

Vehículo subacuático Sub-Chaac

Arturo Sotelo, Luis Coria y Manuel García

A. Sotelo, L. Coria y M. García
Instituto Tecnológico de Tijuana, Calzada del Tecnológico S/N, Tomas Aquino, 22414 Tijuana, Baja California , Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
asotelo@tectijuana.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013

Abstract

The reported work is product from research and development achieved by the academic body called "Control systems and signal processing". The aims of this work were design and build a submersible vehicle oriented to inspect submerge facilities and underwater exploration. Taking in account Baja California's geographical location and the importance of the maritime activity. The technology development which allow to achieve underwater duties without endanger the personal who develop this tasks is a very important issue. Sub-Chaac was developed over two different versions due to the challenges that building a vehicle which allows submerging and emerging by means of varying the internal mass. Sub-Chaac II successfully fulfills the first stage, consisting on a remotely operated vehicle. Vehículo subacuático, instalaciones sumergidas, operación a distancia.

21 Introducción

La construcción de un vehículo subacuático (*VS*) es un tema que se ha planteado desde tiempos remotos, especialmente en el campo militar. En Estados Unidos en 1775 se plantea como la primera incursión de un sumergible con propósito militar, la tortuga (Turtle), por supuesto los primeros submarinos eran rudimentarios y los diseños han ido mejorando con el paso del tiempo. Con la evolución de la tecnología los submarinos modernos incluyen avanzados equipos de sonar, posicionamiento, ahorro de energía, elementos de visión infrarroja, telemetría, entre otros.

El diseño y construcción de *VS* es un tema de interés debido sus aplicaciones, por ejemplo, en el estudio de los perfiles de columna de agua mediante sonar en emersiones verticales (Gomáriz, y otros, 2011; Murphy, Landamore, & Birmingham, 2008), otro tipo de aplicaciones es la generación de mapas para exploración arqueológica de vestigios sumergidos (Gomáriz, Prat, Sole, Gaya, & Del Rio, 2009), así también se han empleado en tareas de monitorización usando varios *VS* con la finalidad de determinar la trayectoria óptima para llegar a un objeto sumergido (Kulkarni & Pompili, 2008), siendo también de utilidad en la búsqueda y rescate de objetos sumergidos (Conte, y otros, 2009). Para realizar la inmersión y emersión del vehículo se requiere de un conjunto de sistemas electromecánicos que permitan también la realización de maniobras del mismo. Para realizar las operaciones habituales del vehículo es deseable conocer las lecturas de los sensores y estados de los sistemas de abordaje, sin la necesidad de que un operador se sumerja junto con el vehículo. Por lo que se han planteado distintos tipos y modelos de *VS* (Autonomous Undersea Vehicle Application Center, 2013), dentro de los más relevantes son los vehículos subacuáticos no tripulados (*VSNT*) y los vehículos subacuáticos operados a distancia (*VSOD*). La diferencia entre ellos es la manera de operarlos, el primero posee su propia fuente de energía y puede navegar por sí mismo una ruta predeterminada, el segundo requiere de cables para enviar/recibir mandos e información así como la energía para su funcionamiento. Las dimensiones de lo *VS* pueden variar dependiendo de la aplicación, desde pequeños con sistemas de televisión para observación, hasta complicados sistemas de trabajo, los cuales pueden tener varios pinzas para manipular, herramientas y otro equipamiento (Hiroshi, 2008).

