

IoT Based Ambient Monitoring System for Intelligent Buildings

Díaz-Reséndiz J.L., Guerrero-Sánchez A.E., Toledano-Ayala M., and Rivas-Araiza E.A.

Abstract— One of the major application for IoT technologies are Smart Cities and intelligent Buildings (IB). Development of smart devices and systems for IB allow important energy savings, better comfort for their occupants and improve security, among others. Implementation of IoT paradigm in Building Management Systems (BMS) improve and expand their capabilities compared with traditional approaches. For this reason, an appropriate selection of the architecture platform for IoT is required to meet the requirements of scalability, manageability and data storage and visualization. In this work, an IoT based monitoring system for ambient variables in IB is presented. Variables considered are temperature, relative humidity and carbon dioxide concentration. The developed system has proven to be efficient, versatile and affordable.

keywords—Internet of Things, Wireless Application Protocol, Wireless Sensor Networks, Intelligent Building.

I. INTRODUCCIÓN

INTERNET de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es un término empleado para describir sistemas que conectan grandes cantidades dispositivos heterogéneos con capacidades de medición, accionamiento, procesamiento y de comunicaciones que utilizan el Internet como la columna vertebral del sistema. De este modo se habilita el intercambio de datos entre distintos tipos de dispositivos de manera colaborativa para crear un ambiente inteligente que provee servicios distribuidos de monitoreo y control. Esta tecnología ha tomado gran relevancia motivada por su potencial de aplicación en los sectores energético, transporte y logística, agricultura, alimentos, finanzas, cuidado de la salud, manufactura, ciudades y edificios inteligentes, por citar algunos [1]. Una estimación realizada por Cisco prevé que para el año 2020 habrá 50 billones de dispositivos IoT [2], de lo anterior se puede establecer que la tecnología IoT tendrá un gran impacto en la vida diaria en el futuro cercano.

Entre las aplicaciones más destacadas del uso de tecnologías IoT se encuentran las ciudades inteligentes y los edificios inteligentes [3]. En el caso de los edificios inteligentes (intelligent buildings) el uso de tecnologías de IoT mejoran la funcionalidad y capacidad de los sistemas para aplicaciones de monitoreo, administración y optimización de recursos del edificio, de tal forma que confieren mayor efectividad a los

sistemas de administración de edificios (Building Management System, BMS) [3]. Los BMS proveen mayor seguridad, confort y eficiencia en el interior del edificio a partir del monitoreo y automatización de sistemas de iluminación, aire acondicionado, control de acceso, video vigilancia y consumo de energía. De tal forma que se obtiene reducción en el consumo de energía, mejoramiento de calidad del aire, mayor seguridad y control de acceso, por mencionar algunos ejemplos. Para ello se emplean una gran variedad de dispositivos inteligentes para medición de variables ambientales como temperatura, humedad, concentración de CO₂, iluminación, velocidad del viento, movimiento, presencia humana para procesar datos y efectuar acciones de automatización o control de acuerdo a un criterio establecido [4]. La tecnología IoT al ser una tendencia se encuentra en constante evolución de tal forma que es posible encontrar una variedad de arquitecturas aplicadas a IoT, protocolos de aplicación, middleware orientado a mensajes, así como infraestructura de red (WiFi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, Sigfox, entre otros). Por lo cual seleccionar los componentes más adecuados para un sistema IoT es un reto que tienen que asumir los desarrolladores de aplicaciones para IoT, de tal manera que se pueda lograr un sistema altamente funcional, eficiente, estable y robusto que permita la escalabilidad y administrabilidad del sistema.

Por lo anterior, en este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema IoT para la medición y monitoreo de parámetros ambientales de temperatura, humedad y concentración de gas CO₂. Se describen los componentes de hardware y software necesarios para medición de las variables, conectividad de los nodos en la red, mecanismo para intercambio de mensajes y herramientas para desarrollo de interface hombre-máquina. El sistema desarrollado está pensado para su aplicación como parte de un BMS en un edificio de oficinas ubicado en la Universidad Autónoma de Querétaro, la selección de dichas variables está considerada debido a que son aspectos ambientales que están en contacto con la vida diaria del ser humano y están relacionadas con su salud.

II. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

En la literatura se han reportado trabajos sobre redes de sensores inteligentes (WSN) conectados al Internet de las Cosas orientados a la medición y monitoreo de variables ambientales

Este proyecto se ha realizado gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México, FOMIX-QRO-2016-2 279773”.

Díaz-Reséndiz J.L., Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Instituto Tecnológico de Querétaro (e-mail: jose19393@gmail.com).

A.E. Guerrero-Sánchez, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro (e-mail: eliza_xeww@hotmail.com).

Toledano-Ayala M Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro (e-mail: toledano@uaq.mx).

E.A. Rivas-Araiza, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro (e-mail: erivas@uaq.mx).

de temperatura, humedad y concentración de gases CO₂. El monitoreo de los parámetros anteriores en el interior de un edificio es un componente fundamental de un sistema de automatización para edificios (BAS, por sus siglas en inglés) ya que a partir de los datos obtenidos permite la interacción con dispositivos actuadores para regular las variables ambientales para proveer mayor confort, calidad de aire, ahorro de energía y bienestar para sus ocupantes.

El trabajo realizado por Jalpa y Biswajit [5] presenta una plataforma de medición y monitoreo inalámbrico bajo el concepto de IoT que permite recopilar datos sobre temperatura, humedad e iluminación. En dicho trabajo se describen los elementos de hardware necesarios para desarrollar un nodo IoT que presenta datos al usuario por medio de una interfaz gráfica desarrollada en LabView donde se despliega de forma gráfica y numérica los datos recabados por los dispositivos, además se transfieren a un servidor de base de datos MySQL. Las características IoT del sistema propuesto se derivan de la implementación de una API PHP en un servidor web, el cual se conecta a la base de datos MySQL y entrega los datos en formato plano en una página HTML por medio de JSON. La interface entre el nodo IoT y el equipo se realiza usando un transceptor de RF operando en frecuencia de 2.4 GHz, modelo nRF24L01, creando un enlace inalámbrico de bajo consumo de potencia. El uso del transceptor permite un consumo de energía bajo, pero limita la escalabilidad y funcionalidad del sistema al emplear un mecanismo de enlace definido por los propios autores, además de que la adquisición y presentación de los datos recae en el software LabView y no se exploran otras herramientas informáticas para mejorar la escalabilidad, administrabilidad y presentación de los datos con servicios web.

En [6], se presenta un dispositivo de bajo costo para monitoreo de temperatura, humedad e iluminación que emplea una interface inalámbrica usando WiFi con el módulo ESP8266, mientras que el transporte de datos se realiza empleando el conocido protocolo de aplicación MQTT. La visualización de los datos se realiza por medio del DashBoard Adafruit IO, de tal forma que se obtiene una interfaz de usuario amigable y el uso del protocolo MQTT permite la integración de un mayor número de nodos IoT de manera sencilla con unas pocas modificaciones. En [7] se presenta una red de sensores inalámbrica (WSN) bajo el concepto de IoT con tecnología ZigBee para monitoreo de las condiciones ambientales en un entorno ubicuo para vida ambiental asistida (AAL, por sus siglas en inglés). Para ello utilizan una red de sensores ZigBee, cada nodo comprende de una tarjeta Arduino UNO, un módulo XBee y dispone de un sensor de temperatura y humedad tipo DHT11. El coordinador ZigBee se conecta a una computadora embebida Raspberry Pi que actúa como una puerta de enlace (Gateway) hacia una red WiFi. Los datos obtenidos por la tarjeta Raspberry Pi se reenvían a un sistema supervisorio ScadaBR conectado a Internet para su almacenamiento en una base de datos MySQL, mismo que es el encargado de atender las solicitudes de datos remotas. Para ofrecer una interface humano-máquina los autores desarrollaron una aplicación en Java, donde los usuarios pueden consultar los datos de temperatura y humedad en diferentes áreas. El uso de

tecnología ZigBee es conveniente para un gran número de nodos y con una tasa de transmisión de datos baja; sin embargo, se puede considerar que la arquitectura propuesta presenta limitaciones debido a las adecuaciones necesarias para agregar más nodos, y al uso de herramientas no estándares que pueden convertirse en un obstáculo para escalar el sistema.

