



Received: 24-05-2018
Accepted: 28-07-2018

Anales de Edificación
Vol. 4, Nº 2, 1-8 (2018)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2018.3772

Internet de las cosas y plataformas de código abierto como herramientas de apoyo para la construcción 4.0. Internet of things and open source platforms as support tools for construction 4.0.

Alexander Martín-Garín^a, José Antonio Millán-García^a, José María Sala-Lizarraga^a, Juan María Hidalgo-Betanzos^a, Abdherraman Bāiri^b

^aUniversity of the Basque Country UPV/EHU (alexander.martin@ehu.eus; j.millan@ehu.eus; josemariapedro.sala@ehu.eus; juanmaria.hidalgo@ehu.eus), ^bUniversity of Paris (bairi.a@gmail.com)

Resumen— Hoy en día, las ciudades están experimentando radicales cambios operacionales. Estos nuevos modelos conocidos como Smart Cities tienen como objetivo mejorar la calidad de vida de los ciudadanos mediante el uso de datos recopilados sobre el entorno a través del uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Además, el Internet of Things (IoT) es una de las grandes tecnologías que respalda a las Smart Cities para lograr estos objetivos. A su vez, una de las líneas de investigación que está adquiriendo gran relevancia está relacionada con las tendencias de aplicación de software y hardware abiertos. Una de estas ramas son las bien conocidas Plataformas de Código Abierto (OSP), que permite el desarrollo de proyectos de desarrollo propio (DIY). Gracias a ello, actualmente es posible llevar a cabo proyectos y soluciones que hasta ahora difícilmente eran posibles hacer realidad. El presente trabajo muestra una de las líneas de investigación que se está llevando a cabo desde el grupo en el ámbito de la monitorización y automatización de los edificios a través de la combinación de las OSP y el IoT. Además de mostrar las posibilidades de desarrollo existentes se presentará un caso práctico de esta tecnología que se llevó a cabo durante el proceso de monitorización energética en el edificio San Roke 32 de Donostia-San Sebastián rehabilitado bajo los criterios Passivhaus.

Palabras clave— Plataformas de Código Abierto; Internet de las Cosas; Monitorización de edificios.

Abstract- Today, cities are experiencing radical operational changes. These new models known as Smart Cities aim to improve the quality of citizens life using data collected about the environment through the use of Information and Communication Technologies (ICT). In addition, the Internet of Things (IoT) is one of the great technologies that supports Smart Cities to achieve these objectives. At the same time, one of the research lines that is becoming very relevant is related to open software and hardware application trends. One of these branches are the well-known Open Source Platforms (OSP), which allows the development of self-developed projects (DIY). Thanks to this, it is now possible to carry out projects and solutions that until now were hardly possible to achieve. The present work shows one of the lines of research that is being carried out from the group in the field of monitoring and automation of buildings through the combination of the OSP and the IoT. In addition to showing the existing development possibilities, a practical case of this technology will be presented, which was carried out during the energy monitoring process in the San Roke 32 building in Donostia-San Sebastián, rehabilitated under the Passivhaus criteria.

Index Terms— Open Source Platforms; Internet of Things; Monitoring of buildings.

I. INTRODUCCIÓN

Tal y como indica Cisco (Dave, 2011), el IoT es el punto en el que hay más “objetos o cosas” conectadas a Internet que personas. La compañía indica que este punto ocurrió entre el año 2008 y el 2009 con el crecimiento exponencial del uso de smartphones y tablets. El IoT es el paradigma tecnológico destinado a aumentar la conectividad de los dispositivos cotidianos. Es por eso que en los próximos años el crecimiento y uso de este tipo de tecnología aumentará exponencialmente debido a su aplicación en múltiples campos. Tal es el crecimiento previsto que los actualmente estimados 6,4 mil millones de dispositivos de IoT en uso aumentarán a un total de entre 20,8 (Says, 2015) y 50 (Dave, 2011) billones para 2020. El IoT gira en torno a un aumento de la comunicación máquina a máquina (M2M) y abarca dispositivos inalámbricos, sensores integrados y actuadores que ayudan a los usuarios a monitorear y controlar dispositivos de forma remota y eficiente (Ashraf et al., 2015). En este nuevo paradigma, los dispositivos inteligentes recopilarán datos, transmitirán información entre sí, y procesarán información de manera colaborativa utilizando la computación en la nube y tecnologías similares. Finalmente, los usuarios, o las propias máquinas automáticamente, tomarán una decisión para actuar en función de dicha información. Este cambio de paradigma crea numerosos desafíos y oportunidades para la ingeniería (Chen, 2012).