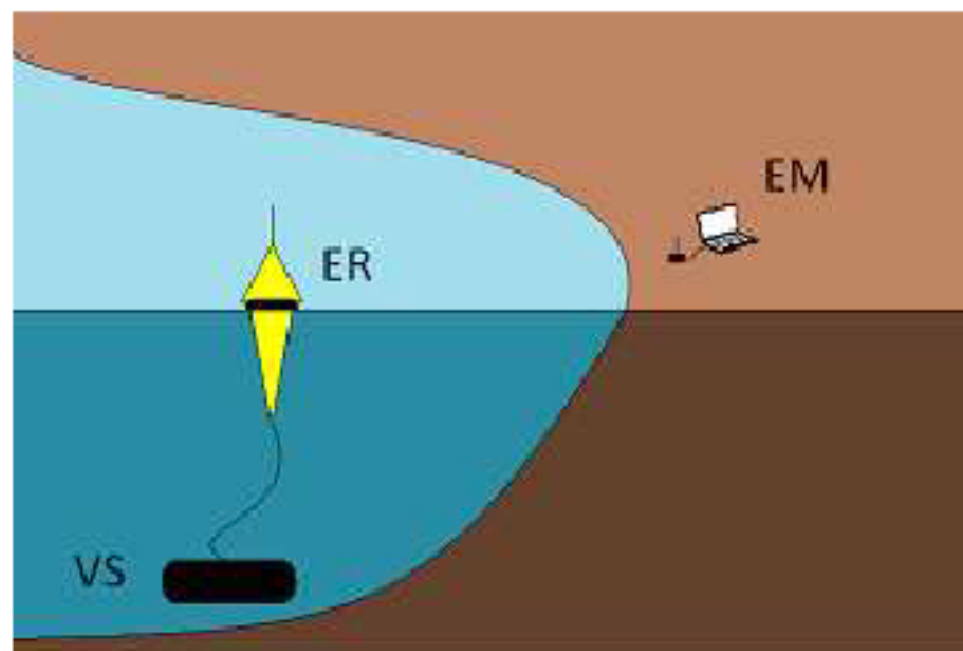
El estado de Baja California se encuentra situado en la región noroeste de la República Mexicana, limita al norte con la frontera de Estados Unidos de América, al este con el río Colorado y el mar de Cortés, al sur por el paralelo 28 y al oeste por el océano Pacífico. La zonas litorales miden 1,280 kilómetros: 720 kilómetros en el océano Pacífico y 560 kilómetros en el mar de Cortés; y la plataforma continental (fondo marino entre 0 y 200 metros de profundidad) comprende 24,832 kilómetros (Gobierno de Baja California, 2013).

Tomando en cuenta la magnitud de sus litorales de la región, la actividad pesquera, y principalmente en granjas marinas, plantea un reto para que el Instituto Tecnológico de Tijuana (*ITT*) incursione en proyectos de investigación en los cuales se desarrolle tecnología que permitan la inspección de instalaciones subacuáticas y la exploración subacuática.

21.1 Método

Para atender el reto el ITT a través del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica puso en marcha un proyecto consistente en el diseño y construcción de un *VSNT*, el cual en su primera fase será un *VSOD* con el propósito de realizar inspección de instalaciones sumergidas. Donde el operador se encuentra en la superficie o en tierra firme, como se muestra en la figura 20.

