior

Los 3 submarinos muestran diferencias en tanto tamaño como en peso. Los resultados finales se exponen en los siguientes capítulos. La Figura 2.11-5 muestra la diferencia entre los modelos.



Figura 2.11-5 3 Submarinos

3 Construcción

3.1 Domo

La construcción del domo se realizó en la empresa Tecniformación que realizan diferentes tipos de formas en acrílico. Para el domo, primero se debe tomar en cuenta los requerimientos, esto es espesor, radio interno y ancho de brida.



Figura 3.1-1 Domo Tecniformación

Según el radio interno y espesor se determina el radio externo. Se toma en cuenta el valor de este radio exterior y se realiza una perforación en una base de madera. Sobre esta se coloca una plancha de acrílico de espesor deseado y se aplica aire comprimido hasta llegar a la altura deseada, en este caso el radio interno ya que es de forma semiesférica. Se realizan 16 perforaciones por donde pasan 8 pernos y 8 varillas sin fin para crear el sellado entre piezas.

3.2 Cilindro

Se toma como base una unión de tuberías de PVC de radio interno 200mm y espesor 4mm. No se utiliza la tubería porque su costo es mas elevado y no resultaba conveniente para la cantidad que se necesitaba. Utilizando esta unión se realiza distintos cortes para tener 3 cilindros de 100mm 75mm y 50mm.



Figura 3.2-1 Unión PVC

La razón de tener 3 cilindros es para realizar pruebas de visibilidad para el lente de la cámara. Si no se notan grandes cambios en las imágenes tomadas entonces se tomará el cilindro de menor altura para mantener menor aire dentro del compartimiento seco de la cámara. Se debe además dar uniformidad a las bases para evitar filtraciones de agua por lo que se utiliza el torno CNC para lograr una superficie plana.

3.3 Base Cámara

La base de la cámara se construye tomando como base una plancha de Grilón de 330mmx330mmx15mm. Con la ayuda de un torno CNC se logra la perforación del canal que posee esta pieza que es la guía para el cilindro. Además, se utiliza una fresa para crear las perforaciones laterales para disminuir peso y mejorar el flujo de agua cuando se utilice. Esta pieza es la unión con la estructura del ROV por lo que se hacen 4 perforaciones y se utilizan machuelos para dar guías para los pernos con lo que se logra buen ajuste. Además, se realizan pequeñas perforaciones para realizar la unión a la placa metálica de la cámara.

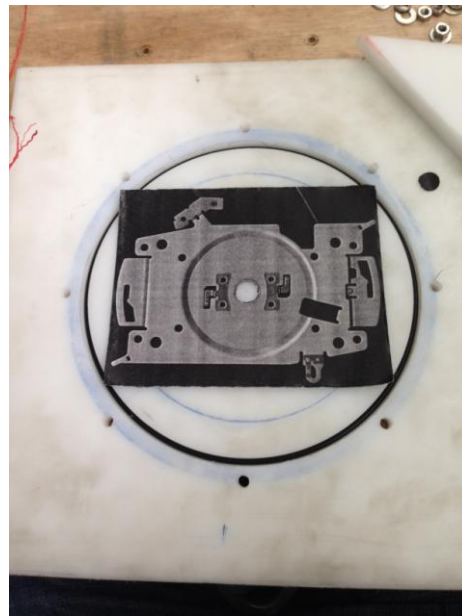


Figura 3.3-1 Base cámara, modelo para base metálica

3.4 Brida Superior e Inferior

Para la construcción de las bridas utilizamos planchas de Grilón de 280mmx280mm de 15mm de espesor para la brida inferior y 10mm para la brida superior. El maquinado necesitaba ser en el torno CNC por lo que se necesitaba un medio de atadura. Por esto, se construyó un eje madrino (véase Figura 3.4-1) y se aseguro a las planchas medio de unas perforaciones en el centro de las mismas.



Figura 3.4-1 eje Madrino

En el torno CNC se realizaron las dos bridas en un solo corte para obtener el mismo diámetro exterior (véase Figura 3.4-2) para llegar a las especificaciones de los planos correspondientes (Anexos C).



Figura 3.4-2 Corte Bidas

Las 16 perforaciones también fueron creadas con las 2 bridas juntas para asegurar alineamiento para pernos. Solo las perforaciones internas, para crear la forma de toro en las bridas, fueron realizadas por separado ya que los diámetros internos difieren en las piezas. En la brida inferior fue realizado también el canal que es la guía del cilindro de la misma manera que en la base de la cámara.

3.5 Laterales y Cilindro

Se utiliza la fresa del taller mecánico para extender los canales ya existentes en los laterales. Además se realiza un nuevo canal para el compartimiento seco de la cámara. Los cortes de los laterales se realizarán una vez terminadas las pruebas en agua para determinar si es necesario otro modelo. Además, se conserva el largo de los laterales para volver al antiguo modelo si es necesario. La Figura 3.5-1 muestra los nuevos canales.

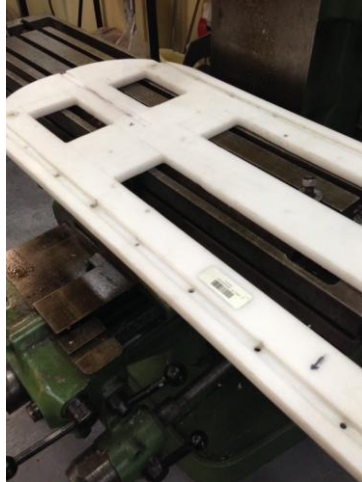


Figura 3.5-1 Canales sobre Laterales

Para el cilindro solamente se realiza un nuevo corte según el largo que se necesita por la nueva configuración de controladores.

3.6 Submarino USFQ

Una vez construidas todas las partes llegamos a los nuevos diseños de los submarinos. Las siguientes figuras muestran los dos modelos del submarino.

