

10.30972/eitt.827244

# Integración de hardware genérico, software libre y algoritmos de control como herramientas pedagógicas

Vázquez, R. <sup>1</sup>, Spotorno, R. <sup>2</sup>, Liska, D. <sup>2</sup> y Mariguetti, J. <sup>1</sup>

## Resumen

Se describe una experiencia realizada en el área de Ingeniería Electromecánica y Química, carreras que se cursan en la FRRe-UTN. El objetivo principal es desarrollar una herramienta pedagógica que integre el uso de nuevas tecnologías con el aula virtual y conceptos de Termodinámica y de Automatización. La experiencia permite optimizar la práctica docente mediante la utilización de estrategias basadas en la indagación y experimentación. Se integra aspectos formales y teóricos relacionando fenómenos físicos observados en el mundo real. Se parte del supuesto que al sujeto de aprendizaje le resulta confuso relacionar leyes fundamentales de Termodinámica con fenómenos físicos. A fin de facilitar el aprendizaje de conceptos relacionados al calentamiento de un cuerpo y técnicas de control, se elabora un laboratorio formado por un hardware, software libre y sensor digital de temperatura. El desarrollo permite cuantificar y controlar un fenómeno físico relativamente simple mediante técnicas de control de la variable temperatura.

**Palabras claves:** Hardware genérico, aula virtual, software libre, laboratorio.

## Abstract

*An experience carried out in the area of Electromechanical and Chemical Engineering, careers that are studied at the FRRe-UTN, is described. The main objective is to develop a pedagogical tool that integrates the use of new technologies with the virtual classroom, concepts of Thermodynamics and Automation. Experience allows improving teaching practice through the use of strategies based on inquiry and experimentation.*

1. Cátedra "Control Automático de Procesos. I. Química" de la Facultad Regional Resistencia (Universidad Tecnológica Nacional). Correo electrónico: ??

2. Cátedra "Termodinámica Técnica. I. Electromecánica" de la Facultad Regional Resistencia (Universidad Tecnológica Nacional)

(\*) Cómo citar este artículo: Vázquez, R., Spotorno, R., Liska, D. y Mariguetti, J. (2023). *Integración de Hardware Genérico, Software Libre y Algoritmos de Control como Herramientas Pedagógicas*. Revista Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica: claves para el desarrollo, 8(2), 43-61. <https://doi.org/10.30972/eitt.827244>

*Formal and theoretical aspects are integrated relating physical phenomena observed in the real world. It is assumed that the learning subject finds it confusing to relate fundamental laws of thermodynamics with physical phenomena. In order to facilitate the learning of concepts related to body heating and control techniques, a laboratory consisting of hardware, free software and a digital temperature sensor is developed. The development enables the quantification and control of a relatively simple physical phenomenon through variable temperature control techniques.*

**Key-words:** *Generic hardware, virtual classroom, free software, laboratory*

## **Introducción**

Existen diferentes criterios educativos para generar materiales didácticos y herramientas de enseñanza aprendizaje para satisfacer diferentes cuestiones como la mejora de la calidad de enseñanza del profesor y facilitar el proceso de aprendizaje de los alumnos en el aula. Para un profesor que desee introducirse en esta modalidad educativa aún le quedarán muchas cuestiones relevantes que resolver (Barberá, 2004). Una de ellas es por ejemplo la manera de implementar y luego medir estrategias de enseñanzas introduciendo nuevas tecnologías. El primer aspecto que un docente debe abordar se refiere al papel educativo que deben poseer los materiales y contenidos, para ser usados adecuadamente con las herramientas tecnológicas en un contexto educativo de laboratorio real, virtual o remoto. Podemos preguntar por ejemplo: ¿cómo distinguir entre tipos de materiales y herramientas diferentes que hoy existen (tecnología, celular, páginas WEB, hardware genéricos etc.)?, ¿qué funciones educativas realizarían cada tipo de tecnologías utilizadas y sus alcances?, ¿qué variedad de formatos y soportes existen?, ¿qué decisiones docentes deben tomarse en relación al formato y soporte más adecuado en cada caso? ¿Se podrá generalizar?

