

## Desarrollo de un prototipo para estación de monitoreo de un dispositivo híbrido de termotanques solar y a gas natural instalado en la Sede Atlántica de la Universidad Nacional de Río Negro

Javier Valsecchi<sup>1</sup>, Guillermo Malpeli<sup>1</sup>, Juan Cruz Martinez Luquez<sup>1</sup>, Héctor Luis Vivas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Río Negro. Laboratorio de Informática Aplicada. Sede Atlántica  
[javier.valsecchi@gmail.com](mailto:javier.valsecchi@gmail.com) {gmalpeli, jcmluquez, lvivas}@unrn.edu.ar

**Resumen.** El presente trabajo muestra el desarrollo de un prototipo para una estación de monitoreo de un dispositivo híbrido compuesto por dos termotanques, uno solar y otro a gas natural, actuando en conjunto, para el suministro de agua caliente en el comedor del Campus de la Sede Atlántica de la Universidad Nacional de Río Negro. Las variables a controlar son: la temperatura, el caudal de agua y el consumo de gas natural. Estos datos serán capturados por sensores y procesados en una Raspberry Pi como microcontrolador programable y aplicando conceptos de algoritmos concurrentes para la recolección de datos en un mismo instante de tiempo. Las funciones programadas en el microcontrolador permitirán el envío de los datos capturados al servicio Adafruit IO, por internet, como plataforma de visualización. Allí se podrán visualizar los datos capturados en tiempo real y consultar el historial almacenado de las variables.

### 1 Introducción

En la actualidad existe una gran necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles[1]. En la Argentina el combustible fósil que más se consume es el gas natural, utilizado por las industrias y por los usuarios domésticos, que asciende al 52% de la matriz energética, valor que resulta el más alto de la región. El promedio latinoamericano es de 26,2% y nuestros vecinos Brasil y Chile tienen un 11,1%[2].

Teniendo en cuenta los futuros desafíos ecológicos y económicos, es necesario plantear la reducción del consumo de combustibles fósiles a favor de las energías renovables que se obtienen a partir del sol, el viento y el agua, entre otras. Los termotanques solares poseen una tecnología que permite la utilización de radiación solar para calentar el agua almacenada, permitiendo así reducir el consumo de gas natural.

Comúnmente es posible instalarlos de dos maneras: (1) el termotanque solar en solitario, generalmente utilizado en viviendas donde no llega la red de gas natural y se torna oneroso o, en algunos casos, difícil su suministro; o (2) instalarlo en conjunto con un termotanque a gas, permitiendo reducir el consumo de gas natural. Se estima que la instalación híbrida entre un termotanque solar y un termotanque a gas, utilizado en caso de que el agua no llegue a la temperatura deseada, permite un ahorro del orden del 70% del consumo de gas utilizado en el calentamiento de agua sanitaria [3].

En otro aspecto, el concepto de Internet de las Cosas (IoT) está cada vez más presente. Desde implementaciones en la agroindustria, medio ambiente, smart homes, entre otras

áreas[4][5]. La tecnología aplicada a este concepto está en continuo desarrollo y estandarización. Cada vez son más las empresas que apuestan a esta tecnología con el objetivo de abarcar parte de este mercado en continuo crecimiento. Se estima que para el 2025, el mercado para América Latina sea de 47 mil millones de dólares[6].

El presente trabajo muestra el desarrollo de un prototipo de implementación de una estación de monitoreo de una instalación híbrida de termotanque solar y termotanque a gas aplicando el concepto de Internet de las Cosas a partir del uso de una Raspberry Pi como soporte tecnológico. El prototipo es capaz de recolectar datos de temperatura del agua en distintos puntos de la red, del caudal de agua del sistema y del tiempo de actividad del termotanque a gas. La estación de monitoreo cuenta con la posibilidad de conectarse a internet para enviar los datos recolectados a través de los sensores y permitir su visualización en tiempo real, como así también, el acceso a datos históricos de su funcionamiento para así tener una estimación del rendimiento o posibles análisis en profundidad de los datos obtenidos.

## 2 Objetivo

El objetivo del proyecto es implementar el monitoreo del rendimiento de un termotanque solar junto a un termotanque a gas en el marco del proyecto “Uso de Energías Renovables en la Universidad Nacional de Río Negro”. El equipamiento fue instalado en el comedor del campus de la Sede Atlántica de la Universidad Nacional de Río Negro[7].

