

**LOW-COST METEOROLOGICAL PLATFORM BASED ON ZIGBEE
TECHNOLOGY****PLATAFORMA METEOROLÓGICA DE BAJO COSTO BASADA EN
TECNOLOGÍA ZIGBEE****MSc. Carlos Alberto Vera Romero, MSc. Jhon Erickson Barbosa Jaimes
Esp. Diana Carolina Pabón González****Universidad Nacional Abierta y a Distancia.**Grupo de Investigación para el Desarrollo Tecnológico, Económico y Social - GRINDES.
Calle 5 # 3 – 05, Pamplona, Colombia, Tel: +(57-7) 568 6688.
E-mail: {carlos.vera, jhon.barbosa, diana.pabon}@unad.edu.co

Abstract: This paper presents the design, development and implementation of a low-cost meteorological platform that includes a communication system based on ZigBee technology for remote monitoring. For this we have used a development card based on the ATmega2560 microcontroller with application/extension cards oriented to data collection and connectivity applications. An Arduino Ethernet circuit board is incorporated to create a programming environment that allows the visualization of variables data obtained in real time.

Keywords: Remote monitoring, IEEE 802.15.4, environmental variables, ZigBee.

Resumen: Este trabajo presenta el diseño, desarrollo e implementación de una plataforma meteorológica de bajo costo, que incluye un sistema de comunicación basada en tecnología ZigBee para el monitoreo remoto. Para esto se ha utilizado una tarjeta de desarrollo basada en el microcontrolador Atmega2560 con tarjetas de aplicación/ampliación orientados a aplicaciones de obtención de datos y conectividad. Se incorpora una tarjeta electrónica Arduino Ethernet para crear un entorno de programación que permitió la visualización de datos de las variables obtenidas en tiempo real.

Palabras clave: Monitoreo remoto, IEEE 802.15.4, variables ambientales, ZigBee.

1. INTRODUCCIÓN

En determinadas zonas geográficas del país es fundamental conocer el comportamiento de las variables meteorológicas, esto permite hacer un uso sustentable de los recursos de la naturaleza, como en el caso de actividades productivas del sector agropecuario. Colombia es un país rico en suelos y en diversidad climática. El clima varía como resultado de numerosos factores como las montañas, los mares y otros que actúan conjuntamente y dependiendo de una región a otra, presentan microclimas y amplia estacionalidad en

la producción que a veces no son tomados en cuenta. Lo cual, tal vez se debe a la falta de un sistema de instrumentos que permitan al agricultor conocer cuándo y cómo producir según el clima y así considerar un modelo de predicción de la fenología del cultivo, plagas y enfermedades

Hoy se habla de los sistemas de monitoreo de alertas tempranas, pues, son muy importante para la captación de información como la temperatura ambiental, la humedad relativa, la precipitación, la velocidad y dirección de los vientos, la radiación global solar, las horas de frío, la

evapotranspiración, la presión atmosférica, inclusive el pH del suelo, entre otros datos, que van permiten al pequeño productor tomar decisiones para el mejor periodo de cultivo y cosecha basándose en una estación meteorológica, lo que conlleva a reducir considerablemente la pérdida económica por lo que se hace importante disponer de dicha información en tiempo real. Un reto a los que se enfrentan los responsables de las organizaciones de administrar la información meteorológica y vigilancia medioambiental es la transmisión de datos desde puntos remotos y geográficamente muy dispersos, hacia una plataforma de recolección, que permita realizar el monitoreo y control en tiempo real mediante un sistema de comunicaciones (Principi *et al.*, 2008).

Las tecnologías de la comunicación y la electrónica han permitido el desarrollo de nodos sensores multifuncionales con capacidades mejoradas de comunicación inalámbrica (Akyildiz *et al.*, 2002). Los nodos de sensores capturan, procesan y transmiten datos provenientes de las variables a medir, lo cual permite el desarrollo de redes de comunicaciones automáticas de medida cuyos nodos son accesibles desde una amplia zona. Estas capacidades de comunicación permiten que los datos del sistema sean monitorizados y consultados de forma remota, los datos pueden ser almacenados en un sistema base centralizado el cual permite la consultas para luego ser analizados (Bonnet *et al.*, 2000). El presente trabajo muestra el diseño y la construcción de una plataforma de estación meteorológica de bajo costo con tecnología ZigBee, la cual permite el monitoreo de variables ambientales remotas como la temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación solar global, que se acoplaron a la tecnología ZigBee permitiendo en tiempo real la visualización de la variación de estas variables en una red de área local.