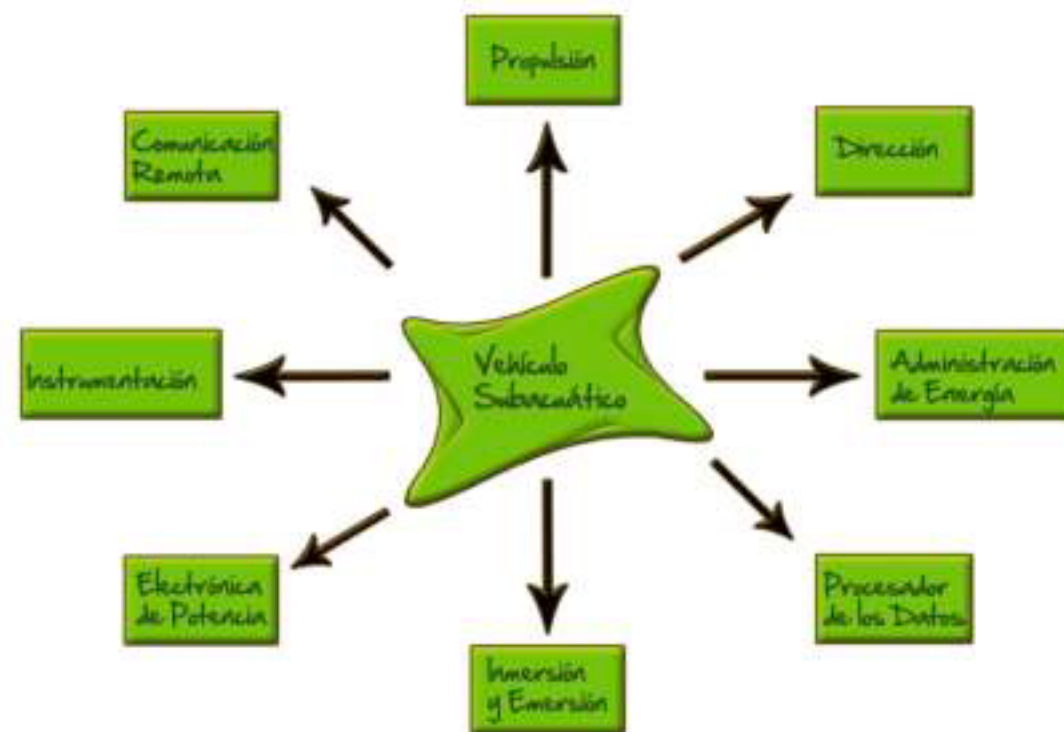
Figura 21 Propuesta de operación del Sub-Chaac



El vehículo fue denominado Sub-Chaac (Chaac: Deidad Maya relacionada con el agua y la lluvia). Este desarrollo fue financiado por el proyecto DGEST 3416.10-P. "Vehículo Subacuático No Tripulado" y el cuerpo académico ITTIJ-CA-6, "Sistemas de control y procesamiento de señales".

En la figura 21.1 se muestran los 8 subsistemas que se desarrollaron para la implementación del Sub-Chaac, adicionalmente a estos, pero no menos importante, la estructura del vehículo.

Figura 21.1 Diagrama a bloques de los subsistemas que forman el Sub-Chaac



Se propusieron diferentes estructuras para contener los subsistemas, decidiendo por la estructura de tipo torpedo, considerando que la construcción sería de menor complejidad y permitiría un contenedor más seguro para la electrónica de abordo. Para la primera versión del Sub-Chaac, se propuso que la profundidad máxima fuera de 3m, con un desplazamiento total de 42Kg, diámetro de 0.3m y longitud de 0.7m.

Para estimar las dimensiones de las cámaras de lastre tomando en cuenta los principios de flotación de Arquímedes, se obtuvo la siguiente expresión para lograr la flotación neutra.

$$\square \quad (21)$$

Por lo tanto si se quiere colocar al VS en flotación la masa interna debe ser menor a la del agua desplazada; y en flotación negativa, la masa interna debe ser mayor a la masa del agua. Por lo que para modificar la flotabilidad es necesario variar de forma controlada la masa interna del vehículo, para lo cual se hace uso de las cámaras de lastre, inundándolos para aumentar la masa interna y vaciándolos para disminuirla.

21.2 Resultados

Una vez obtenido el volumen de lastre necesario para modificar el estado de flotabilidad, se diseñó el primer prototipo. Con el propósito de que el vehículo además de modificar su estado de flotabilidad también pueda modificar su inclinación, sin irse a pique, según las necesidades de la misión, se diseñó con cuatro cámaras de lastre, dos frontales y dos posteriores, como se puede apreciar en el modelo 3D de la 21.2 Posteriormente se procedió a su construcción del prototipo del Sub-Chaac, en la Figura 21.3 se muestra el prototipo con los propulsores instalados.

