

# Jornadas de Automática

## Identificación del modelo para el control del BlueRov2 Heavy en Modo Depth Hold

Cerrada, Cristina<sup>a,\*</sup>, Chaos, Dictino<sup>a</sup>, Moreno-Salinas, David<sup>a</sup>, Aranda, Joaquín<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Informática y Automática, E.T.S.I. Informática, UNED, C/Juan del Rosal 16, 28040 Madrid, España.

**To cite this article:** Cerrada, Cristina, Chaos, Dictino, Moreno-Salinas, David, Aranda, Joaquín. 2025. Model identification for BlueRov2 Heavy control in Depth Hold Mode. *Jornadas de Automática*, 46. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12112>

### Resumen

Este artículo presenta la identificación de un modelo cinemático sencillo centrado en el control de un vehículo comercial, remotamente operado, de código abierto, personalizable y muy utilizado en los últimos años, el vehículo BlueRov2 Heavy. Además, el vehículo cuenta con distintos modos de funcionamiento. En concreto, se utiliza el *Modo Depth Hold* (mantener la profundidad), y se analiza la relación entre las entradas de control y las velocidades que éstas producen en el vehículo para definir el modelo en 2D. Mediante los sensores del vehículo se obtienen las medidas de las velocidades lineales y angular. Los parámetros del modelo se identifican aplicando la técnica de mínimos cuadrados. La finalidad de este modelo es servir de base para un control cinemático autónomo de alto nivel que envíe comandos de velocidad que el vehículo pueda seguir y que esté enfocado a aplicaciones en las que el vehículo tenga que mantener una profundidad.

**Palabras clave:** Modelado, identificación y tratamiento de señales, Diseño de control, Sistemas de control no lineales, Sistemas marinos.

### Model identification for BlueRov2 Heavy control in Depth Hold Mode

### Abstract

This paper presents the identification of a simple kinematic model focused on the control of a commercial, remotely operated, open source, customisable vehicle, that has been widely used in latest years, the BlueRov2 Heavy vehicle. In addition, the vehicle has different modes of operation. Specifically, *Depth Hold Mode* is used, and the relationship between control inputs and the velocities they produce in the vehicle is analysed to define the 2D model. Measurements of linear and angular velocities are obtained from the vehicle's sensors. The model parameters are identified using the least squares technique. The purpose of this model is to serve as the basis for a high-level autonomous kinematic control that sends velocity commands that the vehicle can follow and that is focused on applications where the vehicle has to hold a depth.

**Keywords:** Modelling, Identification and Signal Processing, Control Design, Non-Linear Control Systems, Marine Systems.

### 1. Introducción

En los últimos años se ha incrementado el interés tanto a nivel comercial como de investigación por los vehículos submarinos no tripulados, que de forma general se pueden clasificar como AUVs (*Autonomous Underwater Vehicles*) y ROVs (*Remotely Operated Vehicles*). Los AUVs pueden desempeñar tareas de forma autónoma, pero están limitados por la capacidad de sus baterías, mientras que los ROVs son controlados

a distancia por un operador, generalmente mediante un *joystick* o *gamepad*, a través de un cordón umbilical (*theter*), que limita la distancia a la que pueden operar. En concreto, para este trabajo se cuenta con el ROV de código abierto BlueRov2 Heavy de la compañía BlueRobotics (BlueRobotics, 2016). Este vehículo ha sido ampliamente utilizado en diversos trabajos de investigación desde diseño de controles para mantener una posición (Knudsen et al., 2019) o realizar una maniobra

\* Autor para correspondencia: criscerrada@dia.uned.es  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

de docking (Vivekanandan et al., 2023) hasta aplicaciones de limpieza de instalaciones marinas (von Benzon et al., 2021) o de simulación (Ortiz-Toro et al., 2024). Uno de los objetivos perseguidos es que el BlueRov2 Heavy pueda realizar tareas de forma autónoma, eliminando el control del operador, por esta razón, es necesario tener un modelo para el control del vehículo.

El modelado y la identificación de los sistemas es útil tanto para simular, como para diseñar o controlar un sistema. Los modelos matemáticos describen la relación entre las variables y componentes de un sistema mediante ecuaciones. Se pueden definir distintos modelos de un sistema en función de su uso, es decir, si se quiere utilizar el modelo en simulación, éste deberá describir de forma precisa el sistema, por lo que la complejidad y número de ecuaciones será elevado, sin embargo, para diseñar un control se puede usar un modelo más simple. Existe una gran variedad de técnicas de identificación, algunas de las empleadas habitualmente son la técnica de mínimos cuadrados (LS, *least-squares*) (Ridao et al., 2004), las técnicas de *machine learning* (Macatangay et al., 2024), o la combinación de ambas técnicas (Moreno-Salinas et al., 2013).