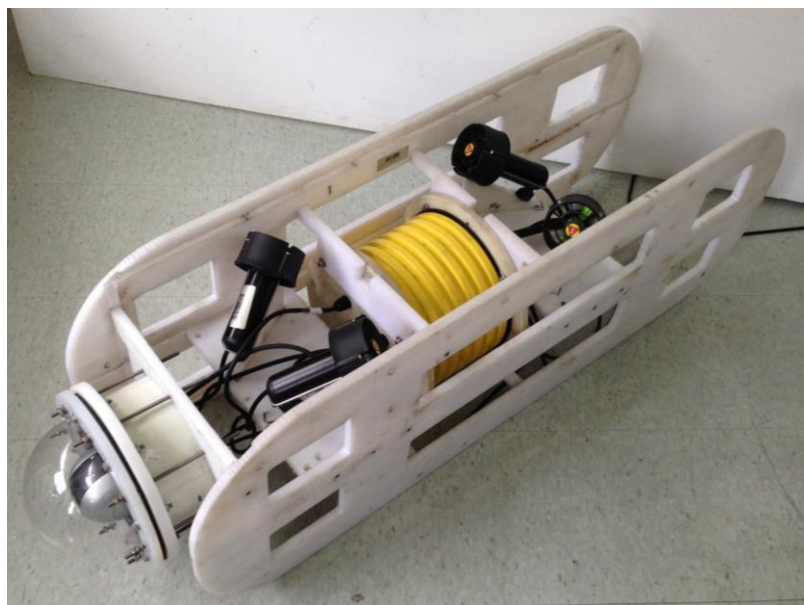


Figura 3.6-1 Submarino USFQ Prototipo 1

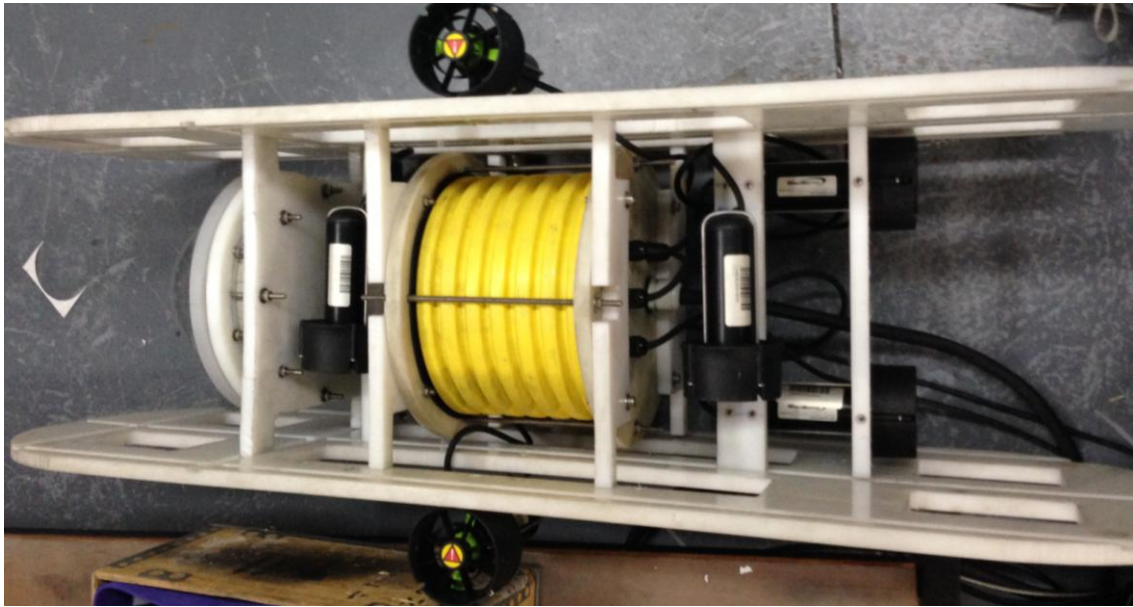


Figura 3.6-2 Submarino USFQ Prototipo 2

4 Submarino USFQ II Prototipo 2

4.1 Movimiento

La nueva configuración de motores representa en un cambio del sistema de control. Tanto el submarino USFQ I como el Submarino USFQ II Prototipo 1 utilizan la combinación de todos los motores para realizar distintos movimientos. Los 6 motores se prenden simultáneamente y solo cambia el sentido de rotación de cada uno para que tenga un movimiento diferente.

En la nueva alineación para cada movimiento solo se unen 2 motores a la vez con lo que se logran 5 grados de libertad 3 de traslación y 2 de rotación. El movimiento que no se logra es el de cabeceo que sería el último grado de libertad. Cada motor tiene una fuerza de 2.2 kgf o 21,57 N por lo que en cada dirección se tienen 43,14 N. Para rotar el submarino utiliza dos motores por lo que se genera un momento. La distancia entre los motores que generan el giro es de 382mm por lo que la distancia para calcular el momento es de 191,48mm. El momento entonces es de 8,26 Nm.

