

Acople de sensores en la medición de variables ambientales usando tecnología ZigBee

Attach sensors to measure environmental variables using ZigBee technology.

Carlos Alberto Vera Romero¹, Jhon Erickson Barbosa Jaimes², Diana Carolina Pabón González³.

^{1,2,3}GRINDES – Grupo de investigación para el desarrollo económico, tecnológico y social, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pamplona, Colombia

carlos.vera@unad.edu.co
jhon.barbosa@unad.edu.co
diana.pabon@unad.edu.co

Resumen— Este artículo trata de dar una idea de una aplicación tecnológica utilizando los módulos *Xbee*[®]. Estos módulos se utilizan como router en puntos distantes, formando con estos dispositivos una red de sensores inalámbricos que permiten supervisar algunas variables físicas. Se utilizan sensores para la medición de los parámetros de temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación y radiación solar global. Los dispositivos utilizados pueden capturar las variables continuas analógicas por los sensores y sin cables que permitan comunicación de red. La red consta de cuatro nodos de sensores que son los responsables de la recogida de datos de cada uno de los sensores, que se encuentra temporalmente en las instalaciones del CCAV UNAD Pamplona - Norte de Santander. Colombia.

Palabras clave— Red de sensores inalámbrica, IEEE 802.15.4, ZigBee, Xbee[®].

Abstract— This article tries to give an idea of a technological application using Xbee[®] modules. These modules are used as router at distant points, these devices forming a network of wireless sensors to monitor some physical variables. Sensors for measuring environmental parameters temperature, relative humidity, rain and global solar radiation are used. The devices used can capture analog continuous variables by sensors and wireless communication to allow network. The network consists of four sensor nodes which are responsible for the collection of data from each sensor, which is temporarily in facilities CCAV UNAD Pamplona - Norte de Santander. Colombia.

Key Word — Wireless sensor network, IEEE 802.15.4, ZigBee, Xbee[®].

I. INTRODUCCIÓN

Una red de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks - WSN) consiste en dispositivos distribuidos espaciados libremente utilizando sensores para monitorear condiciones físicas de un fenómeno [1]. O sea que una WSN se refiere a un conjunto de sensores espacialmente distribuidos, propuestos para supervisar, registrar y organizar los datos recogidos enviados a una ubicación central de forma autónoma, lo que se plantea es diseñar una red WSN que permita el monitoreo de algunas variables ambientales.

A partir de la incorporación y acople de diversos dispositivos de sentido y de comunicación se realiza una conectividad inalámbrica mediante un estándar o protocolo inalámbrico que permita capturar señales proveniente del medio ambiente. Algunos de esos estándares aprovechables incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 (Wi-Fi) o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 Mhz [2].

ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbricas establecido por la Alianza *ZigBee* que es compatible con más de 70 empresas asociadas. Añade red, seguridad y software de aplicación a la norma IEEE 802.15.4, debido a su bajo consumo de energía y la configuración de red simple, *ZigBee* es considerado el protocolo más prometedor para los sensores inalámbricos [3], por lo tanto se propone en la siguiente investigación hacer uso de esta tecnología acoplándose a las necesidades de la red diseñada.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los componentes en la medición de algunas variables ambientales aplicando tecnología *ZigBee* de una red de sensores inalámbricos son:

- Los sensores; de distintos tipo y tecnologías los cuales toman del medio la información y la convierten en señales eléctricas.
- Nodos de sensor; capturar los datos del sensor a través de sus puertas de datos, y envían la información a la estación base.
- Puerta de enlace; conocido como *gateway*, van a ser los elementos que permiten la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP.
- Estación base; encargada de recolectar los datos provenientes de los nodos.
- Red Inalámbrica; conformada típicamente por el estándar *802.15.4/ZigBee*, utilizando los módulos *XBee*[®] como solución de conectividad inalámbrica a los dispositivos.

A. Caracterización de sensores utilizados

Un sensor es considerado un dispositivo capaz de transformar un fenómeno físico o químico en magnitudes eléctricas, está siempre en contacto con la variable a medir [4]. En función del tipo de sensor, se medirán los siguientes parámetros: temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación solar global.

Sensor para medir temperatura. La temperatura es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente [5]. En este proyecto se considera la temperatura ambiente, medida de la energía contenida en el aire circundante. Cuanto mayor es la energía calorífica en una sustancia, mayor es su temperatura. La Tierra recibe sólo dos milmillonésimas partes de la energía que produce el Sol. Mucha de la energía que llega a nuestro planeta es reflejada de vuelta al espacio. La mayoría de la energía no reflejada es absorbida por la superficie terrestre. A medida que la superficie se calienta, también se calienta al aire situado sobre ella [6].