Por otro lado, la filosofía o metodologías de trabajo basadas en las Open-Source tienen como objetivo común la libre distribución de conocimiento. Esto permite que dicho conocimiento mejore al poder ser consultado por toda la comunidad y realizar aportes que aumenten su calidad. En el ámbito en el que nos ocupa, las OSP permiten el desarrollo y el hacer uso de múltiples herramientas para su aplicación en diversas líneas de investigación. Todo esto es posible gracias al soporte existente en la comunidad a través de distintos foros en los que se sigue la filosofía de distribución libre del conocimiento (D'Ausilio, 2012). De esta manera, la curva de aprendizaje de herramientas Open-Source, respecto a sistemas comerciales, es mucho más rápida debido a la transparencia, accesibilidad al código e implicación de la comunidad en la mejora del mismo.

Tal como demuestra Pearce (Pearce, 2012) las OSP son una herramienta ideal para el desarrollo de equipamiento científico de investigación, transformándose así en una herramienta claramente transdisciplinar. Otro de los aspectos a destacar es que a medida que aumenta la complejidad de los equipamientos Open-Source desarrollados, la diferencia de coste frente a un equipo comercial aumenta sustancialmente. A su vez se debe de tener en consideración que en ocasiones se desean realizar

equipamientos tan específicos que únicamente se pueden desarrollar con plataformas abiertas gracias a su libertad de desarrollo, aspecto que sería inviable mediante sistemas comerciales.

Existen gran cantidad de disciplinas donde se están aplicando estas herramientas y a su vez obteniendo extraordinarios resultados. Barroca et al. (Barroca et al., 2013) desarrollaron un equipo para el seguimiento de la evolución de los perfiles de temperatura y humedad en el proceso de curado y endurecimiento del hormigón debido a su importancia para la calidad en la fabricación de estructuras. Claros-Marfil et al. (Claros-Marfil et al., 2016) llevaron a cabo un sistema de control y adquisición de datos para mejorar el funcionamiento de una ventana activa con cámara de agua circulante. Para ello hicieron uso de una serie de sensores y actuadores implementados en un prototipo y que a través de un algoritmo de programación se conseguía mejorar la eficiencia del sistema. Todo ello con el objetivo de su aplicación como fuente de energía renovable para la edificación. Mesas-Carrascosa et al. (Mesas-Carrascosa et al., 2016) también hizo uso de la plataforma Arduino y sensores DHT22 para el seguimiento de las condiciones ambientales de la Mezquita-Catedral de Córdoba. Gracias a ello detectó claramente como las condiciones climáticas exteriores estaban afectando a las condiciones interiores. A su vez descubrió que la razón de las diferencias de comportamiento higrotérmico que se producían dentro del recinto se generaban por las mayor o menor protección en las puertas de entrada y salida al recinto y las corrientes de aire que se generaban en las mismas.

Como se puede observar, las OSP son una tecnología presente en diversas disciplinas. No cabe duda de que este tipo de plataformas se van a convertir en una herramienta indispensable para el desarrollo de todo tipo de proyectos y que por lo tanto la investigación en este ámbito resulta de gran interés para la comunidad.

En definitiva, el IoT es una herramienta imprescindible para muchos campos de trabajo e investigación. A su vez, el IoT combinado con las OSP se transforma en una poderosa tecnología que permite al usuario tanto el desarrollo propio de sistemas como la comprensión y la toma de decisiones a tiempo real sobre el entorno que lo rodea. Este aspecto, como se ha visto, se está convirtiendo fundamental en los últimos tiempos.

II. ESTUDIO

A. Objetivo

El objetivo de la presente investigación consiste en mostrar el gran potencial ofrecido por las herramientas IoT y OSP

aplicadas al sector de la edificación. Para ello se va a proceder a desarrollar un caso de estudio que se ha llevado a cabo con dichas herramientas (Martín-Garín et al., 2018). A parte del sistema innovador que va a ser mostrado, la esencia de la presente comunicación estriba en la capacidad que brindan dichas plataformas para el libre desarrollo físico de cualquier idea. Es decir, exponer las virtudes de estas plataformas para solventar los posibles hándicaps en múltiples entornos.



Fig. 1. Necesidades de los nuevos equipos de monitorización.