## **Definición del problema**

El presente trabajo contribuye en el proceso de enseñanza aprendizaje en conceptos desarrollados en las asignaturas Termodinámica Técnica y Control Automático de Procesos, que se dictan en las carreras de Ingeniería Electromecánica e Ingeniería Química de la FRRe-UTN. Se utiliza como herramienta pedagógica un dispositivo genérico denominado ESP 32, sensor digital y relés de estados sólidos. Se busca generar recursos didácticos que permitan al docente mejorar su práctica y facilitar el aprendizaje de contenidos teóricos en la materia.

## **Metodología**

Se desarrolla un procedimiento que permite educar al alumno mediante la articulación del aula virtual y dispositivos genéricos de uso pedagógico. Para tales fines los docentes de las respectivas cátedras plantean orientaciones generales para la innovación en el proceso de enseñanza y aprendizaje. La materia requiere del alumno incorporar

conocimientos de programación orientada a la simulación utilizando programas de uso libre y código fuente abierto. Antes del año 2020 el sujeto de aprendizaje debía instalar programas en sus propios ordenadores, utilizando una versión específica proporcionada por los docentes de la cátedra, pero desafortunadamente no todas las versiones podían ejecutar en las respectivas computadoras. Dicho inconveniente se podía compensar con clases extras en el laboratorio informático de la FRRe-U.T.N. Luego del año 2020 y por razones de público conocimiento los docentes debieron indagar en las versiones libres de software más utilizados. Desde el 2020 al 2021 las cátedras mencionadas anteriormente, realizaron un relevamiento de las páginas web, donde se podría encontrar versiones gratuitas para estudiantes y a la vez que sean compatibles con la gran mayoría de los dispositivos informáticos. Los mismos fueron implementados utilizando el aula virtual como se muestra en la figura 1.



Fig. 1: Aula virtual como herramienta pedagógica

En la lista de contenidos del aula virtual, se colocó una serie de etiquetas, que facilitan información de nuevas tecnologías como se visualiza en la figura 2.

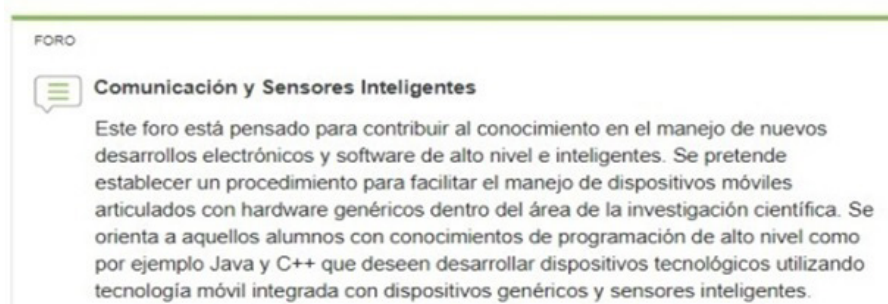


Fig. 2: Comunicaciones y sensores inteligentes en el aula virtual

El uso del aula virtual en nuevas experiencias de laboratorios e implementación de nuevos recursos pedagógicos, juega un papel imprescindible en nuestros días (Hannafin, 2000). De esta manera los alumnos tienen acceso a los trabajos prácticos e información específica de estas nuevas herramientas tecnológicas. Permite integrar en el proceso de aprendizaje de conceptos relacionados a transformaciones térmicas, articulados con teorías de control automático. Las herramientas complementarias para dichas tareas se explican a continuación.

## Firestore de Google

Firestore de Google es una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones web y móvil. Está disponible para distintas plataformas (iOS, Android y web), con lo que es más rápido trabajar en el desarrollo. Fue creada en 2011 y pasó a ser parte de Google en 2014, comenzando como una base de datos en tiempo real. Sin embargo, se añadieron más funciones que en parte, permitieron agrupar los SDK de productos de Google con distintos usos, facilitando su utilización en control automático, telemetría, estaciones remotas etc. En este trabajo de investigación, Firestore cumple la función esencial de hacer más sencilla la visualización de variables de estados en tiempo real en diferentes dispositivos de comunicación utilizados por los alumnos.

