

Identificación y Control de un Dispositivo ROV Subacuático para la Inspección de Elementos Sumergidos

Identification and control of a sub water ROV device for inspection of submerged elements.

Juan Pablo Martinez Tellez, Sergio Daniel Vaquen Pulido, Mauricio Vladimir Peña Giraldo

Ingeniería Mecánica, Universidad Libre, Bogotá, Colombia

juanp.martinezt@unilibrebog.edu.co sergiiod

vaquenp@unilibrebog.edu.co

mauriciov.penag@unilibrebog.edu.co

Resumen— Los vehículos remotamente operados ROV (Remotely Operated Vehicles) son dispositivo que facilita la exploración subacuática, en donde la comunicación es en tiempo real. Este artículo busca la identificación del sistema y el diseño de un control de giro de un vehículo ROV a escala de laboratorio. Se realiza la identificación del sistema para encontrar una función de transferencia que implica parámetros de difícil cálculo teórico; para el diseño de un control PID usando la herramienta de Simulink Matlab. Como resultado se obtiene una función de transferencia a partir de una señal senoidal con frecuencia variable y se emplea el algoritmo de control PID sobre el dispositivo ROV. Finalmente se obtiene un punto de control con baja presencia de oscilaciones además de una respuesta del algoritmo de control de un segundo en el giro del vehículo.

Palabras clave— Control PID, función de transferencia, identificación de sistema, ROV.

Abstract— Remotely operated Vehicles ROV are devices that make easy sub water exploration, when the communication is in real time. This article looks the system identification and the turn control design of a laboratory scale ROV vehicle. Make the system identification to look for the transfer function that apply hard theoretical calculation parameters; to the design of PID control used Simulink Matlab software. As a result a transfer function based on a variable frequency sine wave was obtained and employ the PID control algorithm about a ROV device. Finally a control point with low oscillations was obtained, besides the response of control algorithm is one second in the turn vehicle.

Key Word —PID control, ROV, system identification, transfer function.

I. INTRODUCCIÓN

El ser humano ha tenido la necesidad de conocer las profundidades de los cuerpos de agua. Una alternativa de exploración son los vehículos subacuáticos teledirigidos

(ROV, Remotely Operated Vehicles) los cuales son herramientas útiles que facilitan el estudio de variables subacuáticas como indica Delgado Ramírez Guillermo, y otros [1]. Estos dispositivos de inspección tienen la ventaja de comunicar y enviar información en tiempo real. Esta clase de dispositivos pueden permanecer por tiempo prolongado en actividades para las cuales fueron diseñados, enviando toda la información obtenida como indican I. Thor and Fossen [2]. Por esta razón se busca identificar el sistema y realizar el control de giro de un dispositivo ROV a escala de laboratorio, para inspeccionar elementos sumergidos, empleando sistemas embebidos tipo Arduino, fuente de alimentación de corriente continua, cámara web y elementos estructurales de fácil ensamblaje.

Como resultado se identificó un modelo dinámico del sistema ROV mediante señales de prueba y se realizó el diseño e implementación del control de giro sobre el plano horizontal, el cual utiliza como sensor un compás magnético y como actuadores motores de corriente continua. El desarrollo y pruebas del dispositivo son realizados en un tanque el cual no presenta perturbaciones. Este artículo está dividido en la identificación del sistema y el control de dirección del ROV.

II. METODOLOGÍA

Las características del dispositivo ROV son:

- Estructura del ROV en PVC (policloruro de vinilo) y Acrílico.
- 2 Motores de corriente continua de 12V y 18 Watts con carga para control de giro.
- 2 Motores de corriente continua de 12V y 36 Watts con carga para descenso del ROV.

