

Diseño de nodos de control inteligentes con integración a un sistema de gestión de la energía



La incorporación de dispositivos de internet de las cosas (IoT) en los sistemas de generación de energía (SGEn) tradicionales surge de una evolución natural de las nuevas tecnologías de la información. Un nodo de control basado en el concepto IoT mediante el sistema en chip (SoC) ESP8266 se diseña para aprovechar la infraestructura wifi existente en el edificio de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) e integrarse a su SGEn. Los nodos controlan las cargas de catorce aulas, presentando como principal ventaja un ahorro de energía del treinta por ciento (30%) con dispositivos de bajo costo y fácil implementación

Mariano Nicolau, Pablo Gaspoz,
José Luis Torres, Javier Acosta,
Pablo Marelli
Grupo Control y Seguridad Eléctrica
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Santa Fe
CySE UTN FRFSF
mnicolau@frsf.utn.edu.ar

Palabras clave: IoT. ESP8266. Sistemas de gestión de energía

Introducción

En los tópicos sobre gestión de la energía, el sector de los edificios se destaca por presentar las mayores oportunidades para la mejora de la eficiencia energética ya que es uno de los mayores consumidores de energía con alrededor del cuarenta por ciento (40%) de la energía total mundial [1].

Se han planteado diferentes soluciones para reducir la demanda de energía dentro de los edificios [2][3][4]. Todos concluyen en la necesidad de proveer de "inteligencia" al edificio, lo que significa que se deben integrar todos los sistemas para gestionar los recursos de manera coordinada con el fin de maximizar el rendimiento técnico, la eficiencia energética, el ahorro en los costos operativos y la flexibilidad [5].

Uno de los componentes críticos para manejar la demanda de energía en los edificios inteligentes es el sistema de gestión de la energía en el edificio

En los tópicos sobre gestión de la energía, el sector de los edificios se destaca por presentar las mayores oportunidades para la mejora de la eficiencia energética

(SGEn). Los SGEn juegan un rol preponderante en la supervisión y control de los consumos en los edificios. Un SGEn es una plataforma que se emplea para gestionar cargas y aumentar la eficiencia, teniendo así la capacidad de reducir la energía necesaria para iluminar, calentar, enfriar y ventilar un edificio. Un SGEn interactúa con el hardware de control en los diversos sistemas mecánicos o eléctricos para monitorear y modular en tiempo real la energía utilizada; normalmente, se utiliza para

implementar estrategias de respuesta a la demanda (RD) [6][7]. En los últimos años, se ha observado una convergencia fructífera de las diversas tecnologías y sistemas de control en edificios con una infraestructura basada en IP, apoyada por la intranet de la empresa. La convergencia tecnológica en lo que se refiere a la gestión de edificios se está acelerando con el creciente despliegue de dispositivos

de punto final basados en IP bajo el impulso de Internet de las cosas (IoT) [8].

Actualmente, los SGEN se basan cada vez más en los principios de IoT. Este concepto está comenzando a incorporarse en la operación diaria de muchos sectores de la industria.

A partir de actividades enmarcadas dentro de un plan de racionalización energética que se lleva a cabo en el edificio de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), impulsado por sus personal y directivos, se desarrolla e implementa un sistema de control y gestión eficiente de los consumos mediante una red de dispositivos IoT capaces de medir y controlar diferentes equipos de forma local y remota. Estos se integran a un SGEN existente que se encarga de monitorear, controlar y procesar los datos de los consumos de cada uno de los sectores del edificio y cuya arquitectura se presenta en Gaspoz, Cappannari (2016) [9]. Se han aplicado estrategias de control bajo el concepto de respuesta a la demanda en uno de los sectores [10], concluyendo en la necesidad de desplegar dispositivos de bajo costo que permitan realizar un control distribuido para lograr un impacto más profundo en la disminución de los consumos.

Dada la disponibilidad de una infraestructura de red wifi extendida a lo largo de todo el edificio y en creciente evolución, se desarrolla un dispositivo que aproveche dicha red y que reduzca los costos de implementación mediante un hardware económico y desarrollado a medida. Si se caracterizan las cargas, sucede como en la mayoría de los edificios que estas se encuentran distribuidas en ambientes cerrados o espacios comunes. Los primeros generalmente disponen de iluminación, ventilación y climatización, es lógico pensar entonces en un controlador capaz de integrarse con cada una de las cargas de dichos ambientes.