## Materiales necesarios en la experiencia de laboratorio

El dispositivo genérico visualizado en la figura 3 pertenece a una serie de chips de bajo costo y consumo eléctrico. El desarrollo posee características destacables en contenidos como: comunicación wifi, sensores digitales, regulador de velocidad de motores, Control Proporcional Integral Derivativo o PID, etc.

El transductor de señal de temperatura es el sensor sumergible MÓDULO DS18B20 visualizado en la figura 4. El desarrollo monitorea en tiempo real la variable temperatura y luego los datos son visualizados en la base de datos Firestore a través del dispositivo ESP 32.

La figura 5 muestra un desarrollo electrónico que facilita la lectura de datos. Las variables de estados se almacenan en un archivo de datos que posteriormente serán procesados.

El software encargado de configurar el funcionamiento del ESP32 contempla la posibilidad de incluir librerías de manejo y control de variables termodinámicas. También es posible incluir algoritmos de automatización utilizando un relé de estado sólido como se visualiza en la figura 6. Dicho actuador facilita el control de un ventilador y un calefactor eléctrico.



Fig. 3: Dispositivo genérico Esp 32



Fig. 4: Sensor de temperatura



Fig. 5: Módulo de almacenamiento



Fig. 6: Relé de estado sólido

## Procedimiento

Mediante el hardware genérico denominado ESP 32, software libre y herramientas de comunicación se realizan los trabajos de telemetría. La interconexión remota se facilita utilizando la plataforma Firebase. De esta manera los valores obtenidos en el laboratorio remoto son visualizados en una página WEB. Para dichas tareas, se requiere conocimientos elementales de programación por parte de los docentes de la cátedra. El sensor utilizado es digital permitiendo una fácil implementación y manejo en tareas de configuración. De esta manera los alumnos adquieren competencias relacionadas a la integración entre el hardware y envío de datos a la nube como se visualiza en la figura 7.