En la literatura se encuentran trabajos sobre el modelado y la identificación del BlueRov2 Heavy. De forma general, estos trabajos utilizan el modelo de ecuaciones cinemáticas y dinámicas presentadas en (Fossen, 2011). Las ecuaciones cinemáticas describen los aspectos geométricos del movimiento del vehículo, y las ecuaciones dinámicas analizan las fuerzas y momentos del agua y de la propulsión del vehículo involucradas en el movimiento. Dentro de las ecuaciones dinámicas aparecen una serie de parámetros hidrodinámicos que es necesario identificar, para lo cual, cada trabajo emplea una técnica distinta. Por ejemplo, en (Aili and Ekelund, 2016) se usa un filtro de Kalman extendido, en (Wu, 2018) se utiliza la técnica de mínimos cuadrados y en (Tun et al., 2023) se emplea el motor físico del entorno de simulación Gazebo. A pesar de que estos modelos son bastante completos, complejos y útiles tanto para simulación como para diseño de controles, presentan un inconveniente. Si varía la geometría del vehículo, como es el caso del BlueRov2 Heavy usado en el presente trabajo (al que se le han añadido una serie de sensores y accesorios adicionales), es necesario identificar de nuevo los parámetros hidrodinámicos. Esto requiere realizar una serie de ensayos complejos y costosos en tiempo y recursos (Avila et al., 2013). Por otra parte, el vehículo está diseñado para recibir entradas de control tipo *joystick* en las direcciones de movimiento del vehículo y realizar de forma automática el reparto de fuerza en los motores, sin embargo, esos modelos consideran el control individual de los motores.

Continuando con el trabajo presentado en (Cerrada et al., 2025) para el *Modo Estabilizar* del vehículo, este trabajo propone un modelo simple que relacione las entradas de control con las velocidades que producen en el vehículo, aprovechando las características del modo de funcionamiento que mantiene la profundidad, *Modo Depth Hold*, y de las entradas de control tipo *joystick*. Como las entradas de control y las velocidades son fáciles de obtener a partir de los sensores del vehículo, el diseño de los experimentos es directo. Se utiliza la técnica de mínimos cuadrados para la identificación de los parámetros del modelo por los buenos resultados mostrados en otros trabajos. El propósito de este modelo es el posterior

diseño de controles para que el vehículo realice diversas tareas en las que tenga que mantener la profundidad, eliminando el control a través de un operador con el *joystick* y permitiendo un control cinemático autónomo de alto nivel que envíe comandos de velocidad que el vehículo pueda seguir.

Las contribuciones principales de este trabajo se resumen en:

- Implementar un modelo cinemático en 2D relacionando las entradas de control con las velocidades alcanzadas por el vehículo, para el modo de funcionamiento que mantiene la profundidad.
- Identificar los parámetros del modelo mediante la técnica de mínimos cuadrados.
- Calcular la relación inversa de las variables del modelo con el objetivo de enviar consignas de velocidad al vehículo. A partir de las consignas, se puede desarrollar un control cinemático autónomo de alto nivel que permita el seguimiento de velocidad en aplicaciones en las que el vehículo tenga que mantener una profundidad.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. La formulación del problema se presenta en la Sección 2. En la Sección 3 se muestran los resultados y en la Sección 4 se detallan las conclusiones y trabajos futuros.

## 2. Formulación del problema

El vehículo BlueRov2 Heavy utilizado ha sido personalizado con una serie de sensores y accesorios que ayudan a la navegación. Para este trabajo, destaca el sensor DVL (*Doppler Velocity Logger*, Figura 1), que proporciona la medida de velocidad lineal con respecto al fondo. La medida de la velocidad angular viene dada por la unidad de medida inercial (*Inertial Measurement Unit*, IMU) del controlador de vuelo (Pixhawk PX4 autopilot), incluido en la configuración básica del vehículo. El aspecto final del BlueRov2 Heavy se muestra en la Figura 2.



Figura 1: Sensor DVL.

El vehículo es sobreactuado ya que tiene 8 motores (4 horizontales y 4 verticales) colocados de tal forma que permiten el control del vehículo en 6 grados de libertad: el ángulo de balanceo (*roll*), la traslación en el eje x (*surge*), el ángulo de cabeceo (*pitch*), la traslación en el eje y (*sway*), el ángulo de giro (*yaw*), y la traslación en el eje z (*heave*) (ver Figura 3).