De esta manera, y a modo de ejemplo, algunos los límites detectados en experiencias previas del grupo de investigación permitieron detectar ciertas brechas, problemas y alternativas en el sector de la monitorización de los edificios. Dispositivos de monitorización con un número limitado de variables de medición, altos costes de adquisición de equipamientos, necesidad de utilizar diferentes plataformas o equipamientos para realzar mediciones o no disponer la posibilidad de consultar los datos registrados en tiempo real suelen ser algunos de los inconvenientes más comunes que se presentan en las

campañas de monitorización. Estas razones han motivado el desarrollo de la presente investigación con el objetivo de solventar los desafíos existentes en el sector de la monitorización, Figura 1. Para ello y para desarrollar un sistema innovador en el ámbito de las Smart Cities, resulta esencial la combinación de las anteriormente mencionadas herramientas y tecnologías emergentes, las OSP y el IoT.

B. Metodología

Con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del equipo de monitorización, se decidió implementar el sistema en una vivienda. Dicho caso de estudio se ubica en un edificio en la ciudad de Donostia-San Sebastián, Figura 2, que ha sido rehabilitado energéticamente bajo los principios del estándar Passivhaus y que pertenece a uno de los casos de estudio del Programa Europeo EuroPHit del Passivhaus Institute.

C. Desarrollo del equipo

En la actualidad existe una gran diversidad de sistemas de medición y sensores con diferentes grados de sofisticación y funcionalidad. La elección de la mejor solución dependerá de múltiples factores y de las necesidades específicas del proyecto. En este caso el proyecto debe de cumplir con los siguientes requisitos:

- Consistir en un sistema no invasivo.
- Ser un sistema de bajo coste de desarrollo.
- Que el sistema otorgue libertad de desarrollo para diseñar un equipo a medida.
- Sistema de transmisión inalámbrico.
- Seguridad mediante almacenamiento físico de los datos en caso de pérdida de conexión inalámbrica o de alimentación.

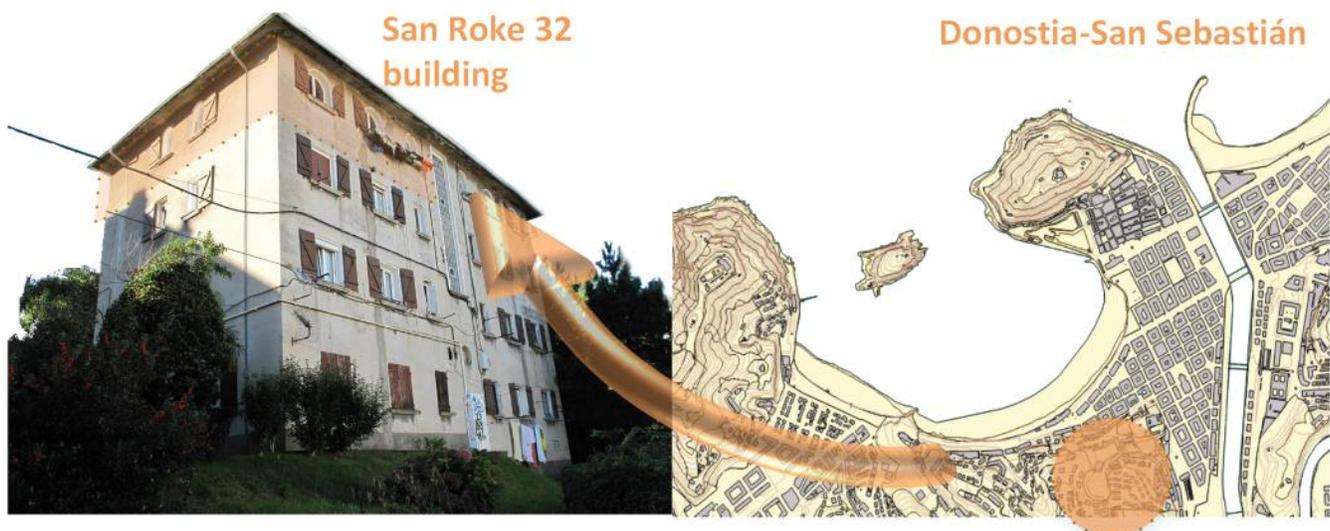


Fig. 2. Edificio San Roke 32 de Donostia-San Sebastián, caso de estudio.

