

## Robot submarino: estado del arte y diseño Underwater robot: State of the art and design

Mitzi Alcaraz-Carrasco <sup>a</sup>, Jorge Gudiño-Lau <sup>b</sup>, Óscar Issac-Zamora <sup>c</sup>, Saida Charre-Ibarra <sup>d</sup>,  
Janeth Alcalá-Rodríguez <sup>e</sup>, Daniel Vélez-Díaz <sup>f</sup>

---

### Abstract:

In recent years, research in the mechatronics area is focused on marine exploration, so many research centers and schools have directed their work to the development of unmanned and remotely operated underwater robots, also known as ROUVs (Remotely Operated Underwater Vehicle). This article shows the history of ROVs (Remotely Operated Vehicles), as well as the classification, a brief description and application of unmanned underwater robots that have transcended in mechatronics. Finally, the design of a 3D unmanned underwater robot for marine exploration is described.

### Keywords:

*Underwater robot, remotely operated vehicle, autonomous underwater vehicle, intervention autonomous unmaned vehicle.*

---

### Resumen:

En los últimos años las investigaciones del área de mecatrónica están enfocados a la exploración marina, por lo que muchos centros de investigaciones y escuelas han encaminado sus trabajos al desarrollo de robots submarinos no tripulados y operados remotamente, también conocidos como ROUV por su acrónimo en inglés *Remotely Operated Underwater Vehicle* (Vehículo submarino operado remotamente). Este artículo muestra la historia de los vehículos operados remotamente ROV (Remotely Operated Vehicle), así como la clasificación, una breve descripción y aplicación de los robots submarinos no tripulados que han trascendido en el área de la mecatrónica. Por último, se describe el diseño de un robot submarino no tripulado en 3D para la exploración marina.

### Palabras Clave:

*Robot submarino, vehículo operado en forma remota, vehículo submarino autónomo, vehículo autónomo no tripulado de intervención.*

---

## Introducción

Un robot submarino es un sistema mecatrónico para realizar tareas bajo el agua, donde el ser humano no puede llegar o en trabajos peligrosos para él. Los robots submarinos deben tener la capacidad de desplazarse y maniobrar en el interior del agua, pueden ser tripulados o no tripulados, éstos conocidos como UUV (por sus siglas en inglés de *Unmanned Underwater Vehicle*). Entre los no tripulados están los vehículos operados remotamente, llamados ROV por sus siglas en inglés de *Remotely Operated Vehicle*, éstos requieren la intervención del ser

humano para ser controlados. También, en esta misma clasificación de los no tripulados, están los vehículos autónomos no tripulados de intervención IAUUV (por sus siglas en inglés de *Intervention Autonomous Unmaned Vehicles*), los cuales son considerados semiautónomos ya que requieren de la participación de un operador para supervisar las tareas del robot submarino; además, son de dimensiones pequeñas y de menor peso, lo que permite su fácil transportación. Por último, están los vehículos submarinos completamente autónomos, es decir que no necesitan la intervención de un operador; éstos se

---

<sup>a</sup> Universidad de Colima, <https://orcid.org/0000-0002-6281-0194>, Email: malcaraz16@uacol.mx@uacol.mx

<sup>b</sup> Autor de Correspondencia, Universidad de Colima, <https://orcid.org/0000-0002-0585-908X>, Email: jglau@uacol.mx

<sup>c</sup> Universidad de Colima, <https://orcid.org/0000-0001-8308-0082>, Email: ozamora2@uacol.mx

<sup>d</sup> Universidad de Colima, <https://orcid.org/0000-0002-3823-5388>, Email: scharre@uacol.mx

<sup>e</sup> Universidad de Colima, <https://orcid.org/0000-0002-0238-3952>, Email: janethalcala@uacol.mx

<sup>f</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-6488-2960>, Email: daniel@uaeh.edu.mx

conocen como AUV (por sus siglas en inglés de *Autonomous Underwater Vehicle*).