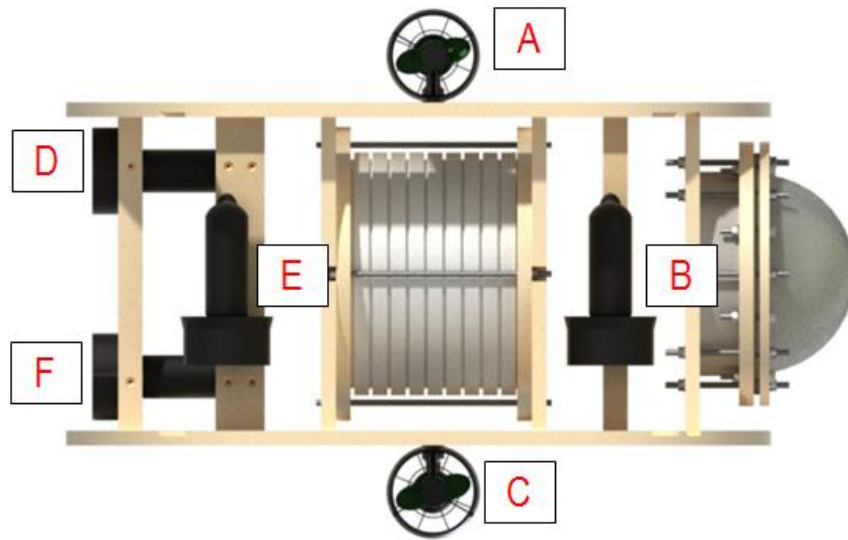


Figura 4.1-1 Nueva Orientación Motores

Adelante.- D y F prendidos en la misma dirección

Atrás.- D y F prendidos la misma dirección pero reversa

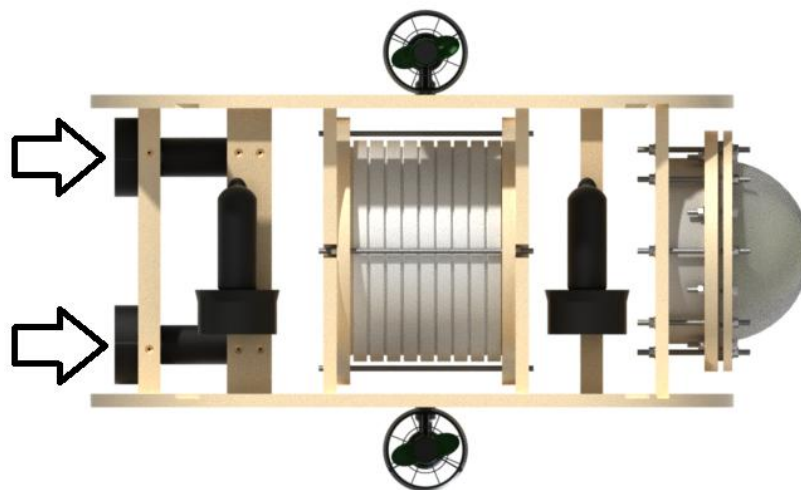


Figura 4.1-2 Movimiento Adelante, atrás

Arriba.- A y C prendidos en la misma dirección

Abajo.- A y C prendidos la misma dirección pero reversa

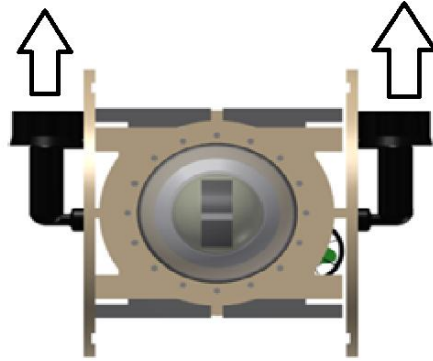


Figura 4.1-3 Movimiento Arriba, Abajo

Izquierda.- Motor B y E prendidos en la misma dirección

Derecha.- Motor B y E prendidos en la misma dirección pero reversa

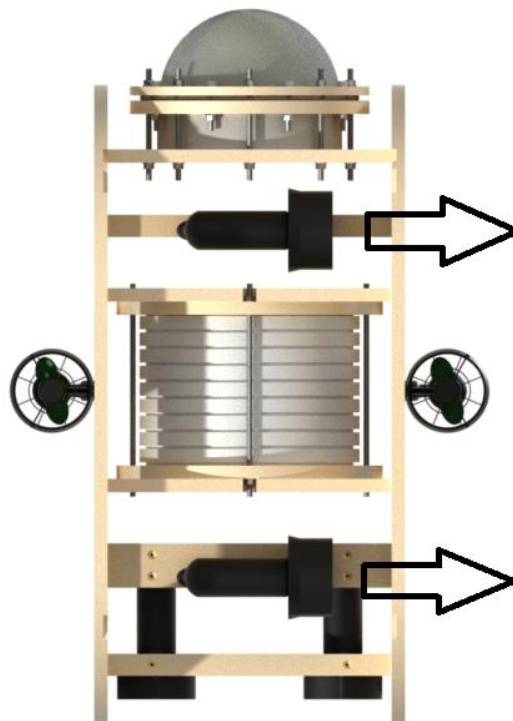


Figura 4.1-4 Movimiento Izquierda, Derecha

Giro Horizontal Derecha.- Motor B en reversa y motor E hacia adelante

Giro Horizontal Izquierda.- Motor B hacia adelante y motor E en reversa

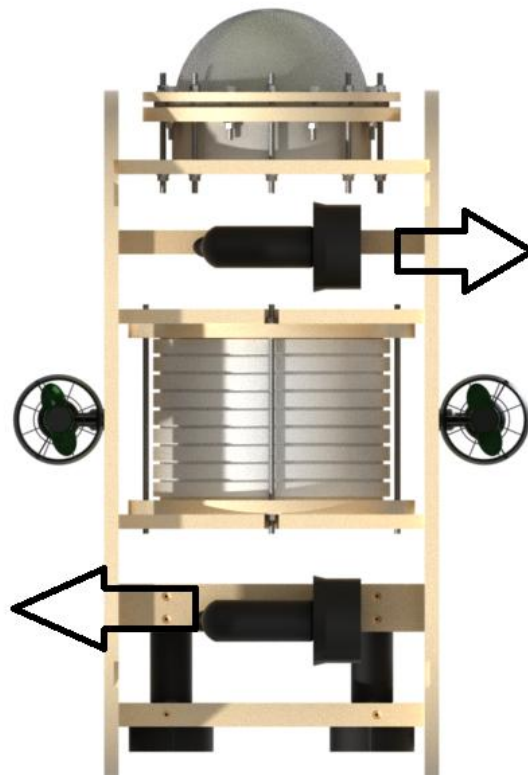


Figura 4.1-5 Giros

4.2 Cambios Programación

En base al programa utilizado por el Submarino USFQ I se realizan cambio en como se comportan los motores dependiendo del mando que se de por el joystick. Estos cambios se encuentran en la Figura 4.2-1.

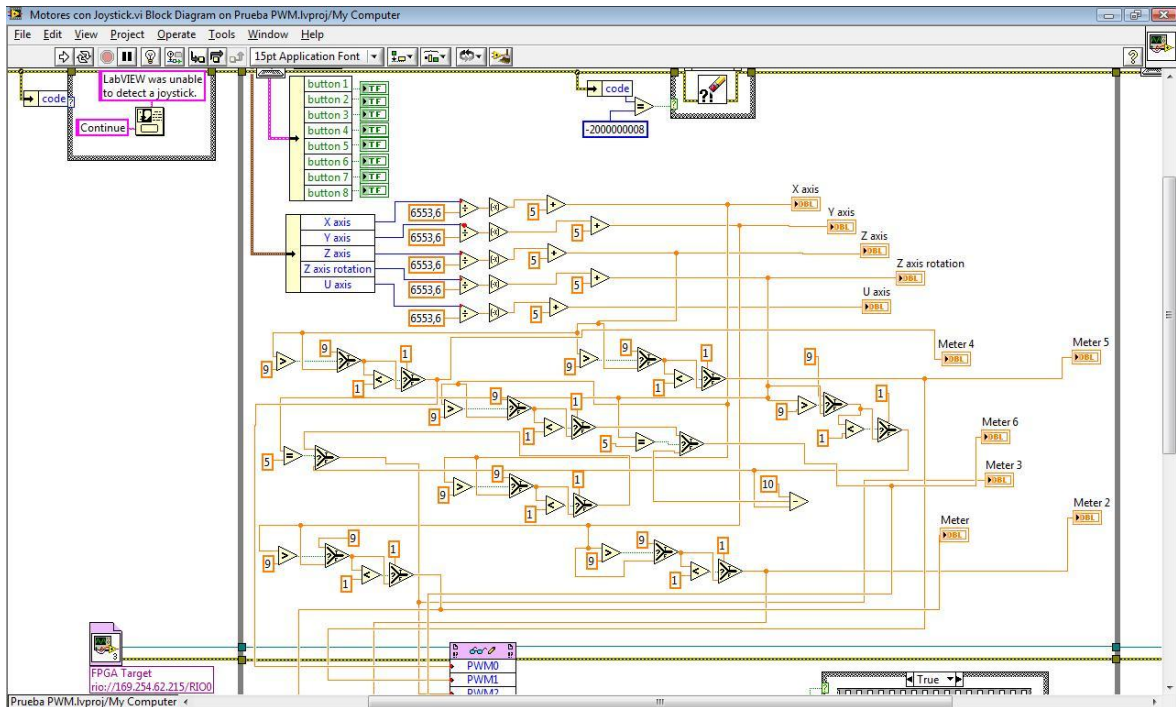


Figura 4.2-1 Cambios LABview

Los cambios realizados fueron solo para el área de los motores. La cámara y demás componentes se utiliza la misma programación que para el primer submarino. Según la señal análoga del joystick reaccionan 2 motores para cada sentido de traslación o rotación.

Para la potencia se utilizan 2 baterías de 12 v cada una conectadas en serie es decir se tiene como fuente 24V. Por esto, se realiza también una regulación de voltaje en el programa para que los motores trabajen a 20V y no tengan el riesgo de un daño por alto voltaje. Véase Figura 4.2-2