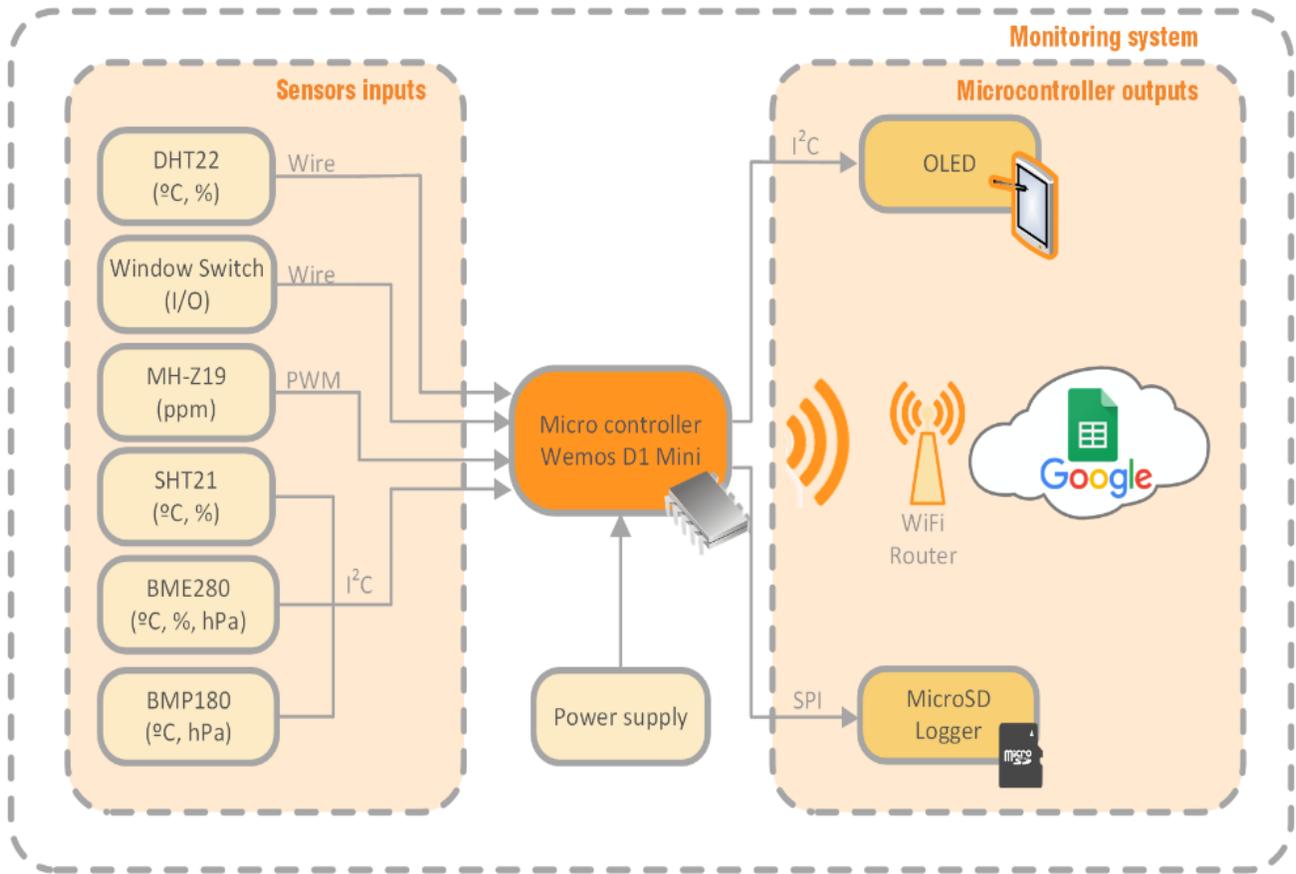


Fig. 3. Arquitectura y protocolos de comunicación del equipo de monitorización.