La exploración del fondo marino no se puede hacer de manera física por el ser humano, ya que no puede soportar la presión y las bajas temperaturas de las profundidades de los océanos; aunado a esto se tiene corrientes marinas, peces marinos, poca o nula luz en el fondo del mar, por estas razones el ser humano se dedicó a investigar el área de robots submarinos a través de los centros de investigaciones de varios países. Por estas razones, los robots submarinos han tomado interés por los investigadores del área de control y robótica en los últimos años. Este artículo presenta un análisis de los robots submarinos no tripulados (ROV, IAUV y AUV), con sus características y datos técnicos; así como el diseño en 3D de un robot submarino realizado en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Electromecánica (FIE) de la Universidad de Colima (UCol) en el Laboratorio de Robótica por el área de Mecatrónica.

### Estado del arte

Los seres humanos por su idiosincrasia se han dedicado a investigar y explorar lo desconocido, como el espacio aéreo, cuevas terrestres, volcanes y, por supuesto, los fondos oceánicos. En esta sección se muestra la historia de los primeros robots submarinos hasta los más actuales con tecnología de vanguardia. Algunos de los sumergibles más relevantes desarrollados son, en 1776 "El Turtle" un pequeño submarino monoplaza de casco de madera forrado de plancha de cobre y accionado a pedales, que sólo podía navegar a flor de agua, fue diseñado por el americano David Bushnell, como se observa en la Figura 1. El operador del submarino ingresa a través de una escotilla hermética y se sienta en el interior de la primitiva nave, la cual impulsaba él mismo imprimiendo tracción manual a un gran propulsor en el frente y otro pequeño en la parte superior de la nave. [1].



Figura 1. Submarino El Turtle [1].

La carrera por la exploración del fondo marino inicia en la década de 50, desde los centros de investigación han desarrollado proyectos de investigación para el diseño, construcción de robots submarinos, con el objetivo llegar

a lugares en donde el ser humano no ha llegado. Las primeras investigaciones la realizaron los franceses con su robot submarino operado remotamente POODLE, como se muestra en la Figura 2. [2,3,4,5]



Figura 2. Submarino Poodle.

En la década de los 60, se construyeron robots submarinos operados remotamente con cables con fines militar y fueron los norteamericanos con las versiones de robots submarinos CURV por su acrónimo en inglés *Cable-Controlled Underwater Recovery Vehicle* (Vehículo de recuperación submarino controlado por cable), también se diseñaron para la exploración del petróleo y sus derivados, en la Figura 3 se observa al primer modelo del CURV. [6]

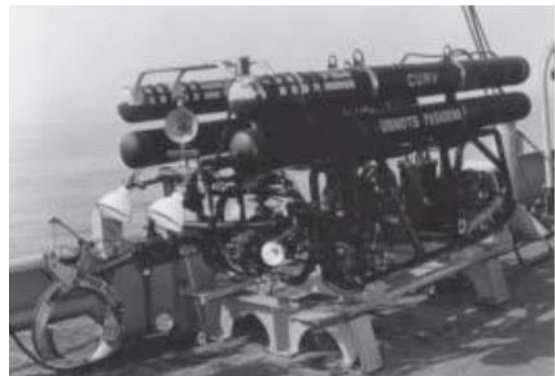


Figura 3. ROV CURV [6].

El sumergible RU27 "Caballero Escarlata", fue creado por la universidad de Rutgers (New Jersey) en el 2009 a mando de Oscar Schofield, ver Figura 4. Este submarino funciona con baterías de litio. Su forma de desplazarse es que toma el agua para bajar y la suelta para subir por medio de una bomba de flotabilidad, y se mueve gracias a sus aletas, lo que permite planear y aprovechar las corrientes del océano. Este se encarga de transmitir por satélite información como temperatura, salinidad y densidad del agua por la que transita, la cual reciben los estudiantes del Laboratorio De Observación Oceánica Costera de la Universidad de Rutgers, aparte de eso este

submarino cuenta con un sistema de localización por satélite incorporado que permite conocer su paradero. Este submarino recorrió más de tres mil kilómetros atravesando el Atlántico desde EE. UU a España. [7]



Figura 4. Submarino Caballero Escarlata [4].