En el análisis de los requisitos necesarios del proyecto se propuso un prototipo que monitoree las siguientes variables:

- Caudal: permite obtener la cantidad de agua utilizada en el sistema. Cuanta más agua se utiliza en un instante, menor será la temperatura en la que se encuentra. Este parámetro permite determinar si está bien dimensionado el equipamiento instalado en cuanto a las necesidades del establecimiento.
- Temperatura del agua entrante: permite obtener la temperatura en la que entra el agua al sistema.
- Temperatura del ambiente: temperatura general de ambiente.
- Temperatura de salida del termotanque solar: variable que determina la temperatura a la cual el termotanque solar calienta el agua.
- Temperatura de salida del termotanque a gas: marca la temperatura de salida del termotanque a gas, permitiendo comparar con la salida del termotanque solar analizando el trabajo que tuvo que realizar para llegar a esa temperatura.
- Tiempo de actividad del termotanque a gas: permite determinar cuánto tiempo estuvo encendido el termotanque a gas.

Las variables seleccionadas son fundamentales a la hora de determinar el rendimiento de la instalación del termotanque solar. Además, el prototipo contempla la posibilidad de poder agregar en un futuro otras variables que permitan recolectar más datos sobre el rendimiento.

### 3 Solución

El microcontrolador principal del presente proyecto es la plataforma electrónica Raspberry Pi 3 Model B+, la cual es una Single Board Computer (Computadora de Placa Única), está basada en hardware libre y software de código abierto, es flexible y fácil de usar. Se desarrolló con el objetivo de construir un hardware económico y libre [8]. Está constituida por un procesador Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC, cuenta con conectividad Wifi, Gigabit Ethernet y Bluetooth. Además cuenta con un grupo de entradas/salidas lógicas llamadas GPIO que permiten conectar una amplia variedad de sensores electrónicos. También existen otras placas electrónicas modulares (conocidas como Shields), que proporcionan funcionalidades extras, permitiéndole además incorporar compatibilidad con Arduino.

La Raspberry Pi permite correr distribuciones linux modificadas especialmente para este dispositivo, ganando así la posibilidad de tener todas las características comunes de cualquier distribución actual de linux, como también la gestión completa de procesos, a partir del uso de los mecanismos de concurrencia implementados. El proyecto está programado en Python utilizando la librería de multithreading, lo que permite tener varios procesos corriendo al mismo tiempo con el fin de obtener datos y procesarlos.

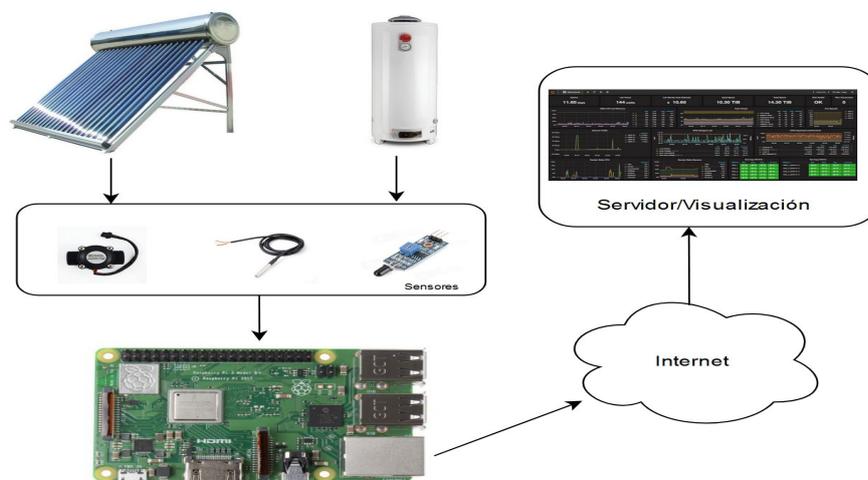
Los datos son obtenidos mediante sensores desplegados en la instalación del termotanque, utilizando sensores DS18B20 para obtener datos de temperatura del agua y ambiente; sensor Ky-026 utilizado para monitorear el encendido del termotanque a gas y el sensor FS300A para contabilizar el caudal de agua utilizado.

Para la visualización de los datos se seleccionó el servicio Adafruit IO ofrecido por la empresa Adafruit, ampliamente conocida por vender sensores, shield y distintos componentes dedicados a la automatización y desarrollos de IoT. El servicio cuenta con distintos planes comerciales, entre ellos uno gratuito y que permite crear tableros con distintos tipos de gráficos de datos, pulsadores y demás componentes necesarios para visualizar los datos enviados desde una Raspberry Pi, un Arduino u otro dispositivo.

#### 3.1 Diseño

La figura 1 muestra el esquema simplificado del diseño de la estación. Se utilizan los sensores de caudal de agua, de temperatura y de flama. Además, cuenta con conectividad a internet para poder enviar los datos recolectados al servidor, donde luego se almacenan y se visualizan.