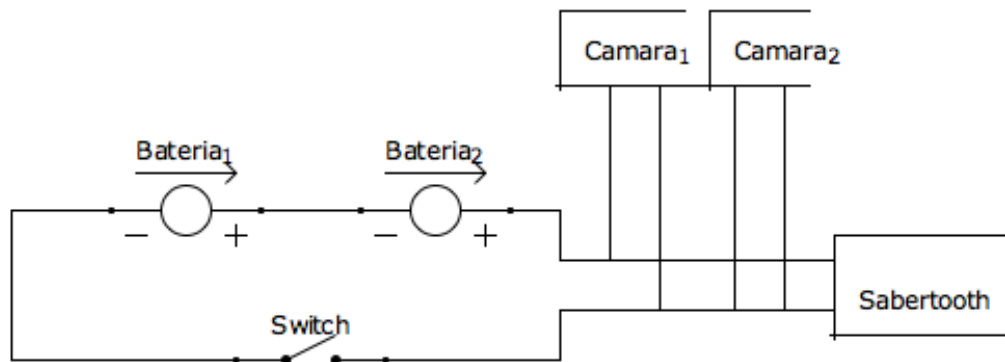


Figura 4.2-2 Circuito Potencia

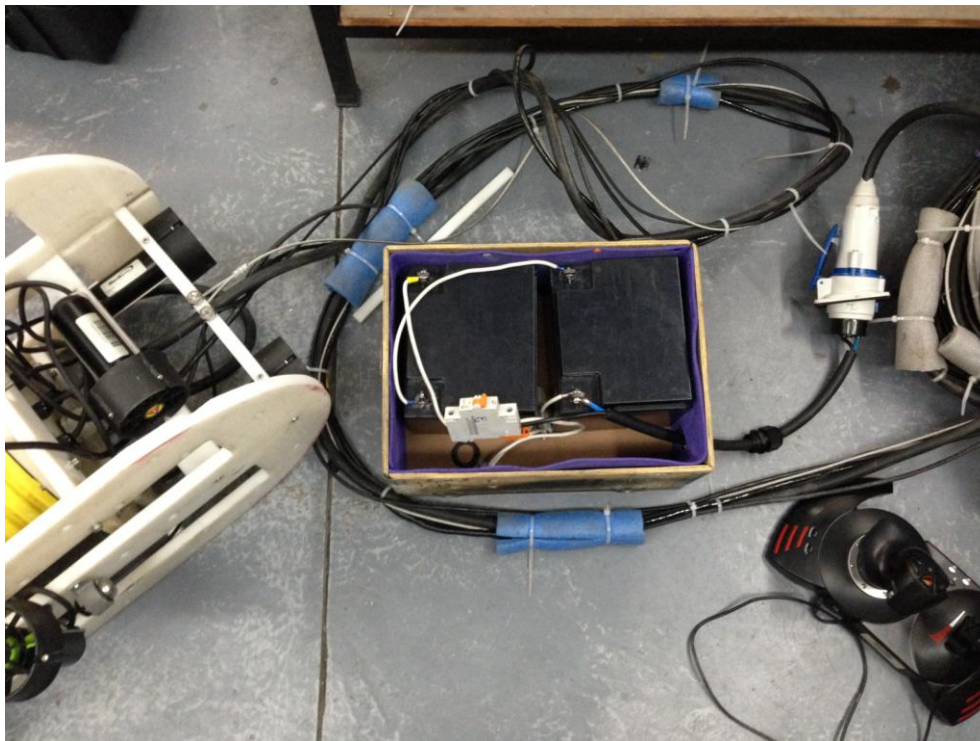


Figura 4.2-3 Bloque Potencia

La cámara es alimentada por medio de un cable Ethernet por el cual se envían señales de control y potencia. Como el largo del cable es 50 metros se pierde el voltaje que se envía desde la fuente por el grosor del cable. Es así por lo que se utiliza un regulador de voltaje con disipadores de calor dentro del

compartimiento de la cámara ya que desde superficie se envían 24 V y la cámara necesita solo 12V. Véase Figura 4.2-4

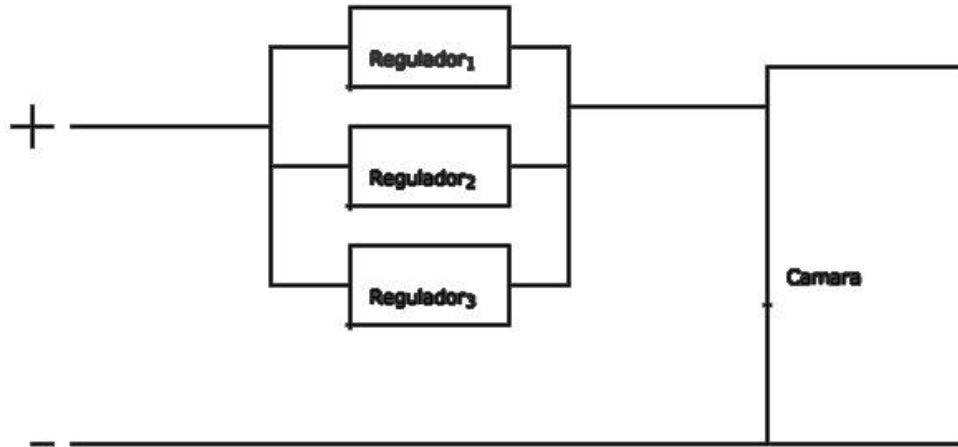


Figura 4.2-4 Reguladores Cámara

5 Pruebas y Resultados

5.1 Pruebas Visibilidad

La teoría de la óptica, presentada en el capítulo 1, expone que el mejor punto de enfoque para un lente con protección de un domo es en el punto focal. Esto significa utilizar un cilindro de mayor altura que cubra gran parte de la cámara de 360 grados. Esta cámara presenta una cualidad de autoenfoco por lo que se debe determinar si a menor altura del cilindro se presentan daños en la imagen o no. De no ser el caso se puede elegir un cilindro de menor altura para tratar de tener el menor volumen de aire. Con menos aire se evita compensar con pesos para tener un equilibrio en la flotabilidad de la estructura.

La Figura 5.1-1 muestra la configuración del compartimiento seco de la cámara según diferentes alturas del cilindro. Se utilizó alturas de 11cm que es el punto de alineación del lente con el foco y la mitad del mismo, es decir 5,5 cm para comparar resultados.

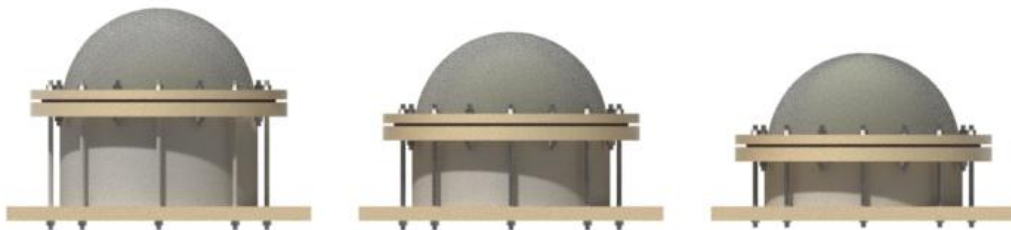


Figura 5.1-1 Diferentes Tamaños de Cilindros

Se realiza un dibujo base, en forma cuadrangular en tamaño A3 con el cual se toman fotos tanto en superficie como en agua. Las figuras rectangulares son elegidas para observar si existe deformaciones en las líneas rectas. De existir aberraciones en la imagen se observarían líneas curvas.

Con este se comparan las 2 alturas del cilindro. Las fotos se toman con el lente a 90 grados y a 45 grados para distinguir aberraciones en la imagen.. Para la imagen base se utiliza la encontrada en la Figura 5.1-2. En las Tabla 5.1-1 y Tabla 5.1-2 se encuentran los resultados obtenidos.