Diseño de arquitectura del sistema

El diseño propuesto para la integración de los dispositivos IoT parte de trabajos previos realizados en el edificio [9][10]. La arquitectura general se

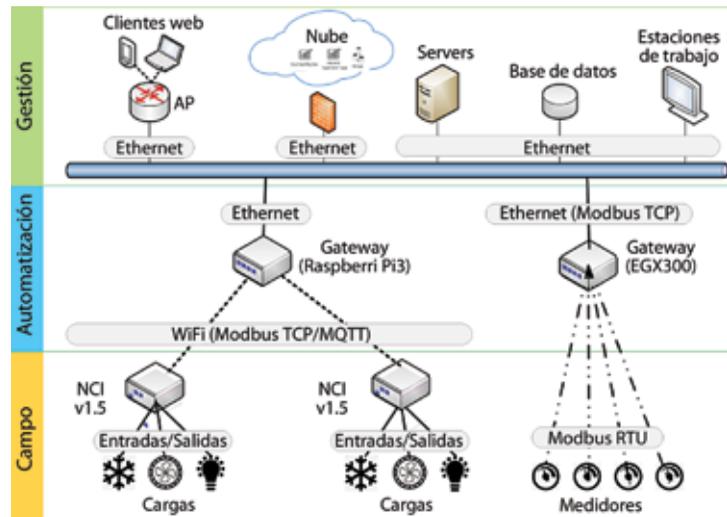


Figura 1. Arquitectura del SGEN con dispositivos IoT

divide en tres niveles según la funcionalidad de los dispositivos (ver figura 1):

- » Campo: adquisición de señales de dispositivo final
- » Automatización: controladores de procesos y gateways
- » Gestión: clientes de operación, servidores de datos, bases de datos y procesamiento en la nube

En el nivel de gestión se encuentra el SGEN que está basado en un software para el control de edificios compuesto por un servidor de datos y un cliente de visualización, ambos de la empresa *NETx Automation*, que implementa de manera nativa el protocolo de comunicaciones Modbus ya utilizado en la integración de los medidores de energía [9][10], además de otros protocolos como Bacnet, KNX, SNMP y OPC de amplia utilización en edificios. En este nivel también se encuentra la base de datos SQL y los clientes web del NETx BMS Server.



Figura 3. Interfaz gráfica de control del sector A

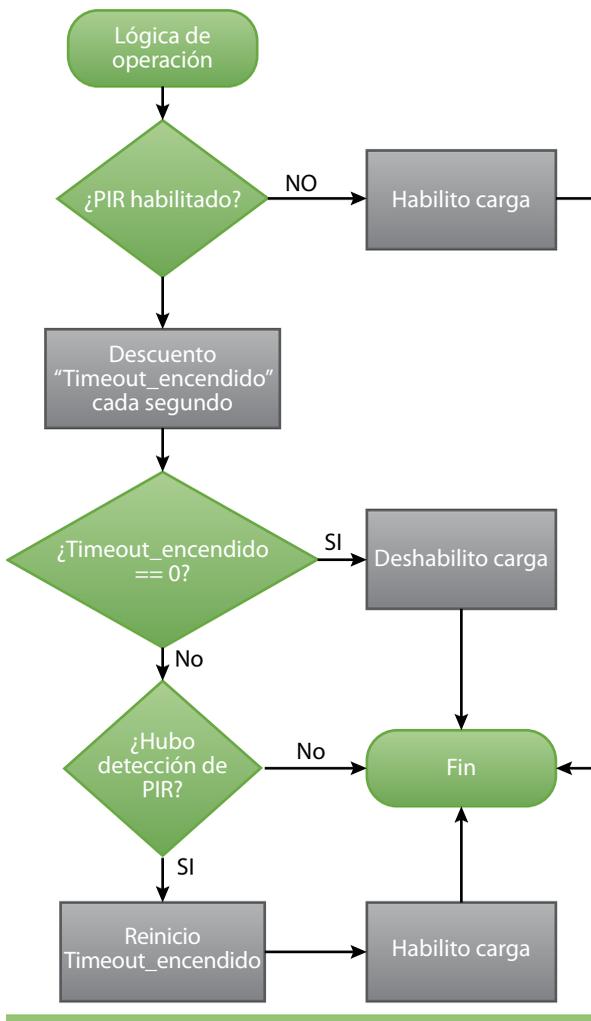


Figura 2. Esquema de funcionamiento de la detección de presencia

La infraestructura de red está preparada, además, para publicar los clientes web fuera de la red (no implementado en esta etapa del trabajo).