Figura 2: Vehículo BlueRov2 Heavy personalizado con distintos sensores y accesorios. El sensor DVL se encuentra remarcado en naranja. La IMU se encuentra en el interior del tubo superior.

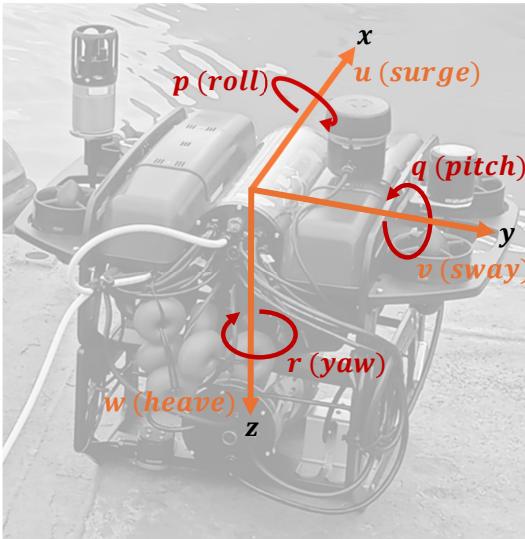


Figura 3: Movimientos de traslación y rotación con la nomenclatura SNAME (SNAME, 1950).

Para este trabajo se usa el modo de funcionamiento que mantiene la profundidad del vehículo, el *Modo Depth Hold*. Este modo estabiliza de forma automática *roll* y *pitch*, y mantiene *yaw* y *heave* mientras no se envíe un comando para girar o sumergir/emerger el vehículo, respectivamente. De esta manera se consigue un manejo sencillo en los movimientos de traslación *surge* y *sway*. Además, al mantener la profundidad, este modo permite centrarse en el movimiento en el plano XY, es decir, determinar los modelos para las velocidades lineales *surge* (*u*) y *sway* (*v*) y para la velocidad angular *yaw rate* (*r*).

A través de un cordón umbilical (*theter*), el vehículo es controlado desde un ordenador. El vehículo está diseñado para funcionar mediante los comandos de un *joystick* en cada grado de libertad, el ordenador simula estos comandos, y el control de cada motor se reparte de forma interna a partir del comando recibido. Como entradas de control se envían señales PWM (*Pulse Width Modulation*) definidas entre 1100 y 1900

microsegundos, que se corresponden con la propulsión total hacia atrás y hacia adelante, respectivamente, y el valor central de 1500  $\mu$ s corresponde al vehículo parado. Se han definido las entradas de control normalizadas  $a_u$  (para *surge*),  $a_v$  (para *sway*) y  $a_r$  (para *yaw rate*) para simplificar la notación. El valor de dichas entradas normalizadas varía entre -1 y 1 según (1), siendo -1 la máxima propulsión hacia atrás, 1 la máxima propulsión hacia adelante y 0 estar parado. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de entrada de control para un experimento en el que la entrada normalizada  $a_v$  toma los valores -0,38, 0 y 0,38.

$$\text{entrada normalizada} = \frac{\text{entrada } \mu\text{s} - 1500 \mu\text{s}}{400 \mu\text{s}} \quad (1)$$

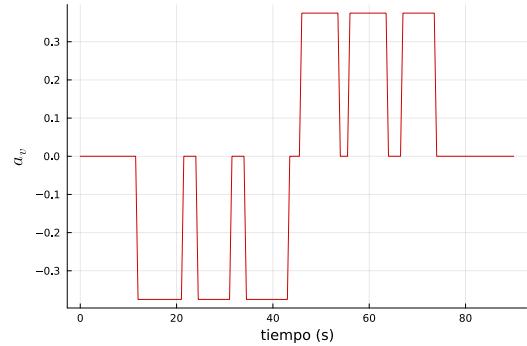


Figura 4: Señal de entrada normalizada para *sway* variando entre  $a_v = -0,38$ ,  $a_v = 0$  y  $a_v = 0,38$ .

Al aplicar la señal de entrada de la Figura 4, el vehículo se desplaza con una cierta velocidad *sway*, que es medida por el DVL. La Figura 5 muestra las medidas de la velocidad alcanzada por el vehículo tras enviar esta entrada normalizada, y se observa como la velocidad aumenta o disminuye rápidamente al variar el valor de la entrada. Para el resto de experimentos en las restantes velocidades se obtiene un comportamiento similar. En base a este comportamiento y con la intención de permitir un control cinemático autónomo de alto nivel que envíe comandos de velocidad que el vehículo pueda seguir, se desarrolla un modelo cinemático que relaciona las entradas normalizadas  $a_u$ ,  $a_v$  y  $a_r$  con sus correspondientes velocidades en estado estacionario *u*, *v* y *r*, utilizando el *Modo Depth Hold* como un controlador interno que garantiza el movimiento en el plano XY, mediante la estabilización de *roll*, *pitch*, y *heave*.

