

PROTOTIPADO RÁPIDO PARA EL MONITOREO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

López Villalobos José de Jesús, Tamez Álvarez Mario Alberto, Salazar Muñoz Zita Xilahutl, Arreola Soria Oscar, Pérez Ruvalcaba Manuel, Gómez Sánchez Laura Elena
Tecnológico Nacional de México, Campus Nuevo León
Departamentos de Eléctrica-Electrónica y Sistemas-Computación
Av. Eloy Cavazos 2001, Col. Tolteca, Guadalupe N.L.
Tel. +52 81 8157 0500
e-mail [jose.lv, mario.ta, zita.sm, oscar.as, manuel.pr, elena.gs]@nuevoleon.tecnm.mx

RESUMEN

Una necesidad para la evaluación de prototipos en diversos usos es la prueba previa y validación del comportamiento de las diversas variables que inciden y arrojan dichas aplicaciones, para lo cual el monitoreo es fundamental para las decisiones futuras en un determinado prototipo. En el presente artículo mostramos una estrategia de implementación rápida con sistemas embebidos estandarizados para el monitoreo y control de variables de un entorno dado, usando herramientas propias del Internet de las Cosas. Para fines de aplicación de esta estrategia de monitoreo de prototipos se desarrollo en el entorno de prueba de circuitos digitales y evaluación de variables de un banco de transformadores. Palabras Clave: monitoreo, instrumentación, embebidos, IoT, fusión de datos

ABSTRACT

A requirement for evaluating prototypes in various applications is the prior testing and validation of the behavior of the various variables that influence and generate these applications. Monitoring is essential for future decisions regarding a given prototype. In this article, we present a rapid implementation strategy with standardized embedded systems for monitoring and controlling variables in each environment, using tools specific to the Internet of Things. To implement this prototype monitoring strategy, it was developed in the digital circuit testing environment and variable evaluation of a transformer bank.

Keywords: monitoring, instrumentation, embedded, IoT, data fusion

1. INTRODUCCIÓN

Una necesidad frecuente en nuestro entorno es la prueba y validación del funcionamiento de los diversos circuitos eléctricos y electrónicos, previo a su uso, para lo cual las pruebas manuales resultan en muchos de los casos algo complicadas debido a la logística de la prueba misma. En base a lo anterior se planteó la necesidad de implementar una estrategia que ayude a hacer las diversas pruebas con elementos electrónicos estandarizados que ayuden a implementar una cámara de pruebas con la cual uno o varios prototipos se puedan llevar a cabo y además con la factibilidad de reuso de la misma para otros tipos de proyectos que requieran unas pruebas en condiciones eléctricas y electrónicas para validar su correcto

funcionamiento [1-3]. En base al entorno de elementos embebidos electrónicos y su relativamente fácil implementación de sistemas de software para el uso del Internet de las Cosas IoT, nos da una posibilidad de integración para generar una plataforma para un monitoreo de circuitos eléctricos y electrónicos. En el desarrollo del presente artículo se ha dividido en las etapas en donde se hace énfasis sobre el hardware en la primera parte, en la segunda etapa se muestra la estrategia de implementación en software y en la parte final se muestra el proceso de integración de ambas partes para el prototipo de pruebas y monitoreo.

2. ETAPAS DE DESARROLLO

2.1. Hardware

Uno de los aspectos interesantes mostrados en implementaciones para instrumentación y monitoreo con base en la mayoría de los sistemas de adquisición de datos tienen elementos que son comunes como se muestra en [4-8], en este caso elementos embebidos basados en tecnologías que son ampliamente conocidas como lo son: ARM Cortex-A72 de cuatro núcleos 64 bits, Rockchip RK3588S 8 núcleos 64 bits, microcontroladores ATmega328P, ATmega2560, todos ellos con características que tienen una amplia aplicación en ambitos industriales y educativos.



Figura 1. Plataformas de hardware para Internet de las Cosas con NodeRED [9].