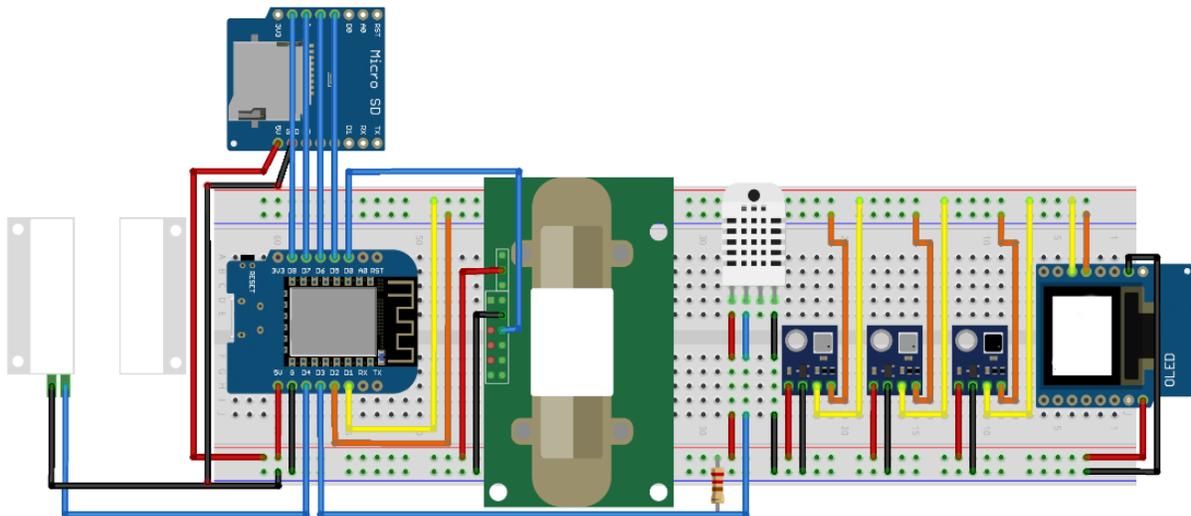


Fig. 4. Diagrama de cableado del prototipo desarrollado.

- Alta capacidad de almacenamiento de información.
- Disponer la posibilidad de poder consultar a tiempo real la información tanto in situ como online.

El sistema queda definido mediante la Figura 3 y Figura 4 así como el equipo completamente desarrollado Figura 5.

Principalmente el sistema consiste en un microcontrolador que tiene dos funciones. Por un lado, se encontrarían las entradas de información realizadas mediante una serie de sensores. En este caso se decidió emplear varios modelos de sensores de temperatura y humedad (DHT22, SHT21), a la vez que de

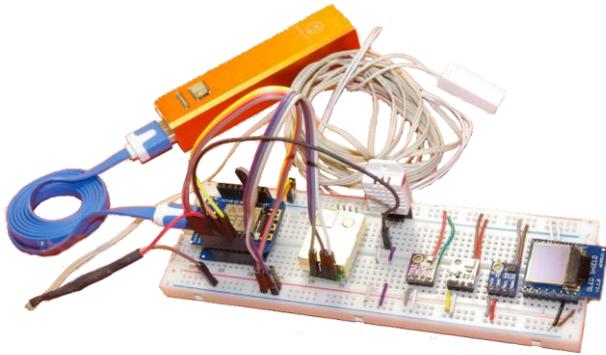


Fig. 5. Equipo de monitorización desarrollado.

presión atmosférica (BMP180, BME280) y un sensor de CO₂ (MH-Z19), todo ello con objeto de medir las condiciones ambientales del interior y exterior de la vivienda. Destacar que también se creyó conveniente incluir un sensor de apertura de ventana para detectar su influencia sobre la Calidad del Aire Interior, CAI. Por otro lado, con el objeto de poder reflejar la información recopilada se han dispuesto tres tipos de salidas: una pantalla OLED para poder consultar in situ la información, un lector microSD como método de almacenamiento de alta capacidad de 8Gb (ampliable hasta 32 Gb) y un envío de la información a la nube a una plataforma desarrollada específicamente para la consulta y almacenamiento de los datos registrados. Cabe informar que tanto las entradas y salidas de

información disponen de distintos protocolos de comunicación con el microcontrolador para poder transmitir los datos registrados (Wire, PWM, I2C, SPI). Otro de los aspectos primordiales es la alimentación del equipo. Para ello se conecta directamente a la corriente de la vivienda mediante un transformador de 5V y con el objeto de garantizar el registro continuo de los datos en caso de caída de red se procedió a implementar un sistema de seguridad de 2200 mAh que ofrecía una autonomía de 141 horas según el consumo energético medio de 15.54 mAh que fue cuantificado y optimizado, Figura 6.