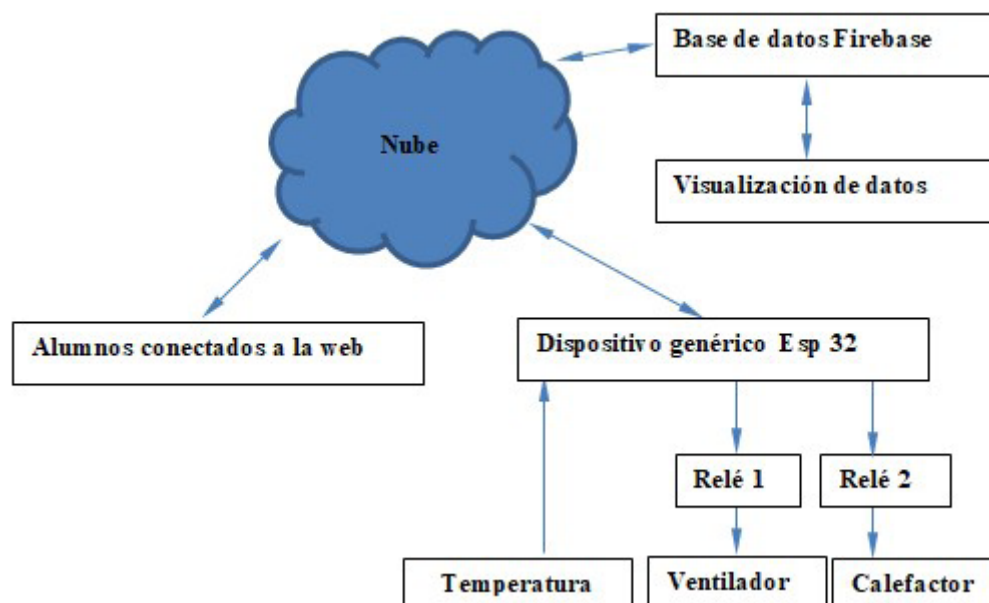


Fig. 7: Esquema simplificado de la herramienta pedagógica

## Desarrollo de la experiencia

Se desarrolla un laboratorio, donde se establece la necesidad de controlar la variable temperatura de un cuerpo mediante el empleo de un controlador. La guía de laboratorio posee una breve introducción sobre conceptos relacionados a la implementación de un Controlador Proporcional Integral Derivativo (Ogata, 2003) y termodinámicos (Facorro Ruiz, 2020). Luego se implementa, librerías informáticas de uso libre que facilitan la configuración y manejo del controlador. El docente en forma manual, puede modificar convenientemente las constantes del PID para calibrar una respuesta deseada. De esta manera el sistema evoluciona entre dos estados termodinámicos, es decir temperatura inicial y final. Se emplea un ventilador que introduce perturbación en el proceso de calentamiento. Se inicia el laboratorio mediante un ensayo de calentamiento de un cuerpo que inicialmente se

encuentra a 30°C. Mediante un control de nombre ON-OFF, se enciende el ventilador y el calefactor hasta llegar al valor superior de los 80°C. Superado el umbral de referencia se desconecta el calefactor y la respuesta del sistema evoluciona siguiendo el comportamiento de la figura 8.

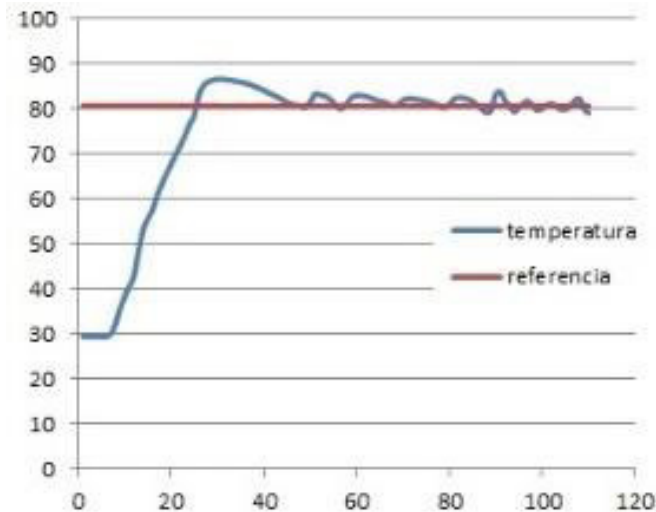


Fig. 8: Control de temperatura ON-OFF

La eficiencia del control ON-OFF es baja, debido a que posee una zona de histéresis que afecta su funcionamiento (Astrom, 2009). El programa habilita el apagado o encendido del relé dependiendo del rango elegido por el programador y no posee capacidad de respuesta sobre posibles estados como por ejemplo: variación en la velocidad de calentamiento, incremento o decremento en la potencia del calefactor, control en la forma de variación de temperatura del cuerpo, etc. Luego se implementa un algoritmo en el ESP 32 que se encarga de controlar el estado de la temperatura mediante un PID. Debido a que no se tiene previamente un modelo del sistema se recurre a la teoría desarrollada por (Kuo, 2015), para establecer los valores de las constantes del PID. La respuesta del control se visualiza en la figura 9.

