

# DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DIDÁCTICA PARA EL CONTROL DE SISTEMAS MECÁNICOS SUBACTUADOS

***Rafael Gustavo Alfaro Pérez***

Instituto Tecnológico de Matamoros: ITM  
*ragualpe@gmail.com*

***Horacio Orozco Mendoza***

Instituto Tecnológico de Celaya: ITC  
*horacio.orozco@itcelaya.edu.mx*

***Karla Anhel Camarillo Gómez***

Instituto Tecnológico de Celaya: ITC  
*karla.camarillo@itcelaya.edu.mx*

***Jorge Alejandro Gallegos de la Cruz***

Instituto Tecnológico de Matamoros: ITM  
*jorgallegos74@gmail.com*

## **Resumen**

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de una plataforma didáctica que pueda ser usada para implementar diferentes técnicas de control de sistemas mecánicos subactuados. Dicha plataforma mediante cambios rápidos en su montaje, se intercambian las configuraciones del sistema subactuado Pendubot al Péndulo de Furuta. Para el uso de alguna técnica de control del sistema se utiliza LabVIEW® y MyRIO®.

**Palabra(s) Clave(s):** Labview, MyRIO, Pendubot, Péndulo de Furuta.

## **Abstract**

*The aim of this work is the development of an educational platform that can be used to implement different control techniques of underactuated mechanical*

*systems. This platform by rapid changes in its assembly configurations, the Pendubot underactuated system is changed to Furuta Pendulum. To use a particular control technique to control the system, LabVIEW® and MyRIO® are used.*

**Keywords:** Furuta Pendulum, Labview, MyRIO, Pendubot.

## 1. Introducción

La dinámica característica de un mecanismo se puede traducir en movimientos independientes y sincronizados de cada uno de sus elementos. En mecánica, a estos movimientos se les conoce como grados de libertad. Por tanto, debido al número de grados de libertad y de actuadores que poseen, los mecanismos se pueden clasificar en dos tipos: sistemas mecánicos completamente actuados y sistemas mecánicos subactuados. Los primeros poseen igual número de actuadores que de grados de libertad; mientras que los segundos poseen menor número de actuadores que de grados de libertad [1].

Ejemplos de sistemas subactuados son: robots bípedos, vehículos submarinos, misiles, satélites, cohetes espaciales entre otros. Los más populares son del tipo pendular, tales como: el péndulo invertido simple, el acrobot, el pendubot, el péndulo de furuta por mencionar algunos [2]. Esta plataforma didáctica se desarrolla con la finalidad de implementar infraestructura experimental para estudiar técnicas de control en el Instituto Tecnológico de Matamoros. En este trabajo sólo se consideran los sistemas subactuados Pendubot y Péndulo de Furuta.

Se tiene en cuenta para qué y para quién es el desarrollo de la plataforma; es decir, se determina el objetivo didáctico de la ayuda y el tipo de usuario con el que se desea trabajar: desarrollar una plataforma didáctica que pueda ser usada para implementar diferentes técnicas de control de sistemas mecánicos subactuados tanto por estudiantes, docentes e investigadores del Instituto Tecnológico de Matamoros.

Para el desarrollo de la plataforma se utilizaron componentes de fácil adquisición. Se definieron las características técnicas que debía tener la plataforma: compacta, de bajo costo y fácil de operar. El desarrollo de la plataforma se realizó en dos

etapas: En la primera, se obtuvo el sistema mecánico. En la segunda, el sistema electrónico (circuito de control).

En la literatura relacionada, podemos encontrar que en [3], la autora realizó la implementación de un Módulo de Entrenamiento para Control de Lazos Abiertos y Cerrados utilizando LabVIEW, con la finalidad de que los estudiantes puedan realizar prácticas y acrecentar su aprendizaje, incrementar la productividad y desarrollar su creatividad. En [4], el autor diseñó y construyó un sistema de entrenamiento de electrónica de potencia bajo plataforma LabVIEW, cuyo objetivo es permitir a los estudiantes de ingeniería electrónica la comprensión de la teoría a través de la práctica. Por otro lado, en [5], el autor diseñó e implementó una plataforma pedagógica para el desarrollo de estrategias de control en el péndulo de Furuta. La finalidad de este trabajo es presentar un modelo matemático lineal en torno del punto de equilibrio inestable, así como su control en dicho punto. Podemos ver que en [6], los autores describen el Pendubot como un dispositivo mecatrónico que puede ser usado en la educación de la ingeniería de control y para la investigación del control no lineal y la robótica.