Los trabajos anteriores presentan sus ventajas y desventajas, pero cumplen la misma función de servir para monitoreo de variables ambientales, las cuales tienen efectos en la salud de los usuarios de un edificio. En cuanto al valor de la humedad relativa, se ha identificado que un rango del 40-70% de humedad relativa es adecuado, mientras que un rango de 20-30% requiere atención y de 12 a 20% es motivo de alarma, mientras que cualquier valor por debajo de 12% corresponde a una emergencia [7]. En el mismo contexto se han reportado trabajos que han estudiado la correlación entre temperatura y humedad con ataques de asma [8]. Por otra parte, se muestran los efectos adversos de la concentración de dióxido de carbono en el desempeño en el trabajo de los ocupantes de un edificio [9], [10].

Del estudio del estado del arte se observa que hay nichos de oportunidad en sistemas de monitoreo ambiental para edificios inteligentes, con la finalidad de proveer datos ambientales confiables que puedan emplearse como criterio de decisión para accionamiento de actuadores que mejoren las condiciones ambientales para el mejor desempeño y confort de los usuarios de un edificio. Pero para ello es imprescindible que las herramientas de hardware y software sean seleccionadas de tal forma que permitan su escalabilidad y administrabilidad, así como su integración eficaz con otros sistemas complementarios.

III. ARQUITECTURA DEL SISTEMA Y PROTOCOLOS DE APLICACIÓN

En el marco de trabajo de IoT un aspecto fundamental es identificar una estructura apropiada donde se establezcan los componentes que conforman el sistema IoT así como sus dependencias. Actualmente hay una extensa variedad de tecnologías y herramientas para lograr la interoperabilidad total entre dispositivos, dotarlos de inteligencia que permita su adaptación y comportamiento autónomo, al tiempo que se garantiza la confianza, privacidad y seguridad en su operación. Asimismo, se deben considerar aspectos como un bajo consumo de energía o la obtención de energía desde fuentes de energía renovable. Mientras que la escalabilidad se define como un requisito indispensable, si consideramos que día a día se introducen nuevos tipos de dispositivos para IoT que deben integrarse a una aplicación determinada. Por ello es conveniente establecer un marco de trabajo para comprender la estructura de una solución para IoT, en este contexto se tienen diferentes perspectivas para establecer los componentes funcionales de un sistema IoT.

De acuerdo con [11], los dispositivos IoT requieren ser administrados de una forma centralizada y operar de forma distribuida, de tal forma que se puedan gestionar de manera eficiente los recursos y almacenar de forma segura los datos, mientras que la operación distribuida permite un mejor

aprovechamiento de las capacidades de cómputo de datos de los dispositivos y mejora la escalabilidad de las aplicaciones IoT. La taxonomía de un sistema IoT puede describirse en términos de los componentes de hardware, tipo de red y componentes de aplicación. Cada componente a su vez incluye otros aspectos relacionados con seguridad, accesibilidad y procesamiento de datos.

En la Fig. 1 se muestra una arquitectura de un dispositivo IoT, la cual incluye tecnologías de comunicación inalámbricas, protocolos de red y transporte, protocolos de aplicación y mensajes, y protocolos para autenticación y encriptación de datos [12].

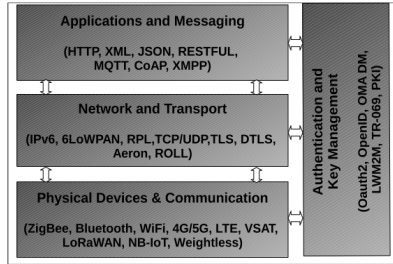


Fig. 1 Estándares y protocolos IoT [12].

Tomando como referencia el esquema anterior se propuso el diseño de un sistema para monitoreo de variables ambientales usando la interfaz WiFi, protocolo de transporte TCP/IP, y protocolo de aplicación MQTT con seguridad SSL/TSL en el transporte de datos.