Figura 21.2 Sub-Chaac primera versión Modelo 3D

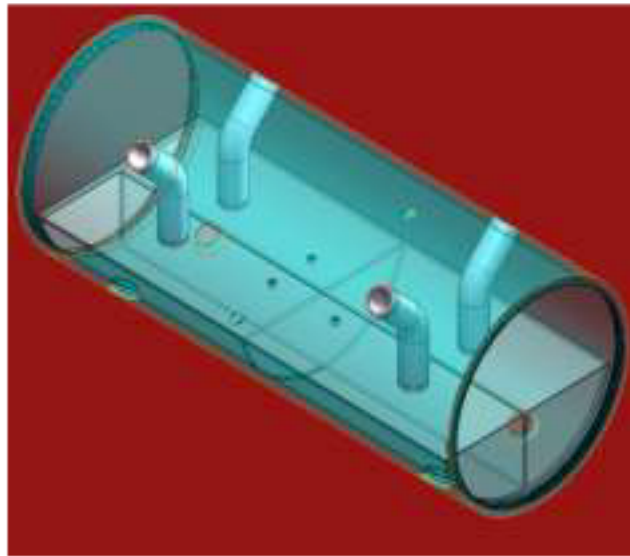


Figura 21.3 Prototipo

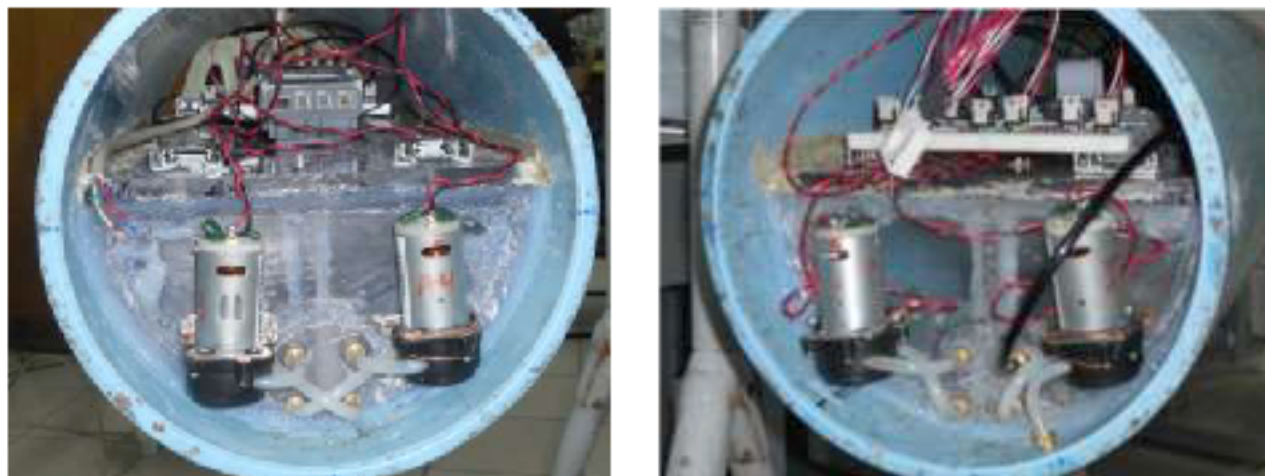


Para lograr modificar el estado de flotabilidad del vehículo se implementó un sistema de bombeo en el cual se usaron bombas peristálticas, ya que ofrecen la función de bombeo en ambos sentidos y cuando están detenidas, el propio mecanismo sella los ductos evitando que entre o salga el agua sin control. En las figuras 21.4 y 21.5, se muestran las cámaras de lastre y el sistema de bombeo.