## **2. Implementación de la plataforma**

Para la construcción de la base de la plataforma se utilizaron los siguientes materiales: 2 tapas de lexan con dimensiones de 254 mm de largo, 134 mm de ancho y 5 mm de espesor; 2 tapas de lexan con dimensiones de 254 mm de largo, 80 mm de ancho y 5 mm de espesor; 2 tapas de lexan con dimensiones de 124 mm de largo, 80 mm de ancho y 5 mm de espesor. Para el brazo y el péndulo se utilizó aluminio 6061 T6 cuyas dimensiones son: 203 mm de largo, 47 mm de ancho y 6 mm de espesor para el brazo; 228 mm de largo, 47 mm de ancho y 6 mm de espesor para el péndulo. Además de los elementos mencionados, también se construyeron otros accesorios utilizados en la construcción de la plataforma. En las figuras 1 y 2 se pueden apreciar cada uno de los elementos usados.

En el desarrollo de la plataforma también se utilizaron los siguientes componentes para la operación y control de la misma: un Motor Reductor con encoder Faulhaber 2342L012CR, un encoder OMRON tipo E6B2-CWZ6C, el driver (puente H) L298N,

el programa LabVIEW 2015 versión estudiante, el dispositivo de adquisición de datos MyRIO, un regulador de voltaje de 12 volts de corriente directa, un protoboard, cables y terminales. En las figuras 3 y 4 se pueden apreciar dichos componentes.



Figura 1 Tapas y accesorios de sujeción.

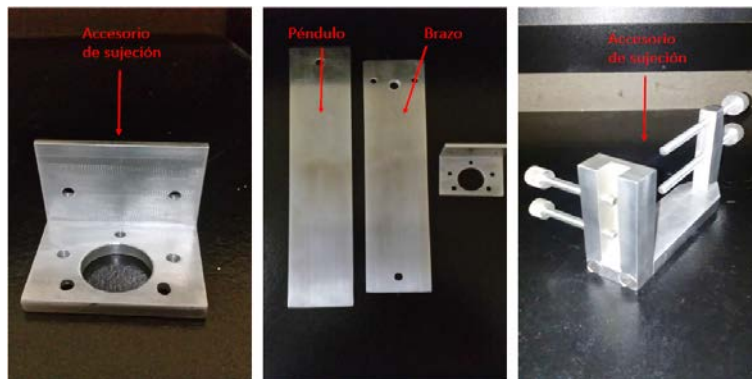


Figura 2 Brazo, péndulo y accesorios de sujeción.

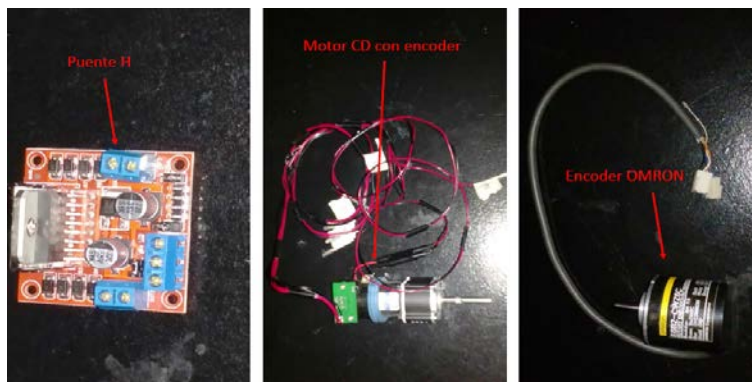


Figura 3 Puente H, Motor con encoder y Encoder.