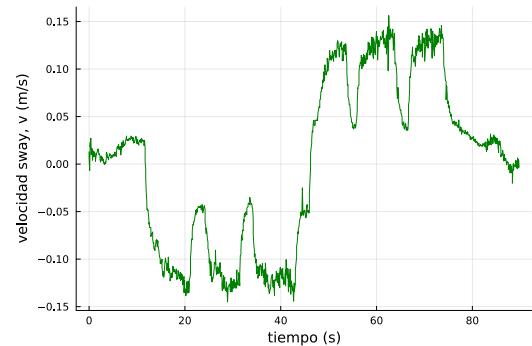


Figura 5: Velocidad *sway* (*v*) medida por DVL para señal de entrada normalizada variando entre  $a_v = -0,38$ ,  $a_v = 0$  y  $a_v = 0,38$ .

### 2.1. Ajuste del modelo

Siguiendo la metodología descrita en (Cerrada et al., 2025), el modelo se basa en una función empírica  $f_i$  que relaciona la entrada normalizada  $a_i$  con su correspondiente velocidad  $V_i$  y que está parametrizada por el vector de parámetros  $\theta_i$ , siendo  $i = u, v, r$ , es decir,  $u = V_u = f_u(a_u, \theta_u)$ ,  $v = V_v = f_v(a_v, \theta_v)$  y  $r = V_r = f_r(a_r, \theta_r)$ . Para la identificación de los parámetros del modelo propuesto se emplea la técnica de mínimos cuadrados, y se define el siguiente problema de optimización (2).

$$\begin{aligned} \theta_i^* &= \arg \min_{\theta_i} J(\theta_i) \\ \text{sujeto a :} \\ J(\theta_i) &= \sum_{n=1}^N (V_{i_n} - f(a_{i_n}, \theta_i))^2, \end{aligned} \quad (2)$$

donde  $\theta_i^*$  son los parámetros óptimos para el modelo  $i$ ,  $J(\theta_i)$  es la función de coste,  $N$  es el número de datos,  $V_{i_n}$  es la medida de velocidad  $i$  de cada dato, y  $a_{i_n}$  es la entrada de control  $i$  aplicada para cada dato.

## 3. Resultados

Se han diseñado unos experimentos en los que se mide la velocidad que alcanza el vehículo para distintas entradas normalizadas en *surge* ( $a_u$ ), *sway* ( $a_v$ ) y *yaw rate* ( $a_r$ ), aplicadas de forma independiente con el objetivo de que no haya acoplamientos. Se ha realizado un experimento para cada una de las entradas normalizadas y la velocidad medida se ha dividido en dos partes, una para estimar el modelo y otra para validar. A partir de los datos recopilados para estimar, se calcula el valor medio y la desviación típica de la velocidad estacionaria alcanzada. La Figura 6 muestra un ejemplo de la división realizada entre datos para estimar y para validar, además de mostrar la velocidad estacionaria con la que se realizan los cálculos, para la entrada de la Figura 4. Se usa un valor de corte para determinar los datos que forman la velocidad estacionaria. El valor de corte se ha definido como el 80 % del valor máximo y del valor mínimo de velocidad que se obtiene tras aplicar la entrada de control y eliminar los outliers, tal como se ve en la Figura 6.

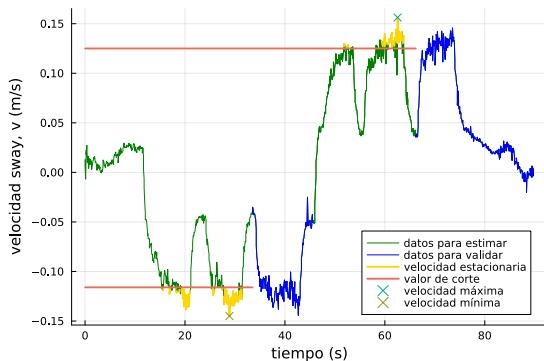


Figura 6: Velocidad *sway* ( $v$ ) medida por DVL para la señal de entrada normalizada variando entre  $a_v = -0,38$ ,  $a_v = 0$  y  $a_v = 0,38$ . Se muestra la división entre los datos para estimar (en verde) y los datos para validar (en azul). Se destaca la velocidad estacionaria alcanzada (en amarillo), los valores de corte -0,11 y 0,12 (en naranja) y las velocidades máxima y mínima.