El funcionamiento general del sistema propuesto consiste en una red inalámbrica de sensores con conectividad a internet para el monitoreo temperatura, humedad y cantidad de dióxido de carbono en un espacio cerrado. En la Fig. 2 se presenta el diagrama del sistema propuesto se conforma por dos partes, la componente de hardware y la componente de software. En la componente de hardware se encuentra un sensor de temperatura y humedad Telaire T9602, un sensor de concentración de dióxido de carbono Telaire T6713, una tarjeta con microcontrolador CC3200 de Texas Instruments y una computadora embebida Raspberry Pi model 3B+ implementa los servidores necesarios para dar soporte a los servicios IoT. La parte de software está compuesta por un Broker de MQTT, una base de datos MySQL y un dashboard open source llamado Grafana para generar gráficas vía web.

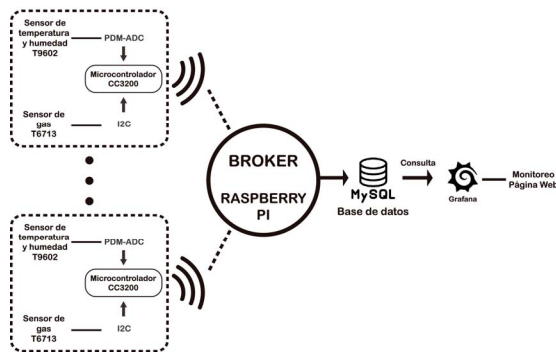


Fig. 2 Propuesta de Sistema de monitoreo IoT para variables ambientales.

IV. COMPONENTES DE HARDWARE

A. Tarjeta CC3200 Launchpad

El dispositivo SimpleLink CC3200 está orientado al paradigma del Internet de las cosas Things (IoT), integra un MCU ARM Cortex-M4 de alto rendimiento y bajo consumo, lo que permite a los usuarios desarrollar una aplicación completa con un solo circuito integrado. Cuenta con Wi-Fi en un chip, Internet y protocolos de seguridad robustos, el dispositivo incluye una amplia variedad de periféricos como: I2S, UART, SPI, I2C y ADC de cuatro canales [13].

B. Sensor de Temperatura y Humedad

El sensor de humedad y temperatura Telaire T9602 es un sensor de humedad y temperatura totalmente calibrado y con compensación de temperatura para instalaciones diversas, dentro de las características de este sensor se encuentran la resistencia al agua, calibración y compensación de temperatura, bajo consumo y alta precisión y exactitud ($\pm 2\%$ RH, $\pm 0.3^\circ\text{C}$). Además, este sensor cuenta con dos diferentes versiones una salida digital I2C y PDM [14], la salida PDM puede convertirse fácilmente a analógica por medio de un filtro pasabajas RC.

C. Sensor de concentración de dióxido de carbono

El módulo de CO2 Telaire T6713 es un sensor de CO2 NDIR miniatura que tiene la precisión y fiabilidad de sensores más grandes. El tamaño pequeño permite a los fabricantes de equipos originales integrarse en gabinetes y equipos más pequeños y utiliza menos energía que otros dispositivos en el mercado [15]. Este módulo de sensado cuenta con 3 tipos distintos de salidas de datos, UART, I2C y RS-485, además de una salida PWM variable proporcional a la concentración de gas.

V. COMPONENTES DE SOFTWARE

A. Broker MQTT

Para habilitar la función de la Raspberry Pi 3B+ como Broker de mensajes MQTT se emplea la paquetería de Eclipse Mosquitto de open-source, ideal para dispositivos de bajo consumo al ser una paquetería ligera. Mosquitto implementa el protocolo MQTT para intercambio de mensaje usando el modelo *publisher/subscriber*. De esta forma la información que arrojan los nodos de sensores se transmite de forma asíncrona y sin el uso de una dirección fija. Un sistema *publisher/subscriber* tiene tres elementos principales en su arquitectura, tal como se observa en la Fig. 3.