El sensor utilizado para la medición de la temperatura ambiente es un DS18B20. El DS18B20 es un sensor digital de temperatura de la casa *Dallas Semi Conductors*, puede ser usado para medir temperatura del ambiente o para pruebas [7], usa un protocolo denominado 1-Wire, para la comunicación entre los dispositivos que compartan este protocolo y el "Maestro", que se encarga de manejar a los diferentes componentes dentro de la línea de comunicación 1-Wire [8].

Sensor para medir humedad. Cuanto más cerca del mar, río, océano, etc., más humedad hay en el aire [9]. El factor evaporación viene directamente relacionado con la

temperatura y del nivel de saturación del aire. La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica [10]. La forma más habitual de expresar la humedad ambiental es: $RH = [P(H_2O)/P^*(H_2O)] \times 100\%$. Se expresa en tanto por ciento (%). Dónde: $P(H_2O)$ es la presión parcial de vapor de agua en la mezcla de aire, $P^*(H_2O)$ es la presión de saturación de vapor de agua a la temperatura en la mezcla de aire, y RH es la humedad relativa de la mezcla de aire que se está considerando.

La importancia de esta manera de expresar la humedad ambiente radica en que refleja muy adecuadamente la capacidad del aire de admitir más o menos vapor de agua, lo que, en términos de comodidad ambiental para el ser humano, expresa la capacidad de evaporar la transpiración, importante regulador de la temperatura del cuerpo humano [11]. Para la medición de humedad relativa se utilizó el sensor proporcionado por la empresa Honeywell, de referencia HIH 4000-002. El sensor HIH 4000-002 es un sensor capacitivo con salida de voltaje lineal.

Sensor para medir precipitación. La precipitación se conceptualiza como la caída de hidrometeoros del cielo que llegan a la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve, granizo, llovizna, entre otros, cuando está en estado líquido se expresa en milímetros (mm) o litros por metro cuadrado (l/m^2) [12]. Aunque esté expresada en mm no es una unidad de longitud sino de volumen, ya que se basa en la cantidad de lluvia caída sobre una superficie de $1m^2$, y la altura es la medición de precipitación en esa superficie en milímetros. Por ejemplo, 1 mm de precipitación significa que en una base de $1m^2$ ha caído 1 litro de agua [13].

El diseño de la investigación se centra en la medición de precipitación en estado líquido. El sensor escogido para hacer las pruebas de medición de precipitación, está basado en un sensor de ultrasonido, con el cual se diseña un pluviómetro de punto fijo, el sensor ultrasónico de distancia (*Ping*)TM.

El sensor (*Ping*)TM, funciona mediante la transmisión de una ráfaga de ultrasonido en una frecuencia de 40 kHz, muy por encima del rango auditivo humano y provee un pulso de salida, el cual corresponde con el tiempo requerido por el eco o sea el rebote para retornar hasta el sensor [14]. Al medir la duración de este pulso se puede calcular fácilmente la distancia al objetivo.

Sensor para medir radiación solar. La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Ésta para alcanzar la superficie de la Tierra, ha de pasar la capa de ozono la cual absorbe la mayor parte de radiación [15]. La irradiancia es la magnitud que mide la energía por unidad de tiempo y área cuando alcanza la Tierra [16]. La unidad para medirla es W/m^2 . El sensor utilizado para la medición de la radiación solar es el *CS300 Pyranometer*.

El piranómetro CS300 está basado en fotocélula de silicio, fabricado por la empresa *Apogee instruments*. El rango espectral de medición esta entre los 300 a 1100 nm, toma la mayor parte de radiación de onda corta que llega a las superficie terrestre [17]. Se destacan sus características como: bajo costo, salida de señal alta de 200 mV para una máxima radiación.

Para acoplar el sensor de radiación CS300, a la tarjeta Arduino, es necesario amplificarla ya que solamente posee un rango de medición máximo de 0 a $2000 W/m^2$, o sea que según las especificaciones 0.2mV por W/m^2 . Al utilizar realimentación en el amplificador operacional es posible controlar la ganancia. Ahora bien, el máximo valor de salida a obtener es de 0.4V equivalente a $2000 W/m^2$, con un promedio de $1000 W/m^2$ en un día despejado, esto hace que el nivel de tensión en la entrada del pin analógico de la tarjeta Arduino no lo alcance a leer para valores pequeños de radiación, obligando a aumentar la ganancia a por lo menos a 12.5, así obteniendo un voltaje de entrada de 5V aproximadamente. Entonces para tal fin se realiza un cálculo básico de ganancia de un amplificador en modo no inversor.