En caso de que no sea posible enviar la información al servidor, se almacenarán los datos obtenidos de los sensores en la tarjeta SD para su posterior extracción, evitando así la pérdida de información.



**Figura 1.** Esquema de componentes y conectividad

### 3.2 Implementación

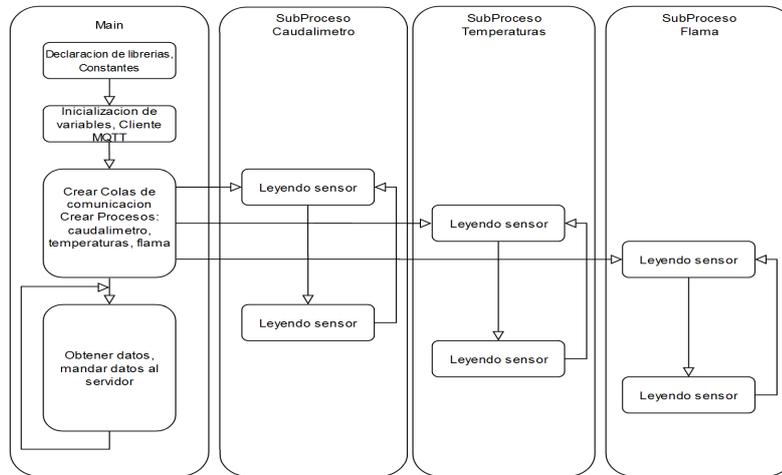
Para el desarrollo del prototipo se integraron los sensores por medio de las interfaces de conectividad que están disponibles en la Raspberry Pi, con lo cual no fue necesario adquirir ningún dispositivo adicional para conectarlos

La Raspberry Pi permite tener conexión a Internet mediante una interfaz Ethernet y una interfaz inalámbrica de doble banda (2.4 GHz y 5 GHz).

Para enviar los datos al servicio de almacenamiento y visualización se utilizó el protocolo MQTT, creado con el fin de ser utilizado para recolectar datos en una infraestructura distribuida. El protocolo se encuentra estandarizado en el documento ISO/IEC 20922 y es ampliamente utilizado para IoT[9].

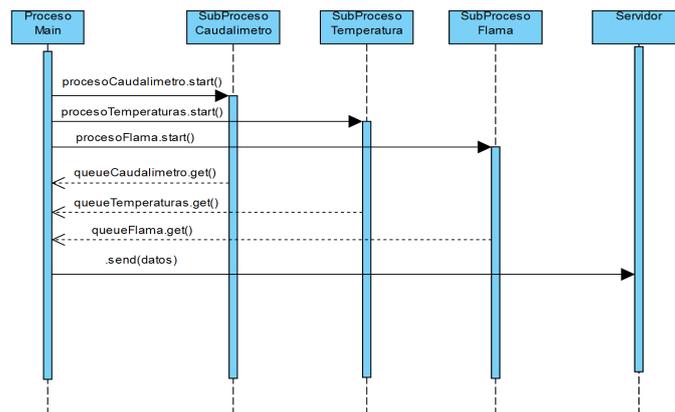
Para este desarrollo se utilizó Python, un lenguaje de programación interpretado, multiparadigma y de tipado dinámico cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis muy limpia y un código legible.

En la figura 2 se muestra la lógica del algoritmo desarrollado para la estación de monitoreo.



**Figura 2.** Diagrama de programación

Se decidió que para la implementación del algoritmo se utiliza la librería “multiprocessing” que permite la creación de subprocesos, además del proceso main, para que realicen tareas independientes. En la figura 3 se especifica de manera gráfica la secuencia de mensajes entre procesos. Cada subproceso se encarga de manejar un tipo de sensor específico, el proceso main recolecta los datos obtenidos y los envía al servidor para almacenar los datos y posteriormente permitir visualizarlos.



**Figura 3.** Diagrama de secuencia entre los distintos procesos.

Para el servicio de almacenamiento y visualización de los datos se utilizó Adafruit IO en su versión gratuita, la cual permite crear tableros con distintos tipos de gráficos y pulsadores.