Figura 21.4 Sistema de bombeo de lastre, bombeo de cámaras frontales



Figura 21.5 Sistema de bombeo de lastre, bombeo de camas posteriores

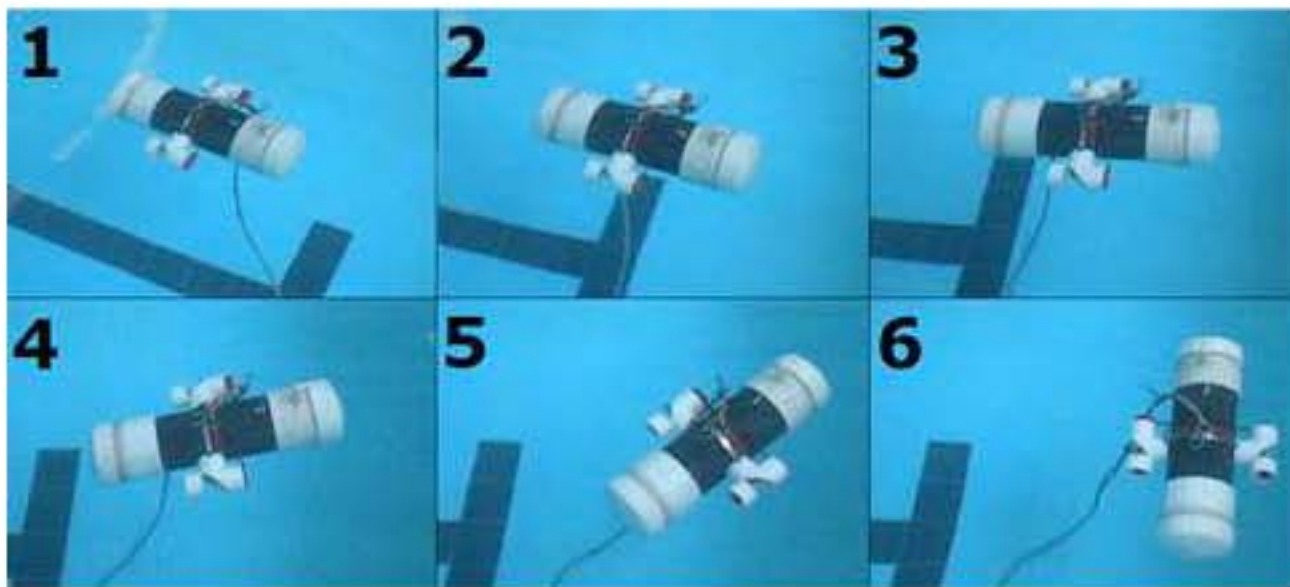


Debido a que la experiencia en el diseño de recipientes no es la especialidad de los participantes en el proyecto, el Sub-Chaac no logró la operación de inmersión, el volumen del lastre no fue suficiente, por lo que permanecía en flotabilidad positiva a pesar de que las cámaras de lastre estaban llenas al 90%, por lo cual se procedió al rediseño y construcción del Sub-Chaac II.

Siguiendo el mismo procedimiento, usando la misma configuración de la estructura, pero haciendo los ajustes pertinentes en los cálculos de las cámaras de lastre, se llegó a la construcción del Sub-Chaac II, el cual tiene un desplazamiento total de 26Kg, diámetro de 0.15m, longitud de 0.4m y profundidad máxima de 3m. El Sub-Chaac II se muestra en la figura 21.6, donde se puede apreciar que posee estructura similar a Sub-Chaac, con dos propulsores a los lados, el cordón umbilical en la parte superior, para suministrar energía y mandos, y recibir de él la telemetría. La estructura interna es similar pero a escala del Sub-Chaac, el sistema para lastre estaba basado en el sistema de bombeo usado en la primera versión.

Figura 21.6 Estructura el casco del Sub-Chaac II

El Sub-Chaac II paso las pruebas de inmersión y sello, estas fueron realizadas en una piscina de 1.6m de profundidad, en el mismo entorno se realizaron las pruebas de maniobra bajo el agua a una profundidad aproximada de 1.2m. En la figura 21.7 se muestra al Sub-Chaac II, la línea de fondo sirve como referencia para determinar las maniobras que realizó en la prueba.