### 3.1. Identificación de la velocidad de surge

La relación que aparece al representar las velocidades (para estimar) medidas para cada entrada normalizada en *surge* es lineal con una zona muerta. Esta relación se aprecia en la Figura 7, donde se muestran los datos de velocidad *surge* media con su respectiva desviación estándar para la entrada normalizada  $a_u$  variando entre los valores -0,88 ( $1150\mu s$ ) y 0,88 ( $1850\mu s$ ) con incrementos de 0,25 ( $100\mu s$ ), y el resultado del ajuste por mínimos cuadrados.

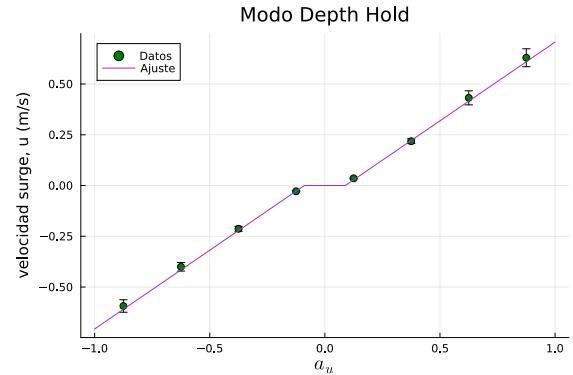


Figura 7: Velocidades medias y desviaciones estándar de los datos para estimar para diferentes valores de  $a_u$  variando entre -0,88 y 0,88 junto con el ajuste en *surge*.

La función  $f_u(a_u, \theta_u)$  se define como (3).

$$u_{es} = f_u(a_u, \theta_u) = \begin{cases} \theta_1 \cdot (a_u + \theta_2) & \text{si } a_u < -\theta_2 \\ 0 & \text{si } |a_u| \leq \theta_2 \\ \theta_1 \cdot (a_u - \theta_2) & \text{si } a_u > \theta_2 \end{cases} \quad (3)$$

siendo  $u_{es}$  la velocidad *surge* estimada, y  $\theta_u = [\theta_1, \theta_2]$  los parámetros a optimizar para obtener el ajuste por mínimos cuadrados.

Se ha obtenido el siguiente ajuste por mínimos cuadrados (4).

$$u_{es} = \begin{cases} 0,77 \cdot (a_u + 0,089) & \text{si } a_u < -0,089 \\ 0 & \text{si } |a_u| \leq 0,089 \\ 0,77 \cdot (a_u - 0,089) & \text{si } a_u > 0,089 \end{cases} \quad (4)$$

El ajuste realizado es bastante preciso, porque se acerca a los valores medios de la velocidad medida dentro del margen de error de la desviación estándar. A modo de ejemplo más concreto, en la Figura 8 se muestra la comparación entre la velocidad  $u$  medida por el DVL (para los datos para estimar y para validar) y la velocidad estimada  $u_{es}$  con (4) al aplicar una determinada señal de entrada, y se observa que la velocidad estimada es cercana a la medida.

Con el objetivo de diseñar acciones de control para una tarea determinada manteniendo la profundidad, se puede usar la forma inversa de (4), es decir, se puede calcular la entrada de control  $a_u$  necesaria para alcanzar una velocidad *surge* deseada  $u_{des}$  (5). Se puede utilizar este resultado para desarrollar un control cinemático de alto nivel del vehículo, aprovechando, además, que el *Modo Depth Hold* estabiliza internamente el vehículo y le permite seguir una referencia de velocidad.

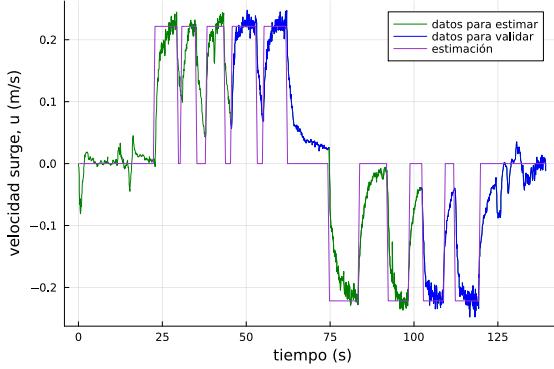


Figura 8: Comparación de la velocidad *surge* medida por el DVL ( $u$ , en verde los datos para estimar, en azul los datos para validar) y la velocidad *surge* estimada ( $u_{es}$ , en morado) calculada con (4) para una señal de entrada normalizada variando entre  $a_u = -0,38$ ,  $a_u = 0$  y  $a_u = 0,38$  en *Modo Depth Hold*.