En el nivel de automatización se diferencia por un lado el gateway *EGX300*, de *Schneider Electric*, que transmite a través de la Intranet de la facultad los datos de los medidores de energía [9] y por el otro las Raspberry Pi, que gestionan y concentran los datos de los NCI v1.5 y los comunican con el SCADA.

El nivel de campo se dispone de ocho medidores de energía (uno general y siete subsectores) que se comunican con el gateway *EGX300* mediante Modbus RTU, y este al SGen a través Modbus TCP. Los datos se escriben en la base de datos SQL mediante *NETx BMS Server*.

Además, en este último nivel se encuentran los controladores de ambientes que se ven en mayor detalle en la sección "Hardware IoT". Los controladores, denominados "nodo de control inteligente v1.5 (NCI v1.5)", se comunican a través de la red wifi existente mediante Modbus TCP a los gateways. Estos últimos han sido desarrollados mediante *Raspberry Pi3*.

Estrategias de control

El objetivo del trabajo es proponer una estrategia de control para gestionar las cargas de uno de los sectores del edificio (sector A). Este sector en



Figura 4. Módulo NCI v1.5 instalado en las aulas de la FRSF (UTN)

particular se seleccionó por disponer de una tipología común (solo aulas) y de una gran cantidad de cargas relativamente concentradas. De las veinte aulas presentes en el sector, se intervinieron catorce mediante los NCI v1.5. En conjunto con las aulas intervenidas se dispone de monitoreo y comando de dieciséis equipos de climatización de tipo split de 6.000 frigorías, 96 luminarias de tubo fluorescente y 61 ventiladores de techo, totalizando una potencia instalada de 43 kilowatts.

En cada ambiente, la energización de las cargas se realiza automáticamente a través de la detección de presencia (detectores PIR) o manualmente mediante una interfaz gráfica (integrada en el NCI v1.5). El diagrama de funcionamiento del sensor infrarrojo pasivo (PIR) se puede ver en la figura 2.