III. RESULTADOS

Entre los valores monitorizados, se muestran algunos de ellos mediante la Figura 7, que refleja tanto los registros de temperatura interior/exterior y como la concentración de CO₂ reflejando así la CAI. Las gráficas combinan a su vez el estado de apertura de ventana mediante el Switch sensor que se había instalado, ofreciendo un valor de 1 cuando estaba abierta y siendo su valor nulo en caso de estar cerrada. Destacar el inmediato descenso de concentración de CO₂ que se produce en tres ocasiones y que se produce como consecuencia de la apertura de la ventana, dando como resultado un valor de concentración interior cercano a los 400 ppm. Efecto similar ocurre con la temperatura interior cuyo valor desciende de manera evidente como consecuencia de producirse la entrada

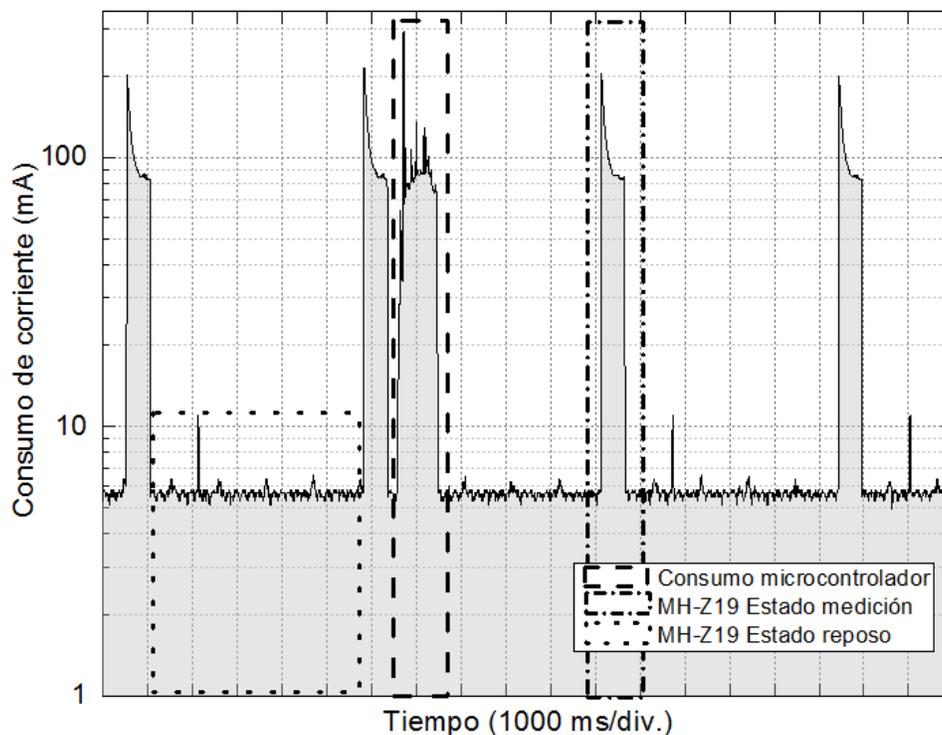


Fig. 6. Patrón de consumo energético detectado en el análisis realizado en el equipo de monitorización.