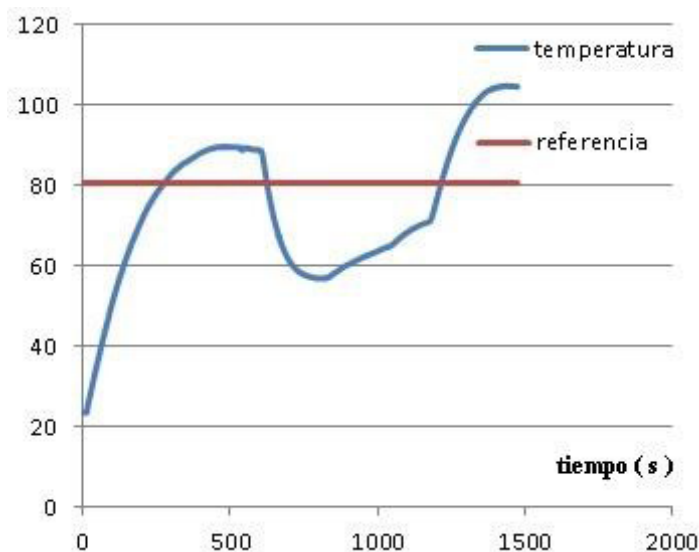


Fig. 9: Respuesta de control de un PID



En este primer ensayo se evidencian valores inapropiados en las constantes denominadas  $k_p$ ,  $k_i$  y  $k_d$  del controlador PID. Las velocidades de respuesta son elevadas y los errores en estado estacionario son muy altos. Se repite el ensayo de calentamiento y se atenúa la constante  $k_i$ . Finalmente se incrementan los valores de  $k_p$  y  $k_i$ , ver figura 10.

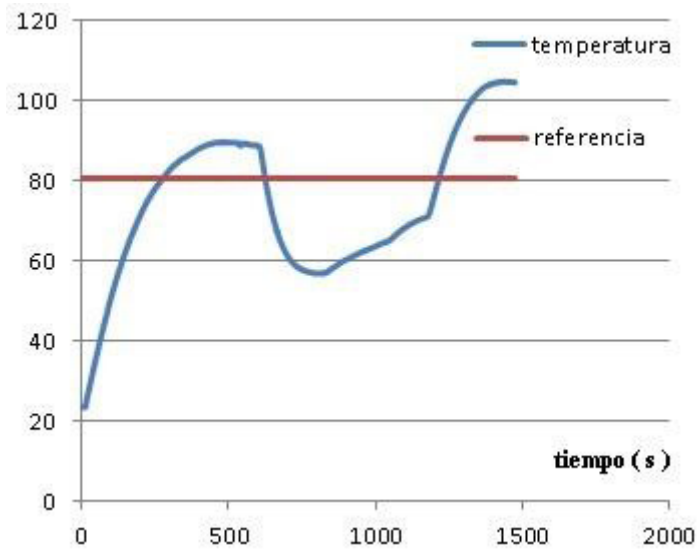


Fig. 10: Respuesta del controlador para las constantes actualizadas

En este caso la acción del ventilador no puede ser compensado con los valores establecidos. Se observa una evolución suave de la curva y un tiempo de respuesta prolongado evidenciando la falta del efecto derivativo y un error en estado estacionario inadmisibles. Finalmente se realiza un nuevo ajuste de las constantes y se repite la experiencia. Los resultados del control se observan en la figura 11.

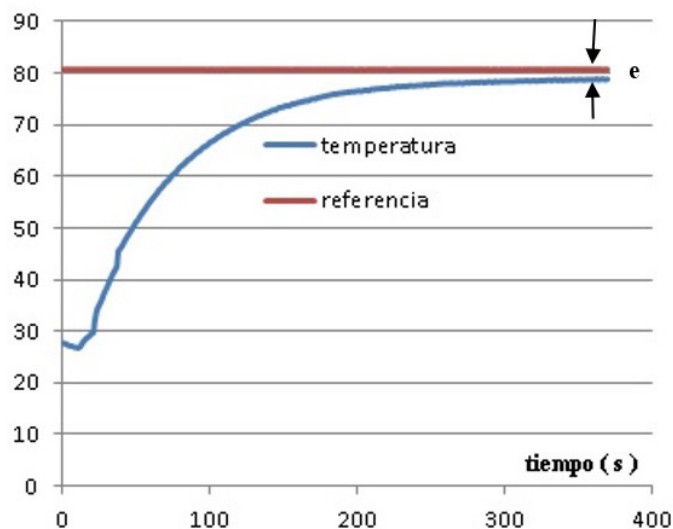


Fig. 11: Ajuste final del controlador PI

## Resultados y discusión

a) Se evidenció una mejora en la calidad de lo aprendido, utilizando nuevas estrategias de enseñanza aprendizaje mediante el empleo de dispositivos genéricos de bajo costo.