Figura 6. Microcontrolador ESP8266EX/módulos ESP12F y 07

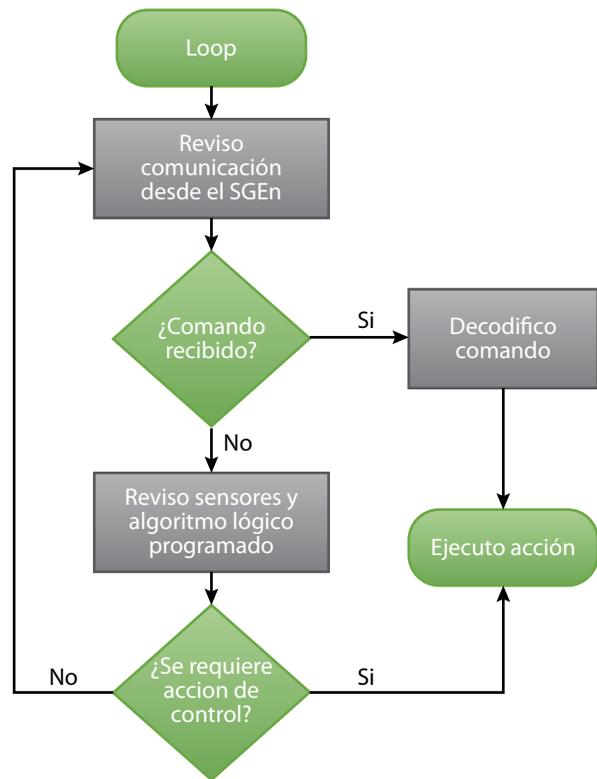


Figura 5. Esquema general de aplicación – Estructura de loop programado

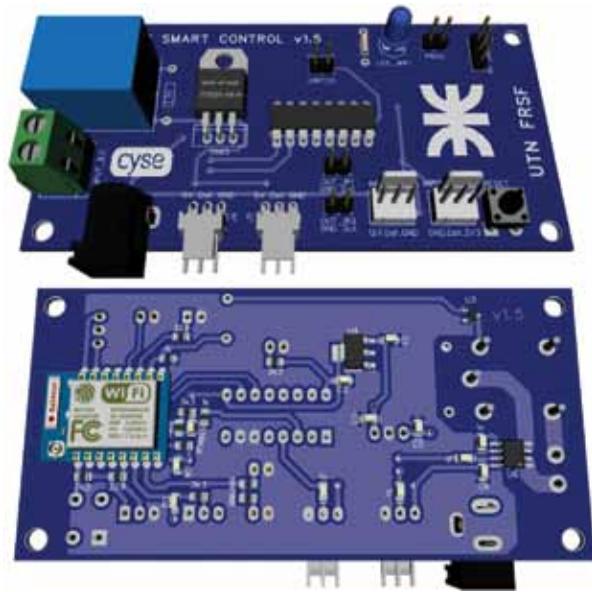


Figura 7. Vista 3D del PCB NCI v1.5 (vista superior e inferior)

Además, localmente se puede realizar el encendido/apagado de las cargas de iluminación y ventilación, previa habilitación de la energización. En cambio, para los equipos de climatización, los modos de operación (encendido-apagado, ventilación o configuraciones de temperatura) solo los podrá realizar el dispositivo NCI v1.5.

En el SGen, se diseñó una interfaz gráfica para cada sector (figura 3) que permite visualizar los estados y parámetros de las cargas y además cuenta con la posibilidad de modificar por grupos de ambientes los puntos de configuración de temperatura.

Nivel de campo – Hardware IoT

En el nivel inferior de la arquitectura planteada, se llevan a cabo las acciones finales de control y

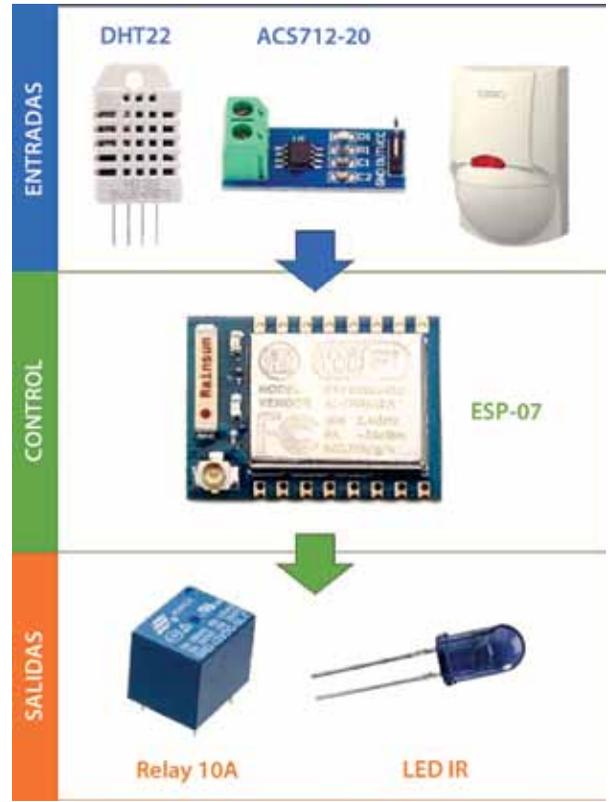


Figura 8. Esquema funcional NCI v1.5

monitoreo de las señales de interés en el proyecto. Para cumplir estas tareas específicas, se desarrolló el hardware NCI v1.5.

Los dispositivos se instalaron en las aulas del sector A (figura 4). La información sobre las variables ambientales y eléctricas se obtiene mediante la conexión de sensores y detectores (temperatura, humedad, corriente consumida por los equipos de aire acondicionado, iluminación y ventilación, presencia y movimiento de personas) al NCI v1.5.

Siguiendo un algoritmo de funcionamiento simple programado en cada dispositivo, se implementan las estrategias de control mencionadas en la sección anterior (figura 5). Además, cada NCI v1.5 indica en tiempo real el consumo energético de las cargas, mediante medidores de corriente locales.



Figura 9. Servidor web integrado en el controlador



Figura 10. Servidor web BackServer - Administración

Implementación y especificaciones

El desarrollo del hardware se centró en el uso del microcontrolador ESP8266EX (figura 6). Se trata de un sistema en chip (SoC) de bajo costo y altas prestaciones fabricado por la compañía china *Espressif Systems*. Su principal virtud es la integración de un stack TCP/IP completo, brindando la capacidad de comunicación vía wifi en forma simple y accesible.

