

# Desarrollo de Herramientas IoT para la Enseñanza de Sistemas de Control

Marco Miretti<sup>†</sup>, Joaquín Bicego<sup>\*</sup>, Paula B. Olmedo<sup>‡</sup>, Emanuel Bernardi<sup>#</sup>  
*Applied Control & Embedded System - Research Group (AC&ES-RG)*

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional San Francisco (UTN-FRSFCO)

San Francisco, Córdoba, Argentina

<sup>†</sup>marco.miretti@gmail.com, <sup>\*</sup>joaquinbic@gmail.com,

<sup>‡</sup>paulabeatrizolmedo@gmail.com, <sup>#</sup>ebernardi@sanfrancisco.utn.edu.ar

## RESUMEN

La línea de investigación formulada en este proyecto está orientada a la enseñanza de Sistemas de Control en ámbitos académicos. El mismo expone un conjunto de herramientas del internet de las cosas (IoT), donde sus dispositivos de hardware constituyen sistemas dinámicos, típicos del área, que posibilitan el diseño de controladores y su posterior validación. En tanto el paquete de software involucrado, diseñado en *Python*, se compone de una interfaz intuitiva y amigable que facilita la interacción con el hardware, permitiendo su utilización por parte de usuarios ajenos al ámbito de los sistemas embebidos.

**Palabras clave:** Innovación Educativa, Sistemas de Control, Internet de las Cosas, Python.

## CONTEXTO

Esta línea de investigación se enmarca en el área de Control Automático de Sistemas, del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (UTN-FRSFCO). En tanto, las actividades involucradas se llevarán a cabo por los integrantes del grupo de investigación sobre control aplicado y sistemas embebidos *Applied Control & Embedded Systems - Research Group (AC&ES-RG)*, integrado por becarios alumnos, docentes investigadores y becarios doctorales. Además, es importante destacar que parte de este trabajo se

constituirá como proyecto final de carrera de dos estudiantes, ambos participantes del mencionado grupo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La experimentación como herramienta de aprendizaje, es en sí un método sumamente enriquecedor, que al ser complementada con conceptos teóricos posibilita la generación de resultados sobresalientes. Esto es particularmente relevante en áreas de formación ingenieril, donde realizar ensayos prácticos constituye una parte íntegra del estudio [1]. Entonces, a la hora de percibir un fenómeno, u observar el comportamiento de un sistema, la práctica resulta mandatoria.

En numerosas oportunidades, investigadores de distintos centros han desarrollado herramientas para complementar la enseñanza en un área particular [2, 3], con excelentes resultados. Por otro lado, se observa una creciente incorporación de sistemas IoT aplicados a la educación, por ejemplo herramientas de pruebas remotas [4, 5, 6] cuyas bondades son altamente ventajosas en el contexto de nuestra región, por tratarse de una institución a la que concurren alumnos de múltiples municipios circundantes.

### 1-A. Propuesta

En base a los fundamentos mencionados, a través de este proyecto se plantea el desarrollo de un conjunto de herramientas de acceso remoto para la experimentación en sistemas de control. Específicamente, se busca construir una

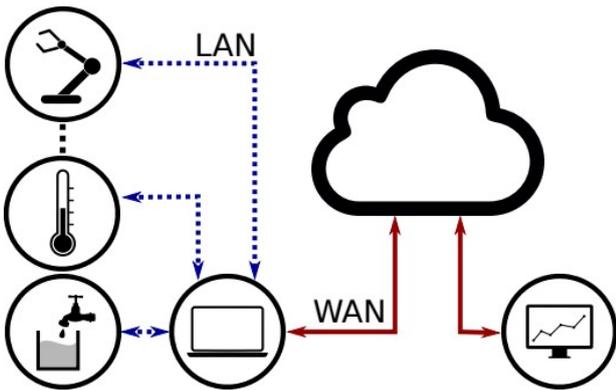


Figura 1: Mapa del sistema completo.

serie de sistemas dinámicos que permitan a los estudiantes el ensayo y validación de las técnicas de control instruidas.

Así, el objetivo de estas herramientas es centrar el aprendizaje en las múltiples técnicas de control disponibles actualmente [7, 8, 9], y no en las tediosas tareas involucradas en la programación de bajo nivel, i.e. programación de sistemas embebidos, configuración de las comunicaciones, etc. Es por ello, que se diseñará una librería intuitiva y simple de utilizar, implementada en lenguaje *Python*, de modo que para su utilización se necesiten conocimientos mínimos de programación.

Por otro lado, está planteada la necesidad de compatibilizar la librería desarrolla con el software *GNU Octave*, debido a que este posee un extenso paquete dedicado al control de procesos y resulta ampliamente popular entre los estudiantes e investigadores de estas áreas. Además, en la actualidad existen proyectos para llevar la accesibilidad de Octave un paso adelante, como por ejemplo con el desarrollo de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)<sup>1</sup> para la enseñanza de control de procesos con *GNU Octave* [10].