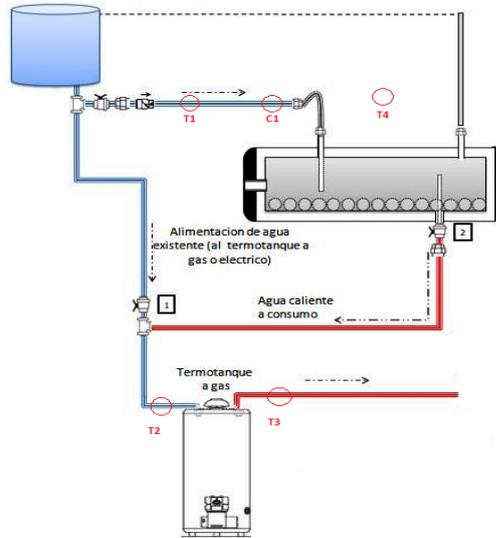
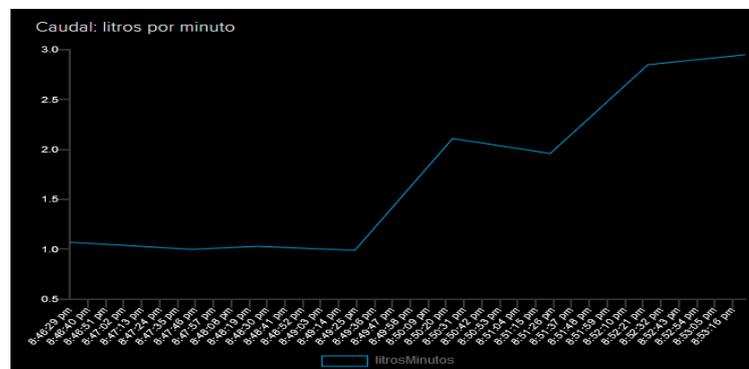


Figura 5. Diagrama de la red de agua caliente con la ubicación de los sensores. Imagen original[10]

## 4 Pruebas

Para determinar el correcto funcionamiento del prototipo desarrollado se llevaron a cabo distintas pruebas de funcionamiento de forma integral, probando los distintos sensores involucrados, así como también el envío de los datos obtenidos y su correcta visualización.

Para probar el sensor de caudal se dispuso a pasar distintas cantidades de agua por el sensor cada 60 segundos. En la figura 6 se muestra el resultado de las pruebas realizadas.



Los sensores de temperatura se probaron de forma independiente, teniendo uno a temperatura del ambiente y los otros tres sumergidos en agua caliente a distintas temperaturas, tomando valores cada 30 segundos. En la figura 7 se muestra el resultado.

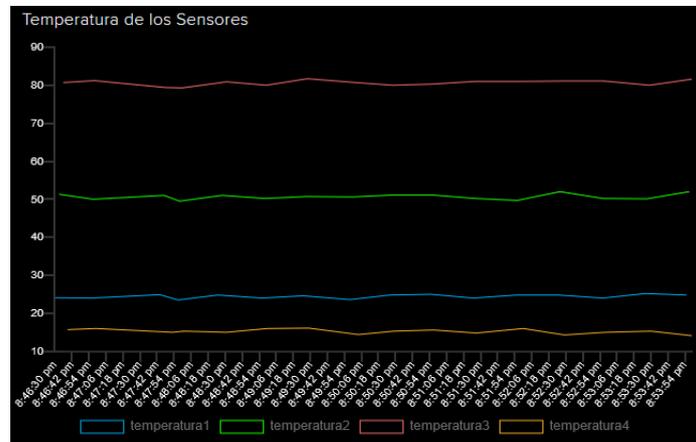


Figura 7. visualización de los resultados de las pruebas de los sensores de temperatura.

Para el sensor de flama se utilizó una fuente de llamas para probar el correcto funcionamiento del sensor y registrar los valores. Se realizaron varios pulsos de prendido/apagado tomando valores cada 5 segundos. Se puede ver en la figura 8 el resultado de dichas pruebas.

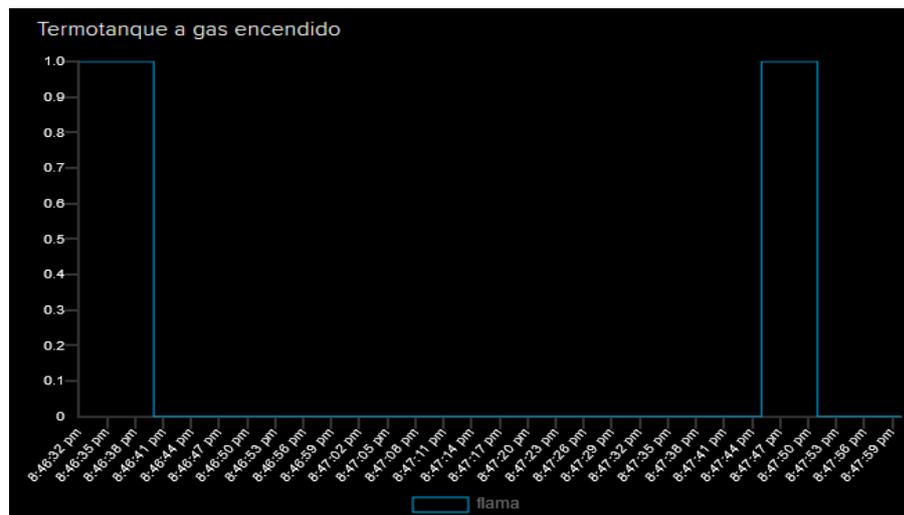


Figura 8. visualización de los resultados de las pruebas del sensor de flama.