Figura 21.7 Sub-Chaac II maniobrando bajo el agua

21.3 Discusión

Después de la construcción y las pruebas realizadas, en la primera versión del Sub-Chaac, la falla de inmersión se atribuye a que no consideró el volumen y masa de los subsistemas, ya que al momento del cálculo del volumen de las cámaras de lastre no se conocía el volumen y peso de los subsistemas.

Finalmente en el diseño y construcción de Sub-Chaac II se consideraron las masas y volúmenes correctos, ya que entonces se contaba con todos los componentes internos, Con la intención de que pueda alojarse carga útil que dependa de la misión, se agregó lastre fijo para llevarlo al estado de flotabilidad neutra. Esta condición es crítica, debido a que si se agrega un poco más de peso entra en flotabilidad negativa, lo que sería una condición indeseable en un vehículo sumergible. Estar en el estado de flotabilidad neutra permite que el vehículo se quede en la profundidad deseada sin invertir más energía que la utilizada para llevarlo a esa profundidad, pudiendo cambiar la profundidad sin necesidad de agregar o disminuir el volumen del lastre.

21.4 Conclusiones

Después de haber diseñado y construido a Sub-Chaac, se ganó experiencia en el cálculo de recipientes con el propósito de lograr sumergirlos y emergerlos mediante la variación de la masa interna, lo que llevo al éxito en la construcción de Sub-Chaac II. Adicionalmente los subsistemas electrónicos y electromecánicos diseñados probaron ser son escalables y reutilizables, ya que fueron diseñados para la primera versión y fueron reciclados en la segunda versión con modificaciones menores.

La familia de VS Sub-Chaac se encuentra en análisis para introducir mejoras que le permitan la guía autónoma que le permitan ampliar la gama de aplicaciones en diferentes entornos acuáticos.

21.5 Referencias

Autonomous Undersea Vehicle Application Center. (28 de 06 de 2013). Obtenido de Autonomous Undersea Vehicle Application Center: <http://auvac.org/resources/infographic/timeline/>

Bierman, J., & Kincanon, E. (2003). Reconsidering Archimedes' principle. *The Physics Teacher*, 41, 340-344.

Conte, G., Gambella, L., Sacaradozzi, D., Zanolli, S., Caiti, A., Calabrò, V., . . . Silvestre, C. (2009). Underwater vehicle technology in the european research project Venus 1. *Underwater technology*, 28(4), 175-185.

Gobierno de Baja California. (27 de Jun de 2013). Gobierno de Baja California. Obtenido de Gobierno de Baja California: http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/ubicacion_geo/ubicacion.jsp

Gomáriz, S., González, J., Abos, A., Masmitja, I., Masmitja, G., & Prat, J. (2011). Design and construction of the Guanay-II autonomous underwater vehicle. *Oceans, 2011 IEEE* (págs. 1-6). Spain: IEEE.

Gomaríz, S., Prat, J., Sole, J., Gaya, P., & Del Rio, J. (2009). Development of a low-cost autonomous oceanographic observation vehicle. *Oceans 2009 - Europe* (págs. 1-5). UE: IEEE.

Hiroshi, Y. (2008). *Fundamentals of Underwater Vehicle Hardware and Their Applications*. (A. V. Inzartsev, Ed.) Vienna, Austria: Intech.

Kulkarni, I., & Pompili, D. (2008). Coordination of autonomous underwatervehicles for acoustic image aquisition. *Annual International Conference o Mobile Computing and Networking*, (págs. 27-34).

Murphy, A., Landamore, M., & Birmingham, R. (2008). The role of autonomous underwater vehicles for marine research and rescue operations. *Underwater technology*, 4(27), 195-205.

Reed, B. (2004). Archimedes' law sets a good energy-minimization example. *Physics Education*, 39(4), 322-323.

Silva, A. (1998). Archimedes' law and the Potencial Energy: Modeling and Simulation with Spreadsheet. *Physics Education*, 33(2).