Para este caso se tienen, dos opciones que por sus características de implementación hacen de la integración de las tarjetas de adquisición de una manera eficiente y rápida, tal es el caso de la Raspberri Pi version 4+ que para este tiempo de aplicación puede ser un procesador servidor que facilite la interconexión utilizando puertos convencionales seriales USB con tarjetas de adquisición de datos como este caso son los arduinos UNO que se utilizan como interfase física de la adquisición de datos e inclusive como fuente regulada de alimentación para circuitos de prueba. La estructura natural de funcionamiento involucra un servidor central con uso de una tarjeta embebida con un sistema operativo, en este caso Debian, en el cual se reconozcan los puertos seriales conectados a ella, que para este caso son las tarjetas de adquisición de datos basadas en la tecnología arduino; el numero de tarjetas para este caso es de tres, para cubrir las necesidades de los circuitos a probar, pudiendo ser más de acuerdo a las posibilidades que se tienen en el manejo de los puertos USB. La única limitante importante a considerar es el consumo de corriente de los diversos circuitos, por ejemplo en promedio cada arduino UNO consume 60 mA y 40 mA en cada pin usado, en una raspberri Pi se tiene un consumo del servidor de un ampere [10-12], por lo anterior se recomienda el uso de fuentes de poder adicionales para que el circuito del prototipo de monitoreo soporte tambien adicionalmente a los circuitos sujetos a la prueba. La estructura física del prototipo es en estrella, dado que los arduinos UNO se conectan todos al raspberri Pi.

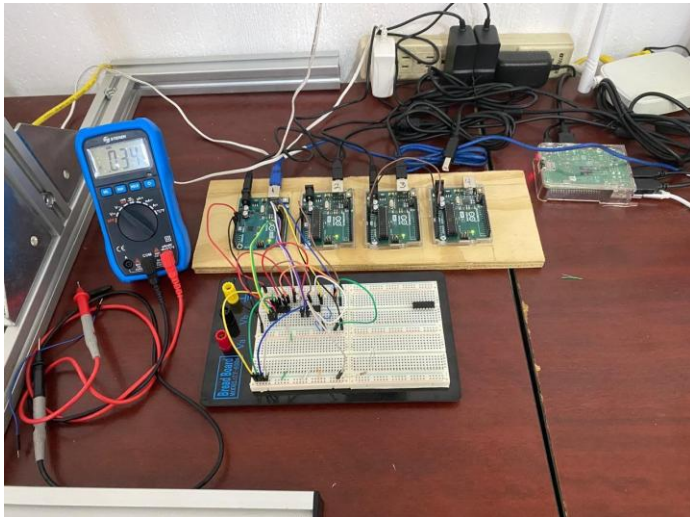


Figura 2. Área de trabajo del circuito de prueba, incluye las tarjetas de adquisición de datos y el servidor

Para los casos de aplicación de prueba, como el que nos ocupa en este artículo de circuitos digitales, debido a la naturaleza de las tecnologías, son del tipo TTLs, la interface entre los circuitos de prueba se hace de manera directa. Por otro lado, en cuanto a las pruebas en el transformador se tuvo la necesidad de integrar sensores de corriente de no contacto y sensores de voltaje para

hacer las diversas mediciones necesarias en la máquina eléctrica; el uso de relevadores de un solo polo y tiro, así como los de dos polos y un tiro, tambien se pueden interfasear con los arduinos, cuidando los niveles de corriente y voltaje de los elementos a probar para hacer las pruebas con seguridad.



Figura 3. Sensor de corriente sin contacto con adaptador directo a la entrada analógica de la tarjeta de adquisición de datos (arduino) [13]

Para la figura 1, se tiene una ecuación de conversión estándar que se muestra en la siguiente ecuación:

$$v(t) = 2.5 + \left(\frac{I}{I_N}\right) * 6.25$$

En donde:

$v(t)$	Voltaje de salida del sensor
I	Corriente que pasa por el sensor
I_N	Corriente permitida por el sensor

En caso del sensor de voltaje se tiene una interface directa de voltaje adaptable a las entradas analógicas del microcontrolador.



Figura 4. Sensor de voltaje para medición de 0-25 volts [14]

2.2. Software

Como se mencionó en líneas arriba, el sistema operativo con el que opera la raspberri Pi es *Debian* en su modalidad gráfica,

ya estando conectado se hace uso de los recursos como lo son la terminal para definición de parámetros de hardware y configuración del servidor de *NodeRED*, que de manera visual a través de un navegador ayuda en la programación de los ambientes de trabajo para cada una de las actividades y/o configuraciones de prueba, con base a lo anterior expuesto se cuenta con la capacidad para más de una plataforma para probar diversos circuitos bajo el mismo servidor de trabajo. Otra cualidad importante, es la posibilidad de hacer asequible una pantalla de trabajo remota y de manera adicional activar o facilitar el acceso a recursos que apoyen al prototipo de monitoreo. La programación en el servidor en la raspberry Pi es visual y con configuración orientada a objetos, los elementos principales gráficos se denominan nodos con los cuales se hacen las interfaces visuales hacia el usuario y hacia las tarjetas de adquisición de datos (arduinos en este caso).