El ICTINEU 3 fue el primer submarino catalán del siglo XXI creado en el 2012, está diseñado para sumergirse a una profundidad máxima de 1200 metros y puede llevar un piloto y dos pasajeros en misiones de varias horas, como se muestra en la Figura 5. Es el noveno submarino del mundo que puede bajar más profundidad. Está equipado con diferentes instrumentos de sondeo que se usan en trabajos e investigación marina además de los instrumentos de navegación y pilotaje. Usa baterías de ión-litio-polímero de gran capacidad y potencia que le permite desplazarse hasta 20 millas bajo el agua. [8]



Figura 5. Submarino ICTINEU 3 [8].

En 2015 se crea el Robot Submarino Bio-Inspirado con Aleta Ondulatoria, el cual presenta estrategias de desarrollo y de control de movimiento para un pequeño robot submarino bio-inspirado que emplea un par de aletas ondulatorias para su propulsión. Cada aleta se compone de tres radios de las aletas accionadas individualmente, que están interconectadas por una membrana elástica, como se muestra en la Figura 6. Un microcontrolador abordo (Arduino Mega 2560) genera un patrón de movimiento que dan lugar a las aletas de los rayos ondulatorios, a través del cual se obtiene la

propulsión. El prototipo, que es completamente sin ataduras y energéticamente autónoma, también integra una unidad de IMU / AHRS (Advanced Navigation Orientus) para fines de navegación, un módulo de comunicación inalámbrica y una cámara de vídeo de a bordo. [9]



Figura 6. Robot submarino bio-inspirado con aleta ondulatoria [9].

Ustarov es un prototipo robótico subacuático para exploración marina, búsqueda y rescate, tiene un sistema de impulsión o locomoción sobre el agua, tiene un sistema de percepción y decisión en la programación, además tiene una interfaz gráfica en la que el usuario visualiza la señal de video y las diferentes variables medidas, el sistema de transmisión de video de tiempo real utilizando una tarjeta de desarrollo, para la exploración, búsqueda y rescate de objetos en lugares de máximo 20 metros de profundidad. Ustarov pesa 20 kg y su velocidad máxima es de 0.5 m/s, cámara Logitech C-920 full HD y dos lámparas de 5 w leds, como se puede observar en la Figura 7. Este robot es conectado a una estación de control, ubicada en la superficie terrestre por medio de un cable umbilical que lleva el robot, para la comunicación, la señal de video y la transmisión de datos entre el mismo y la estación (Ethernet). [10]



Figura 7. Submarino Ustarov [10].

En la Figura 8 muestra al vehículo submarino operado por control remoto (ROV) Kaiko, construido por la Agencia

Japonesa de Ciencias Marinas y Tecnología (JAMSTEC) en 1995 para la investigación científica y exploración de zonas marinas muy profundas, el robot se muestra en la Figura 8. El ROV Kaiko realizó un viaje de ida y vuelta a las fosas marianas, que se encuentran a 10,909 metros de profundidad, fue uno de los principales logros en la categoría de robots submarinos no tripulados. Por lo que este ROV tuvo un avance significativo en la exploración marina, y permite localizar objetos o reparar en el fondo marino. [11, 12]



Figura 8. Submarino Kaiko [11].

El vehículo submarino Visor3 este prototipo es realizado Colombia, antes se diseñaron y crearon tres prototipos diferentes. EL Visor3 tiene dos cámaras con el propósito para navegación y toma de muestras digitales del lugar de exploración, como se observa en la Figura 9. El Visor3 es diseñada para la investigación arqueología marina, mediciones oceanográficas, inspección de estructuras sumergidas y actividades de exploración de costas. [13, 14]



Figura 9. Submarino Visor3 [14].