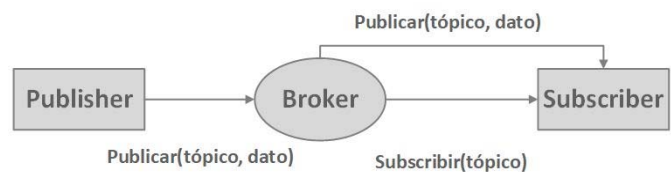


Fig. 3 Componentes principales de un sistema Publisher/subscriber.

- **Broker:** Es un intermediario de mensajes entre el publisher y el subscriber.
- **Publisher:** Es el dispositivo que publica los datos de

los sensores.

- **Subscriber:** Es el dispositivo que recibe los datos que arroja el Publisher.

B. Cliente MQTT

Para la implementación del protocolo MQTT en los dispositivos clientes CC3200 se utiliza la librería MQTT incluida en el *Software Development Kit* (SDK) del fabricante. Entre las librerías necesarias para la operación del cliente MQTT se encuentran las librerías "common.h", donde se accede al access-point (AP) mediante el nombre SSID, SECURITY TYPE y SECURITY KEY; "simplelink.h", la librería encargada de la interacción de la placa con la red WiFi; "pinmux.h", la librería donde se declaran el uso que se le darán a los pines del MCU; y "sl_mqtt_client.h", es la librería donde se definen las funciones que implementan el protocolo MQTT, desde elegir el servidor, crear un cliente, inicializar la comunicación, finalizar la comunicación, subscribirse y publicar a un topic. Cabe resaltar que a cada nodo en la red se le asigna un único Client_Id.

C. Almacenamiento de datos

En el broker-servidor implementado en la Raspberry Pi se incluyeron scripts desarrollados en python para gestionar el intercambio de datos y enlazarlos a una base de datos MySQL de tal forma que se registran las variables de interés junto con la fecha y la hora en que fue obtenido el dato. La implementación de la base de datos permite que los mismos puedan ser solicitados por otros servicios, como el de visualización en un navegador web mediante un dashboard.

D. Visualización y monitoreo de datos

Grafana es una herramienta de visualización de datos open-source, cuyo objetivo principal es la visualización y monitoreo de datos de una manera eficiente y estética. Entre las cualidades de Grafana se encuentran la gran variedad de bases de datos con las que puede trabajar, la interfaz amigable con el usuario y con el administrador, el uso de alertas automáticas hacia correos electrónicos y aplicaciones móviles [16].

VI. DESARROLLO

El desarrollo del sistema propuesto se compuso de varios pasos, tal como se muestra en la Fig. 4, los cuales comprenden: 1) lectura, procesamiento y envío de datos del sensor de temperatura y humedad T9602; 2) lectura, procesamiento y envío de datos del sensor concentración de CO2 T6713; 3) integración de ambos códigos en un único código funcional; 4) programación del código en la memoria Flash del CC3200 para mantener los dispositivos en funcionamiento *standalone*; 5) diseño de un PCB en software EAGLE; 6) ensamble de los componentes en prototipo de PCB; 7) diseño de la carcasa en SolidWorks; 8) la capa de aplicación y despliegue de datos mediante la herramienta de dashboard, y Grafana.



Fig. 4. Etapas de desarrollo del sistema.

Para el sensor de humedad y temperatura fue necesario desarrollar un filtro pasabajas de primer orden para promediar la señal digital PDM [17], [18], de tal forma que la señal PDM se convierte en una variable analógica que pueda ser adquirida por el ADC del CC3200. La relación entre el voltaje adquirido y la variable física se determina por las ecuaciones siguientes [17].

$$PDM_H(mV) = \% \frac{RH}{100} * VDD[mV] \quad (1)$$

$$PDM_T(mV) = \left[\left(\frac{C^{\circ}}{165} \right) + .2424 \right] * VDD[mV]$$

El sensor de concentración de gas tiene una alimentación de 5 VCD mientras que el CC3200 cuenta con pines digitales de bajo voltaje, por lo cual la conexión de los pines I2C utilizó un adaptador de niveles de voltaje bidireccional BOB-12009 de Sparkfun, como se muestra en la Fig. 5.