A los sistemas de adquisición de datos y control, se les programó un protocolo de comunicación estandarizado denominado *firmata*, el cual es de fácil implementación y prueba de los arduinos utilizados para este proyecto.

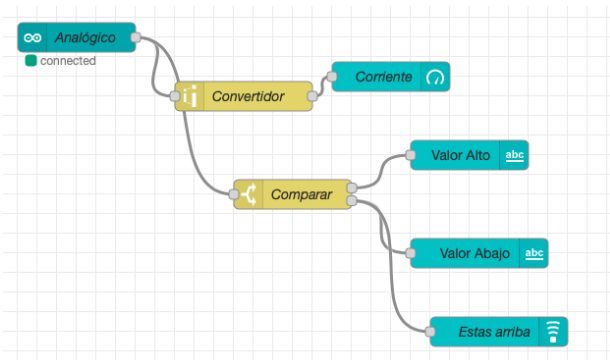


Figura 5. Programa (flujo) de lectura y comparación de variable de corriente

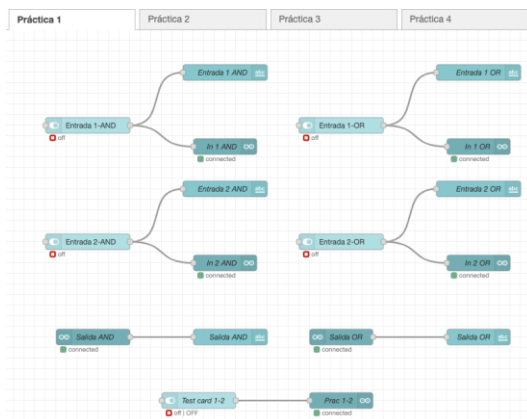


Figura 6. Programa básico de control de una prueba de circuitos digitales electrónicos, note en las viñetas los diversos códigos para las diversas pruebas

Para el desarrollo de los diversos códigos en el servidor se hace uso de las utilerías de nodos disponibles y además se pueden adquirir nuevas opciones de nodos a través de la propia herramienta de una manera sencilla, para este caso se hicieron uso de los dos siguientes grupos de nodos:

- Nodos del dashboard (ventana al usuario): Nodos de efecto visual integrados al uso de IoT.
- Nodos de arduino: Interfaces con acceso directo a cada una de las tarjetas conectadas en sus diferentes puertos; análogos, digitales de entrada y salida y manejo de servos.
- Nodos de comunicación externa: Herramientas de comunicación adicionales para compartir datos de las diversas variables obtenidas.

De manera concurrente se tienen los diversos flujos (programas) que componen el proyecto completo; debido a la naturaleza orientada a objetos, la dependencia de nodos entre flujos es transparente y además que existe la ventaja de ser una plataforma gráfica en la cual de manera directa se conectan los diferentes nodos involucrados tanto del Arduino como los de presentación de los valores.

En la parte de presentación, de los diversos programas o flujos en la red, se cuenta con las herramientas para hacer un diseño estético que sea factible de manejar desde cualquier dispositivo electrónico: computadora, tableta y celular/móvil. Otra cualidad importante, que además se tiene una fácil implementación de herramientas de apoyo para la integración a este prototipo, como en este caso es la cámara para visualizar el proceso de pruebas del proyecto, en este caso una cámara DCS-932LB.

En cuanto a la seguridad *NodeRED* tiene sistema de acceso controlado en cuanto su ventana de programación y configuración, la parte de visualización IoT al momento no se tiene implementado un administrador de acceso, pero aquí no está en riesgo la parte de configuración de la plataforma que si tiene seguridad integrada.



Figura 7. Vista en sitio web de la práctica de prueba para circuitos digitales, note la integración de los elementos visuales.

2.3. Integración

Se cuenta con una integración relativamente sencilla y de rápida implementación, con lo cual una herramienta de hardware comercial, en este caso un concentrador de puertos USB para que se expanda la cantidad de puertos necesario que en este caso son 4 tarjetas arduino y 1 servidor en raspberry Pi, así también las fuentes de poder necesarias, para lograr abastecer la corriente necesaria para los circuitos a probar y cumplir las necesidades de energía para evitar sobrecargas y/o mal funcionamiento del sistema.