Haixing 6000 es un robot submarino desarrollado en el 2018 por el Instituto de Automatización de Shenyang en

China como se muestra en la Figura 10, tiene un brazo robótico con una pinza mecánica. Diseñado para exploración científica de aguas marinas profundas como recolección de muestras del suelo marino y agua, ya que puede sumergirse a más de 6 mil metros y es operado a control remoto. Además, el robot puede recolectar muestras en diferentes áreas del mar en un día y a diferentes profundidades; tiene un brazo que puede levantar más de 60 kilos. Tiene un récord nacional en China en la categoría de robots submarinos operados a control remoto, al sumergirse 6 mil un metro durante su primera expedición. [15]

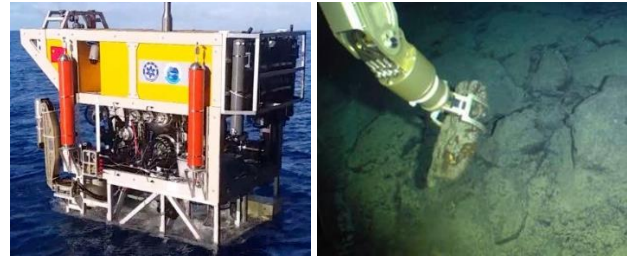


Figura 10. Submarino Haixing 6000 [15].

En la Figura 11 se puede observar el robot submarino REMO que significa “Robot de Estructura -paralela para la Medición y Observación oceanográfica” desarrollado por un grupo de investigadores españoles. REMO I fue inspirado en la plataforma Stewart – Gough en la parte central, que, junto al impulsor, son la base del funcionamiento para la navegación de este robot submarino. El robot REMO tiene una estructura diferente a los robots submarinos convencionales, está diseñado para cambiar su geometría, mediante esta deformación, puede navegar en cualquier dirección, con una mayor flexibilidad que los vehículos con impulsores vectorizados, le permite que los movimientos del timón del robot (anillo posterior impulsor) se efectúen con 6 grados de libertad. [2,16]

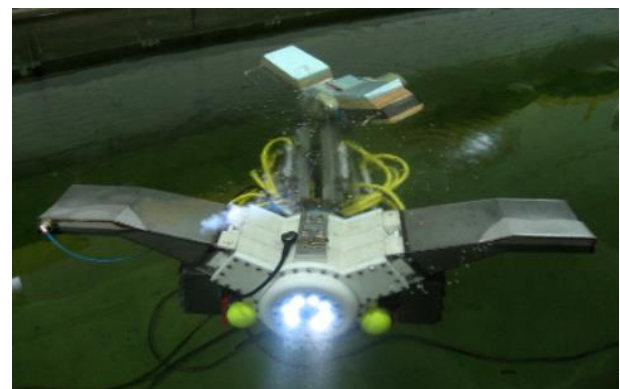


Figura 11. Partes del robot paralelo REMO I [16].

El ROV Seaotter es un vehículo operado remoto equipado con sonar, GPS, sensores de presión y temperatura, cámaras delanteras y traseras diseñadas para exploración

de océanos, ríos, presas, así como investigación de plataformas petroleras, y para búsqueda de tuberías, tesoros y objetos metálicos. En la Figura 12 se muestra el ROV Seaotter, es un vehículo de búsqueda de alta tecnología capaz de localizar objetos en el fondo marino. [17]



Figura 12. Submarino Seaotter [17].

En la Figura 13 se muestra un vehículo submarino no tripulado Pluto Plus, alcanza una velocidad máxima de 1.5 m/s y una profundidad de cinco kilómetros, su uso es militar ya que puede identificar y destruir de minas submarinas. El vehículo funciona con baterías y tiene una duración máxima de seis horas. [17]



Figura 13. Submarino Pluto Plus [17].