2. ZIGBEE

El protocolo 802.15.4, es un estándar de comunicaciones inalámbricas para redes de área personal. Este protocolo fue creado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), entidad cuya tarea principal es establecer normas comunes para que los avances tecnológicos. El estándar fue diseñado para ser utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que requieren comunicaciones inalámbricas sencillas de corto alcance y limitada potencia. Es importante señalar

que el enfoque de la norma IEEE 802.15.4, es ser un facilitador de aplicaciones, donde el valor estará en la aplicación y no en la capacidad inalámbrica (Gutiérrez *et al.*, 2004).

El protocolo IEEE 802.15.4 se encuentra en el nivel 2 del modelo OSI, o sea la capa de enlace de datos (Adams, 2006). Aquí las unidades digitales de información (bits) son gestionados y organizados para convertirse en impulsos electromagnéticos (ondas) en el nivel inferior, el físico. Esta capa es similar a los otros conocidos tales como la 802.11 (denominada comercialmente bajo las tecnologías WiFi) o el común Ethernet (802.3). El medio de transmisión ZigBee trabaja sobre la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica (Mohanty, 2010).

El protocolo ZigBee es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante (Acevedo & Iturriago 2013). ZigBee es una tecnología de baja tasa transferencia, bajo consumo de energía y es un protocolo inalámbrico dirigido a aplicaciones de control remoto. IEEE y Zigbee Alliance han estado trabajando estrechamente para especificar toda la pila de protocolo. Este protocolo sigue la definición por capas del modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos OSI (*Open System Interconnection*) (Yao & Warren, 2005). IEEE 802.15.4, se centra en la especificación de las dos capas inferiores del protocolo (capa física, control de acceso al medio). Por otro lado, Zigbee Alliance, proporciona las capas superiores de la pila del protocolo desde la red haya la aplicación (Ergen, 2004). Su función principal es la de aprobar la comunicación entre dos dispositivos.

En los dispositivos denominados Wasmote se ajusta el protocolo XBee 802.15.4 para uso de sensores con tecnología inalámbrica o en XBee y XBee-PRO 802.15.4 OEM RF, módulos integrados que proporcionan soluciones inalámbricas a dispositivos finales.

Estos módulos utilizan el protocolo de red IEEE 802.15.4 ya sea para una conexión punto a punto o punto a multipunto. (Lee *et al.*, 2006). Las frecuencias definidas en la tecnología ZigBee se reparten entre 27 canales diferentes, divididas en tres grupos principales (Craig, 2004). La tabla 1 muestra las bandas de frecuencia y la velocidad de datos según la banda elegida.

Tabla 1: Bandas de frecuencia y velocidad de datos

Física	Banda de Frecuencia	Números de canales	Parámetros de propagación		Parámetros de los datos		
			Velocidad de procesamiento	Modulación	Bits por segundo	Cantidad de información	Modulación
868/915MHZ	868-870 MHz	0	300 kchip/s	BPSK	20 kb/s	20 kbaud	BPSK
	902-928 MHz	1 a 10	600 kchip/s	BPSK	40 kb/s	40 kbaud	BPSK
2.4 GHz	2.4-2.4835 GHz	11 a 26	2.0 Mchip/s	O-QPSK	250 kb/s	62.5 kbaud	16-ary Orthogonal

Fuente: (Craig, 2004) [traducción propia]

El estándar IEEE 802.15.4 define dos representaciones físicas que incorporan tres bandas de frecuencias de licencia libres e incluyen dieciséis canales a 2.4 GHz, diez canales a 902-928 MHz, y un canal en 868-870 MHz. Las tasas máximas de datos para cada banda son 250 kbps, 40 kbps y 20 Mbps, respectivamente (Craig, 2004).