- Fuente de alimentación externa desde la superficie de 12V y 12A.
 - Hélices de PLA (Ácido Poliláctico) un poliéster termoplástico biodegradable de bajo peso molecular.
 - Dispositivo de flotabilidad positiva sin encendido de actuadores.
 - Dimensiones de 0.5 m de largo, 0.3 m de ancho y 0.5 m de alto.
 - Peso del dispositivo de 39.2N.
 - Empuje positivo de 5.88N sin encendido de actuadores.
 - Peso aparente neutro en 5V.
 - Peso aparente de 39.2N a 9V.
 - Comunicación con la superficie por cable.
 - Iluminación LED conectada al microcontrolador.
 - Tarjeta Arduino Mega 2560, velocidad de reloj de 16MHz y voltaje de operación de 5V.
 - Dispositivo de medición de velocidad angular, orientación y fuerzas gravitacionales del vehículo, sensor de unidad de medición inercial (IMU, inertial measurement unit).
 - Módulo driver Bts796. Voltaje de operación de 5.5~27V con una corriente de operación máxima de 43A, para emplear en motores de 36W.
 - Modulo driver L298n. Voltaje de operación de 5~35V con una corriente de operación máxima de 2A por los 2 canales, para emplear en motores de 18W.
 - Cámara Web convencional alojada en el interior del ROV.
- A. Identificación del sistema a partir de señal de prueba.

La Figura 1 muestra el diagrama de cuerpo libre del ROV.

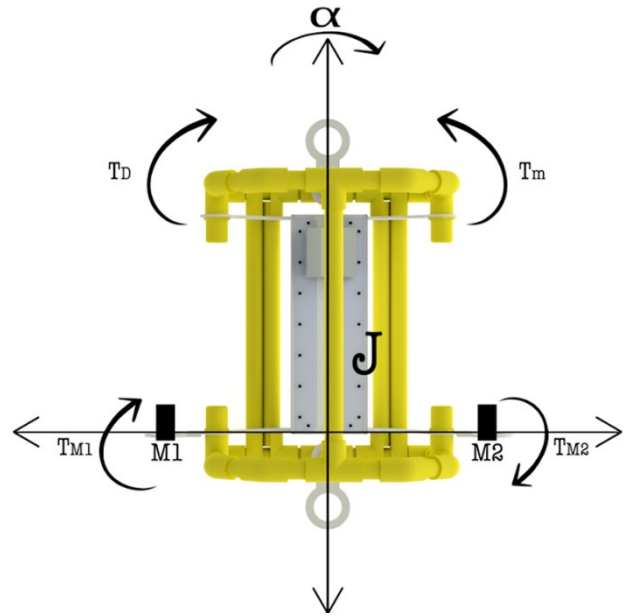


Fig 1. Diagrama de cuerpo libre del ROV. Fuente: Autores del proyecto.

La ecuación 1 es la sumatoria de torques del sistema del giro del ROV.

$$\tau_{M1} + \tau_{M2} + \tau_D - \tau_m = J * \alpha \quad (1)$$

Dónde:

τ_{M1} Es torque del motor 1.

τ_{M2} Es torque del motor 2.

τ_D Es torque debido a parámetros desconocidos.

τ_m Es torque debido al contacto con el medio.

J Es Inercia de masas añadidas y masa del ROV.

α Es la aceleración angular del ROV.

La ecuación 1 presenta la Inercia y parámetros de difícil cálculo teórico; para la obtención de información y la descripción del comportamiento del sistema se usa la identificación del sistema.

La identificación del sistema es la obtención de modelos que representan algún sistema dinámico y a través de él, encontrar ecuaciones que describen el comportamiento del ROV como indica Oscar F. Avilés y otros [3]. La función de transferencia real del dispositivo para el control de giro, es obtenida a partir de la identificación, donde el propósito es excitar el sistema para la obtención de información del ROV como indica D. Bravo-Montenegro [4]. Para la obtención del modelo se consideró el sistema como una caja negra que cuenta con

determinadas entradas y salida, se obtienen pares de medidas de las entradas y salidas, y se determina el modelo del sistema como indica Pedro Arafet Padilla [5]. En este caso la entrada es una señal de prueba, como un valor en el ancho de pulso

(PWM); la salida es el ángulo que el sensor está midiendo en relación con el campo magnético de la tierra. La Figura 2, muestra los bloques usados en Simulink Matlab para la obtención del modelo del sistema.