El robot submarino HUGIN es un AUV por su acrónimo en inglés *Autonomous Underwater Vehicle* (Vehículo submarino autónomo) como se observa en la Figura 14, está diseñado en los años 90's para realizar levantamientos geográficos en el fondo marino de alta precisión y de inspección, aplicaciones militares e investigación marina. Tiene forma hidrodinámica lo que hacen ser de los más recomendados, tiene instrumentos precisos y una excelente capacidad de la batería. [15,19]



Figura 14. Submarino Hugin. [19]

### Diseño de un robot submarino en 3D

La FIE de la UCol está ubicado en el Puerto de Manzanillo, Colima, en las costas del océano pacífico y al occidente del País, y a un kilómetro de la FIE se encuentra el océano pacífico; por esta razón el área de Mecatrónica se interesa en desarrollar su propio prototipo de robot submarino para la exploración de las costas de Manzanillo. El robot submarino es diseñado para tener la capacidad de girar en un espacio tridimensional mediante 4 motores montados en cada esquina, posee forma cilíndrica, en la parte frontal tiene una cámara para transmitir la información en tiempo real y definir trayectorias por el usuario. Además, el robot submarino tiene la función de observar los desechos marinos y la vida acuática.

El robot es operado de manera remota a través de radio frecuencia, mediante un cable que se eleva a la superficie para la comunicación del receptor al emisor.

Analizando los distintos modelos de robots submarinos orientados a la exploración del fondo marino, se plantea el diseño tipo cilíndrico como el que se muestra en la Figura 15, se diseña con PVC de 4", sellado con una tapa de acrílico de un lado, por donde se puede acceder al interior del prototipo, y además observar el exterior mediante una cámara, mientras que del otro lado del tubo se debe sellar con una tapa PVC. Consta de una base hecha con tubos CPVC de 3/4" y derivaciones en forma de 'T' donde en la parte frontal de ésta, tendrá iluminación LED.

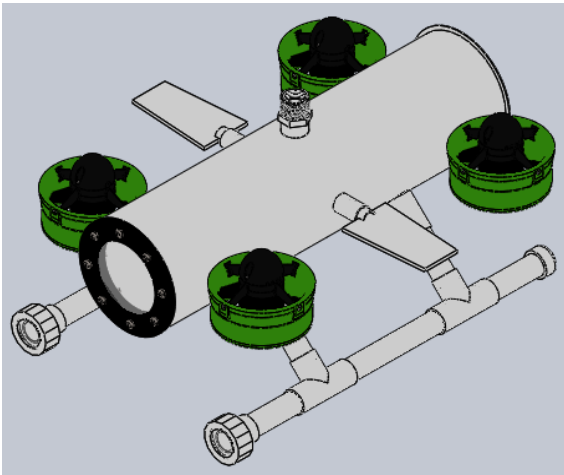


Figura 15. Vista isométrica del robot [Fuente: Elaboración propia].

En la Figura 16 se observa que tiene además de 2 planos de profundidad (aletas) para la buena estabilidad del robot, situadas a cada lado del ROV. El largo del prototipo es de 420 mm y el tubo principal de PVC es de 116mm, en la parte superior de este se encuentra la rosca donde va embonada la manguera por donde pasa el cableado a la superficie.

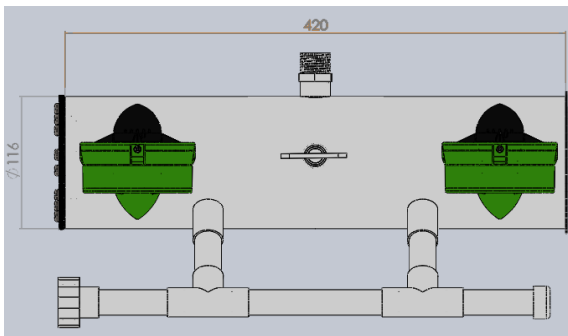


Figura 16. Vista lateral del ROV [Fuente: Elaboración propia].

Referente al modo de propulsión, tiene 4 motores con hélices de 4 palas, situados en cada esquina del prototipo, además de tener toberas para que pueda existir un movimiento, tal como se muestra en la Figura 17 de la vista superior del robot realizado en SolidWorks®. La medida de lado a lado de la base es de 268.62mm.