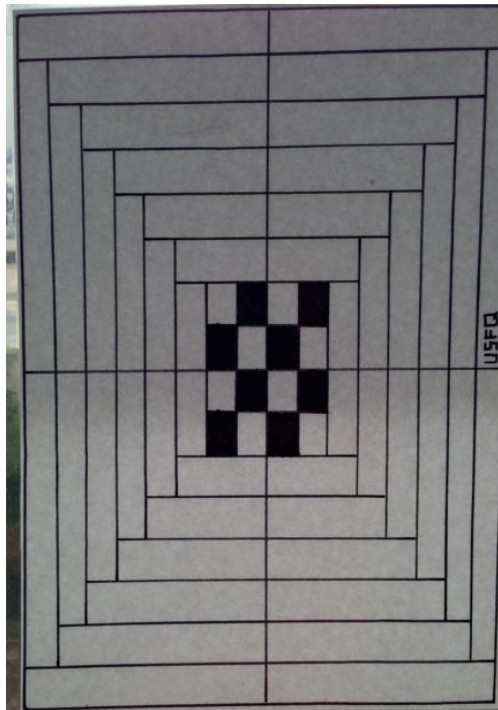


Figura 5.1-2 Imagen Base

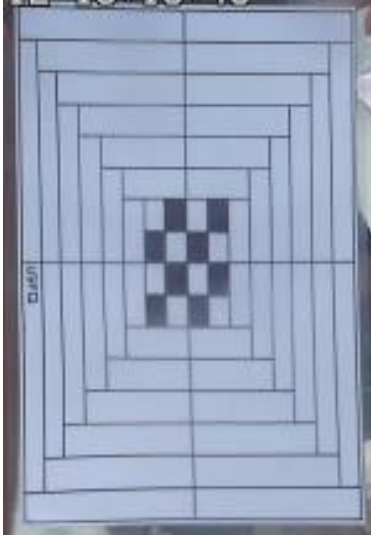

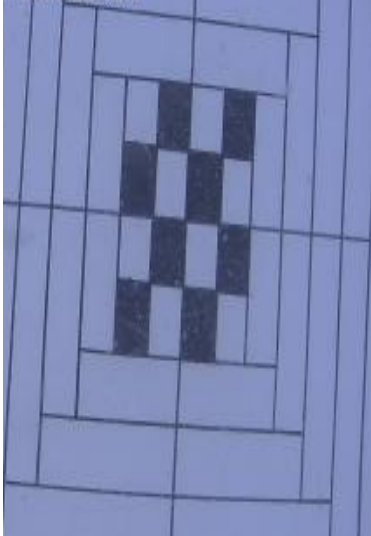

Comparación de Imágenes Cámara	
Superficie Lente 90 Grados	
Cilindro 1	Cilindro 2
	
Sumergido Lente 90 Grados	
Cilindro 1	Cilindro 2
	

Tabla 5.1-1 Comparación Lente 90 grados

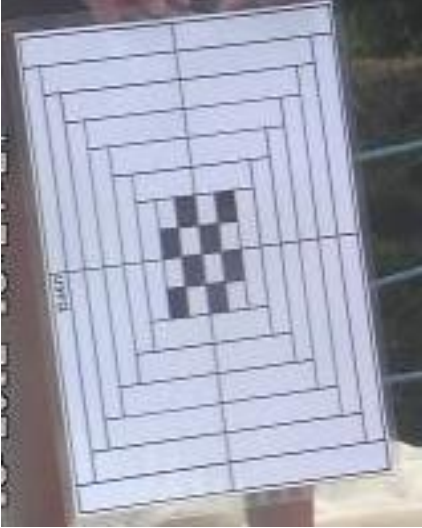
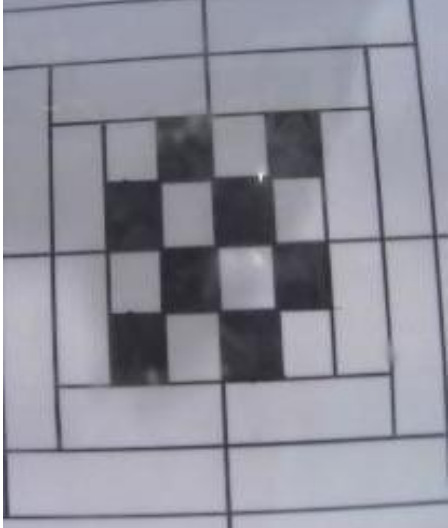
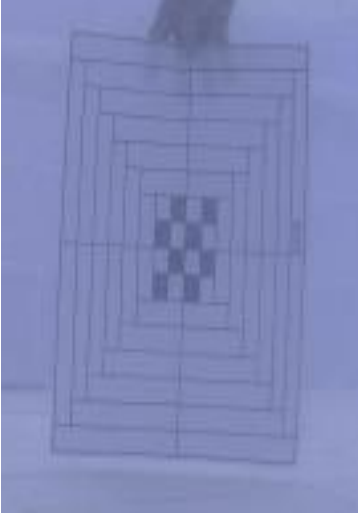
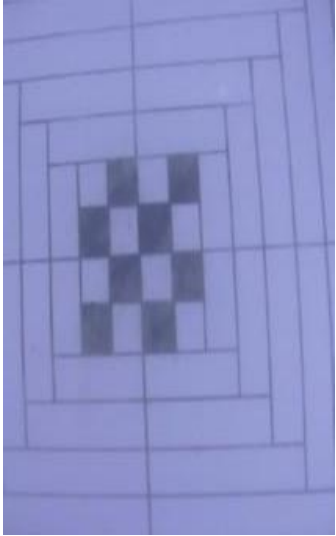
Comparación de Imágenes Cámara	
Superficie Lente 45 Grados	
Cilindro 1	Cilindro 2
	
Sumergido Lente 45 Grados	
Cilindro 1	Cilindro 2
	

Tabla 5.1-2 Comparación Lente 45 grados

Como se puede observar las imágenes no muestran distorsiones significativas en las fotos tomadas según distintos ángulos y distancia del domo al lente. Cabe recalcar que debido a la dificultad del manejo de la cámara las

imágenes no son exactamente iguales es por esto que el control de la cámara debe ser mas interactivo. Con esto, se selecciona el cilindro de menor altura como el definitivo para la configuración final del compartimiento de la cámara.

5.2 Hermeticidad

El punto crítico en pruebas de hermeticidad es el compartimiento de la cámara ya que el de control se probó con anterioridad y los resultados aseguraron el funcionamiento. Por esto, se agregaron papales dentro del compartimiento y se sumergió el ROV por 3 horas a una profundidad de 2 metros sin incluir equipos electrónicos. Pasado el tiempo se observó que no existe ningún tipo de filtración y los papeles no mostraban humedad alguna.



Figura 5.2-1 Hermeticidad

5.3 Flotabilidad

Se realizaron las pruebas en la piscina tomando los diferentes modelos. En el Submarino USFQ II, en las dos opciones, el submarino flotaba con cierta inclinación debido al aire que se encontraba en el compartimiento de la cámara véase Figura 5.3-1 y Figura 5.3-2

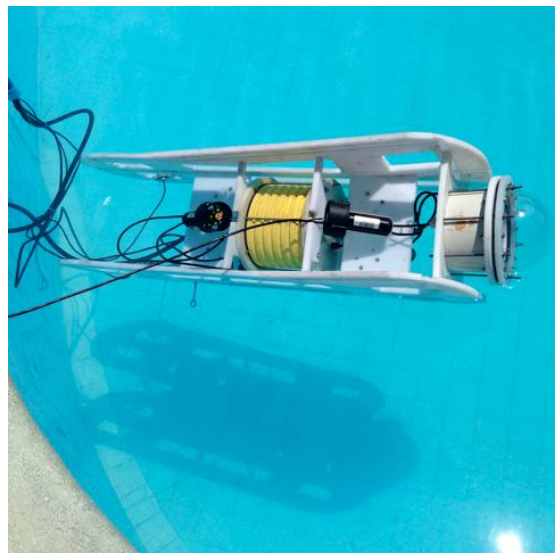


Figura 5.3-1 Flotabilidad Submarino USFQ II Prototipo 1

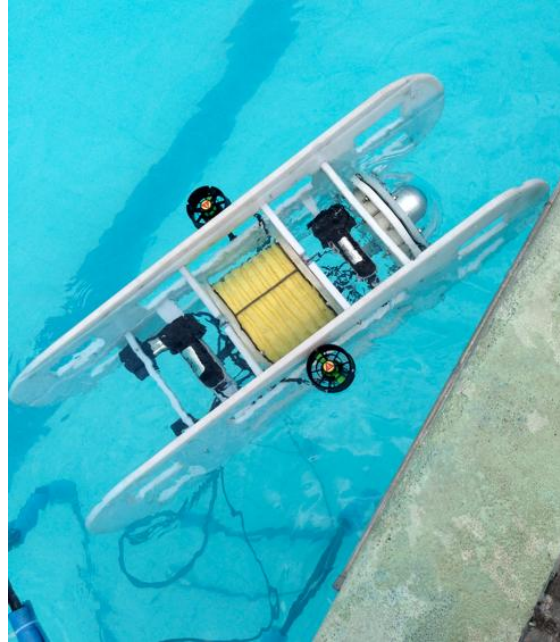


Figura 5.3-2 Flotabilidad Submarino USFQ II Prototipo 2

Para lograr una flotabilidad ligeramente positiva, se agregaron ejes de acero inoxidable en la parte delantera del submarino. Además de regular la flotabilidad, se logró tener el centro de gravedad bajo porque los pesos se agregaron debajo del compartimiento de la cámara. Así, se logro que el submarino salga a la superficie lentamente sin ayuda de los motores. En la Tabla 5.3-1 se exponen la masa de cada submarino y la masa adicional que se debe agregar para llegar a una flotabilidad ligeramente positiva. Además se observa los porcentajes de disminución en comparación con el primer modelo.