## 5. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

Desde el aspecto tecnológico, se desarrolló exitosamente un prototipo que permite el monitoreo de las variables básicas de un sistema de agua caliente que cuenta con un termotanque solar y un termotanque a gas, permitiendo recolectar datos sobre el funcionamiento de dicho sistema. En otro aspecto, la tecnología aplicada para el desarrollo permite fácilmente adaptarse a nuevos requisitos, permitiendo cambios en las formas de conectividad, de recolección de datos, o la inclusión de nuevas variables para monitorear.

La implementación del servicio Adafruit IO como sistema de recolección de datos y visualización permite de manera rápida y sencilla acceder a la visualización en tiempo real e histórico de los datos obtenidos sin complicaciones de instalación de servidores, permitiendo un desarrollo y testeo rápido del prototipo.

Permitir el acceso a los datos, tanto en tiempo real como el histórico, permite un mayor entendimiento de la tecnología y del comportamiento de la zona, permitiendo analizar los datos para generar políticas de incentivo para la adopción en la región de esta tecnología.

El sistema de monitoreo para un termotanque solar junto a un termotanque a gas puede ser aplicado en otras regiones o en otras instalaciones antiguas, así como también en otro tipo de instalaciones, como, por ejemplo, la instalación en solitario de un termotanque solar.

### *Futuras líneas de trabajo*

Utilizar Raspberry Pi como soporte tecnológico permite la incorporación de nuevos requisitos sin tener que cambiar drásticamente el hardware o modificar la tecnología subyacente, lo que haría factible enfocarse en realizar mejoras sobre el aumento de la cantidad de parámetros de la instalación a monitorear, como podrían ser la radiación solar, humedad del ambiente, etc. Esto permitiría reunir aún más datos del comportamiento del sistema donde está instalado.

En relación al apartado de almacén de datos y visualización, se podría utilizar otras tecnologías que permitieran poder utilizar la estación de monitoreo de manera local, en un servidor aparte o en la propia Raspberry Pi, sin la necesidad de tener internet, así como permitir una solución híbrida teniendo acceso tanto local como en la nube, lo que permitiría el acceso a la información de manera más directa.

### Referencias

1. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). 2007. CAMBIO CLIMÁTICO 2007 Informe del Grupo de Trabajo III - Mitigación del Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
2. Joaquín Mario Ortiz. 2018 . Produccion de energia a partir de vinaza en Tucuman: Análisis de las direfentes alternativas. Universidad Nacional deTucumán.
3. A. Lanson1 y R. Righini,1 E. E. Benitez, Et. Al. 2013. HACIA UN USO MÁS EFICIENTE DEL GAS – APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN ARGENTINA. Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013
4. Fundación de la Innovación Bankinter 2011. “El Internet de las Cosas, En un mundo conectado de objetos inteligentes”.
5. Internet Society. “The Internet of Things (IoT): An Overview”. White paper, 2015.
6. ¿Cuál es el panorama de IoT en Argentina? - <https://www.tynmagazine.com/cual-es-el-panorama-de-iot-en-argentina/> (verificada el 25/02/2020).
7. Dr. Pablo Fabián CARRANZA. (2017). “Uso de Energías Renovables en la Universidad Nacional de Río Negro”. UNIVERSIDAD CULTURA Y SOCIEDAD – SPU.
8. Raspberry Pi Foundation - About us - <https://www.raspberrypi.org/about/> (verificado el 27/02/2020)
9. Politi, M. I. M., Cruz, T. A., Acosta, T. C., González, J. L., & Laiz, H. DESARROLLO DE SISTEMA PARA INTEROPERABILIDAD DE INVERSORES FOTOVOLTAICOS EN PROYECTO DE RED INTELIGENTE CON APORTE DE FUENTES RENOVABLES. PRIER-ARMSTRONG (SANTA FE, ARGENTINA).
10. Portale-cologica.com - <http://www.e-cologica.com.ar/test/wp-content/uploads/2017/09/INTEGRACION-SERIE1.jpg> - (verificada el 02/03/2020)