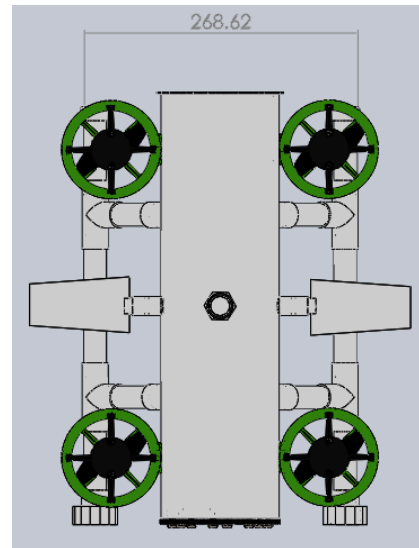


Figura 17. Vista superior del robot [Fuente: Elaboración propia].

En la Figura 18 se muestra el plano de la vista explosionada del prototipo en cuatro vistas distintas, lateral, frontal, inferior e isométrica. Se observan todos los elementos de la estructura separados unos de otros, dónde el elemento principal es el tubo central de PVC de 4", a partir de él se le agregan las demás partes realizando los respectivos barrenos.

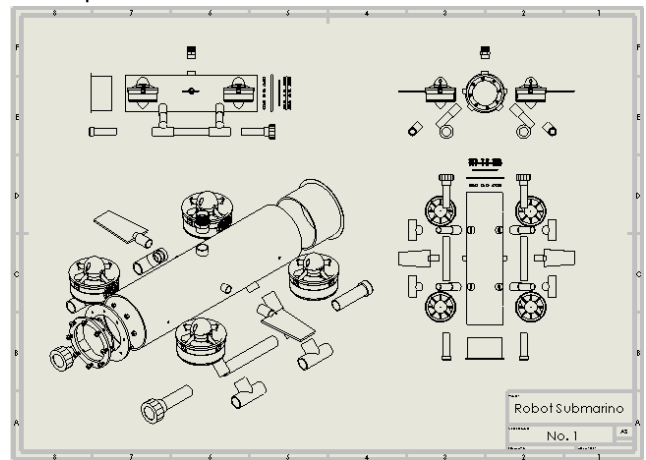


Figura 17. Vista explosionada del ROV [Fuente: Elaboración propia].

La estructura se propone casi en su totalidad con material PVC y CPVC, solamente la tapa frontal (Figura 15) es diseñada en SolidWorks e impresa en 3D, se debe realizar de esa manera para poder acceder al interior del ROV cuando fuera necesario en caso de alguna desconexión u otro problema, además para que no se tenga fugas, ya que se encuentra atornillada y con empaque para evitar la filtración del agua. Además, tiene un espacio entre las dos piezas dónde va ubicado el acrílico para que con la cámara que se encuentra dentro del prototipo se pueda visualizar el exterior.

## Trabajo Futuro

Se espera que la construcción del prototipo del ROV esté terminado a finales del 2021, los trabajos se vieron afectados debido a la contingencia por la pandemia del COVID-19; los laboratorios y talleres de la FIE cerraron y no se permitió el acceso a personal académico, sin embargo, se trabajó en casa en el diseño, simulación del robot submarino y en la compra de los componentes que se necesitan para la construcción, esto a partir del diseño en CAD 3D.

## Conclusiones

Este artículo muestra una definición de robot submarino, clasificación de los vehículos sumergible en aguas; y se describen los robots submarinos como sus aplicaciones más relevantes; estos robots son desarrollados por empresas y por centros de investigación. Es importante seguir trabajando en esta área de la Mecatrónica, ya que se puede mejorar la parte de la tecnología como es el control, diseño, visión, comunicación, programación, entre otras. Además, se diseña un robot submarino no tripulado, debido a la importancia que se tiene en el área de Mecatrónica y por explorar las costas de Manzanillo, ya la ubicación de la FIE favorece este tipo de trabajo, como trabajo futuro se tiene la construcción y las pruebas experimentales, por lo que se espera terminar este año.