	Submarino USFQ I	Submarino USFQ II Prototipo 1	Submarino USFQ II Prototipo 2
Peso Superficie	28	26,37	18,91

(Kg)			
Peso Adicional para Flotabilidad positiva (Kg)	9,5	5,57	4,26
Total (Kg)	37,5	31,94	23,17
Total Porcentaje	100%	85,18%	61,79%
Reducción	---	14,82%	38,21%

Tabla 5.3-1 Masa en superficie y masa adicionales para lograr flotabilidad positiva

Como se expone, el Submarino USFQ II Prototipo 2 se reduce significativamente la masa en un valor de 14,33kg o un 38,21% en comparación al modelo original. Es decir es más fácil el transporte del mismo sin perder ninguna de las características originales. Por esto es la mejor opción de los 3 submarinos pero se debe evaluar el desempeño en velocidades.

5.4 Velocidades

En las pruebas de piscina se realizaron varias mediciones para determinar velocidades de avance, sumersión y tiempo de giro. Se realiza las comparaciones con los 3 modelos de submarinos. El submarino USFQ I y USFQ II Prototipo 1 tienen las mismas configuraciones de motores, en estos se comparan como influye la nueva adición del compartimiento de la cámara con el desempeño de la velocidad. El Submarino USFQ II Prototipo 2 muestra el comportamiento del submarino con la nueva alineación de motores. Las tablas

Tabla 5.4-1, Tabla 5.4-2 y Tabla 5.4-3 muestran los resultados obtenidos en las pruebas.

Submarino USFQ I				
Velocidad Avance				
Distancia (m)	Tiempo (s)	T prom (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (nudos)
25	29,39	29,97	0,83	1,62
25	30,54			
Velocidad Ascenso				
Distancia (m)	Tiempo (s)	T prom (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (nudos)
2	10,36	10,05	0,20	0,39
2	9,73			
Tiempo Giro 360 Grados				
Tiempo (s)		Tiempo Promedio		
28,12		23,695		
19,27				

Tabla 5.4-1 Resultados Submarino USFQ I

Submarino USFQ II Prototipo 1				
Velocidad Avance				
Distancia (m)	Tiempo (s)	T prom (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad

				(nudos)
12	19,01	18,91	0,63	1,23
12	20,81			
12	17,8			
12	17,83			
12	19,08			
Velocidad Ascenso				
Distancia (m)	Tiempo (s)	T prom (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (nudos)
1,66	7,7	6,87	0,24	0,47
1,66	6,95			
1,66	6,76			
1,66	6,05			
Tiempo Giro 360 Grados				
Tiempo (s)		Tiempo Promedio		
35,9		38,35		
40,8				

Tabla 5.4-2 Resultados Submarino USFQ II Opción 1

Submarino USFQ II Prototipo 2				
Velocidad Avance				
Distancia (m)	Tiempo (s)	T prom (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (nudos)

12	18,96	19,96	0,60	1,17
12	19,66			
12	21,26			
Velocidad Ascenso				
Distancia (m)	Tiempo (s)	T prom (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (nudos)
1,66	3,6	3,73	0,45	0,87
1,66	3,71			
1,66	3,88			
Tiempo Giro 360 Grados				
Tiempo (s)		Tiempo Promedio		
22,16		21,78		
21,4				

Tabla 5.4-3 Resultados Submarino USFQ II Prototipo 2

Ahora, es necesario realizar la comparación entre los 3 modelos, en **Tabla 5.4-4** se muestran los resultados de los 3 modelos de submarinos.

Comparación			
	USFQ I	USFQ II Prototipo 1	USFQ II Prototipo 2
Velocidad Línea recta (nudos)	1,622	1,234	1,169
Velocidad Subida (nudos)	0,387	0,470	0,865
Tiempo Giro (s)	23,695	38,35	21,78

Tabla 5.4-4 Comparación

En la **Tabla 5.4-5** se realiza una comparación en porcentajes, tomando como referencia el Submarino USFQ I.

Comparación Porcentajes			
	USFQ I	USFQ II Prototipo 1	USFQ II Prototipo 2
Velocidad Línea recta (nudos)	100%	76,1%	72,1%
Velocidad Subida (nudos)	100%	121,4%	223,5%
Tiempo Giro (s)	100%	161,8%	91,9%

Tabla 5.4-5 Comparación porcentajes

Como se puede observar, el mayor cambio se da en las velocidades de subida y sumersión. El cambio entre USFQ I y USFQ II Prototipo 1 se debe a la implementación del compartimiento de la cámara. Esta adición, representa mayor área de contacto con el agua y por lo tanto mayor fuerza de arrastre de la misma con lo que disminuye la velocidad de avance. La velocidad de ascenso solo aumenta un 21% cifra que no es significativa ya que se pierde 24% de avance. El tercer modelo presenta una mejora de la velocidad de ascenso del 123% pero disminuye 28% en la velocidad e avance en comparación con el original.

5.5 Fuerza de Resistencia de Fluidos

Se debe realizar una comparación de las fuerzas de resistencia de movimientos en el fluido para entender mejor porque se da una diferencia de velocidades. Se comprende porque se obtiene mejores velocidades de ascenso en el ultimo modelo a pesar de utilizar solo 2 motores y no la combinación de los 6 como en los primeros modelos. Para esto se utiliza la Ecuación 8

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho v^2 A$$

Ecuación 8 Fuerza de Resistencia Fluidos

*donde ρ es la densidad del fluido
 v velocidad del cuerpo
 A área nominal
 C_d coeficiente de fricción*

Para los coeficientes de fricción tenemos los valores de la Figura 5.5-1.

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Measured Drag Coefficients

Figura 5.5-1 Coeficientes de Fricción (Soria & Cabrera, 2011)

En la Tabla 5.5-1 se muestran los valores utilizados para llegar a la fuerza de resistencia de fluidos. Las áreas son obtenidas a partir de proyecciones del modelo 3D. Las velocidades son a partir del menor valor obtenido en los resultados de piscina para comparar con lo demás modelos.

	Valores Previos		
	Áreas		
	Área Frontal (m2)	Área Lateral (m2)	Área Superior (m2)
USFQ 1	0,11	0,42	0,30
USFQ II Pro 1	0,11	0,41	0,24
USFQ II Pro 2	0,10	0,23	0,16
	Velocidades		
	Avance	lateral	Ascenso
	USFQ 1	0,60	0,16
USFQ II Pro 1	0,60	0,16	0,20
USFQ II Pro 2	0,60	0,16	0,20
	Coeficiente de Fricción		
	Avance	Lateral	Ascenso
	USFQ 1	0,66	0,645
USFQ II Pro 1	0,62	0,645	0,735
USFQ II Pro 2	0,62	0,635	0,735

Tabla 5.5-1 Valores Previos

Con estos valores y utilizando la Ecuación 8 obtenemos los resultados de la Tabla 5.5-2.