Muchos de los ajustes se hacen desde la etapa de software que impactan primordialmente a la presentación de los diversos programas para las respectivas pruebas de los circuitos a testear. Un aspecto importante es, la parte de fusión inicial de datos que ayudan a tomar decisiones que al momento son de manera sencilla, como detectores de niveles o presentación de valores de salida. Debido a la naturaleza de programación del sistema en el servidor (raspberry Pi), se facilita la fusión de datos con el uso de comparadores y operadores matemáticos que vienen incluidos en la propia herramienta, más las que se puede instalar de la nube; además, teniendo acceso a herramientas que facilitan la conexión a otros elementos propios del Internet de las Cosas (bases de datos, interfaces industriales, etc.).

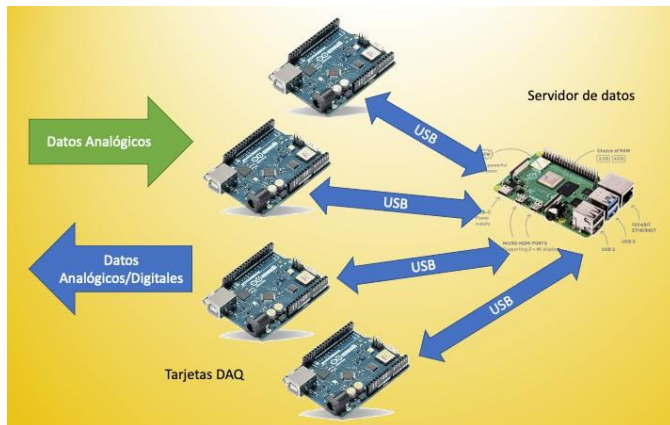


Figura 8. Integración de tarjetas de adquisición con el servidor

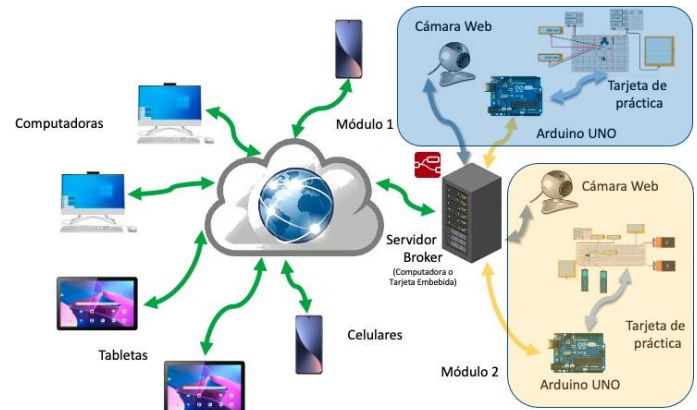


Figura 9. Integración de todos los elementos de monitoreo y pruebas de circuitos

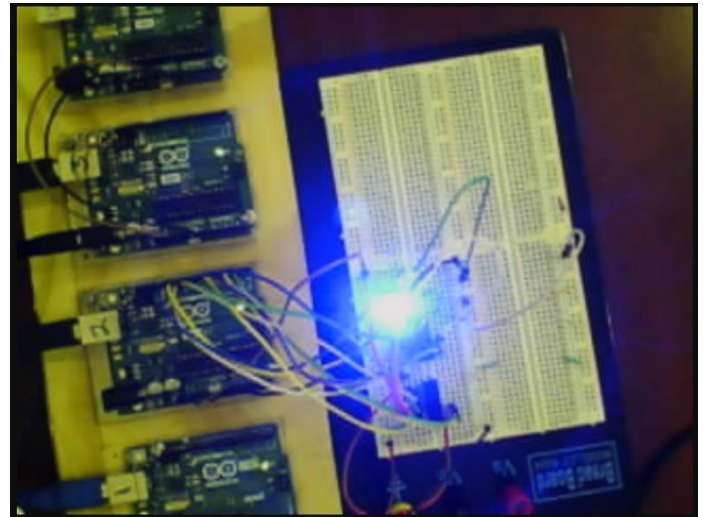


Figura 10. Imagen de la cámara de video de la tarjeta de pruebas

3. CONCLUSIONES

3.1. Conclusiones

Dentro de los logros obtenidos de la implementación rápida de este módulo de pruebas de circuitos, ha arrojado que para fines de operatividad nos da excelentes resultados al poder hacer pruebas con los circuitos digitales expuestos, y de manera inicial la lectura de valores de corriente y voltaje, además la rápida implementación e integración de la cámara de pruebas en donde la puesta en marcha sería prácticamente intuitiva y con los costos de implementación no tan altos, considerando el material utilizado para esta caso en particular. El tiempo promedio de implementación de este prototipo de un laboratorio de pruebas es de 45 minutos, considerando que se tengan a disposición todos los materiales para su desarrollo.