Como consecuencia, se considera una característica fundamental el acceso continuo a estas herramientas. Por lo que, se prevé la configuración de un servidor encargado de gestionar el conjunto de sistemas dinámicos, posibilitando así, la disponibilidad remota de las herramientas. El diagrama del sistema propuesto, se muestra en la Fig. 1.

1 del inglés, *Graphical User Interface*.

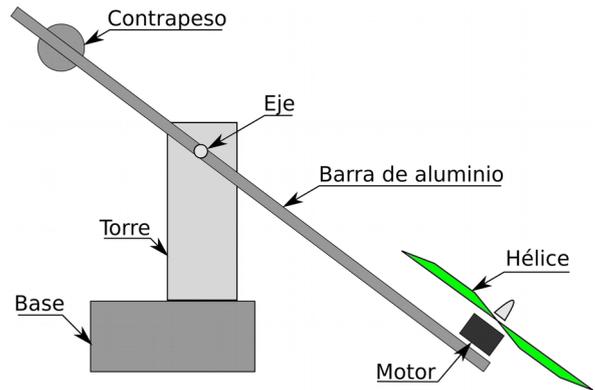


Figura 2: Partes del péndulo autopropulsado.

### 1-B. Sistemas dinámicos

En una primera etapa se proponen tres sistemas dinámicos a controlar, sin embargo el proyecto está pensado para que sea escalable, de modo que puedan añadirse cuantos sistemas sean requeridos según el ámbito y nivel académico.

La red de interconexión de los sistemas para la experimentación remota, está dividida en una sub-red de área amplia (WAN)<sup>2</sup> y otra de área local (LAN)<sup>3</sup>. Por lo tanto, los estudiantes se conectarán de forma remota a un servidor contenido en la red WAN, que a su vez está conectado a la red LAN. De este modo, dicho servidor accionará los actuadores y accederá a las mediciones de los sensores a través de peticiones *HTTP*. Es importante remarcar que la conexión de área local es una red inalámbrica (WLAN)<sup>4</sup> implementada en el módulo ESP8266, programado en lenguaje *C*.

**I-B1. Péndulo Aeropropulsado:** Uno de los sistemas a controlar, es el péndulo aeropropulsado. Un bosquejo de sus componentes se presenta en la Fig. 2.

Su principio de operación se basa en establecer un *set-point* (ángulo respecto al vector de gravedad), para que en base a la manipulación de la fuerza de propulsión de la hélice, se compense la desviación entre el ángulo actual y el de *set-point*. Es de destacar, que este es un sistema no lineal SISO<sup>5</sup>.

Entre sus posibilidades, este sistema permite realizar pruebas con filtros de Kalman aplicando

2 del inglés, *Wide Area Network*.

3 del inglés, *Local Area Network*.

4 del inglés, *Wireless Local Area Network*.

5 del inglés, *Simple Input Simple Output*.

fusión de sensores, ya que posee un acelerómetro/giróscopo, junto a un *encoder* incremental, acoplados en su eje de rotación. Esto, se ha realizado previamente en otro trabajo [11] y su aplicación en este contexto resulta relevante.

**I-B2. Sistema de Cuatro Tanques:** Este dispositivo se compone de cuatro tanques interconectados, donde a través de la manipulación del caudal de entrada a los mismos es posible realizar el control de nivel sobre los tanques. Las interacciones entre los depósitos, junto a las no linealidades inherentes (hidráulicas, electromecánicas, etc) transforman a este sistema en un desafío complejo.

En consecuencia, este sistema es ampliamente utilizado en laboratorios de sistemas de control, ya que el mismo además es MIMO<sup>6</sup>, haciéndolo propicio para el diseño y análisis de las más variadas técnicas de control en tiempo real [12].

**I-B2. Intercambiador de calor:** Los intercambiadores de calor constituyen un equipamiento indispensable en la industria de procesos. Por lo que, a través del dispositivo propuesto se pretende dominar los fenómenos físicos involucrados en el funcionamiento de los mismos. En particular la inclusión de tiempos de retardo, las no linealidades y el ingreso de perturbaciones convierten a este sistema MIMO en un adecuado desafío para la enseñanza de sistemas de control [13].

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El presente proyecto consta de los siguientes ejes de investigación y desarrollo:

- Estudio de las técnicas de control de interés en la enseñanza de grado y postgrado.
- Análisis de las necesidades de hardware y software requeridas para construir el sistema.
- Desarrollo del firmware necesario para el control de los sistemas dinámicos.
- Diseño e implementación del software

educativo para el acceso remoto a los sistemas.