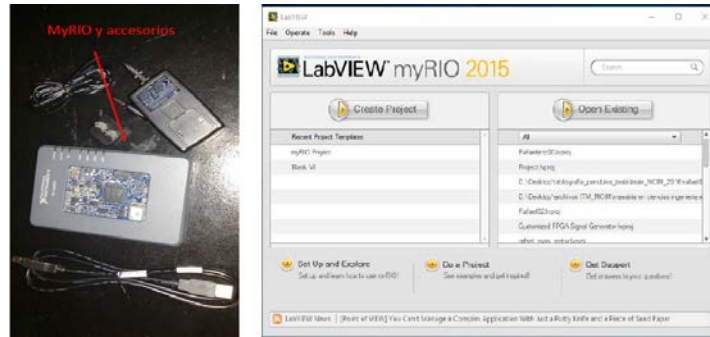


Figura 2.4 MyRIO y Programa LabVIEW.

La primera etapa en el desarrollo de la plataforma consistió de la parte mecánica. En la figura 5 se muestra la plataforma didáctica desarrollada en sus dos configuraciones de trabajo: Pendubot y Péndulo de Furuta.



a) Pendubot. b) Furuta

Figura 5 Plataforma en sus configuraciones.

La segunda etapa que consistió en el desarrollo de la parte electrónica y de control se muestra en la figura 6.

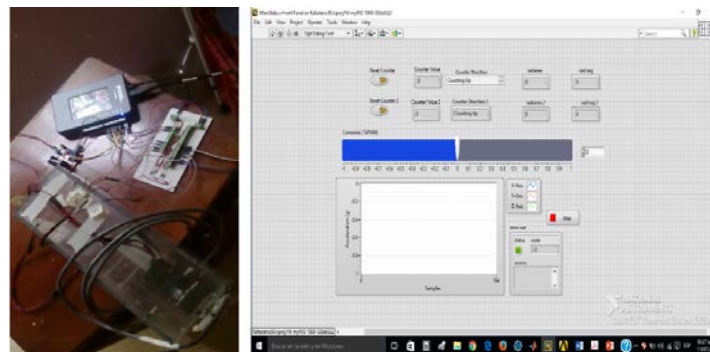


Figura 6 Componentes electrónicos y de control.

Los instrumentos virtuales de LabVIEW (VI por sus siglas en inglés) de manipulación y monitoreo se muestran en la figura 7.

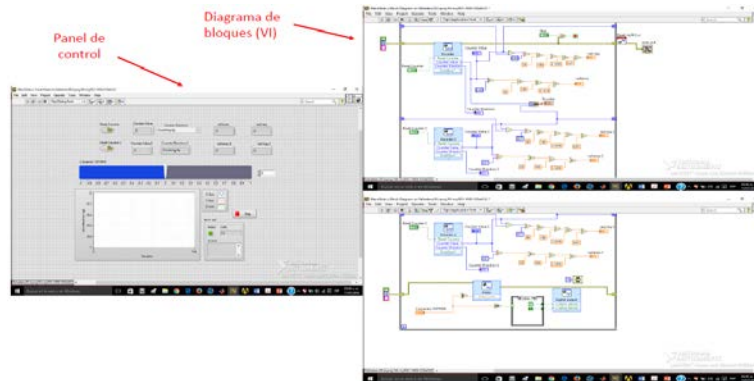


Figura 7 Panel de control y diagrama de bloques.

### 3. Resultados

Una técnica de control implementada en la operación de la plataforma, para el control de la velocidad y de la posición del motor usado, fue PWM o modulación por ancho de pulso. El sistema de control quedó integrado por los siguientes componentes: una PC con el programa LabVIEW, el dispositivo de adquisición de datos MyRIO, el driver (puente H) para el motor L298N y un motor DC con encoder 2342L012CR.