$$V_{salida} = V_{entrada} * [(R_1 + R_2)/R_1] \quad (1)$$

Entonces la relación $[V_{salida} / V_{entrada}] = Ganancia$

De aquí la Ganancia da como resultado 13,24. Esta ganancia obtenida permite amplificar la señal proveniente del sensor CS300 a un valor máximo aproximado de 5.2 Voltios, lo cual es lo deseado para que la tarjeta Arduino pueda leerlo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la caracterización realizada de los sensores, estos se conectan obteniendo los siguientes acoples:

Acople sensor de temperatura. Se acopla el sensor de temperatura DS18B20, el cual viene con 3 pins, aunque existen diversas maneras de conectarlo como ya se indicó, se optó por conectarlo como los sugiere el fabricante. Conectar tierra al pin de tierra de la tarjeta Arduino, el pin de 5V a 5V,

y del pin central DQ (Datos) a una entrada pin digital D7, conectado con una resistencia de 4,7KΩ con 5V de la tarjeta arduino, como se muestra en la Fig.1.

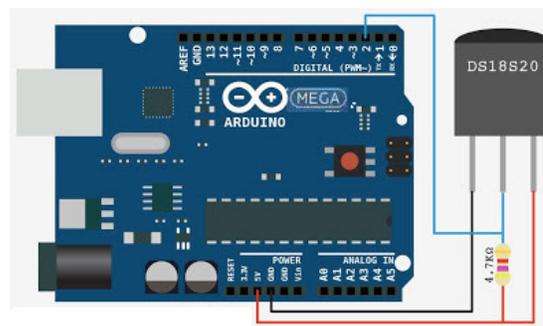


Fig.1. Esquemático acople sensor de temperatura DS18B20
Fuente: Elaboración Grupo GRINDES

Acople sensor de humedad. Según la hoja de datos, funcionando con 5V a 0% de humedad relativa te entrega 0.958V y a 75,3% de humedad relativa entrega 3.268V. Con esto se puede sacar los valores armando una tabla. Para determinar el porcentaje de la Humedad Relativa se puede aplicar la ecuación: $(V_{OUT} - 0.958) / 0.0307 = \% \text{ HUMEDAD RELATIVA}$

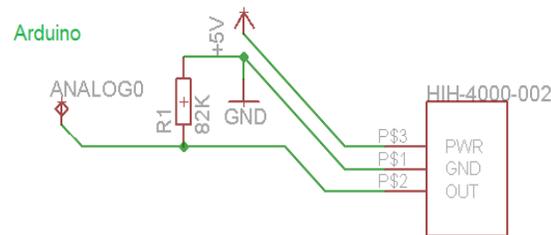


Fig.2. Esquemático acople sensor de humedad HIH-4000-002.
Fuente: Elaboración Grupo GRINDES

Se acopla el sensor de humedad *HIH-4000-002* en donde en este caso se conecta la alimentación del *HIH-4000-002* a 5V a pin de 5V de la placa Arduino, el pin de tierra a tierra y el pin de señal al pin A0 (que es la señal proveniente del sensor de humedad), con una resistencia a tierra de 82KΩ como se muestra en la Fig.2.

Acople sensor de precipitación. Se acopla el sensor *Ping)))™*, va a permitir medir precipitación por diferencia de distancia, o sea nivel se relaciona con precipitación, en el programa diseñado en Arduino se muestra dicha relación. Para este caso se conecta la alimentación del *Ping)))™* de 5V a pin

de 5V de la placa Arduino, el pin de tierra a tierra el pin SIG (que es señal) se conecta al pin digital D7 en la tarjeta Arduino, como se muestra en la Fig.3.

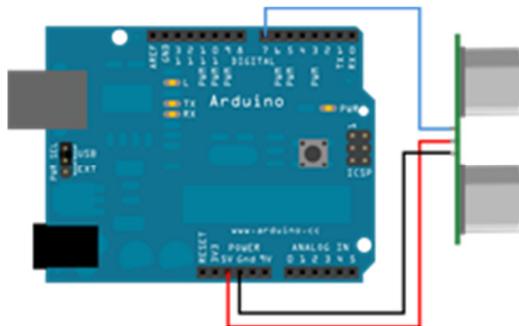


Fig.3. Simulación esquemático acople sensor de sensor Ping)))™
Fuente: Elaboración Grupo GRINDES

Acople sensor de radiación solar. Ahora bien, según la caracterización y demás cálculos realizados de ganancia para el sensor CS300, el circuito esquemático queda de la siguiente manera como se puede observar en la Fig.4.