$$a_u = \begin{cases} \frac{u_{des}}{0,77} - 0,089 & \text{si } u_{des} < 0 \\ 0 & \text{si } u_{des} = 0 \\ \frac{u_{des}}{0,77} + 0,089 & \text{si } u_{des} > 0 \end{cases} \quad (5)$$

### 3.2. Identificación de la velocidad de sway

Para la velocidad *sway* la relación entre las entradas y las velocidades también es lineal con una zona muerta, por ese motivo, se define la función  $f_v(a_v, \theta_v)$  de forma similar a (3) y se obtiene el siguiente ajuste por mínimos cuadrados (6), donde  $v_{es}$  es la velocidad *sway* estimada.

$$v_{es} = \begin{cases} 0,48 \cdot (a_v + 0,099) & \text{si } a_v < -0,099 \\ 0 & \text{si } |a_v| \leq 0,099 \\ 0,48 \cdot (a_v - 0,099) & \text{si } a_v > 0,099 \end{cases} \quad (6)$$

En la Figura 9 se muestran los datos de la velocidad *sway* media y su desviación estándar para la entrada normalizada  $a_v$ , que varía entre los mismos valores que  $a_u$ , y el resultado del ajuste por mínimos cuadrados. En este caso, el ajuste realizado también es bastante preciso, porque se acerca a los valores medios de la velocidad medida dentro del margen de error de la desviación estándar. La Figura 10 muestra la comparación entre la velocidad  $v$  medida por el DVL (para los datos para estimar y para validar) y la velocidad estimada  $v_{es}$  con (6) para una señal de entrada normalizada. Se observa que la velocidad estimada está próxima a la medida.

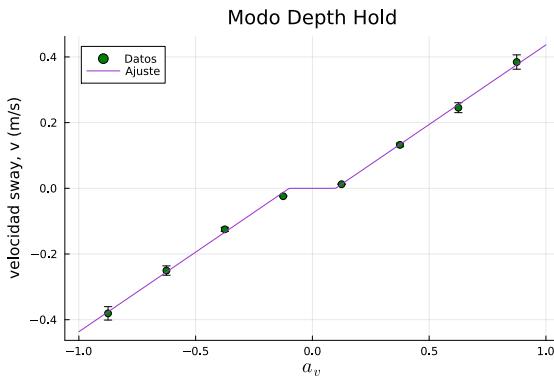


Figura 9: Velocidades medias y desviaciones estándar de los datos para estimar para diferentes valores de  $a_v$  variando entre -0,88 y 0,88 junto con el ajuste en *sway*.

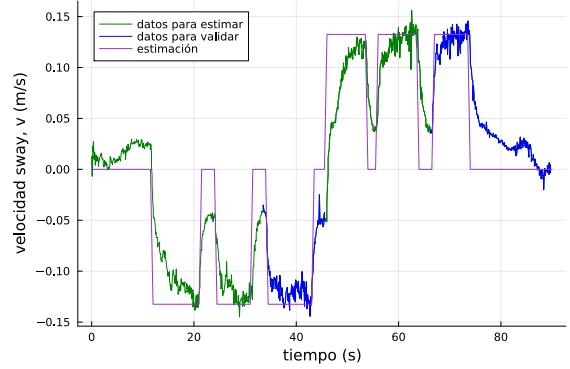


Figura 10: Comparación de la velocidad *sway* medida por el DVL ( $v$ , en verde los datos para estimar, en azul los datos para validar) y la velocidad *sway* estimada ( $v_{es}$ , en morado) calculada con (6) para una señal de entrada normalizada variando entre  $a_v = -0,38$ ,  $a_v = 0$  y  $a_v = 0,38$  en *Modo Depth Hold*.