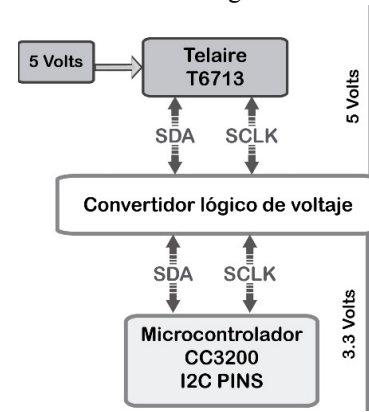


Fig. 5. Adaptación de voltajes en interfaz I2C.

Una vez que se logró la conexión entre el sensor y el microcontrolador se comenzaron a enviar las peticiones de lectura/escritura de registros para obtener la concentración de gas [19], al enviar una solicitud de lectura de concentración de gas el sensor responde enviando una palabra de datos de 16 bits la cual corresponde a la concentración del gas en ppm.

Los filtros pasabaja y el adaptador de niveles de voltaje requeridos por los sensores de temperatura, humedad y concentración de gas se agregaron en el diseño de una tarjeta de circuito impreso.

Una vez ensamblados los nodos y que fueran funcionales se pasó al diseño y construcción de una carcasa para que el prototipo tuviera un mejor manejo. El diseño de la carcasa se realizó en SolidWorks 2016, para imprimirlo en 3D utilizando filamento PLA (Poliácido Láctico), en la Fig. se aprecia el diseño explosionado y la vista renderizada.

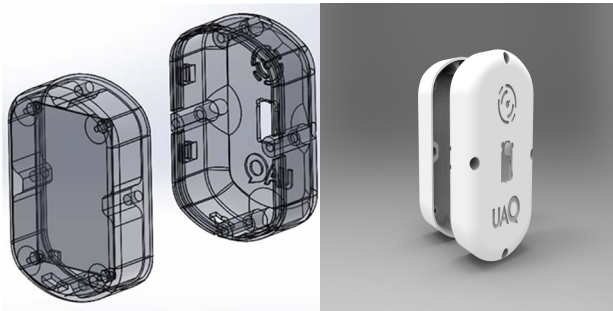


Fig. 6. Diseño de carcasa para dispositivo IoT.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para efectos de este trabajo se ensamblaron y probaron cuatro nodos IoT para medición de temperatura, humedad y concentración de gas en un edificio de oficinas de la Universidad Autónoma de Querétaro. En la Fig. se muestra a detalle la tarjeta CC3200 con la placa de acondicionamiento de señal, mientras que en la Fig. se observa un prototipo en plástico PLA realizado con una impresora 3D de filamento.

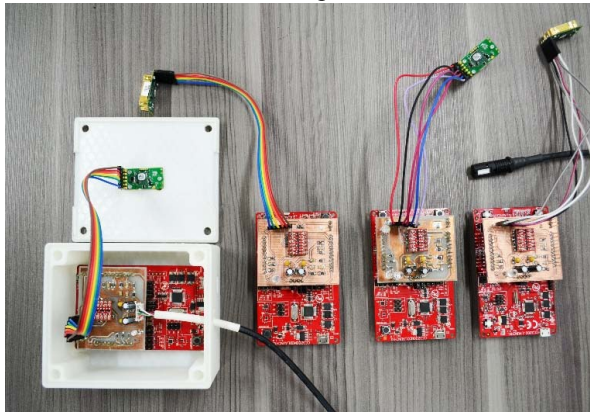


Fig. 7. Prototipos de nodos IoT para medición de variables ambientales.

Los datos son enviados desde los nodos, a través de temas (*topics*) definidos, al broker mediante el protocolo MQTT; el broker se suscribe a los temas correspondientes de temperatura, humedad y gas para cada nodo, al llegar los datos al broker este los redirige hacia una base de datos MySQL. Un tema tiene uno o más niveles y cada nivel va separado por una diagonal, cada tema debe de tener al menos un carácter, de esta forma es posible agrupar e identificar dispositivos facilitando su identificación y administración, de igual manera permite agregar mayor cantidad de dispositivos con pocas modificaciones. Cuando un cliente necesita suscribirse a un tema, debe usar el nombre exacto en el que publicó el mensaje. La Fig.9 ilustra el formato de un tema definido para la aplicación.