b) La experiencia impactó positivamente debido a que se facilitó la construcción de un sentido de aplicación de un objeto de estudio, que en este caso fue manipulación y medidas de variables termodinámicas articuladas, con una librería de uso libre encargada de realizar los cálculos del controlador proporcional derivativo, sin participación del docente o los alumnos.

c) Los estudiantes pudieron visualizar la representación de un fenómeno físico como por ejemplo: el proceso de calentamiento en el tiempo utilizando un sensor digital, un algoritmo de control, librerías de uso libre articulado con un hardware genérico con acceso a la WEB.

A continuación se plantean los principales interrogantes que fueron surgiendo durante el proceso:

¿Se generaliza la experiencia para otros conceptos térmicos o de automatización, utilizando estas nuevas tecnologías y el aula virtual?

¿Cómo impacta en el rol docente la utilización nuevas formas de implementar tecnología en el aula?

¿Están los docentes del siglo XXI preparados para implementar este nuevo paradigma tecnológico?

¿Qué resultado de aprendizaje estimula esta clase de tecnologías al alumno?

¿Esta nueva forma de experiencia puede integrarse en el aprendizaje basado en problemas?

¿Cómo podría mejorar la articulación entre teoría y práctica utilizando esta nueva herramienta tecnológica denominada hardware ESP 32, sensores inteligentes, aula virtual, software libre y Firebase?

¿Los docentes tienen una actitud positiva en la implementación de este tipo de experiencias en la FRRe-UTN?

¿Es necesario invertir muchos recursos y esfuerzo en estas experiencias de laboratorio remoto?

## Conclusiones

Se describió una experiencia realizada en el área de Ingeniería Electromecánica y Química, carreras que se cursan en la FRRe-UTN. El objetivo principal fue desarrollar una herramienta pedagógica que integró el uso de nuevas tecnologías con el aula virtual, conceptos de Termodinámica y de Automatización. Se articularon aspectos formales y teóricos relacionando fenómenos físicos observados en el mundo real. Se



partió del supuesto que al sujeto de aprendizaje que se inicia en la Ingeniería le resulta complejo relacionar leyes fundamentales de Termodinámica con la Automatización. A fin de facilitar el aprendizaje de conceptos relacionados al calentamiento de un cuerpo y técnicas de control se elaboró un laboratorio formado por un dispositivo genérico, software libre y un sensor digital. El desarrollo permitió cuantificar y controlar un fenómeno físico relativamente simple mediante técnicas de control de variables termodinámicas.

## **Bibliografía**

- Astrom Karl , Hagglund Tore. Control PID Avanzado. Cap 1. Pag 6. Segunda Edición. Pearson Educación S.A. Madrid 2009.ISBN 978-84-8322-511-0.
- Barberá Elena Badía Antoni. Educar con aulas virtuales Orientaciones para la innovación en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Cap 5. Pag 123.
- Antonio Machado Libros S.A Madrid, 2004 Vol. CXLVII de la colección Aprendizaje ISBN 84-7774-147-6
- Facorro Ruiz Lorenzo. Curso de Termodinámica. 15° Edición. Nueva Librería. Cap 1. Pag 13. Argentina 2020.ISBN: 9789871104963
- Hannafin, M. J.; Hill, J. R., y McCarthy, J. E. (2000). Designing resource-based learning and performance support systems. A D. A. Wiley (ed.) The Instructional use of learning objects. Disponible en: <http://reusability.org/read/chapters/hannafin.doc> [02/05/2003].
- Kuo Benjamín C. Sistemas de Control Automáticos. Séptima Edición. Person Prentice Hall. Cap 10. Pag 704. México 2015.ISBN 968-880-723-0.
- Ogata Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. Cap. 10. Pago 681. Cuarta Edición. Madrid 2003.ISBN 84-205-3678-4