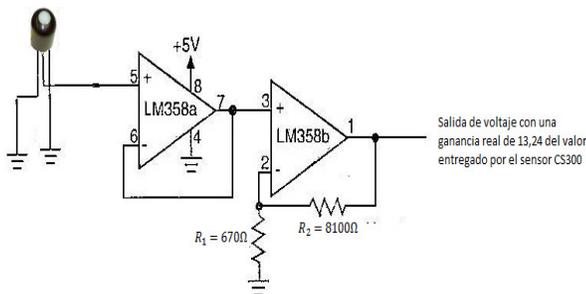


Fig.4. Circuito de acople del sensor CS300
Fuente: Elaboración Grupo GRINDES

Configuración de módulos XBee®. Cada nodo de la red, tiene conectado cuatro sensores y acoplados de similar manera como ya se indicó anteriormente. El prototipo requerirá la utilización de cinco módulos XBee®, para la parte de comunicación inalámbrica con el objetivo de interconectar el sistema de estaciones remotas.

Los módulos XBee® son chip electrónicos especializados compuestos por un microcontrolador, un emisor y un receptor de RF. El protocolo 802.15.4 y el protocolo ZigBee permiten realizar comunicaciones *peer-to-peer*, *unicast* o *broadcast*

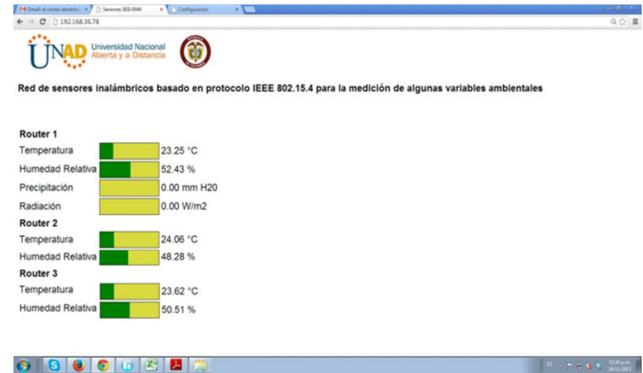
[18]. Los módulos XBee® tiene la característica de comunicarse sin necesidad de configurarlos, se pueden enviar datos de un puerto serie inalámbricamente sin necesidad de configurarlo, sencillamente se conecta el pin RX y TX, teniendo precaución de conectarlos con la alimentación de 3.3V [19]. Sin embargo para aplicaciones más simples se podrá usar otras de las características del módulo. El mismo dispone de 8 pines de entrada/salida y 6 de estos pines conjuntamente se pueden usar como ADC. Para facilitar la configuración de los módulos XBee® se usa una tarjeta XBee USB la cual permite conectarlos directamente al computador vía USB y configurarlos mediante el software X-CTU de Digi®.

El software X-CTU desarrollado por la empresa MaxStream es distribuido gratuitamente en internet, y es la principal herramienta para la configuración de los módulos XBee®. El software soporta todos los productos de MaxStream, contiene aplicaciones similares a la del HyperTerminal de Windows, permite realizar pruebas de señal con los distintos dispositivos que conforman nuestra red y variar las principales características y registros de identificación de los dispositivos.

Se configuraron los parámetros de: canal, identificador pan, dirección de destino, dirección de destino, dirección de origen a 16 bits, tiempo antes de transmitir, función (coordinador/dispositivo final), lista de canales para examinar, tiempo para examinar el canal, asociación dispositivo final, asociación coordinador, nivel de potencia, umbral de decisión para transmitir, velocidad de transmisión, modo de operación, modo de sueño, todos estos en el programa X-CTU y sobre un estudio previo se realiza la caracterización y acople de los sensores de temperatura, humedad, precipitación y radiación solar, quedando de la siguiente manera cada nodo como se indica en la Fig.5.



Fig.5 Montaje Router
Fuente: Grupo GRINDES



Cada estación prototipo está diseñada como la mostrada en la Fig.6.



Fig.6 Estación diseñada correspondiente al Nodo No.1
Fuente: Grupo GRINDES

El nodo coordinador está conectado a la red local y mostrará los datos en tiempo real de los datos adquiridos por los sensores. Realizando diversas pruebas, se calibran los sensores, y a través de una interfaz realizada por medio de Ethernet Arduino, se ingresa a un navegador desde la red local y al digitar la dirección 192.168.36.78 correspondiente al proyecto SIGI-0044 Red inalámbrica de sensores basados en protocolo IEEE.802.15.4 para la medición de algunas variables ambientales, se pueden observar los dispositivos que se encuentran conectados en el momento de realizar esta prueba.