Edificio3/Piso2/Sala2/Temperatura

Fig.9. Esquema de un tema (*topic*) en MQTT

El proceso de comunicación entre broker y cliente se divide en 3 etapas.

- **Conexión:** Este inicia cuando el cliente manda una solicitud de conexión (CONNECT) y si el broker lo reconoce le responde (CONNACK).
- **Subscripción:** Este inicia después de la conexión, manda una solicitud para conectarse a un tema (SUBSCRIBE) y si el broker le da el permiso este le contesta (SUBACK).
- **Verificación de conexión:** En esta parte el cliente manda un PINGREQ y si aún sigue conectado el broker le responde con un PINGRESP.

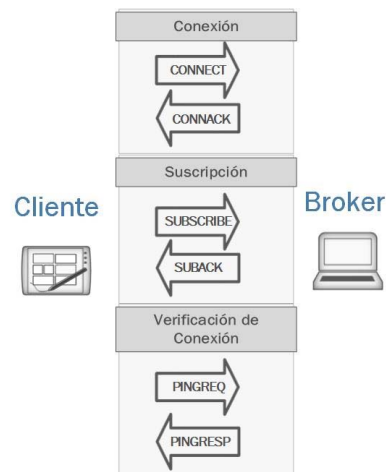


Fig.10. Proceso de comunicación del protocolo MQTT

En la Raspberry pi se implementó un script, el cual solicita la lectura del valor del sensor a intervalos de un minuto y registra la hora de llegada del dato, estos dos datos se agregan

por medio de un comando *insert* hacia la base de datos MySQL. Dentro de la base de datos se almacenan los parámetros de temperatura, humedad y concentración de CO₂, para visualizarlos de manera gráfica se utilizan los dashboards de Grafana. Vinculando la base de datos MySQL con Grafana y por medio de consultas (*queries*) indicamos a Grafana los datos que debe extraer de la base de datos para realizar las gráficas. Ya con los datos en Grafana y gracias a su interfaz intuitiva, es muy sencillo darle estilo deseado. En la Fig. se observa el diseño de la interface de usuario desarrollada en Grafana, se incluyen gráficas que guardan el historial de datos de acuerdo a la fecha y la hora, además de indicadores tipo carátula que nos muestran el valor actual de las variables ambientales.

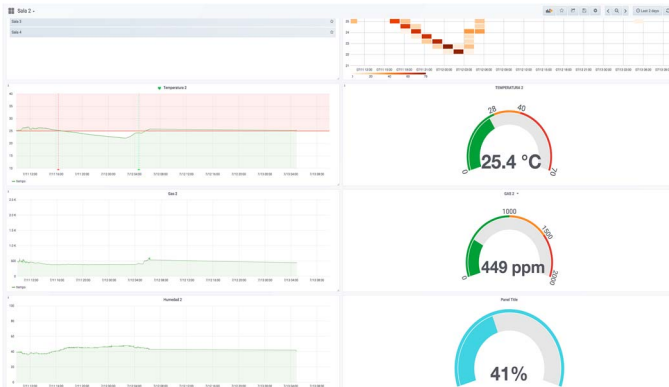


Fig. 11. Interface de usuario para monitoreo de variables ambientales usando el dashboard de Grafana.