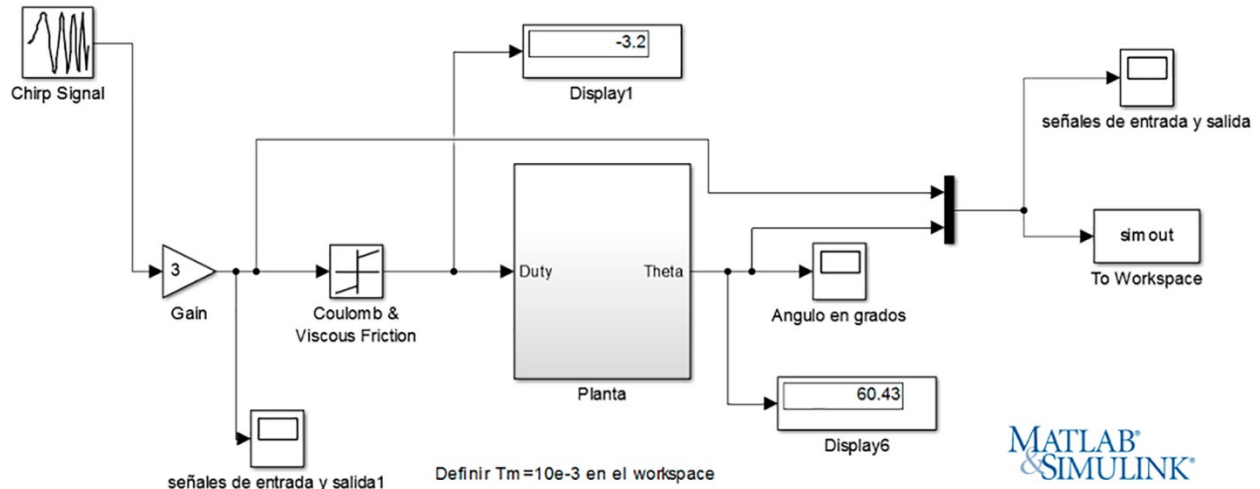


Fig 2. Bloques de Simulink Matlab para obtención de modelo del dispositivo robótico. Fuente: Autores del proyecto.

La figura 3, muestra el contenido de la planta.

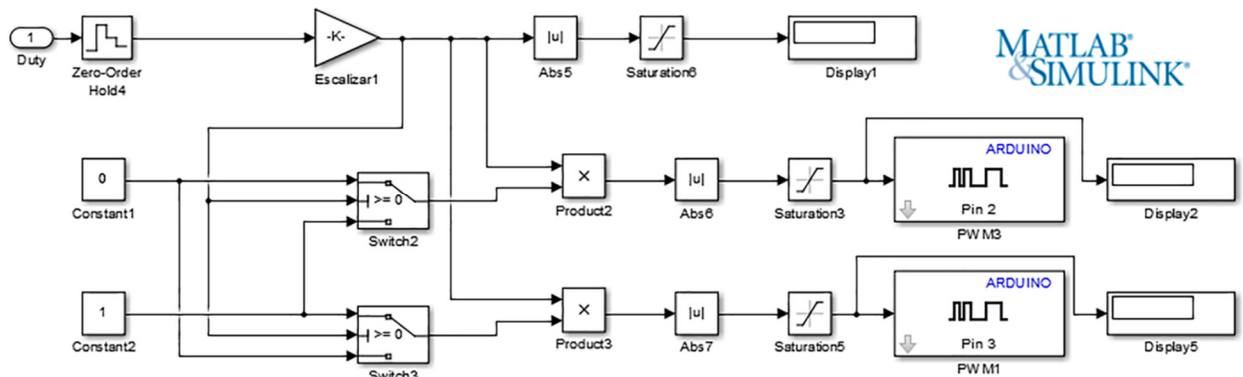


Fig 3. Bloques de Simulink Matlab de la planta. Fuente: Autores del proyecto.

En este caso se tiene una única señal de entrada la cual se transforma en señales de pulso para dos motores que giran en dirección contraria, con el objetivo de mejorar la velocidad de giro de la plataforma robótica. La señal de control debe vencer la zona muerta (Coulomb) de los motores la cual se logra en un voltaje de 2V. La señal de entrada corresponde a una onda senoidal la cual varía su frecuencia (Chirp, Swept-frequency cosine, barrido de frecuencia del coseno). La frecuencia inicial es de 0.5 Hz y la frecuencia final es de 3 Hz, ese barrido de frecuencia permite una lectura en el rango de operación del compás magnético sin que ocurra el cambio en la posición norte de 0° a 360°.

B. Función de transferencia del modelo del dispositivo.

Con el uso de la herramienta IDENT de Matlab, se identifica una función de lazo transferencia del sistema. La función de transferencia, obtenida de manera experimental y que modela el sistema, sirve como base para generar un panorama de cómo será el comportamiento de la señal del control usada en el ROV como señala Delgado Ramírez Guillermo, y otros [6].