A continuación, se expone cuál fue el procedimiento utilizado para poder controlar cada una de las variables de nuestro sistema:

- A. Velocidad: Para el control de la velocidad se tomó la señal (tren de pulsos) enviada por el encoder del motor y se procesó con el objetivo de convertirla en radianes por segundo, esto se hizo en el MyRIO. Si el valor actual de la velocidad del motor era menor que el de la consigna, el PWM debía aumentar, en caso contrario disminuía. La señal de PWM emitida por el MyRIO llegaba al driver del motor ya que a través de éste es que finalmente se variaba la velocidad.
- B. Posición: Para el control de la posición se tomó la señal (tren de pulsos) enviada por el encoder del motor y se procesó con el objetivo de convertirla en radianes, esto se hizo en el MyRIO. Una vez convertida esa señal se

comparaba con la señal de consigna para determinar si el sistema estaba o no en la posición deseada, si estaba, la acción de control era cero, si no, esta diferencia pasaba al controlador el cual determinaba cuánto había de seguir moviéndose el motor para alcanzar la posición deseada, manteniendo activo o no el PWM. En este caso la velocidad del motor se mantenía constante.

Al estar en operación el sistema se escuchaba un zumbido en el driver. Se revisó la configuración del PWM y se cambió la frecuencia de 1000 a 20000 Hertz, con lo cual el ruido se eliminó. Al monitorear y manipular el programa de LabVIEW, se pudo observar que, según los ajustes del control, el motor funcionaba de forma adecuada, sin calentarse el driver y sin temblar la plataforma debido a vibraciones. En las figuras 8, 9 y 10 se muestran algunas lecturas de la velocidad y posición del motor dado en radianes por segundo y en radianes, respectivamente. En la figura 11 se muestra el circuito de control usado.

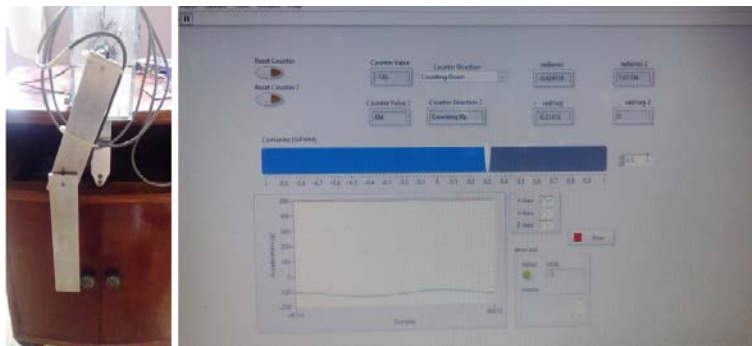


Figura 8 Primera lectura de velocidad y posición.



Figura 9 Segunda lectura de velocidad y posición



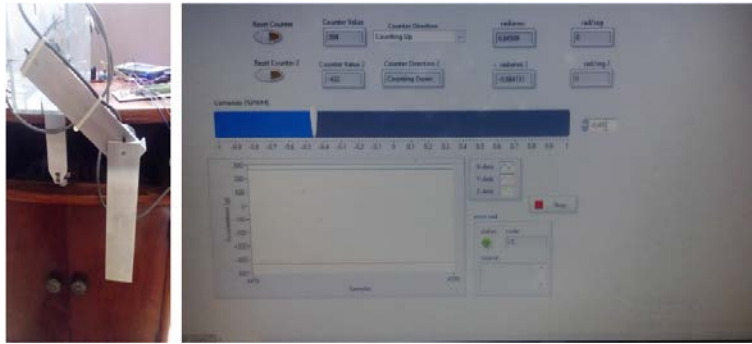


Figura 10 Tercera lectura de velocidad y posición.