La entrada de control  $a_v$  en función de una velocidad *sway* deseada  $v_{des}$  se calcula como (7):

$$a_v = \begin{cases} \frac{v_{des}}{0,48} - 0,099 & \text{si } v_{des} < 0 \\ 0 & \text{si } v_{des} = 0 \\ \frac{v_{des}}{0,48} + 0,099 & \text{si } v_{des} > 0 \end{cases} \quad (7)$$

### 3.3. Identificación de la velocidad de yaw rate

Los resultados para la velocidad *yaw rate* difieren de las curvas anteriores. En este caso, la relación entre las entradas y velocidades es una saturación, por lo que se define con (8) y el ajuste por mínimos cuadrados es (9), siendo  $r_{es}$  la velocidad *yaw rate* estimada, y  $\theta_r = [\theta_1, \theta_2]$  los parámetros a optimizar.

$$r_{es} = f_r(a_r, \theta_r) = \theta_1 \cdot \tanh(\theta_2 \cdot a_r). \quad (8)$$

$$r_{es} = 2,12 \cdot \tanh(1,13 \cdot a_r). \quad (9)$$

En la Figura 11 se muestra los datos de la velocidad *yaw rate* media con su desviación estándar para la entrada normalizada  $a_r$ , que varía entre los mismos valores que  $a_u$ , y el ajuste por mínimos cuadrados. En este caso, el ajuste realizado es suficientemente bueno, dado que se encuentra dentro del margen de error de la desviación estándar (salvo para los valores más bajos,  $a_r = \pm 0,13$ , donde se queda cerca). La comparación entre la velocidad  $r$  medida por la IMU (para los datos para estimar y para validar) y la velocidad estimada  $r_{es}$  con (9) para una señal de entrada normalizada se puede apreciar en la Figura 12, donde también se observa que la velocidad estimada se acerca a la medida la mayoría del tiempo.

Finalmente, la entrada de control  $a_r$  a partir de una velocidad *yaw rate* deseada  $r_{des}$  se obtiene con (10).

$$a_r = \frac{\tanh^{-1}(r_{des}/2,12)}{1,13}. \quad (10)$$

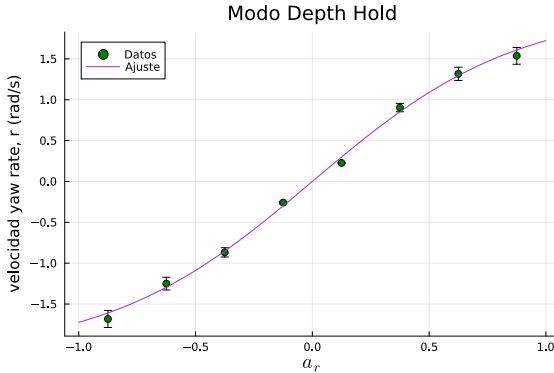


Figura 11: Velocidades medias y desviaciones estándar de los datos para estimar para diferentes valores de  $a_r$  variando entre  $-0,88$  y  $0,88$  junto con el ajuste en yaw rate.

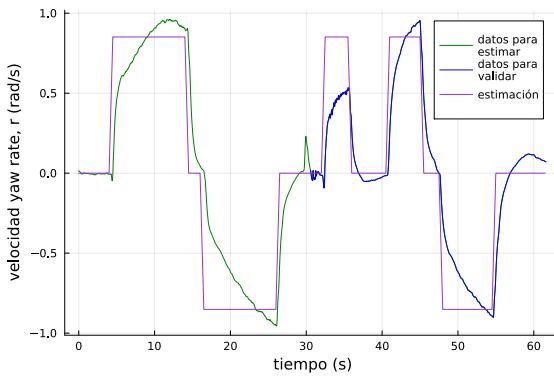


Figura 12: Comparación de la velocidad yaw rate medida por la IMU ( $r$ , en verde los datos para estimar, en azul los datos para validar) y la velocidad yaw rate estimada ( $r_{es}$ , en morado) calculada con (9) para una señal de entrada normalizada variando entre  $a_r = -0,38$ ,  $a_r = 0$  y  $a_r = 0,38$  en Modo Depth Hold.

#### 4. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se ha presentado un modelo cinemático para el control del vehículo BlueRov2 Heavy funcionando en Modo Depth Hold. El modelo relaciona las entradas de control (que han sido normalizadas) con las respectivas velocidades alcanzadas en surge, sway y yaw rate. Se ha empleado la técnica de mínimos cuadrados para la identificación de los parámetros del modelo. En los resultados se ha visto que las velocidades surge y sway tienen un comportamiento lineal respecto a las entradas, pero con una zona muerta, mientras que la velocidad yaw rate tiende hacia la saturación al aumentar en valor absoluto la entrada. Mediante el ajuste de los parámetros del modelo se ha conseguido que la velocidad estimada se acerque a la velocidad medida y por tanto el vehículo sea capaz de seguir una referencia de velocidad.

Una línea de trabajo futuro sería la elaboración de un control cinemático de alto nivel que permita que el vehículo desempeñe tareas de forma autónoma y manteniendo la profundidad, utilizando el modelo propuesto en este trabajo para el envío de los comandos de velocidad deseada.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias a la financiación recibida del Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto con referencia PID2023-146540OB-C41 (NEMO4EXOAMIC). El trabajo del primer autor está financiado por el proyecto con referencia PID2022-139187OB-I00 (COLLECTIVELY).