- Generación de documentación adecuada para su correcta utilización.
- Divulgación de los resultados parciales y finales de la investigación.

## 3. OBJETIVOS

*Objetivo General:*

Desarrollar un conjunto de sistemas dinámicos con interfaces de usuario remotas, que permitan a los estudiantes implementar controladores de forma práctica, obteniendo resultados tangibles.

*Objetivos específicos:*

- Analizar las necesidades del alumnado y las herramientas de programación requeridas para la utilización de la librería a desarrollar.
- Definir las funciones necesarias para que un estudiante logre controlar cada uno de los sistemas propuestos, mediante múltiples técnicas de control.
- Construir los sistemas dinámicos a ser controlados.
- Considerar los aspectos a tener en cuenta para el uso del sistema en cursos de sistemas de control.
- Divulgar el proyecto y sus capacidades, particularmente en docentes del área de control.
- Organizar clases y trabajos prácticos que involucren estos sistemas, para ser utilizados en ámbitos académicos.
- Recopilar resultados y cuantificar el impacto de estas herramientas en las cátedras.

## 4. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que la aplicación de esta herramienta tenga un impacto positivo en las cátedras relacionadas a los Sistemas de Control. En tanto, debido a que el proyecto se encuentra en una fase intermedia de desarrollo, se buscan los siguientes resultados:

- Crear sistemas dinámicos que permitan

<sup>6</sup> del inglés, Multiple Input Multiple Output.

visualizar de forma intuitiva y directa las técnicas de control.

- Desarrollar una librería sencilla de utilizar, pero a la vez versátil.
- Desplegar una plataforma para el uso remoto de dichos dispositivos.
- Planificar su utilización en las cátedras.

## 5. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El grupo de investigación en Control Aplicado y Sistemas Embebidos (AC&ES-RG) de la UTN Facultad Regional San Francisco está conformado por dos becarios doctorales, tres ingenieros electrónicos y cinco estudiantes de las carreras ingeniería electrónica, industrial y en sistemas de información. Además, el presente proyecto forma parte de la tesina de grado de dos estudiantes del grupo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Phillip C Wankat y Frank S Oreovicz. «Teaching engineering». Purdue University Press, 2015.
- [2] Walid Balid, Mahmoud Abdulwahed e Imad Alrouh. «Development of an educationally oriented open-source embedded systems laboratory kit: a hybrid hands-on and virtual experimentation approach». En: *International Journal of Electrical Engineering Education* 51.4 (2014), págs. 340-353.
- [3] Ricardo J Costa, Paulo Portela y Gustavo R Alves. «An educational kit to teach and learn Operational Amplifiers». En: *2017 4th Experiment@ International Conference (exp. at'17)*. IEEE. 2017, págs. 137-138.
- [4] Luis Gomes y col. «Remote experimentation for introductory digital logic course». En: *2009 3rd IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE)*. IEEE. 2009, págs. 98-103.
- [5] Mohamed Shaheen, Kenneth A Loparo y Marcus Rbuchner. «Remote laboratory experimentation». En: *Proceedings of the 1998 American Control Conference*. ACC Vol. 2. IEEE. 1998, págs. 1326-1329.
- [6] SH Chen y col. «Development of remote laboratory experimentation through Internet». En: *Proceedings of the 1999 IEEE Hong Kong symposium on robotics and control*. Vol. 2. Hong Kong. 1999, págs. 756-760.
- [7] Katsuhiko Ogata. «Modern Control Engineering». 5<sup>a</sup> ed. Pearson Education, 2010. ISBN: 978-013-615-673-4.
- [8] Farid Golnaraghi y Benjamin C. Kuo. «Automatic Control Systems». 9<sup>a</sup> ed. Wiley, 2009, pág. 944. ISBN: 978-047-004-896-2.
- [9] Eduardo J. Adam. «Instrumentación y Control de Procesos. Notas de Clase». 3<sup>a</sup> ed. Santa Fe: Ediciones UNL, 2018. ISBN: 978-987-749-122-7.
- [10] E Sergio Burgo y Eduardo J Adam. «Desarrollo de Interfaces Gráficas para Enseñanza de Control de Procesos».
- [11] Marco Miretti y col. «Estimación híbrida de posición angular en dispositivos de captura de imágenes aéreas». En: VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología para Alumnos (CyTAL) (ago. De 2018).
- [12] Wael A Altabay. «Model optimal control of the four tank system». En: *International Journal of Systems Science and Applied Mathematics* 1.4 (2016), págs. 30-41.
- [13] Choon Khon Ng y Mohd Fauzi Zamil. «Development of IoT based Heat Exchanger Control Trainer for Undergraduate Process Control Programme». En: *Research Communication in Engineering Science & Technology* 2 (2019), págs. 6-16.