	Fuerzas de Resistencia Fluidos(N)		
	Avance	Lateral	Ascenso
USFQ 1	12,50	3,50	4,56
USFQ II Pro 1	12,12	3,57	3,48
USFQ II Pro 2	11,59	1,84	2,31

Tabla 5.5-2 Resultados Fuerzas

Como se puede observar, las fuerzas resultantes en movimientos de avance son similares por lo que no hay mayor variación en las pruebas obtenidas en piscina. En cuanto a ascenso, la fuerza resultante en el tercer modelo es la mitad, es por eso que se obtiene un incremento de la velocidad en un 123%.

Como se tiene un diseño más pequeño, se disminuye la fricción del agua con los materiales e influye en los resultados de las velocidades finales.

5.6 Pruebas Lago San Pablo

Para las pruebas finales se realizó una salida de campo al Lago San Pablo en la provincia de Imbabura en la hostería Puerto Lago. Previamente, se realizaron los cortes respectivos en los laterales para acoplarse al nuevo modelo. Véase Figura 5.6-1.



Figura 5.6-1 Modelo Definitivo Orca I

Para este modelo, se agregaron las 2 cámaras en la parte frontal del ROV. Se unió el cable de 50m que utiliza cámara Panasonic al resto de cable y se aseguró el mismo por medio de abrazaderas plásticas. La flotabilidad fue probada nuevamente ya que existen los cambios en los laterales y se agregaron pesos para lograr una flotabilidad ligeramente positiva. Véase Figura 5.6-2



Figura 5.6-2 Flotabilidad Ligeramente Positiva

Se debía comprobar el funcionamiento de la hermeticidad en compartimiento de la cámara ya que en pruebas de piscina solo se llegó a una profundidad de 1,66 metros. Por esto se sumergió el ROV a una profundidad de 25 metros y se comprobó que no existió ninguna filtración de agua con lo que se asegura la utilización de los equipos eléctricos. Véase Figura 5.6-3



Figura 5.6-3 Hermeticidad de Equipos eléctricos.

Se realizaron pruebas de control y movimientos con el nuevo programa de LabView teniendo los resultados esperados. Como se utilizaron 2 baterías de 12V cada una conectadas en serie, la carga energizaba motores, cRIO y cámara. La cámara presentó problemas en desempeño porque las baterías no abastecían la potencia necesaria para funcionar por lo que se necesita una fuente de potencia extra. Es decir, otro componente de baterías con lo que solo se alimenta la cámara. Cuando se utilizó solo alimentación para cada componente se mostró un desempeño normal y se capturaron algunas imágenes del lago



Figura 5.6-4 Foto tomada con la cámara Panasonic

La Figura 5.6-4 fue tomada a 25 metros de profundidad, la cámara se encuentra en dirección a la superficie ya que el fondo se encontraba muy oscuro por las características del lago y por el día nublado. Se observa la parte negra de la otra cámara que se sitúa sobre el compartimiento seco. La fecha en la figura no corresponde a la fecha actual porque la computadora no se encontraba con el sistema operativo actualizado.



Figura 5.6-5 Foto entre superficie y agua

Las imágenes anteriores fueron tomadas con la cámara Panasonic. Para poder utilizar la cámara con normalidad fue necesario desconectar los motores debido a la potencia que requiere la cámara para su normal funcionamiento. Para utilizar los equipos simultáneamente es necesario un bloque de potencia adicional o encontrar una solución como circuitos especiales para utilizar la energía de modo mas eficiente.

El cable fue un problema en cuanto a pruebas en el lago. El peso generaba una inclinación en el ROV por lo que la flotabilidad resultaba negativa. Por esto se decidió realizar nuevamente otra prueba en piscina. Se adicionaron flotadores en el cable el la parte trasera del ROV para generar flotabilidad ligeramente positiva.

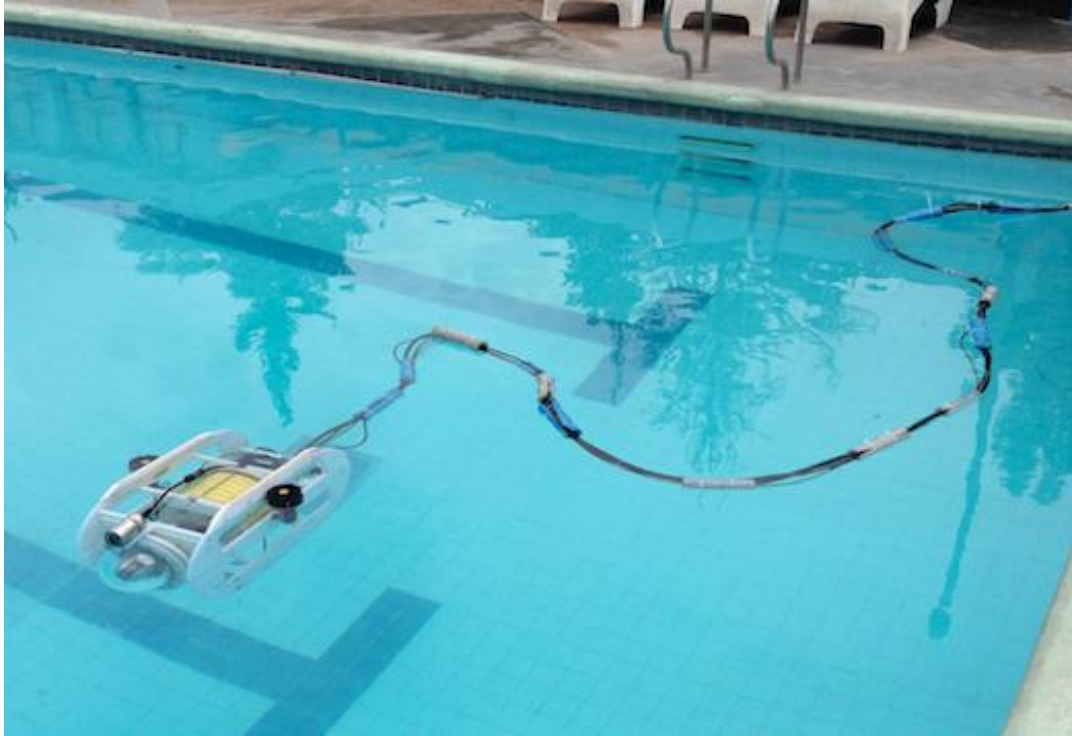


Figura 5.6-6 Flotabilidad del cable

Además, por los cortes realizados en los perfiles laterales se debe realizar nuevamente pruebas de velocidad y tiempos de giro. Los resultados se encuentran en la Tabla 5.6-1 Resultados Finales

Submarino USFQ II Prototipo Final				
Velocidad Avance				
Distancia (m)	Tiempo (s)	T prom (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (nudos)
12	20,08	19,98	0,60	1,17
12	20,56			
12	18,63			
12	21,33			

12	19,28			
Velocidad Ascenso				
Distancia (m)	Tiempo (s)	T prom (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (nudos)
1,66	3,68	3,755	0,45	0,87
1,66	3,83			
Tiempo Giro 360 Grados				
Tiempo (s)		Tiempo Promedio		
11,6		14,6275		
14,4				
16,88				
15,63				

Tabla 5.6-1 Resultados Finales

Los resultados de velocidad de ascenso y velocidad de avance son los mismos que los obtenidos antes de realizar los cortes en los perfiles laterales. La diferencia es en tiempos de giros. En la Tabla 5.6-2 se muestra la comparación de el modelo final con el primer submarino.