En la actualidad existe una amplia familia de módulos integrados basados en el microcontrolador ESP8266EX que facilitan su aplicación en proyectos [12]. Entre ellos se optó por la versión *ESP-07* (figura 6), ya que se distingue por la disponibilidad de un conector on-board subminiatura tipo A (SMA) para

una antena externa [13], extendiendo el rango de cobertura en la comunicación wifi.

El circuito impreso implementado (figura 7) se elaboró a través del software *DipTrace*, mediante un diseño doble faz de cien por cincuenta milímetros (100 x 50 mm). Contiene al módulo ESP8266-07 y los conectores de entrada-salida necesarios para la conexión de los distintos sensores y actuadores empleados. Además, incluye las etapas de regulación de tensión, de acondicionamiento y multiplexado de las señales analógicas recibidas (dado que el microcontrolador cuenta con un único convertor analógico-digital); y, por último, la etapa de sensado de corriente y corte del circuito de ventilación e iluminación.

| Cargas | Cantidad de aulas | Cantidad de cargas | Potencia eléctrica | Potencia instalada | Consumo sin control | Consumo con control |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Luminaria fluorescente | 16 | 96 | 57,4 W | 5.510 kW | 25,35 kWh | 17,74 kWh |
| Ventiladores | | 61 | 90 W | 5.490 kW | 0 kWh | 0 kWh |
| Acondicionador de aire NCI v1.5 | | 16 | 2.000 W | 32.000 kW | 360 kWh | 252 kWh |
| | | 16 | 3 W | 0,048 kW | 0 kWh | 1,15 kWh |
| Potencia instalada | | | | 43.000 kW | | |
| Consumo diario total | | | | | 385,3 kWh | 270,9 kWh |
| Ahorro estimado | | | | | | 30% |

Tabla 1. Resumen de consumos en sector aulas y estimación de consumos sin control

Para el monitoreo y control de las variables de interés, el NCI v1.5 cuenta con (figura 8) sensor de temperatura y humedad ambiente; detector de movimiento; sensores de corriente; salida on/off mediante relay hasta diez amperes 220 volts alterna (10 A, 220 Vca), para el control del circuito de iluminación/ventilación, y salida IR, para el control del aire acondicionado, simulando el comando de su correspondiente control remoto.

La información registrada por los sensores, representativa del estado de cada ámbito analizado, se encuentra disponible en tiempo real para su visualización en forma local, a través de un servidor web integrado en cada módulo controlador (figura 9). A este servidor se puede acceder mediante la dirección IP asignada por el punto de acceso, desde cualquier dispositivo conectado a la misma red. Este brinda, además, la posibilidad de controlar las salidas del controlador y acceder a la administración del dispositivo, donde se realizan diversas configuraciones del sistema (ajustes de red, calibraciones, actualizaciones de firmware, modificaciones online del servidor web, entre otras).

También se dispone de la información de los sensores de manera global a través de los gateways (comunicados mediante protocolos Modbus TCP y

MQTT), los cuales recolectan la información de todos los controladores para su posterior reproducción en el SCADA general del SGEN.

El firmware programado en el módulo ESP8266-07, mediante la IDE Arduino, utiliza la librería BackServer como base para toda su operación [14]. Esta librería, desarrollada pensando en la futura expansión del SGEN, permite liberar al usuario de la programación de distintas acciones cotidianas involucradas en cualquier sistema integrado orientado a IoT implementado mediante el microcontrolador ESP8266. Se encarga de la óptima ejecución de la comunicación wifi, resolución automática de posibles inconvenientes en la red, gestión asincrónica de clientes, implementación de buses de comunicación industrial, actualizaciones de firmware online, seguridad de acceso, monitoreo de hardware y configuración de los parámetros básicos de interés mediante un servidor web integrado en la memoria del microcontrolador (figura 10), entre otras funciones.

Esta implementación permite cargar todos los módulos NCI v1.5 ensamblados (dieciséis en total en la primera etapa) con el mismo firmware, y luego personalizar los parámetros de configuración de cada uno de ellos (ID de dispositivo, SSID y clave de la red wifi, variables de calibración y configuración,

La propuesta presenta como principal ventaja un importante ahorro de energía con dispositivos de bajo costo y fácil implementación. Incorporándose a una arquitectura escalable y con nodos de control flexibles.

etc.) a través del servidor web de manera ágil y rápida. También permite la posterior actualización del firmware de todos los módulos vía wifi, desde cualquier dispositivo conectado a la red.