3.2. Trabajo futuro

En estas primeras versiones se tienen buenos resultados, aunque falta por mejorar la plataforma de montaje física para

las diversas tarjetas para que queden de una manera fija, con el fin de evitar falsos contactos, el diseño de esta parte es un proyecto que se incluirá más adelante. Adicionalmente se integrarán, mas módulos para una interacción con la generación de un registro automático de los parámetros generados en las pruebas elaboradas y lograr información que en aspectos de calidad pueda ser útil en la toma de decisiones. Seguramente se podrán adicionar más módulos para lecturas de otras variables para otro tipo de ambientes que se requieran, pero la base de diseño se compone con estos elementos u otros compatibles con *NodeRED*, para su desarrollo.

4. REFERENCIAS

- [1] Xie, L., Peng, L., Zhang, J., & Hu, A. (2024). Radio frequency fingerprint identification for Internet of Things: A survey. *Security and Safety*, 3, 2023022.
- [2] Jabbar, W. A., Tiew, L. Y., & Shah, N. Y. A. (2024). Internet of things enabled parking management system using long range wide area network for smart city. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 4, 82- 98.
- [3] Werbos, P. J. (2024). The New AI: Basic concepts, and urgent risks and opportunities in the internet of things. In *Artificial Intelligence in the Age of Neural Networks and Brain Computing* (pp. 93-127). Academic Press.
- [4] Joice, A., Tufaique, T., Tazeen, H., Igathinathane, C., Zhang, Z., Whippo, C., ... & Archer, D. (2025). Applications of Raspberry Pi for Precision Agriculture – A Systematic Review. *Agriculture*, 15(3), 227.
- [5] Kush, J. C. (2025). Integrating Sensor Technologies with Conversational AI: Enhancing Context-Sensitive Interaction Through Real-Time Data Fusion. *Sensors*, 25(1), 249.
- [6] Ortiz, J. S., Villalobos, M. A. M., Porras, M. B., & Parada, T. V. C. (2023). Experiencia de diseño e implementación de un módulo de laboratorio con acceso en forma remota para la realización de prácticas experimentales en la temática de control de Velocidad de un motor en corriente continua. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*.
- [7] Yang, B., Li, J., & Zeng, T. (2025). A Review of Environmental Perception Technology Based on Multi-Sensor Information Fusion in Autonomous Driving. *World Electric Vehicle Journal*, 16(1), 20.
- [8] Yang, B., Li, J., & Zeng, T. (2025). A Review of Environmental Perception Technology Based on Multi-Sensor Information Fusion in Autonomous Driving. *World Electric Vehicle Journal*, 16(1), 20.
- [9] Javed, A. (2016). *Building Arduino Projects for the Internet of Things. Experiments with Real-World Applications*. United States of America: Apress Media, LLC, 15-34.
- [10] Castro Muñoz, G. A. P. T., & Chacha Criollo, D. A. (2024). Desarrollo de un dispositivo para visualización de par y velocidad de motores de inducción (Bachelor's thesis).
- [11] Hassan, N., Gaur, A., Jadaun, Y., & Bhasney, A. (2024, May). IoT-Enabled Medicine Dispenser for Pills and Liquid Medication. In *2024 2nd International Conference on Advancement in Computation & Computer Technologies (InCACCT)* (pp. 905-910). IEEE.
- [12] Kush, J. C. (2025). Integrating Sensor Technologies with Conversational AI: Enhancing Context-Sensitive Interaction Through Real-Time Data Fusion. *Sensors*, 25(1), 249.
- [13] HSTS016L Datasheet, sitio web consultado 2025 <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/1161999/YHDC/HSTS016L.html>
- [14] Sensor de voltaje 0 a 25 volts, sitio web consultado 2025, <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps3711.pdf?ts=1750873239309>