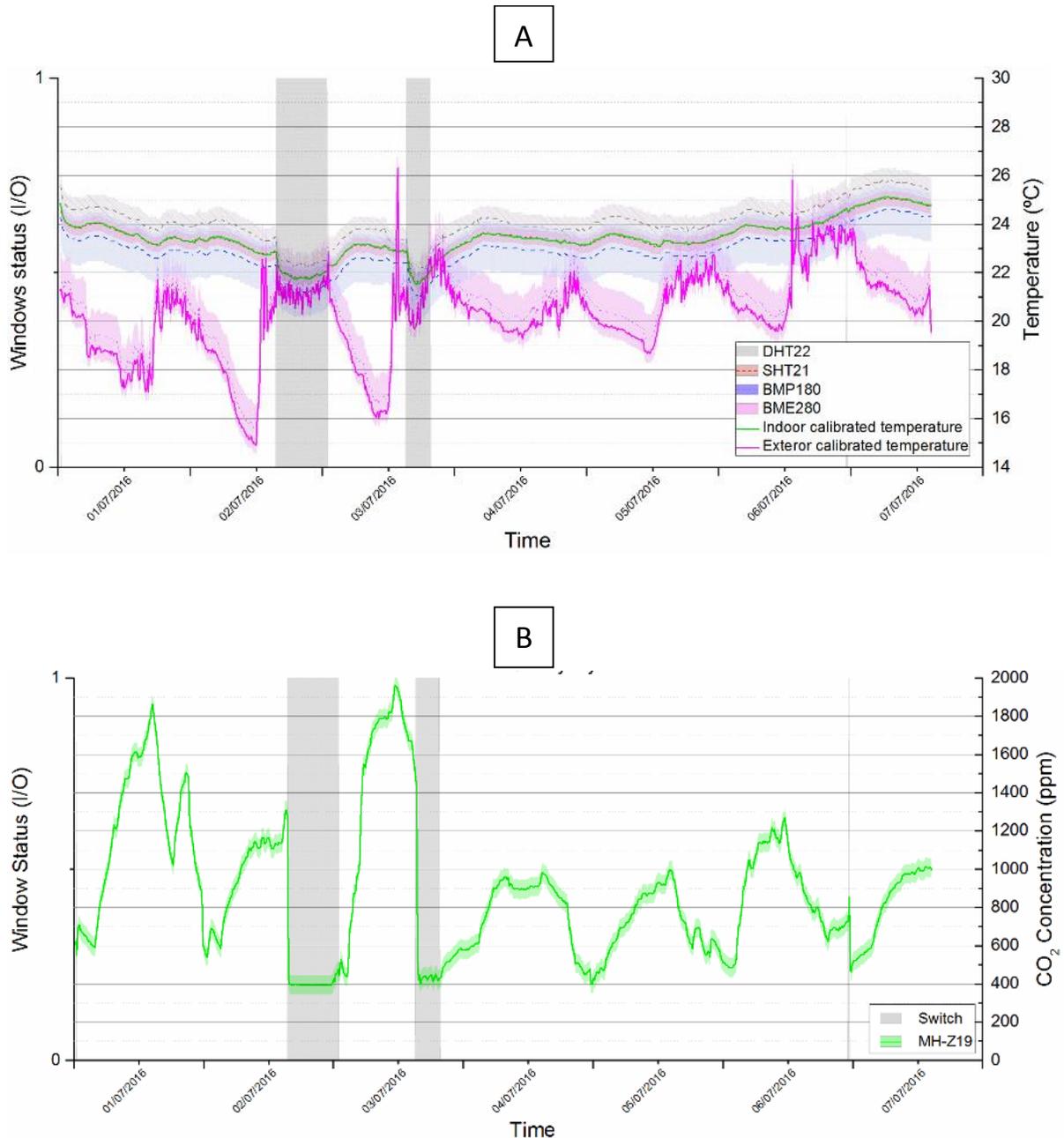


Fig. 7. Valores registrados en la vivienda mediante el equipo de monitorización desarrollado: A) Temperatura B) Concentración de CO₂.

de aire exterior que se encuentra a temperatura más baja.

Por otro lado, la Figura 8 muestra la apariencia de la plataforma web de monitorización desarrollada para la visualización de los datos registrados. Resulta interesante mencionar la gran libertad existente para el diseño de la misma siendo muy amplia la variedad de gráficas a poder usar para la representación de los datos registrados. Es reseñable a su vez la posibilidad tanto poder otorgar acceso restringido a dicha información y ofrecer a su vez la descarga directa de los datos almacenados en formato .csv.

IV. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

La presente investigación tenía como objetivo mostrar el potencial existente mediante la aplicación en combinación de las tecnologías OSP y el IoT en el sector de la edificación. Se ha mostrado a través del caso de estudio de monitorización que dichas herramientas han permitido el desarrollo de un equipo que no había sido posible disponer mediante equipos comerciales de una manera técnica y económicamente viable. El equipo desarrollado ha sabido ofrecer una excelente



Fig. 8. Panel de monitorización a tiempo real desarrollado.

respuesta y reflejar las posibilidades que ofrece tanto el ámbito específico de la monitorización como de muchos otros.

Por otro lado, el estudio se ha centrado en el empleo de un cierto tipo de sensores, pero también se ha comprobado que es factible el uso de sensores de iluminación, presencia, flujo de corriente eléctrica, flujo de agua, termistores, termopares... todos ellos muy útiles en el ámbito de las Smart Cities. También es posible la implantación de actuadores (relés, calefactores, válvulas solenoides, motores) que permitan dar respuesta en función de otra variable como puede ser un sensor y así desarrollar sistemas inteligentes basados en el concepto M2M permitiendo así la automatización de procesos. A modo de ejemplo, en investigaciones paralelas se ha desarrollado un equipo para la evaluación del comportamiento higratérmico de cerramientos de construcción mediante la construcción de un recinto de condiciones de temperatura y humedad controladas, Figura 9. El equipo está compuesto por relés que actúan sobre sistemas de control de temperatura y humedad (resistencia eléctrica, humidificador, deshumidificador) regulados mediante PID en función de los valores ofrecidos por los sensores de temperatura y humedad y la consigna indicada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la disponibilidad ofrecida por los propietarios del apartamento evaluado. Agradecen también a Rehabilitaciones y Contratas IGARAN S.L y A + O Arquitectos por su participación e interés mostrado durante el presente estudio.