## Referencias

- [1] Padro, Ignacio, (2013). Principios científicos asociados a un submarino. <http://subnacho.blogspot.com/2010/08/algunos-principios-cientificos.html>
- [2] Álvarez, C., Saltaren, R., Aracil, R. y García, C. (2009). Concepción, Desarrollo y Avances en el Control de Navegación de Robots Submarinos Paralelos: El Robot Remo-I. RIAI. Vol. 6. No. 3. ISSN: 1697-7912.
- [3] Niño, C., & Dutra, M. (2010). Estado del Arte de los Vehículos Autónomos sumergibles Alimentados por Energía solar. ITECKNE, 7.
- [4] Moreno, Ávalos H.A. (2013). Modelado, control y diseño de robots submarinos de estructura paralela con impulsores vectorizados. Tesis Licenciatura.
- [5] Moreno, H., Saltaren, R., Puglisi, L., Carrera, I., Cárdenas, P., Álvarez, C. (2014). Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial
- [6] Mahmood, A., & Iqbal, J. (2014). Underwater robotic vehicles: latest development trends and potential challenges. Science international (Lahore).
- [7] Monroy, Arturo. (2016). Diseño, modelado y control de robots micro AUV. Tesis Doctoral
- [8] Madero D. y Duran J. (2012). Diseño de un prototipo ROV subacuático experimental. Tesis de Pregrado. Universidad Industrial de Santander.
- [9] Gliva, R., Mountoufaris, M., Spyridakis, N. and Sfakiotakis, M. (2015). Development of a Bio-Inspired Underwater Robot Prototype with Undulatory Fin Propulsion. Conference Paper
- [10] Villamizar J. y Forero Y. (2014). USTA-ROV. Tesis de Pregrado de Ingeniería Mecatrónica: Universidad Santo Tomas de Bucaramanga.

- [11] Meza, M.A. y Forero, D.Y. (2015). Diseño y construcción de un robot acuático. Tesis de Pregrado. Universidad Piloto de Colombia.
- [12] Peña, Antonio. (2018). Desarrollo de un diseño esquemático y conceptual de un vehículo submarino operado remotamente (ROV). Tesis de Licenciatura.
- [13] Correa, J., Vásquez, R., Ramírez, J., Toborda, E., Zuluaga, C., Posada, N., y Londoño, J. (2015). Una arquitectura para el diseño conceptual de vehículos para exploración subacuática. Ingeniería y Ciencia ISSN:1794-9165. Vol. 11, No. 21.
- [14] Florez, Lopez C. (2016). Robótica submarina, la evolución de la investigación. Pag. Web. <https://www.elmundo.com/portal/pagina.general.impresion.php?idx=283542>
- [15] Xinhua. 2018. Robot submarino chino establece récord nacional de profundidad; se sumerge más de 6 mil metros. Periódico la Jornada. <https://www.jornada.com.mx/2018/10/31/ciencias/a02n2cie>.
- [16] Salterén, R., R. Aracil and V. García (2004). Underwater robot of variable geometry based on the Stewart-Gough parallel platform: Conception and hydrodynamic modeling. Automation for the Maritime Industries. Madrid.
- [17] Red, Calvo J.L. (2015). Modelado, Simulación y Control de un Vehículo Submarino Manipulado de forma Remota (ROV). Tesis de Licenciatura Universidad Politécnica de Cartagena.
- [18] Hernández, C. & Suell, M. (2010). Estado del Arte de los Vehículos Autónomos Sumergibles Alimentados por Energía Solar. ITECKNE Vol. 7. No. 1.
- [19] Esperen, P., Storkerse, N., Vestgard, K. (1999). HUGIN — Use of UUV technology in marine applications. IEEE and Oceans 99' MTS/IEEE.