Fig.10 Acceso remoto a los datos de los nodos a través del coordinador del Router
Fuente: Grupo GRINDES

IV. CONCLUSIONES

A través de la alianza *ZigBee*[®] con su tecnología y mediante la aplicación de los módulos *XBee-PRO*[®] *S2B ZB* se ha podido realizar una aplicación de red de sensores simple, segura, confiable, y flexible aplicando la configuración de parámetros y los modos de empleo de las estructuras de trama a 16 bits.

Se desarrolló un prototipo de estación remota y de red de sensores para la detección de los cambios ambientales lo que implicó una comprensión de la configuración y manejo de los módulos *Xbee* y ajuste de las diferentes señales provenientes de los diferentes sensores. Se realizó la caracterización de los sensores utilizados en la red, para la medición de algunas variables ambientales, en donde se montaron cuatro routers cada uno con cuatro sensores capaces de monitorear los parámetros de temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación y radiación solar global. Se configuraron los dispositivos de radiofrecuencia que permiten la comunicación entre la estación base, pudiéndose comprobar el gran potencial que tienen las redes de sensores inalámbricos.

RECOMENDACIONES

El presente proyecto ha sido parcialmente financiado por el sistema de gestión de la investigación SIGI de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD Colombia. Mediante convocatoria interna No.002 bajo el código SIGI-0044 al grupo de investigación GRINDES-COL0045135.

REFERENCIAS

- [1]. Pottie, G. J., & Kaiser, W. J. (2000). Wireless integrated network sensors. *Communications of the ACM*, 43(5), 51-58.
- [2]. Xia, F. (2008). QoS challenges and opportunities in wireless sensor/actuator networks. *Sensors*, 8(2), 1099-1110.
- [3]. Wang, N., Zhang, N., & Wang, M. (2006). Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and electronics in agriculture*, 50(1), 1-14.
- [4]. Kamel, M. H. (2010) Notes on Sensors & Transducers. Brief description of sensors and its applications By Mahmoud Hassan Kamel. 3rd year Dept. of Electrical Engineering Telecommunications and Electronics, University of Minia, Egypt. Observed by : Dr.Ashraf.
- [5]. Leigh, J. R. (1988). Temperature measurement and control (No. 33). IET.
- [6]. Jardón, J. J. (1995). Energía y medio ambiente: una perspectiva económico y social. Plaza y Valdes.
- [7]. Scharfglass, K., & Lehmer, A. (2012). Wireless Sensor Network for Wine Fermentation.
- [8]. Xin-min, H. Z. J. L. (2003). Digital Temperature Sensor DS18B20 And Its Application [J]. *Journal of Nanjing Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 1, 001.
- [9]. Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2012). Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons.
- [10]. Iribarne, J. V., & Godson, W. L. (Eds.). (1981). Atmospheric thermodynamics (Vol. 6). Springer.
- [11]. Parsons, K. (2010). Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. CRC Press.
- [12]. Ahrens, C. D. (2010). Essentials of Meteorology.: An Invitation to the Atmosphere. Cengage Learning.
- [13]. Shaw, E. M., Beven, K. J., Chappell, N. A., & Lamb, R. (2010). Hydrology in practice. Taylor & Francis US.
- [14]. McComb, G. (2012). PING))) Ultrasonic Distance Sensor. Submitted by Gordon McComb on Tue, 02/21/2012 - 16:28. <http://learn.parallax.com/KickStart/28015> (22 de abril de 2012)
- [15]. Iqbal, M. (1983). An introduction to solar radiation. Access Online via Elsevier.
- [16]. Fontenla, J., White, O. R., Fox, P. A., Avrett, E. H., & Kurucz, R. L. (1999). Calculation of solar irradiances. I. Synthesis of the solar spectrum. *The Astrophysical Journal*, 518(1), 480.
- [17]. Campbell Scientific, Inc. (2011). CS300 Pyranometer. <http://s.campbellsci.com/documents/es/manuals/cs300.pdf> (3 de septiembre de 2012).
- [18]. Dishongh, T. J., McGrath, M., & Kuris, B. (2009). Wireless sensor networks for healthcare applications. Artech House.
- [19]. Hyncica, O., Kacz, P., Fiedler, P., Bradac, Z., Kucera, P., & Vrba, R. (2006, March). The Zigbee experience. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing*.
- [20]. Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2012). Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons.