

Redes de sensores inalámbricos para la monitorización de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado

Wireless sensor networks for monitoring HVAC systems

Zhoe COMAS-GONZÁLEZ [1](#); José SIMANCAS-GARCÍA [2](#); Jaime VÉLEZ-ZAPATA [3](#); Victor BERNAL Rueda [4](#); Irán PERCIA Vásquez [5](#)

Recibido: 20/05/2018 • Aprobado: 10/07/2018

Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Revisión de la literatura](#)
- [3. Metodología](#)
- [4. Procedimiento](#)
- [5. Resultados y conclusiones](#)
- [Agradecimientos](#)
- [Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

El presente artículo expone una solución tecnológica para monitorizar sistemas de aire acondicionado, ventilación y calefacción, conocido como HVAC por sus siglas en inglés; en el que se propone el uso de sensores inalámbricos para construir una red que monitoriza variables atmosféricas como la temperatura y humedad relativa, en los recintos que cuenten con éstos sistemas.

Palabras clave: variables atmosféricas, redes de sensores inalámbricos, sistema HVAC, ZigBee

ABSTRACT:

The current paper exposes a technological solution for monitoring heating, ventilating and air conditioning systems, aka HVAC. For this, it is used wireless sensors to build a network that will monitor atmospheric variables such as temperature and relative humidity, in places that have installed this type of systems.

Keywords: Atmospheric variables, wireless sensor network, HVAC system, Zigbee.



1. Introducción

Las redes de sensores inalámbricos (WSN, del inglés *Wireless Sensor Network*) están constituidas por pequeños nodos, cuya arquitectura se compone de elementos tales como

sensores, controladores y otros dispositivos, que permiten la comunicación entre sí (Piñeres-Espitia y Mejía, 2013) . En la revisión de la literatura es común encontrar un gran número de soluciones e interesantes propuestas con ésta tecnología, por ejemplo, en la monitorización de fenómenos atmosféricos como tornados (Comas-González, Cama-Pinto, Piñeres-Espitia, Gómez-Mula y Vélez-Zapata, 2017), en la agricultura de precisión (Cama-Pinto et al., 2017), (Shkurti, 2017), alerta de terremotos (Avvenuti, Cresci, Marchetti, & Tesconi, 2014), monitorización ambiental (Shkurti, 2017), entre otros.

Por otro lado, los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, del inglés *Heating, Ventilation and Air Conditioning*), permiten controlar ciertas condiciones en un recinto cerrado, tales como la temperatura y calidad del aire (Paez-Logreira, Ramirez-Cerpa, Diaz-Charris, y Lopez-Torres, 2017) y debido a ello, son ampliamente utilizados con fines de ahorro energético (Wen & Burke, 2013).

Para hacer control del consumo energético de un sistema HVAC, es necesario observar las variables que influyen en él, tales como la temperatura ambiente y la temperatura del recinto y a partir de éstas variables, analizar el comportamiento de dicho sistema. Así mismo, si se desea refrigerar de manera adecuada un lugar, es necesario que se encuentre térmicamente aislado, es decir que idealmente no exista intercambio de calor entre las paredes, ventanas o puertas con el ambiente exterior. No obstante, en la realidad si se dan éstos intercambios y, sumado a los cambios de temperatura que puedan darse durante el día, afecta la operación del sistema, reflejándose en un aumento del consumo energético.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente trabajo propone el desarrollo de una solución tecnológica que permita monitorizar las variables ambientales de los recintos que cuenten con un sistema HVAC, mediante una red de sensores inalámbricos y haciendo uso del protocolo de comunicaciones Zigbee; lo anterior, a manera de identificar si se presentan condiciones que alteran el correcto funcionamiento de dichos sistemas y con ello, su consumo energético.

El artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la primera sección se aborda la revisión de la literatura; en la segunda sección se explica la metodología utilizada; en la tercera sección el desarrollo y los resultados; y en la cuarta sección, las conclusiones.

2. Revisión de la literatura

2.1. Redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricos o *Wireless Sensor Network* (WSN), por sus siglas en inglés, permiten registrar a través de sensores las variables físicas de un lugar, ambiente o proceso en planta. Las WSN se han popularizado en ésta época, lo cual se debe a la convergencia de tecnologías tales como inalámbrica, procesamiento de datos, almacenamiento de información, algoritmos, hardware y las capacidades de los sensores, tal como se expone en (Shahzad, 2013). Sus múltiples usos y aplicaciones han impactado positivamente en diferentes aspectos de la vida y por consiguiente, en la sociedad (Muhammad Amin, Teymoori, Yazdani & Safari, 2016). Es utilizado ampliamente en la monitorización ambiental, así como en la biometría, óptica, salud, e incluso, en la monitorización de las estructuras civiles (Muhammad Amin, Teymoori, Yazdani & Safari, 2016), (Lazarescu, 2013), (Ezzedine, & Zrelli, 2017), (Comas-González, Cama-Pinto, Piñeres-Espitia, Gómez-Mula y Vélez-Zapata, 2017).

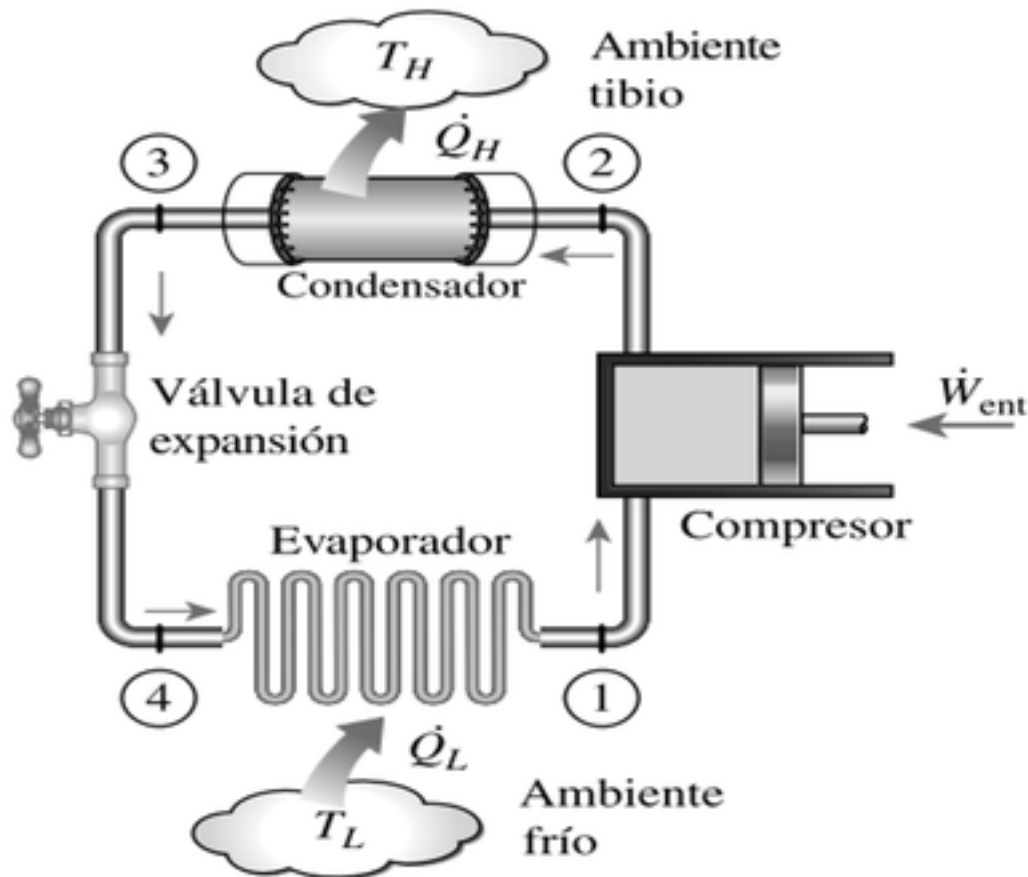
Las aplicaciones que hacen uso de ésta tecnología interconectan sensores, que a su vez, son enlazados a un nodo en el que reposa la información sensada; no obstante, a pesar de contar con limitados recursos, los datos obtenidos son veraces y confiables (Lazarescu, 2013).

A partir de la revisión literaria, se identificó que las redes de sensores inalámbricos pueden adaptarse a cualquier necesidad, por ello, en éste estudio se hizo la selección de dicha tecnología con el objeto de monitorizar las variables ambientales que inciden en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado para su óptimo aprovechamiento.

2.2 Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC)

Un sistema HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) está basado en el principio termodinámico de la transferencia del calor, el cual fluye desde las zonas de mayor temperatura a zonas de menor temperatura (Paez-Logreira et al., 2017). Para refrigerar un espacio, se utiliza un sistema HVAC de refrigeración que posee cuatro componentes básicos: líquido refrigerante, compresor de vapor del refrigerante, condensador de vapor, válvula de expansión y una evaporadora, tal como se observa en la Figura 1.

Figura 1
Esquema de un sistema de refrigeración.



Los sistemas de aire acondicionado controlan la temperatura, humedad y calidad del aire en diferentes tipos de edificaciones, a través de sistemas embebidos (Mihail-Florin, Husu, Ionuț-Adrian, Fidel & Cobianu, 2017). Mantienen las condiciones de temperatura y humedad de un espacio físico de tal manera que sea confortable para el usuario, tal como se contempla en el trabajo de (Lin; Barooah, & Meyn, 2015); además, se consideran importantes ya que permiten manejar la temperatura deseada en cualquier recinto (Dhar, Verma & Behera, 2018), (Hernández-Velásquez & Alvarado-Bawab, 2017).

A partir de la revisión de la literatura, se identificaron estudios enfocados al monitoreo, análisis y evaluación en tiempo real de sistemas HVAC, basado en el uso de herramientas como LabView (Belhadj, Hamanah, & Kassas, 2017), (Meléndez-Pertuz, Vélez-Díaz, Caicedo-Ortiz & Fernández-Vélez, 2017); sistemas de adaptación automático de la temperatura (Dhar, Verma & Behera, 2018); y desarrollos de sistemas de control para el uso racional de la temperatura. Los sistemas HVAC pueden consumir altas cantidades de la energía usada en un edificio (Dhar, Verma & Behera, 2018), por ello, y debido a la creciente conciencia de preservación medio ambiental, la eficiencia energética juega un rol importante, razón por la cual muchos de los edificios modernos vienen equipado con tecnologías para reducir éste consumo (Dhar, Verma & Behera, 2018).

2.3 Soluciones con Zigbee

Zigbee Es un estándar basado en comunicación inalámbrica y el en estándar IEEE 802.15.4 (Hersent, Boswarthick & Elloumi, 2012). Las cualidades de este estándar son: bajo consumo

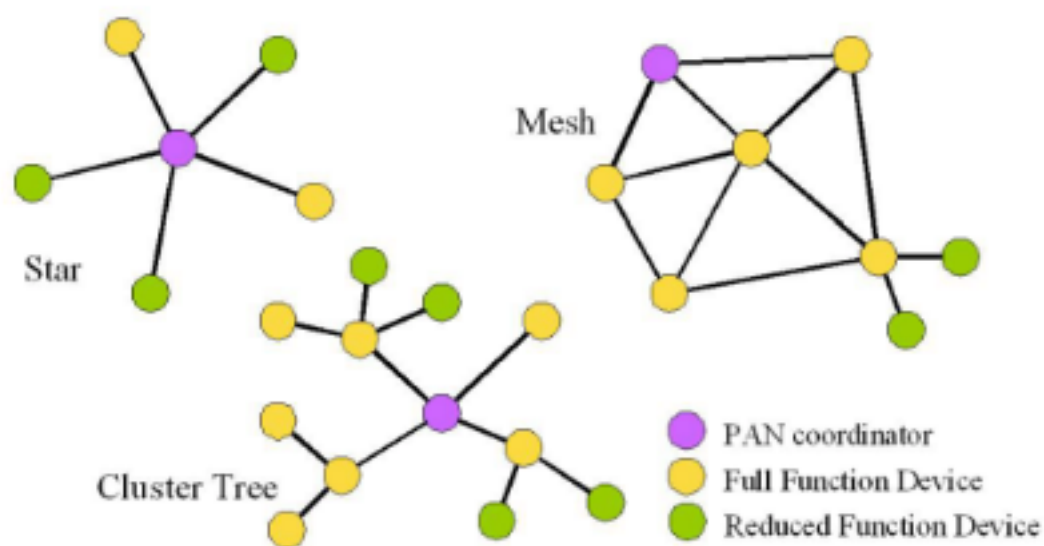
de energía, el bajo costo, baja transferencia de datos, velocidad de transmisión de hasta 250Kbps y fácil implementación (Ghosh & Chakraborty, 2016). El estándar 802.15.4 define las características de la capa física y la capa MAC del modelo de comunicación; es usado para las redes de área personal WPAN y las redes de área local WLAN. En la capa física se trabaja con diferentes modulaciones de acuerdo al estándar de cada región (Hersent, Boswarthick & Elloumi, 2012). En la Figura 2 se observan las características principales de Zigbee.

Figura 2
Características de Zigbee

PHY	Frequency band	Data parameters			Spreading parameters	
		Bit rate (kb/s)	Symbol rate (kbaud)	Modulation	Chip rate (Mchips/s)	Modulation
868/915	868.0–868.6 MHz	20	20	BPSK	0.3	BPSK
MHz PHY	902.0–928.0 MHz	40	40	BPSK	0.6	BPSK
2.4 GHz PHY	2.4–2.4835 GHz	250	62.5	16-ary orthogonal	2.0	O-QPSK

Posee un rango de alcance moderado pero de fácil extensión. Utiliza el protocolo CSMA para verificar el tráfico antes de transmitir. La red de Zigbee permite diversas topologías (Kumar & Mane, 2016) , un ejemplo de lo anterior se observa en la Figura 3.

Figura 3
Topologías comunes en Zigbee



Zigbee ha sido identificada por años como una de las tecnologías inalámbricas más adecuadas en cuanto a la comunicación de redes de sensores (Hersent, Boswarthick & Elloumi, 2012), (Ghosh & Chakraborty, 2016). Algunas de sus ventajas son su confiabilidad y bajo precio (Cuifen, Xiaoqin, & Yanping, 2010), comunicación multi-hop, flexibilidad de la red y baja latencia; además de lo anterior, una red Zigbee tiene la capacidad de expandir su tipología de red superior para adquirir mayor fuerza y de trabajar con varios nodos (Jhang, Chen & Chang, 2017). Por lo anterior, se seleccionó Zigbee como el protocolo de comunicaciones para la solución que plantea el presente trabajo.

3. Metodología

La metodología usada para la investigación consistió, como primer paso, en una revisión sistemática de la literatura, para conocer a partir de referentes especializados, las tecnologías implementadas en la monitorización de sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado, (HVAC). Para ello, se seleccionaron como fuentes de consulta las bases

de datos especializadas como *IEEE Xplore*, *Science Direct*, *Web Of Science*, *Scopus*, y el meta buscador *Google Scholar*. El filtro de ésta información se realizó teniendo en cuenta los trabajos publicados entre el 2010 al 2018, así también, criterios de inclusión, exclusión y cadenas de búsqueda para limitar la información encontrada.

Cada una de éstas cadenas arrojó como resultados artículos que coadyuvaron en la selección de la tecnología para plantear la solución tecnológica y establecer el protocolo de comunicaciones más afín.

A continuación, se relacionan las cadenas de búsqueda, criterios de inclusión y exclusión definidos para la revisión:

Cadenas de búsqueda:

Monitoring or HVAC - Monitoring and HVAC - WSN and monitoring or Atmospheric Variables - WSN and HVAC and Zigbee - WSN or HVAC or ZIGBEE. Monitorización or HVAC – monitorización and Zigbee or variables atmosféricas – WSN and HVAC and Zigbee.

1. Criterio de inclusión: Artículos, libros, ponencias en congresos, artículos en inglés y en español.
2. Resultados que no estén relacionados con la temática, artículos que no sean inglés o español.

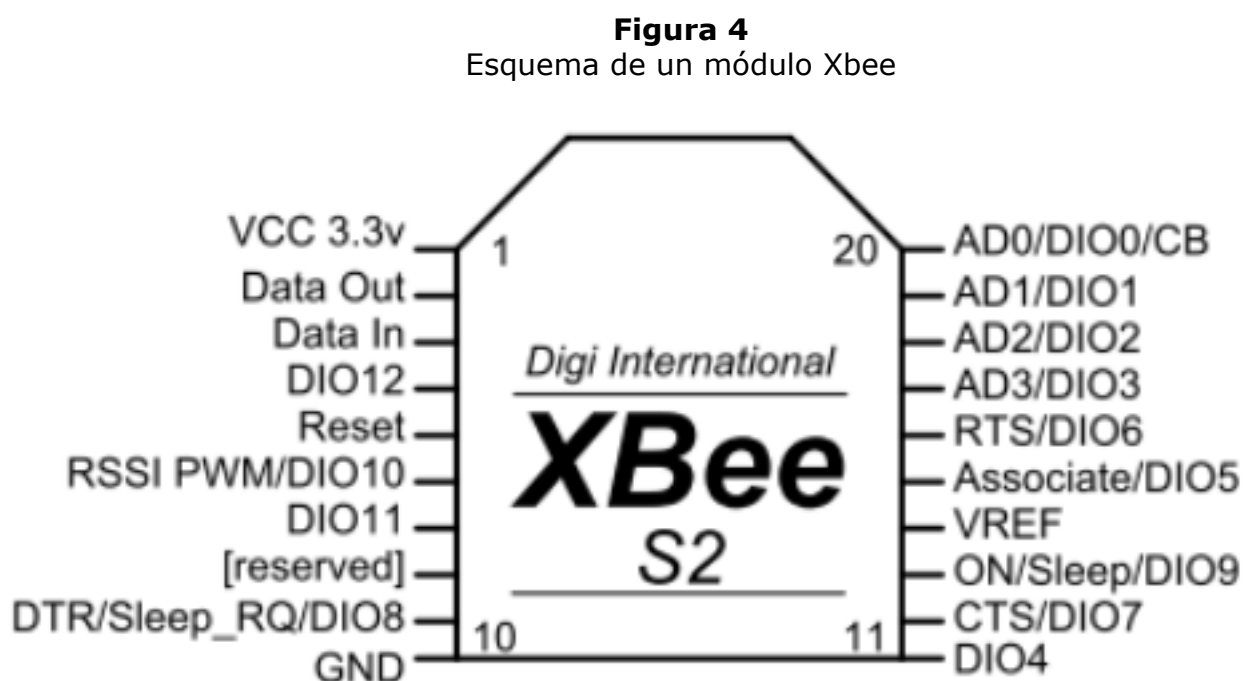
Posteriormente se procedió con la selección de la tecnología, el protocolo de comunicaciones, construcción de la red y por último, ejecución de pruebas.