VIII. CONCLUSIÓN

El desarrollo de soluciones para aplicaciones IoT demanda una adecuada arquitectura del sistema, que permita cumplir los criterios de funcionalidad, escalabilidad, privacidad y seguridad. La metodología propuesta permitió sentar las bases para una plataforma de bajo consumo de recursos, hardware y económicos, alta funcionalidad y con herramientas de software libre para el monitoreo de variables ambientales (Temperatura, Humedad Relativa y Concentración de CO₂) para acceso y registro de datos, de tal forma que pueda emplearse para llevar a cabo estudios posteriores; en los cuales se pretende predecir y/o controlar las variables ambientales. Las herramientas empleadas y la implementación presentada permiten a los dispositivos IoT integrarse adecuadamente con otros dispositivos para expandir las capacidades del sistema. Como trabajo futuro se propone realizar aportaciones tanto en la arquitectura del sistema (por ejemplo, para incorporar protocolos para seguridad de datos, aplicar técnicas de minería de datos y de aprendizaje máquina); así como de las aplicaciones para realizar estudios orientados a mejorar las condiciones ambientales que impacten positivamente en el desempeño de los usuarios de un edificio inteligente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido a través del fondo

mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Querétaro (FOMIX-QRO-2016-02-279773) para la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] V. Bhuvaneswari and R. Porkodi, "The internet of things (IoT) applications and communication enabling technology standards: An overview," in *Proceedings - 2014 International Conference on Intelligent Computing Applications, ICICA 2014*, 2014, pp. 324–329.
- [2] D. Evans, "The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything," 2011.
- [3] D. Costantino *et al.*, "Solving interoperability within the smart building: A real test-bed," in *2018 IEEE International Conference on Communications Workshops, ICC Workshops 2018 - Proceedings*, 2018, no. i, pp. 1–6.
- [4] E. Z. Tragos *et al.*, "An IoT based intelligent building management system for ambient assisted living," in *2015 IEEE International Conference on Communication Workshop, ICCW 2015*, 2015, pp. 246–252.
- [5] J. Shah and B. Mishra, "Customized IoT enabled Wireless Sensing and Monitoring Platform for preservation of artwork in heritage buildings," in *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking, WiSPNET 2016*, 2016, vol. 23, pp. 361–366.
- [6] R. K. Kodali and K. S. Mahesh, "A low cost implementation of MQTT using ESP8266," in *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016*, 2016, pp. 404–408.
- [7] M. P. Silva *et al.*, "Implementation of iot for monitoring ambient air in ubiquitous AAL environments," in *Proceedings - 2015 Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering, SBESC 2015*, 2016, no. i, pp. 158–161.
- [8] A. Filipa Teixeira and O. Postolache, "Wireless sensor network and web based information system for asthma trigger factors monitoring," in *Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2014, pp. 1388–1393.
- [9] U. Satish, M. J. Mendell, K. Shekhar, T. Hotchi, and D. Sullivan, "Concentrations on Human Decision-Making Performance," *Environ. Health Perspect.*, vol. 120, no. 12, pp. 1671–1678, 2012.
- [10] J. G. Allen, P. MacNaughton, U. Satish, S. Santanam, J. Vallarino, and J. D. Spengler, "Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments," *Environ. Health Perspect.*, vol. 124, no. 6, pp. 805–812, 2016.
- [11] H. Guo, J. Ren, D. Zhang, Y. Zhang, and J. Hu, "A scalable and manageable IoT architecture based on transparent computing," *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 118, pp. 5–13, 2018.
- [12] M. A. Khan and K. Salah, "IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 82, pp. 395–411, 2018.
- [13] Texas Instruments, "CC3200 SimpleLink™ Wi-Fi® and Internet-of-Things Solution, a Single-Chip Wireless MCU." Texas Instruments, 2015.
- [14] Amphenol Advanced Sensors, "T9602 Humidity & Temperature Sensor for OEM Installation Amphenol." Amphenol Advanced Sensors, 2016.
- [15] Amphenol Advanced Sensors, "Telaire T6713 Series CO₂ Module Amphenol." 2017.
- [16] Grafana Labs, "Grafana Labs," 2018. [Online]. Available: <https://grafana.com/grafana>.
- [17] Amphenol Advanced Sensors, "ChipCap2 Application Guide," no. October. 2014.
- [18] I. T. Sutton, S. Gregory, and S. Diego, "United States Patent (19) B . VALUE OT," 1994.
- [19] Amphenol Advanced Sensors, "T67xx CO₂ Sensor Module Application Note." TELAIRES, 2014.