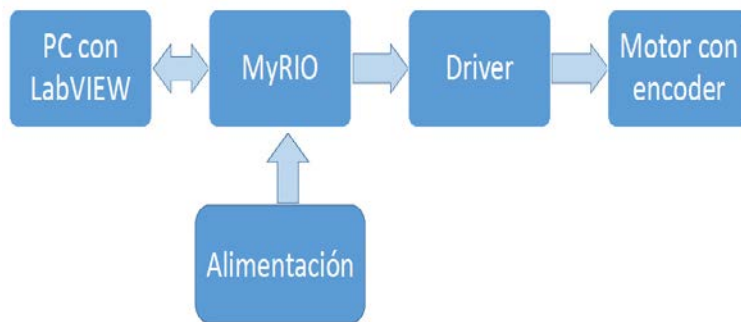


Figura 11 Diagrama de control.

#### 4. Conclusiones

Como resultado del trabajo desarrollado, se obtuvo una plataforma de bajo costo, compacta y fácil de operar. La forma de la estructura proporciona seguridad para realizar prácticas de control sobre el sistema ya que no genera vibraciones e inestabilidad física, y da libertad de cambiar los eslabones con facilidad garantizando diferentes configuraciones (pendubot y péndulo de furuta) y parámetros.

La plataforma que se desarrolló está compuesta por materiales que son fáciles de adquirir. El trabajo presentado proporciona resultados satisfactorios en cuanto a lo esperado en la implementación propia de la misma. Considero que la construcción de la plataforma podría ser más detallada para que quede en mejores condiciones posibles con respecto a los acabados y presentación de la misma, ya que como se logra apreciar, con mayores recursos se puede mejorar lo realizado hasta el momento. Lo anterior en base a que en los prototipos desarrollados y revisados en



el estado de arte, los acabados de las estructuras son más estéticos y las bases más robustas.

Finalmente, de manera general se pueden realizar otros trabajos adicionales a éste, esto es solo un ejemplo. La ventaja de la plataforma didáctica es que se puede fácilmente construir y acondicionar, sus partes son muy comerciales que se encuentran disponibles en el mercado. El sistema construido cumplió satisfactoriamente el objetivo para el cual fue desarrollado. Lo anterior debido a que se diseñaron dispositivos de sujeción (ver figura 1 y lado izquierdo de la figura 2), los cuales permiten cambiar de manera sencilla y rápida de la configuración Pendubot a la del Péndulo de Furuta. Estos cambios se pueden apreciar en la figura 5, donde se observa que la base de la plataforma en configuración Pendubot, está colocada de forma horizontal y con los dos eslabones (brazo y péndulo) hacia abajo. En la configuración Péndulo de Furuta, se observa que la base de la plataforma está colocada en posición vertical y con el brazo en forma horizontal y el péndulo hacia abajo. Esta sería mi principal aportación en este trabajo ya que los prototipos desarrollados y revisados en el estado del arte, sólo se construyeron las estructuras para la configuración del sistema estudiado; es decir, ya sea configuración Pendubot o Péndulo de Furuta.

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] Antonio, M., Márquez, C., Silva, R. & Merlo, C. (2014). Sistemas Mecánicos Subactuados: Péndulos Invertidos. *Boletín No, 41(1o)*.
- [2] Merlo, C., Antonio, M., Silva, R., Sosa, C. & Marciano, M. (2014). Sistemas Mecánicos Subactuados Pendulares. *Boletín No, 42(1o)*.
- [3] Pineda, K. (2014). Implementación de un Módulo de Entrenamiento para Control de Lazos Abiertos y Cerrados Utilizando Labview para el Laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3063> (Tesis Ingeniero de Mantenimiento). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

- [4] Restrepo, P. & Anibal, J. (2011, October). Sistema de Entrenamiento de Electrónica de Potencia bajo Plataforma LabVIEW. In *Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica-UNAB* (Vol. 2, No.1).
- [5] Caipa, J. (2010). Diseño e implementación de una plataforma pedagógica para el desarrollo de estrategias de control: el Péndulo de Furuta. En *Segundo Congreso Virtual, Microcontroladores y sus Aplicaciones*, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá, Colombia.
- [6] Spong, M. & Block, D. (1995, December). The Pendubot: A mechatronic system for control research and education. In *Decision and Control, 1995, Proceedings of the 34<sup>th</sup> IEEE Conference on* (Vol. 1, pp. 555-556). IEEE.