C. Implementación de control de giro.

El control ejecutado sobre el dispositivo robótico se realizó a partir de los bloques de Simulink Matlab como se muestra en la figura 4, la función de lazo cerrado actualiza la diferencia entre el valor de referencia y la salida obtenida, permitiendo al sistema corregir la posición debido a la acción del

controlador. El control debe tener un sobrepico menor al 20% con un tiempo de establecimiento menor a 2 segundos.

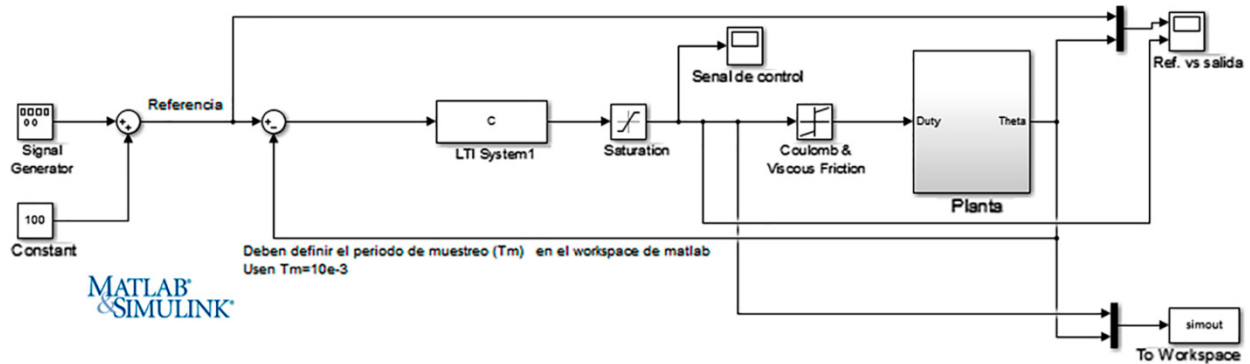


Fig 4. Bloques de Simulink para implementación de control del dispositivo. Fuente: Autores del proyecto.

El control empleado es un (PID, control Proporcional Integral Derivativo). Es un mecanismo de control ajustado a constantes, su valor proporcional determina la diferencia entre del error actual y la referencia para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero. La constante integral genera una corrección en la acumulación de error en estado estacionario provocado por el modo proporcional, y la constante derivativa produce una corrección de la pendiente del error como indica Lei Qiao y otros [7].

III. RESULTADOS

La figura 5, muestra la señal de onda senoidal con frecuencia variable usada para la identificación del sistema.

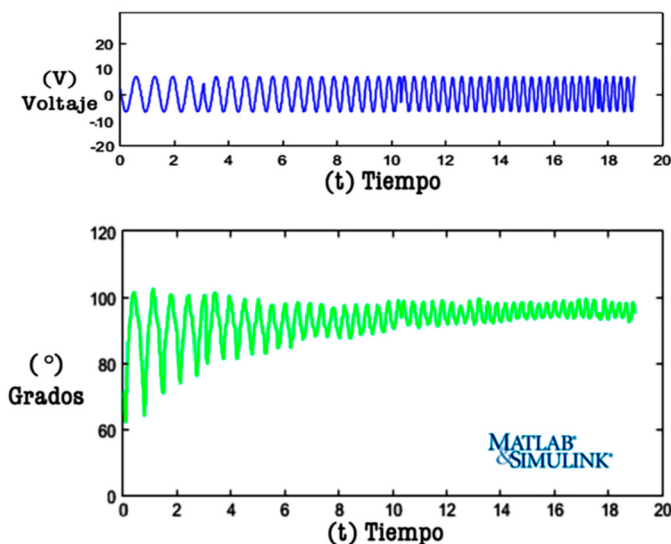


Fig 5. Gráfica de respuesta a señal para identificación del sistema real del dispositivo ROV. Fuente: Autores del proyecto.

La onda Chirp tiene una amplitud de +- 9V, el cual representa el uso energético en los motores de giro del ROV, la posición angular disminuye la amplitud leída por la IMU al haber una variación de frecuencia entre 0.5 a 3 Hz.

A. Función de transferencia del modelo.

El sistema emplea tres polos y un cero. La ecuación 2 es la función encontrada la cual posee un FIT dado por Matlab de 83 %. El modelo del sistema es inestable al escalón sin algoritmo de control.

$$G(s) = \frac{-6862.7 * (s + 0.239)}{(s + 21.933) * (s + 0.04268) * (s + 0.01207)} \quad (2)$$

B. Control del dispositivo.

Con la función de transferencia del dispositivo robótico del sistema se diseña el control del ángulo, para lo cual se usa la función RLTOOL (Root Locus Design), se obtienen las siguientes constantes de control:

$$\begin{aligned} K_i &= -0.000327 \\ K_p &= -0.0193 \\ K_d &= -0.174 \\ T_f &= 8.52 \end{aligned}$$

O la función de control C dada en la ecuación 3.

$$C(s) = \frac{-0.039682 * (s + 0.04267) * (s + 0.02266)}{s * (s + 0.1174)} \quad (3)$$

La Figura 6 muestra la respuesta a un escalón de la función de control.

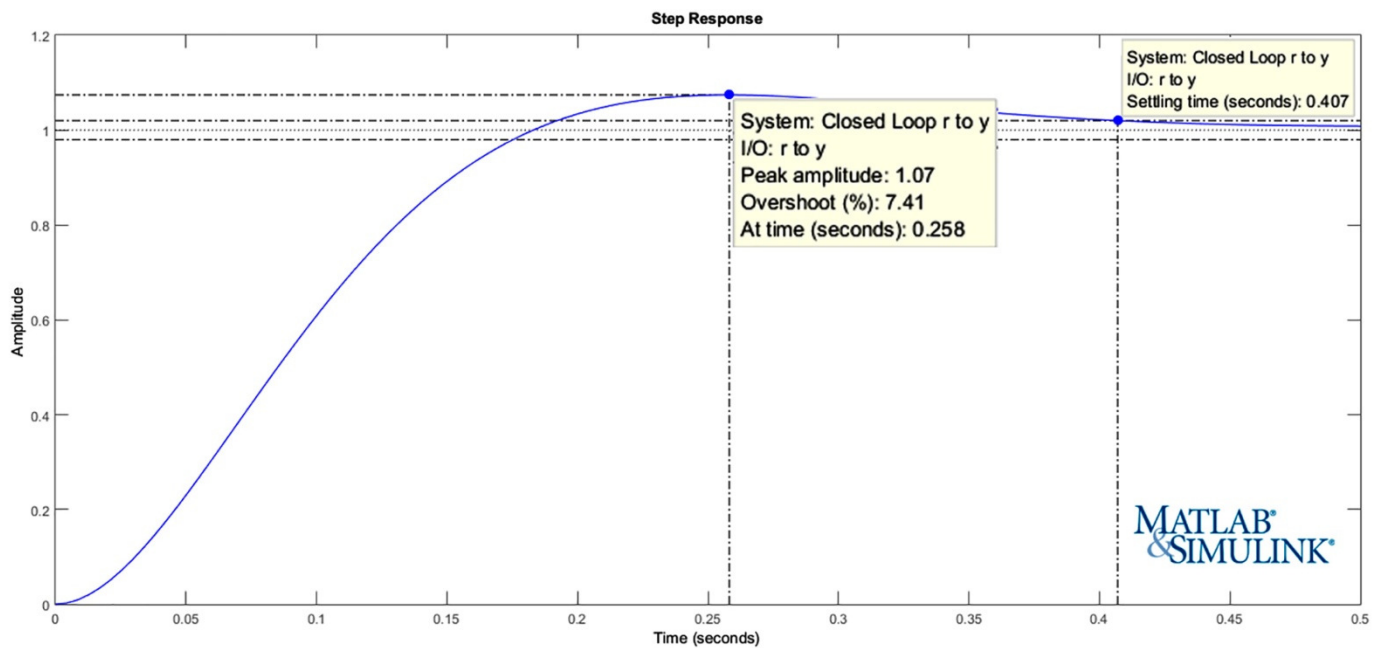


Fig 6. Respuesta de función de control. Fuente: Autores del proyecto.

La respuesta al escalón del sistema simulado con control, muestra que es menor a 0.5 segundos en el tiempo de establecimiento con un sobrepico menor al 10 %.

C. Respuesta de control del dispositivo tipo ROV.

La figura 7 muestra una gráfica de respuesta del ROV con el algoritmo de control implementado.