4. Procedimiento

Para establecer una red de sensores, se necesitan los siguientes elementos:

1. Sensores: 2 sensores de temperatura LM35, 2 sensores de apertura magnética.
2. Elementos de transmisión-recepción: 2 módulos Xbee S2.
3. Procesamiento de datos: Arduino Mega 2560.

Uno de los módulos Xbee es configurado como EndDevice AT (dispositivo final) que será el encargado de tomar las lecturas del sensor y transmitir las. El otro módulo Xbee es configurado como *Coordinator API* (coordinador), y será el dispositivo que reciba los datos y del cual el Arduino procesará la información recibida. La siguiente figura es el esquema de un módulo Xbee:



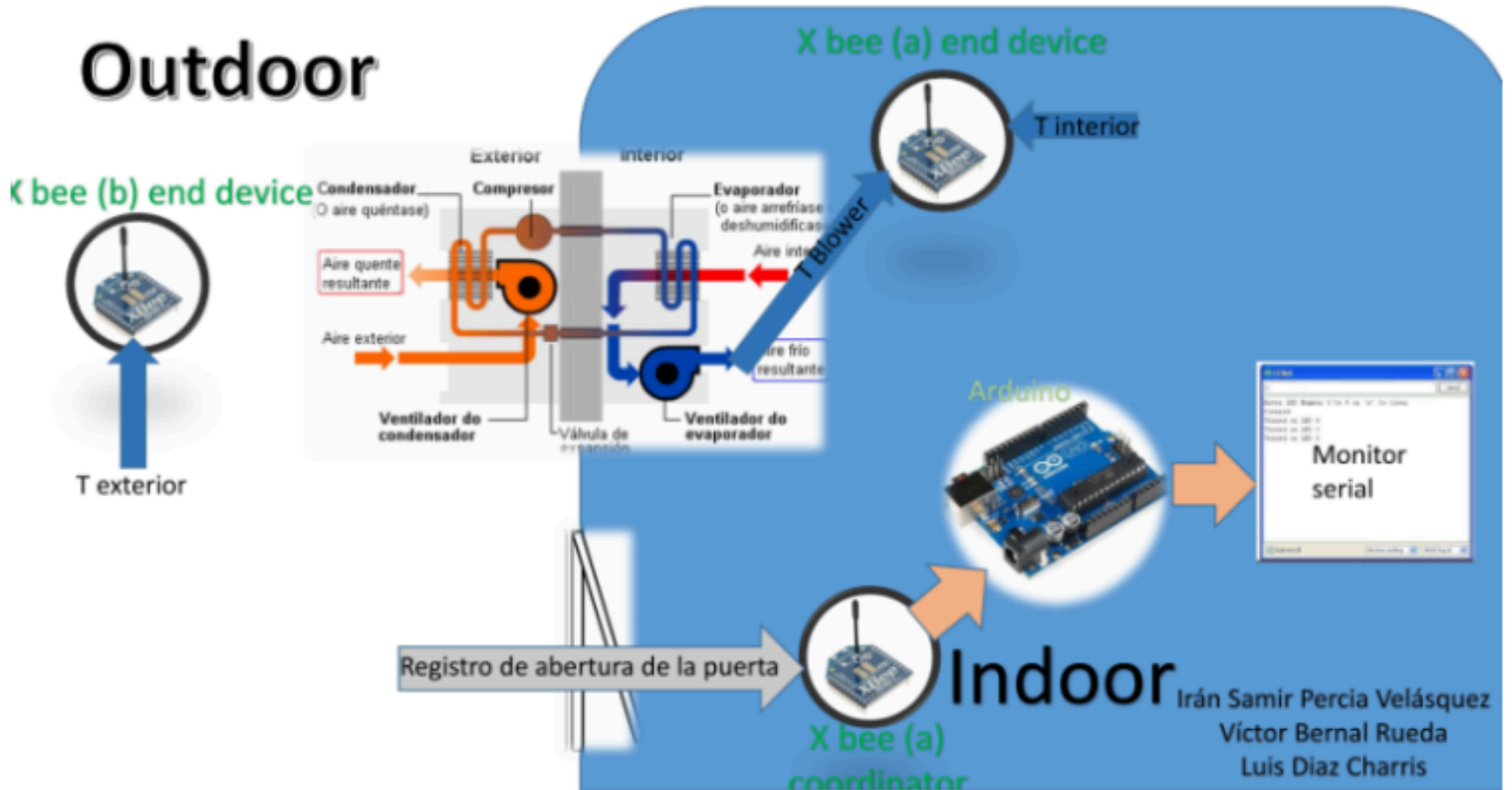
En el EndDevice se utilizarán los pines analógicos AD1 y AD2 para tomar las lecturas de los sensores LM35. Y como entrada analógica el pin DIO3.

El coordinador estará siempre “escuchando” lo que transmite el dispositivo final, mientras está conectado al Arduino para que éste procese los datos, y los envíe por el puerto serial, donde este ejecuta un programa para detectar la abertura de la puerta y las lecturas de los sensores. Utilizando el conversor analógico digital (ADC) del Xbee se hace un muestreo de los datos de temperatura. El LM35 registra un equivalente en tensión de la temperatura en Celsius, es decir, por cada grado centígrado se obtienen 10mV. Por ejemplo si la temperatura

es de 25 °C la tensión en la salida del LM35 será de 0,25 V.

Para la verificar abertura de la puerta es necesario detectar un cambio de estado, si está abierta es cero y si está cerrada es uno. A través de los pines digitales del Xbee se puede enviar esta información del estado de la puerta. El Arduino toma esa información a través del puerto serial. Filtra los datos analógicos, digitales y finalmente muestra a través del monitor serial Figura 5.

Figura 5
Estructura de la red

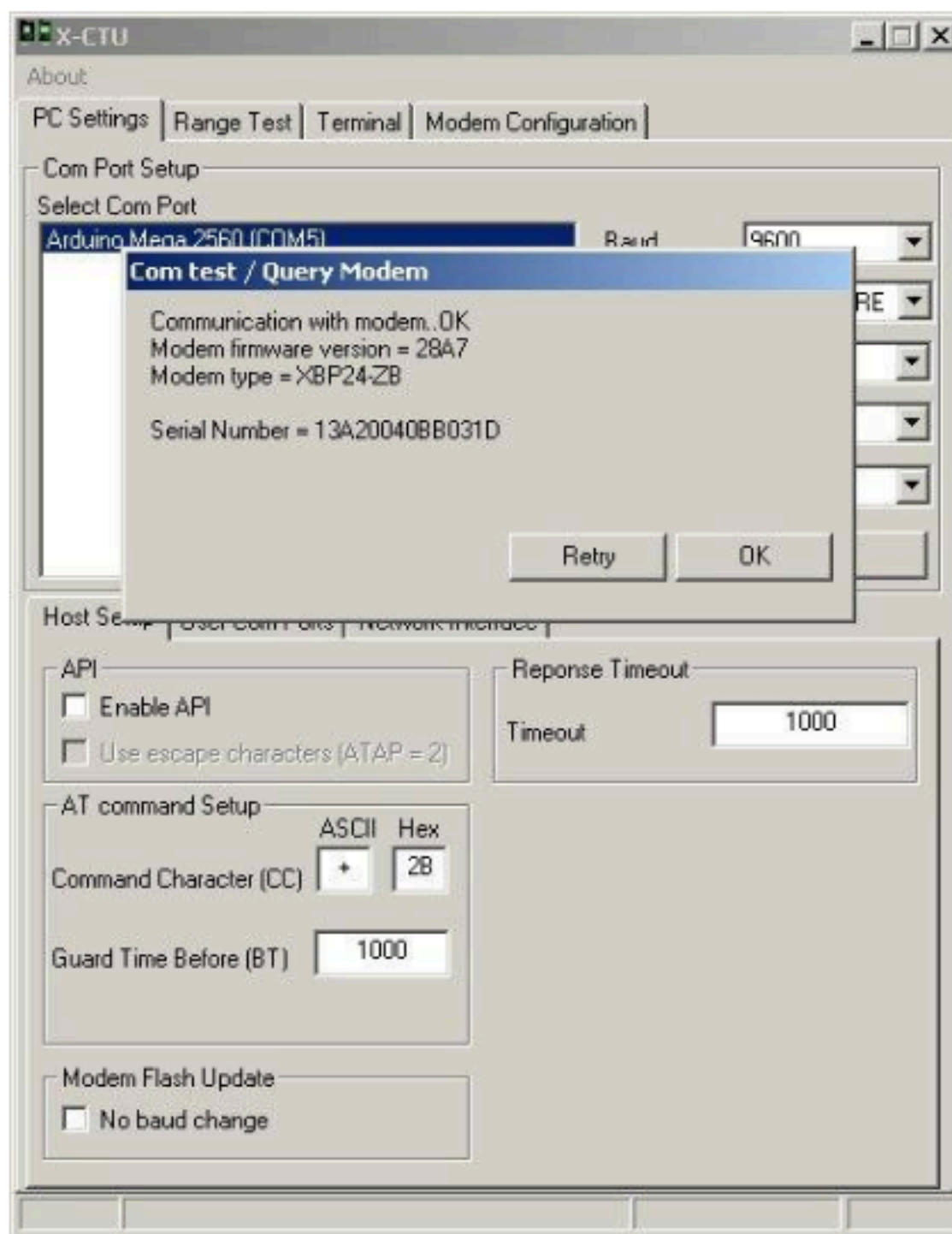


La topología de red que maneja esta aplicación es una red punto a punto, donde el coordinador siempre está recibiendo y el dispositivo final siempre está enviando. El ambiente en que trabaja la red es un ambiente InDoor, es decir que es posible que existan dificultades para la transmisión o para entablar la comunicación entre los dispositivos, debido al flujo de personas y a la presencia de obstáculos grandes, como armarios y vitrinas.

4.1. Configuración de los módulos

Para la configuración de los módulos Xbee se hace uso de la herramienta software XCT-U de Digi la cual se puede descargar gratuitamente desde su portal. Allí se configuran dos de los módulos como dispositivos finales los cuales serán los responsables de la recepción de medidas provenientes de los sensores, y uno como coordinador de la red quien se ocupara de recibirlos y escribirlos en el puerto serial del Arduino. A continuación, en la Figura 6 se muestra la ventana de configuración de los módulos Xbee.

Figura 6
Ventana de configuración de XCTU



4.2. Construcción del código

Cada trama Xbee en modo API para recepción de datos se compone de mínimo 21 bytes, cada uno con una función específica en la red como bytes de direcciones, de configuraciones y de seguridad, pero además también cuenta con los bytes 19 – 20 – 21 – 22, que corresponden a la carga útil, tal como se muestra en la figura 7.

Figura 7
Trama de tipo API para recepción de datos

API format for I/O Data Sample RX Indicator	Byte	Example	Description	long chexsun Serial.write(
	0	0x7e	Start byte – Indicates beginning of data frame		
	1	0x00	Length – Number of bytes (ChecksumByte# – 1 – 2)		
	2	0x14			
	3	0x92	Frame type - 0x92 indicates this will be a data sample		
	4	0x00	64-bit Source Address (Serial Number) MSB is byte 4, LSB is byte 11		
	5	0x13			
	6	0xA2			
	7	0x00			
	8	0x40			
	9	0x77			
	10	0x9C			
	11	0x49			
	12	0x36		Source Network Address – 16 Bit	
	13	0x6A			
	14	0x01	Receive Opts. 01=Packet Acknowledged. 02=Broadcast packet		
	15	0x01	Number of sample sets. Always set to 1 due to XBEE limitations		
	16	0x00	Digital Channel Mask – Indicates which pins are set to DIO		
	17	0x20			
	18	0x01	Analog Channel Mask – Indicates which pins are set to ADC		
	19	0x00	Digital Sample Data (if any) – Reads the same as Digital Mask		
	20	0x14			
	21	0x04	Analog Sample data (if any)		
	22	0x25	There will be two bytes here for every pin set for ADC		
23	0xF5	Checksum(0xFF - the 8 bit sum of the bytes from byte 3 to this byte)			

Como primera medida en arduino se debe inicializar el monitor serial:

```
void setup() {
  Serial.begin(38400);
}
```

Luego se pregunta si la trama que ha llegado esta completa para admitirla:

```
void setup() {
  Serial.begin(38400);
}

void loop() {
  if (Serial.available() >= 21){
```

Para poder leer y operar con los datos de carga util es necesario descomponer la trama para llegar a ellos, esto se hace contando uno a uno los bytes de la trama empezando desde el byte de inicio (0x7E) y descartandolos uno a uno:

```
void loop() {
  if (Serial.available() >= 21){
    if (Serial.read() == 0x7E) {
      for (int i=1; i < 20; i++){
        byte discardByte1_19 = Serial.read();
      }

```

En este punto los datos de muestra serán almacenados y operados según el caso expuesto para lo cual el siguiente código se muestra:

```
int valorLeido=Serial.read();
  int SensorMSB=Serial.read();
  int SensorLSB=Serial.read();
  int analogSensor =30+SensorLSB + (SensorMSB * 256);
  Serial.print(valorLeido);
  Serial.print(" - ");
```



```

Serial.print("La puerta esta: ");
if (valorLeido==4){
  Serial.println("Abierta");
}
if (valorLeido==0){
  Serial.println("Cerrada");
}
Serial.print(analogSensor);
Serial.print(" - ");
Serial.print("La Temperatura es: ");
float temp = analogSensor/10;
Serial.print(temp);
Serial.println("C");
Serial.println("");
}
}
delay(70);
}

```

Una vez finalizados los procesos que se encuentran en el código, se espera un tiempo antes de reiniciar, lo cual se realiza para evitar errores de sincronización entre el microcontrolador y el módulo Xbee.

5. Resultados y conclusiones

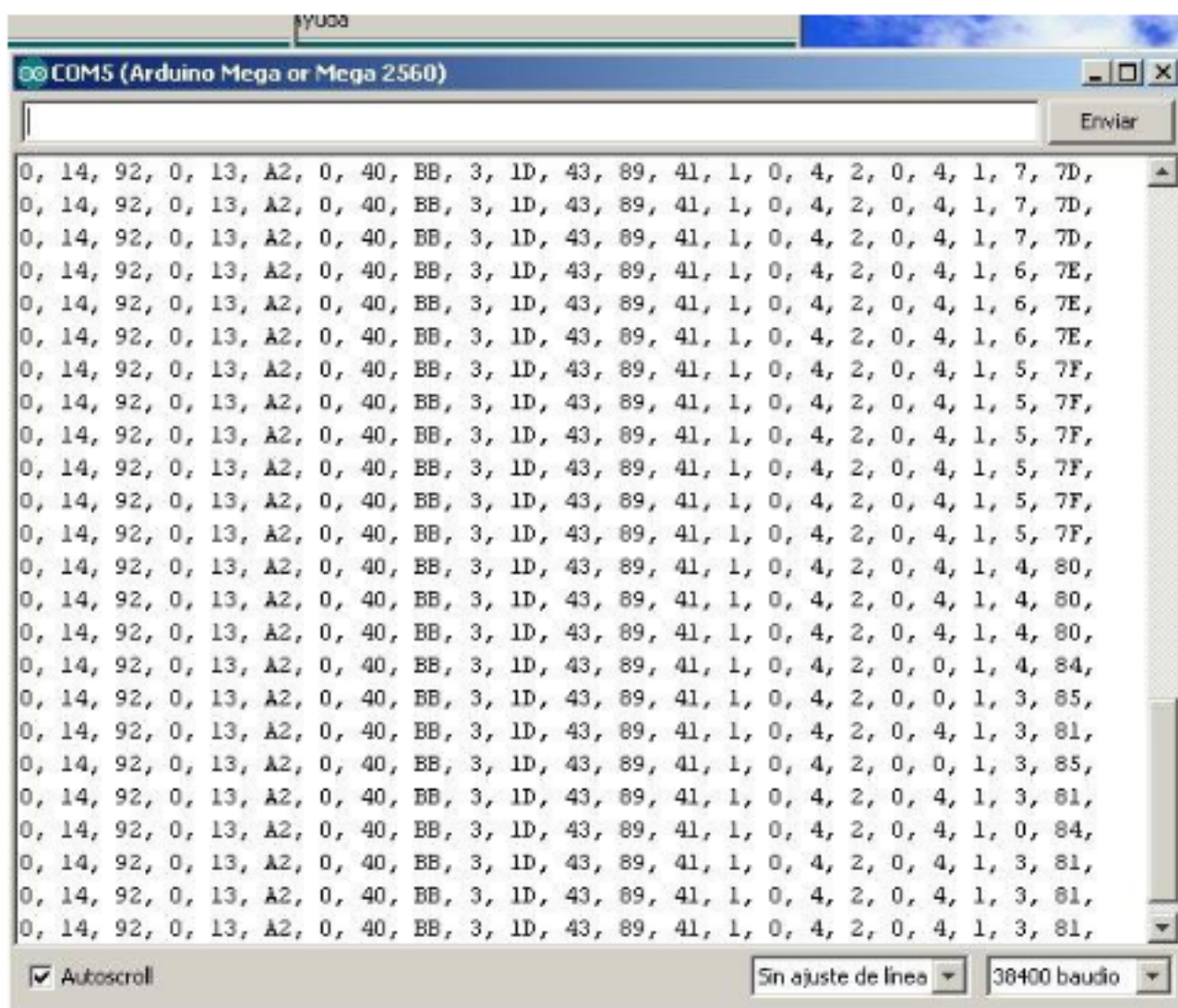
Se configuró una red de sensores inalámbricos para monitorizar las condiciones de temperatura de un recinto con un sistema de aire acondicionado, esto, con la finalidad de analizar una solución tecnológica en los sistemas HVAC.

Para la realización de la solución, se hizo una revisión de la literatura en la que se encontró que las WSN tienen múltiples aplicaciones, lo cual, dio vía libre para plantear la solución. Posteriormente, se seleccionó Zigbee como protocolo de comunicaciones debido a su bajo consumo energético, además, porque está diseñado para transmitir datos automáticamente, es simple, confiable y de bajo costo.

Una vez seleccionado el protocolo de comunicaciones, se procedió con la programación y ejecución del mismo, proceso en el que se presentaron inconvenientes para detectar el paquete de la trama Zigbee que contenía los datos, ya que al hacer uso del contador, no se descartó la cantidad exacta de paquetes, lo cual afectó la lectura de los datos transmitidos. Para solucionar ésta situación, se cambió el contador por uno compatible. En la Figura 8 se muestra a manera de ejemplo el resultado de las tramas transmitidas.

Figura 8

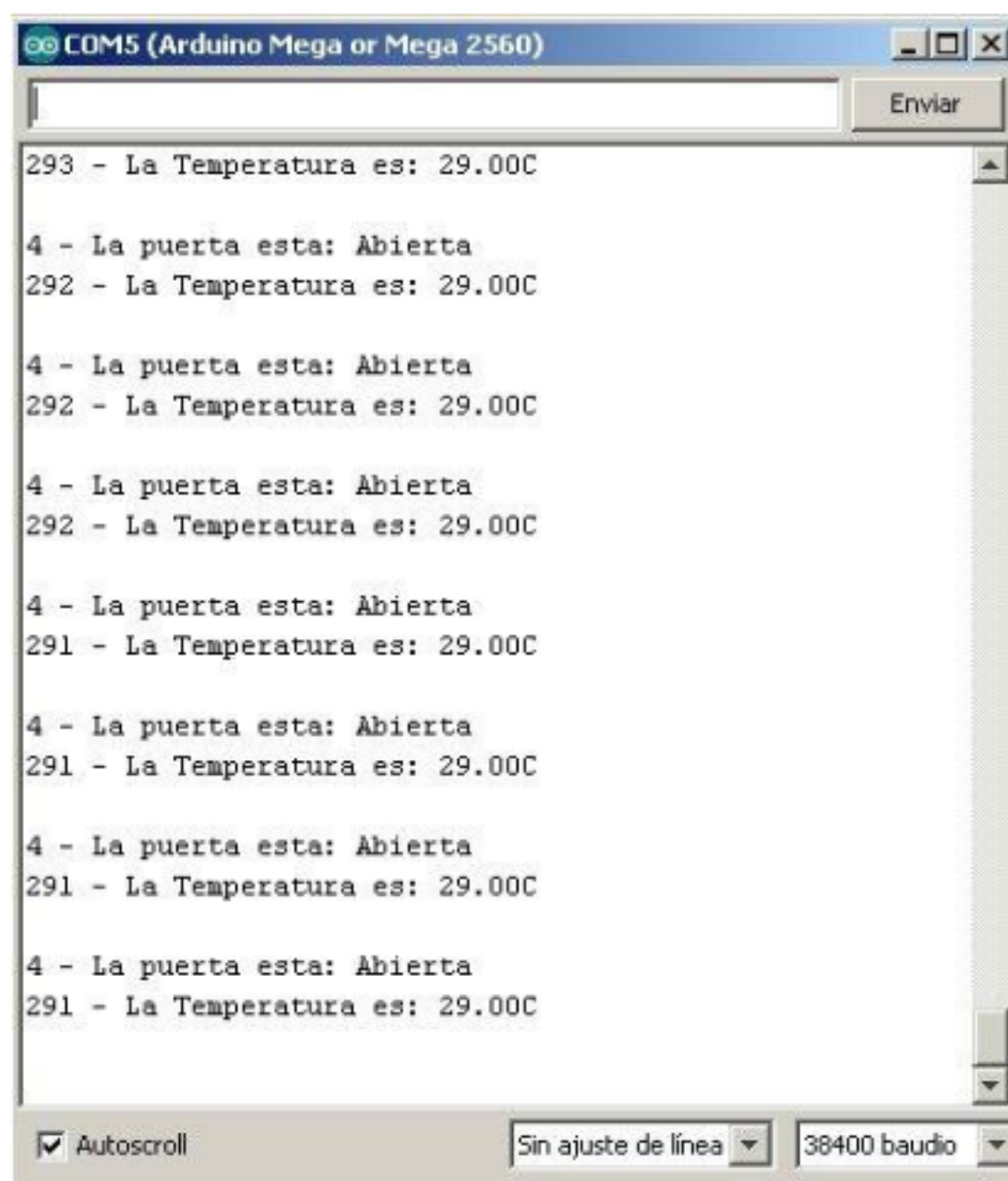
Tramas Zigbee visualizadas a través del monitor serial



El Arduino se encarga de mostrar los datos a través del monitor serial Figura 8. En las pruebas de montaje se observó que la visualización de las temperaturas y el estado de la puerta es clara, y la comunicación entre los dos nodos no registró ninguna falla durante la transmisión.

Luego de verificar que las tramas se estaban recibiendo de manera adecuada se procedió a mostrar ordenadamente la información, tal como se muestra en la Figura 9.

Figura 9
Visualización de los datos organizados.



La distancia de prueba entre el coordinador y dispositivo final fue de 8 metros, lo que aseguró la entrega de los datos sin perdidas por potencia de la señal.

Se presentaron otros inconvenientes, tales como la conexión de los sensores, ya que éstos deben ser alimentados con una fuente diferente a la de alimentación del módulo Xbee, teniendo en cuenta que trabajan entre un rango de 4V a 30V. La solución fue utilizar un adaptador de 5V para alimentar a los sensores y regular la tensión de 3.3V con el Circuito Integrado LD33V3, que es un regulador de tensión.

Por otro lado, también se presentaron situaciones adversas con la identificación del paquete en la trama ZigBee que contiene la información de los sensores. Para ello, se mejoró la lectura de éstas tramas, identificando que el paquete con la información de los sensores es a partir de la posición 21 al 23.

Como trabajos posteriores se puede pensar en implementar una monitorización durante un período de tiempo prudente, podría ser un mes, y llevar estos datos obtenidos a internet, a través de un *Web Service* para que puedan ser observados desde una página Web o aplicación móvil.

Finalmente, con la monitorización de un sistema HVAC se puede estudiar el comportamiento del mismo en diferentes condiciones y así poder ejercer control sobre él de tal manera que se mejore su eficiencia y consumo energético.

Agradecimientos

Este artículo hace parte de los resultados del proyecto denominado "Diseño de un modelo de gestión para la climatización en edificaciones del sector terciario Región Caribe" financiado por COLCIENCIAS bajo la convocatoria que mediante la convocatoria 543 "Consolidación de la red de conocimiento en eficiencia energética y su impacto en el sector productivo bajo estándares internacionales". Así mismo, los autores agradecen la participación activa de los grupos de investigación GIECUC y GIOPEN en la ejecución de éste proyecto.

Referencias bibliográficas

- Avvenuti, M., Cresci, S., Marchetti, A., & Tesconi, M. (2014). Earthquake emergency management by social sensing. In *Earthquake emergency management by social sensing* (pp. 587–592). Budapest: IEEE. <https://doi.org/10.1109/PerComW.2014.6815272>
- Belhadj, C. A., Hamanah, W. M., Kassas, M. (2017). LabVIEW based real time Monitoring of HVAC System for Residential Load. *2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)*, 66–71. <https://doi.org/doi:10.1109/CIVEMSA.2017.7995303>
- Cama-Pinto, A., Piñeres-Espitia, G., Caicedo-Ortiz, J., Ramírez-Cerpa, E., Betancur-Agudelo, L., & Gómez-Mula, F. (2017). Received strength signal intensity performance analysis in wireless sensor network using Arduino platform and XBee wireless modules. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(7). <https://doi.org/10.1177/1550147717722691>
- Cama-Pinto, A., Comas-González, Z., Piñeres-Espitia, G., Gómez-Mula, F., Vélez-Zapata, J. (2017). Diseño de una red de monitorización de variables meteorológicas relacionadas a los tornados en Barranquilla-Colombia y su área metropolitana. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25, 585–598.
- Cuifen, L., Xiaoqin, Z., & Yanping, L. (2010). The electric meter reading system in rural areas based on wireless micro-computer. *2010 International Conference On Computer Design and Applications*, 109–111. <https://doi.org/doi:10.1109/ICCDA.2010.5541117>
- Dhar, N.K., Verma, N. K, Behera, L. (2018). Adaptive Critic-Based Event-Triggered Control for HVAC System. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(1), 178–188. <https://doi.org/doi:10.1109/TII.2017.2725899>
- Ezzedine, T, Zrelli, A. (2017). Efficient measurement of temperature, humidity and strain variation by modeling reflection Bragg grating spectrum in WSN. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 135, 454–462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.01.061>
- Ghosh, A, Chakraborty, N. (2016). Design of smart grid in an University Campus using ZigBee mesh networks. *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 1–6. <https://doi.org/doi:10.1109/ICPEICES.2016.7853432>
- Hernández-Velásquez, V., y Alvarado-Bawab, M. (2017). Control on-off de temperatura y potencia para el mejoramiento de las condiciones de procesos asistidos con microondas. *Ingecuc*, 13(2), 53–59. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.06>
- Hersent, O., Boswarthick, D., Elloumi, O. (2012). Zigbee. In *The Internet of Things: Key Applications and Protocols* (1st ed., p. 376). Wiley Telecom. <https://doi.org/10.1002/9781119958352.ch7>
- Jhang, W-H., Chen, L-B., Chang, W.-J. (2017). Design of a low-cost level-triggered Zigbee network multi-application sensor in smart homes. *2017 6th International Symposium on Next Generation Electronics (ISNE)*, 1–3. <https://doi.org/doi:10.1109/ISNE.2017.7968729>
- Kumar, T., Mane, P. B. (2016). ZigBee topology: A survey. *2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, 164–166. <https://doi.org/doi:10.1109/ICCICCT.2016.7987937>
- Lazarescu, M. T. (2013). Design of a WSN Platform for Long-Term Environmental Monitoring for IoT Applications. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 3(1), 45–54. <https://doi.org/10.1109/JETCAS.2013.2243032>
- Meléndez-Pertuz, F., Vélez-Díaz, J., Caicedo-Ortiz, J., Fernadez-Vélez, A. (2017). LabVIEW use in modeling and performance test bit error rate of a communication system with high order QAM modulation 2 4 1 and coding Reed-Solomon for undergraduate teaching. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería*. 40(3).
- Mihail-Florin, S.; Husu, A., Ionuț-Adrian, M., Fidel, N., Cobianu, C. (2017). Design and implementation of an HVAC System for converting a decommissioned hangar in a conference

- room with a capacity of 800 seats. *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 667–672. <https://doi.org/doi:10.1109/ATEE.2017.7905037>
- Muhammad A. A., Peyman T., Nasser Y, Saeed S. (2016). An efficient medium access control protocol for WSN-UAV. *Ad Hoc Networks*, 52, 146–159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.09.007>.
- Paez-Logreira, H., Ramirez-Cerpa, E., Diaz-Charris, L., & Lopez-Torres, S. (2017). Control automático del set-point de un sistema de HVAC con Arduino , para un consumo energético eficiente y racional. *Revista Espacios*, 38(61), 5–18. Recuperado de: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n61/a17v38n61p05.pdf>
- Piñeres-Espitia, G., & Mejía, Á. (2013). Plataformas tecnológicas aplicadas al monitoreo climático Technological platforms applied the climatic monitoring. *Prospectiva*, 11(2), 78–87. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15665/rp.v11i2.42>
- Shahzad, F. (2013). Satellite monitoring of Wireless Sensor Networks (WSNs). *Procedia Computer Science*, 21, 479–484. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.065>
- Shkurti, L. (2017). Development of Ambient Environmental Monitoring System Through Wireless Sensor Network (WSN) U sing NodeMCU and “ WSN Monitoring ,” (June), 11–15.
- Wen, Y., & Burke, W. (2013). Real-time dynamic house thermal model identification for predicting hvac energy consumption. *IEEE Green Technologies Conference*, 367–372. <https://doi.org/10.1109/GreenTech.2013.63>
- Yashen, L.; Barooah, P.; Meyn, S. (2015). Experimental Evaluation of Frequency Regulation From Commercial Building HVAC Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(2), 776–783. <https://doi.org/doi:10.1109/TSG.2014.2381596>
-

1. Magíster en Ingeniería, especialista en Estudios Pedagógicos. Departamento Ciencias de la Computación y Electrónica. Directora del programa Ingeniería Electrónica. Universidad de la Costa. zcomas1@cuc.edu.co
 2. Magíster en Ingeniería. Departamento Ciencias de la Computación y Electrónica, profesor del programa Ingeniería Electrónica. Universidad de la Costa. jsimanca3@cuc.edu
 3. Doctor en Gestión de las Ciencias y Tecnología. Departamento Ciencias de la Computación y Electrónica. Universidad de la Costa. jvelez.co@cuc.edu.co
 4. Estudiante del programa Ingeniería Electrónica. Departamento Ciencias de la Computación y Electrónica. Universidad de la Costa. veberathos@gmail.com
 5. Estudiante del programa Ingeniería Electrónica. Departamento Ciencias de la Computación y Electrónica. Universidad de la Costa. iran9119@gmail.com
-

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 39 (Nº 45) Año 2018

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]