Además, queremos reconocer al Laboratorio de Control de Calidad de Edificios del Gobierno Vasco y a los colegas del Grupo de Investigación ENEDI de la Universidad del País Vasco UPV / EHU por su valioso apoyo técnico.

Este trabajo ha sido financiado por el Programa de Formación de Investigadores del Departamento de Educación, Política Lingüística y Cultura del Gobierno Vasco (España), con la beca de doctorado PRE_2016_2_0178.

REFERENCIAS

Ashraf, Q.M., Yusoff, M.I.M., Azman, A.A., Nor, N.M., Fuzi, N.A.A., Saharedan, M.S. et al. (2015). Energy monitoring prototype for Internet of Things: Preliminary results, IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2015 - Proceedings, pp. 1-5, ISBN: 978-1-5090-0366-2.

Barroca, N., Borges, L.M., Velez, F.J., Monteiro, F., Górski, M., Castro-Gomes, J. (2013). Wireless sensor networks for temperature and humidity monitoring within concrete structures, Construction and Building Materials. 40, 1156-1166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.087>.

Chen, Y. (2012). Challenges and opportunities of internet of things, 17th Asia and South Pacific Design Automation Conference, IEEE, pp. 383-388, ISBN: 978-1-4673-0772-7.

Claros-Marfil, L.J., Padiá, J.F., Lauret, B. (2016). A new and inexpensive open source data acquisition and controller

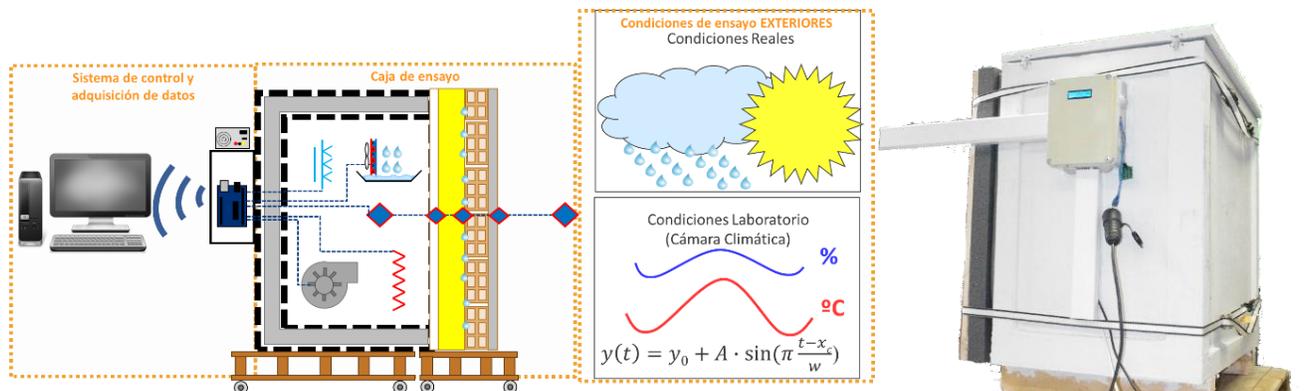


Fig. 9. Equipo para la evaluación higratérmica de envoltentes basado en OSP y en el IoT.

for solar research: Application to a water-flow glazing, *Renewable Energy*. 92 (2016) 450-461. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.037>.

D'Ausilio, A. (2012). Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment, *Behavior Research Methods*. 44, 305-313. <http://dx.doi.org/10.3758/s13428-011-0163-z>.

Dave, E. (2011). The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf (acceso 14 de noviembre de 2017).

Martín-Garín, A., Millán-García, J.A., Bañri, A., Millán-Medel, J., Sala-Lizarraga, J.M. (2018). Environmental monitoring system based on an Open Source Platform and the Internet of Things for a building energy retrofit, *Automation in Construction*. 87, 201-214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.017>.

Mesas-Carrascosa, F.J., Verdú Santano, D., de Larriva, J.E.M., Ortíz Cordero, R., Hidalgo Fernández, R.E., García-Ferrer, A. (2016). Monitoring heritage buildings with open source hardware sensors: A case study of the mosque-cathedral of Córdoba, *Sensors*. 16. <http://dx.doi.org/10.3390/s16101620>.

Pearce, J.M. (2012). Building research equipment with free, open-source hardware, *Science*. 337, 1303-1304. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1228183>.

Says, G. (2015). 6.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015. Gartner, Inc. <http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317> (acceso 14 de noviembre de 2017).



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.