#### Referencias

- Aili, A., Ekelund, E., 2016. Model-Based Design, Development and Control of an Underwater Vehicle. Master's thesis, Linköping University, Automatic Control.
- Avila, J. P. J., Donha, D. C., Adamowski, J. C., 2013. Experimental model identification of open-frame underwater vehicles. Ocean Engineering 60, 81–94.  
DOI: 10.1016/j.oceaneng.2012.10.007
- BlueRobotics, 2016. Bluerov2: The world's most affordable high-performance rov. BlueROV2 datasheet.  
URL: <https://bluerobotics.com/store/rov/bluerov2/>
- Cerrada, C., Chaos, D., Moreno-Salinas, D., Aranda, J., 2025. Modelo cinemático para el control del vehículo BlueRov2 Heavy en Modo Estabilizar. In: Simposio CEA de Robótica, Bioingeniería, Visión Artificial y Automática Marina (RBVM) 2025. pp. 1–6.  
DOI: Pendiente de publicar
- Fossen, T. I., 2011. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. John Wiley & Sons, Ltd, United Kingdom.  
DOI: 10.1002/9781119994138
- Knudsen, K. B., Nielsen, M. C., Schjølberg, I., 2019. Deep Learning for Station Keeping of AUVs. In: OCEANS 2019 MTS/IEEE SEATTLE. pp. 1–6.  
DOI: 10.23919/OCEANS40490.2019.8962598
- Macatangay, X., Gabriel, S. A., Hoseinnezhad, R., Fowler, A., Bab-Hadiashar, A., 2024. Machine Learning for Modeling Underwater Vehicle Dynamics: Overview and Insights. IEEE Access 12, 139486–139504.  
DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3464644
- Moreno-Salinas, D., Chaos, D., Besada-Portas, E., López-Orozco, J. A., de la Cruz, J. M., Aranda, J., 2013. Semophysical Modelling of the Nonlinear Dynamics of a Surface Craft with LS-SVM. Mathematical Problems in Engineering 2013, 1–13.  
DOI: 10.1155/2013/890120
- Ortiz-Toro, C. A., Cerrada-Collado, C., Moreno-Salinas, D., Chaos-García, D., García-Suárez, K. L., Otero, P., Vidal-Pérez, J. M., Luque-Nieto, M. A., Vázquez, A. I., Fraile-Ardanuy, J. J., Negro-Valdecantos, V., Jimenez-Yguacel, E., Aranda-Almansa, J., Zazo-Bello, S., Zufiria, P. J., Magdalena, L., Parras, J., Gutiérrez, A., 2024. NauSim: Un simulador de código abierto para el control, desarrollo y despliegue de drones submarinos. XLV Jornadas de Automática, 1–6.  
DOI: 10.17979/ja-cea.2024.45.10895
- Ridao, P., Tian, A., El-Fakdi, A., Carreras, M., Zirilli, A., 2004. On the identification of non-linear models of unmanned underwater vehicles. Control Engineering Practice 12, 1483–1499.  
DOI: 10.1016/j.conengprac.2004.01.004
- SNAME, 1950. Nomenclature for Treating the Motion of a Sumerged Body Through a Fluid. Tech. rep., The Society of Naval Architects and Marine Engineers, series: Technical and research bulletin Nº 3-47.
- Tun, T. T., Huang, L., Preece, M. A., 2023. Development and High-Fidelity Simulation of Trajectory Tracking Control Schemes of a UUV for Fish Net-Pen Visual Inspection in Offshore Aquaculture. IEEE Access 11, 135764–135787.  
DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3337872
- Vivekanandan, R., Chang, D., Hollinger, G. A., 2023. Autonomous Underwater Docking using Flow State Estimation and Model Predictive Control. In: 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). pp. 1062–1068.  
DOI: 10.1109/ICRA48891.2023.10160272
- von Benzon, M., Sørensen, F., Liniger, J., Pedersen, S., Klemmensen, S., Schmidt, K., 2021. Integral Sliding Mode Control for a Marine Growth Removing ROV with Water Jet Disturbance. In: 2021 European Control Conference (ECC). pp. 2265–2270.  
DOI: 10.23919/ECC54610.2021.9655050
- Wu, C.-J., 2018. 6-dof modelling and control of a remotely operated vehicle. Ph.D. thesis, Flinders University, College of Science and Engineering.