Comparación 2 Modelos		
	USFQ I	USFQ II Opción 2
Velocidad Línea recta (nudos)	1,622	1,169
Velocidad Subida (nudos)	0,387	0,865
Tiempo Giro (s)	23,695	14,630

Tabla 5.6-2 Comparación Final

6 Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- El diseño del compartimiento de la cámara, utilizando el cilindro y domo, es el adecuado para llegar a la profundidad de 50 metros establecida en los antecedentes..
- La nueva plataforma funciona a 30 metros de profundidad sin existir filtraciones que puedan dañar la cámara Panasonic, esto se realizó en la salida de campo en el Lago San Pablo.
- Se obtuvo una plataforma 40% más pequeña con dimensiones de 720mm x 35mm x 40mm.
- La plataforma es 38% más liviana en comparación al primer modelo. Tiene 23,17 kg de masa total. Cabe recalcar que al valor de la masa no se agrega el valor de la masa del cable en ningún cálculo.
- La nueva plataforma es 27% más lenta en velocidad de avance pero 124% más rápida en velocidad de ascenso. Además el tiempo de giro disminuye un 38,3% por lo que se selecciona como modelo definitivo.
- Las fuerzas de resistencia con el agua disminuyen a la mitad para movimientos de ascenso razón por la cual se logra una mejora del 124%.
- Se logró una flotabilidad ligeramente positiva cuando no se tomaba en cuenta al cable. El peso del cable hace que el submarino tenga masa adicional por lo que tiene flotabilidad negativa.

- La cámara y motores no funcionan al mismo tiempo por la falta de potencia existente. La cámara requiere una fuente adicional para su normal funcionamiento. Además es necesario desconectar el cRIO para utilizar la cámara porque el computador tiene solo una entrada Ethernet.
- El cambio de alineación funciona de manera correcta. No se afectan los grados de libertad que poseía el anterior modelo o la maniobrabilidad.
- Se distribuyen de mejor manera los circuitos de control. Con esto se logró una reducción del compartimiento en un valor de 205mm. Además el equipo mas importante, el controlador cRIO se lleva a superficie donde no tiene riesgo de daño por contacto con el agua.
- Los componentes eléctricos tienen guías que se encuentran sujetas a una de las tapas que sellan el compartimiento de control. Con esto se logra mayor seguridad en la sujeción además de adaptarse y ocupar mejor el espacio interno.
- El factor que determina una profundidad de sumersión máxima es el cilindro porque presenta un factor de seguridad menor en comparación al domo. La forma de semiesfera del domo ayuda a soportar mejor presiones exteriores en relación a una forma cilíndrica.

6.2 Recomendaciones

- Una de las grandes inversiones que se pueden realizar en el submarino es un sistema de cableado único para comunicación entre agua-superficie. Existen cables denominados multifilares, en los cuales se envían tanto

señales como potencia y son resistentes al agua. Además, su diámetro y peso son mucho menores comparados con el modelo actual. Son cables específicamente diseñados para ROVs. Este facilitaría el transporte y la operación de todos los equipos.

- Rediseñar el bloque de potencia para mejorar el funcionamiento simultaneo de cámaras, control y motores.
- Al momento del diseño de un ROV se debe tratar de llenar todos los espacios posibles de aire dentro de los compartimientos secos. Esto se debe a que el aire en estas recamaras luego deberá compensarse con pesos.
- Mantener un diseño simétrico en todo el ROV para mantener la estabilidad cuando se encuentre sumergido. Así, se evita problemas con centro de gravedad y flotabilidad.
- Configurar el ROV para tener una flotabilidad ligeramente positiva para que el vehículo salga solo a superficie en situaciones de emergencia.
- Realizar siempre primero pruebas sin equipos electrónicos para comprobar que todos los sellos estén funcionando correctamente y no exista ninguna filtración de agua.
- Para un futuro proyecto se puede realizar un solo compartimiento seco. En este se incluiría tanto componentes de control de motores y sensores como la cámara de 360 grados de visibilidad. Con esto se puede reducir aun mas el tamaño del ROV.
- Para el diseño del ROV se tomo equipos previamente existentes en el mercado como tuberías de PVC o planchas de duralón. Para mejorar aún más el modelo se pueden diseñar componentes a medidas justas pero el

costo sería mucho mas elevado. Además, se puede incluir otros sistemas de iluminación para mejorar visibilidad de la cámara.

7 Bibliografía

- Christ, R. D., & Wernli SR, R. L. (2007). *The ROV Manual: A User Guide For Observation Class Remotely Operated Vehicles* (Primera Edición ed.). Oxford, Inglaterra: Elsevier.
- Soria, N., & Cabrera, D. (2011). *Submarino USFQ*. Quito, Pichincha, Ecuador: USFQ.
- Rebikoff-Niggeler Foundation. (s.f.). *Rebikoff-Niggeler Foundation*. Recuperado el 1 de Marzo de 2014, de Rebikoff-Niggeler Foundation: www.rebikoff.org
- Summers, R. (1 de Agosto de 2011). *CURV Official U.S. Navy photo* . Recuperado el 1 de Marzo de 2014, de San Clemente Island Photo Gallery: <http://www.chinalakealumni.org>
- White, F. M. (2008). *Fluid Mechanics* (Sexta Edición ed.). New York, Estados Unidos: McGraw Hill.
- Hernandez, L. (06 de 11 de 2012). *Ciencia Online*. Recuperado el 20 de 03 de 2014, de Fluidos: <http://www.cienciaonline.com/2012/11/26/¿cuando-podemos-asegurar-que-un-cuerpo-es-mas-denso-que-otro/>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2006). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (Octava Edición ed.). United States: McGraw Hill.
- Munson, B. R., & Young, D. F. *Fundamentals of Fluid Mechanics* (Cuarta Edición ed.). Ames, Iowa, Unites States: John Wiley & Sons.
- Lozano, U. (27 de 11 de 2012). *Ingeniería de Procesos*. Recuperado el 27 de 03 de 2014, de Presión de Diseño: Cálculo de Recipientes a Presión:

<http://www.slideshare.net/UlisesLozanoMagarinho/canculo-de-recipientes-a-presion>

- MatWeb. (s.f.). *Tensile Property Testing of Plastics*. Recuperado el 27 de 03 de 2014, de MatWeb:
<http://www.matweb.com/reference/tensilestrength.aspx>
- León Estrada, J. M. (1 de 1 de 2001). *Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión*. Recuperado el 27 de 03 de 2014, de Scrib:
<http://es.scribd.com/doc/17247549/disenoy-calculo-de-recipientes-a-presion>
- Hydroflex. (1 de 1 de 2011). *Flat or Dome Lens ports*. Recuperado el 1 de 01 de 2014, de Hydroflex:
<http://www.hydroflex.com/site/helphints/flatdome.html>
- Scubageek. (1 de 1 de 2012). Recuperado el 1 de 03 de 2014, de Optics of Dome Ports: <http://scubageek.com/articles/wwwdome.html>
- Jenkins, F. A., & White, H. E. (1950). *Fundamentals Of Optics*. California, United States: McGraw-Hill.
- Wilson, J. D. (1991). *Física con Aplicaciones*. Greenwood, South California, United States: McGraw-Hill.
- Pike, J. (25 de 11 de 1999). *Intelligence Resource Program*. Obtenido de FAS: <http://www.fas.org/irp/program/collect/curv.htm>
- WIX. (1 de 1 de 2013). Obtenido de ROV's:
media.wix.com/ugd/90b38d_f8f368c14439a0fb384b5937d24d947c.pdf

Anexos