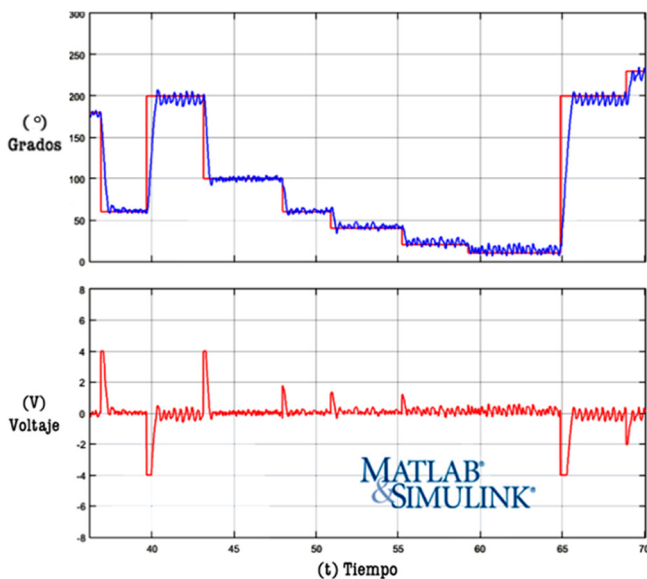


Fig 7. Respuesta real de control de giro en Matlab. Fuente: Autores del proyecto.

El control del dispositivo robótico responde al control de giro con pequeñas oscilaciones alrededor de 100 grados aproximadamente, la oscilación es mayor al aumentar su variación sobre esta posición. Se debe a que el modelo del

sistema real deseado fue identificado sobre esta posición de giro. La señal de control fue restringida a un valor máximo de ± 4 voltios, puesto que hay un bloque de Simulink que adiciona ± 2 voltios a esa señal de control debido a la fricción de inercia que debe ser vencida en ese valor de voltaje. La respuesta del control es de 1 segundo aproximadamente sobre el valor de referencia dado.

IV. CONCLUSIONES

El control del dispositivo robótico según el punto cardinal norte (0°) es correcto entre 20° y 250° , con poca presencia de oscilaciones en 100° aproximadamente. El cambio de 360° a 0° puede ocurrir errores de control que deben ser corregidas en próximas etapas de desarrollo del dispositivo.

La Función de transferencia real del dispositivo robótico contiene fuerzas que dentro de una identificación teórica pueden no considerarse, por lo cual esta identificación es acertada en el rango de utilización del vehículo ROV.

El control de profundidad para posteriores trabajos puede realizarse con un sensor de presión resistente al medio y el conocimiento de las fuerzas que provoca cada variación de voltaje sobre los actuadores para sumergir el ROV.

REFERENCIAS

- [1]. Delgado Ramírez Guillermo, y otros. Modelado y Control de un Propulsor para Robot Submarino Teleoperado (ROV). 8° Congreso Nacional de

- Mecatrónica Noviembre 26 y 27, 2009. Veracruz, Veracruz. pág 38.
- [2]. I. Thor and Fossen , “Guidance and control of ocean vehicles”, 1994, pp. 1 - 40.
- [3]. Oscar F. Avilés y otros. Identificación de Parámetros de Sistemas Dinámicos. Revista de Ciencia e Ingeniería Neogranadina. No 12. Julio de 2002. pp. 41 - 52. Disponible: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101204>
- [4]. Bravo-Montenegro, y otros. Señales De Prueba Utilizadas En Identificación De Sistemas Dinámicos. Revista Colombiana de Física, Vol. 43, No. 3 de 2011. Disponible: <http://revcolfis.org/ojs/index.php/rcf/article/viewArticle/430330>
- [5]. Dr. Pedro Arafet Padilla, y otros. Métodos de Identificación dinámica. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oriente. Junio 2008
- [6]. Delgado Ramírez Guillermo, y otros. Modelado y Control de un Propulsor para Robot Submarino Teleoperado (ROV). 8° Congreso Nacional de Mecatrónica, noviembre 26 y 27, 2009. Veracruz, Veracruz. pág 40.
- [7]. Lei Qiao y otros. Robust adaptive PID control for positioning of remotely operated vehicle working in close proximity of an underwater structure. Control Conference (CCC), 2016 35th Chinese. 27 -29 de Julio de 2016.