Resultados

Para la evaluación de las estrategias de control se analizaron las mediciones obtenidas a través de los medidores de energía de cada sector y de los NCI v1.5 (figura 1).

Para analizar los beneficios de la propuesta se tomaron como referencia los días de mayor ocupación y temperatura en el sector aulas. En la tabla 1, se muestra un resumen de la potencia instalada en las catorce aulas estudiadas. Se tomó para el estudio el día 14 de marzo de 2018, donde la temperatura máxima fue de 35,8 grados centígrados y las aulas estuvieron con su mayor ocupación.

La energía consumida con el sistema de control propuesto fue de 270,9 kilowatts-hora, con jornada de catorce horas (de 8 a 22 h) y climatización solo con acondicionadores de aire configurados en modo auto y a veinticuatro grados (24 °C). Para el mismo día se estimó un ahorro de energía de aproximadamente un treinta por ciento (30%), considerando un mayor tiempo de encendido de las cargas basado en los modos de uso de los ambientes bajo estudio.

El consumo propio de los controles se puede despreciar frente a los ahorros considerados, ya que ronda el 0,54 por ciento del consumo diario presentado.

Conclusiones

La propuesta presenta como principal ventaja un importante ahorro de energía con dispositivos de bajo costo y fácil implementación. Incorporándose a una arquitectura escalable y con nodos de control flexibles.

El diseño de los NCI v1.5 se basa en el concepto de IoT y posee una baja complejidad de adaptación a otros ambientes.

La característica de procesamiento y la ubicación dentro de la arquitectura propuesta de los gateways permite la posibilidad de potenciar sus funcionalidades, por ejemplo, centralizar la toma de decisiones para el control de los puntos de configuración de temperatura en función de la tendencia del consumo en el sector.

Referencias

- [1] "Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21)", Renewables 2017, Global Status Report, 2017.
- [2] TuanAnh N., Aiello M. Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Building* 2008;56:244-257.
- [3] Colmenar-Santos A., Terán de Lober L. N., Borge-Die D., Castro-Gil M. Solutions to reduce energy consumption in the management of large building. *Energy and Building* 2012; in press.
- [4] Chua K. J., Chou S. K., Yang W. M., Yan J. Achieving better energy-efficient air conditioning – A review of technologies and strategies. *Applied Energy* 2013; 104:87-104.
- [5] Wong J. K. W., Li H., Wang S. W. Intelligent building research: a review. *Automation in Construcción* 2005; 14:143-159.
- [6] A. H. Oti, E. Kurul, F. Cheung, and J. H. M. Tah, "A framework for the utilization of building management system data in building information models for building design and operation," *Autom. Construct.*, vol. 72, pp. 195–210, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.08.043.
- [7] Tragos, E. Z. et al., "An IoT based intelligent building management system for ambient assisted living," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshop (ICCW)*, London, U.K., Jun. 2015, pp. 246–252, doi: 10.1109/ICCW.2015.7247186.
- [8] Minoli D.; Sohraby K. y Occhiogrosso B. IoT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings—Energy Optimization and Next-Generation Building Management Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 1, feb. 2017.
- [9] P. Gaspoz, V. Cappannari. "Medición de consumos a través de un Sistema de Gestión de Edificios en la UTN Santa Fe". *Jornadas de Jóvenes Investigadores Tecnológicos 2016* (2016). Santa Fe, Argentina, Nov. 2016.
- [10] Gaspoz, P. y Robaina, F. "Racionalización de consumos de energía eléctrica de los equipos de climatización mediante un Sistema de Gestión de la Energía en el edificio de la UTN FRSF". *Jornada de Investigadores Tecnológicos (JIT) 2017*, Reconquista, Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Reconquista, 25 de Agosto de 2017.
- [11] ESP8266 Datasheet – Versión 5.8 (2018)
- [12] ESP8266 Modules. <https://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family>
- [13] ESP-07 WiFi Module https://www.mikrocontroller.net/attachment/338570/Ai-thinker_ESP-07_WIFI_Module-EN.pdf
- [14] Nicolau, M., Regalini, R., Furlani, R., Torres, J., Gaspoz, P. "BackServer: integral library of configuration, communication and operation, oriented to IoT projects based on the ESP8266 microcontroller", CASE Ago. 2018, in press.

Nota del editor. La nota aquí reproducida fue originalmente presentada por los autores como artículo de investigación en el congreso desarrollado en el marco de AADECA '18