3. METODOLOGÍA

Los módulos inalámbricos de radiofrecuencia utilizados que permiten la comunicación de la plataforma de estación meteorológica con la red ethernet local fueron los XBee-PRO[®] ZB (S2B) con antena de cable integrado de 63 mW como el mostrado en la Fig 1.

Fig. 1: Módulos XBee-PRO[®] ZB (S2B)

Fuente: Autores

Los dispositivos XBee-PRO[®] ZB (S2B) los fabrica la empresa Digi internacional los cuales fueron utilizados en la plataforma y la central de comunicación Ethernet, el cual es un dispositivo que se comunica con un microcontrolador Atmega2560.

Dentro de las especificaciones del dispositivo se puede mencionar las siguientes según Albacore, (2013):

- Velocidad de datos: RF 250 Kbps
- Alcance máximo con obstrucción (Interior) 90 m
- Alcance máximo con visión directa (al aire libre) 3200 m.
- Potencia de transmisión: 63 mW (+18 dBm)

- Sensibilidad del receptor (1% PER): 102 dBm
- Interfaz serie: 3.3V CMOS UART, SPI, I2C, PWM, DIO, ADC.
- Método de configuración: Comandos AT y API.
- Frecuencia de operación: 2.4 GHz
- Inmunidad a la interferencia: DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).
- Velocidad de datos seriales: de 1200 bps a 1Mbps.
- Entradas conversor analógica/digitales: (4) 10 bits entrada ADC.
- Entradas y salidas digitales: 10.
- Temperatura y humedad de funcionamiento: 40°C a +85°C, 0-95% de humedad sin condensación.
- Canales: 15 canales (11 a 25)
- Voltaje de alimentación: 2.7 a 3.6 VDC
- Consumo en modo de transmisión: 205 mA.
- Consumo en modo de recepción: 47 mA.
- El consumo en modo de suspensión: 3.5 uA @ 25° C.

3.1 Esquema Básico

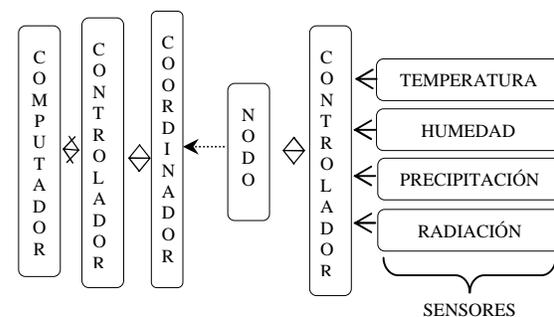


Fig. 2: Esquema básico de comunicación

Se propuso el diseño de una topología simple tipo punto a punto, en donde se dispone configurar los módulos XBee-PRO[®] ZB (S2B) en modo API (*Application Programming Interface*) interfaces seriales (Digi[®], 2009), uno como *Router* o Enrutador, que se encarga de proveer una conexión (Sandoval *et al.*, 2013), hacia el Coordinador o administrador de la red la configuración se realiza

mediante la interface de configuración X-CTU, con la tarjeta XBee *USB explorer*.

A su vez el controlador usado es un microcontrolador Atmega2560 que se programa utilizando un lenguaje propio de Arduino que se basa en *wiring* y un entorno de desarrollo integrado propio basado en *processing* (Dávila *et al.*, 2013) a donde se han conectado dos sensores analógicos que miden humedad relativa y radiación solar global y dos sensores digitales que miden temperatura del ambiente y precipitación en forma de lluvia.

Los datos de los sensores son llevados a través de módulo configurado como router al coordinador, quien este a su vez está conectado a una Arduino conectado a una red Ethernet, usando el Ethernet Shield (escudo).

3.2 Simulación del acople del prototipo de la estación remota

Para facilitar la realización del esquema se utilizó el software de automatización de diseño electrónico libre llamado Fritzing, el cual fue creado bajo los principios de *Processing* y Arduino, y permite a los diseñadores, artistas, investigadores y aficionados documentar sus prototipos basados en Arduino y crear esquemas de circuitos impresos para su posterior fabricación.

Además cuenta con un sitio web complementario que ayuda a compartir y discutir bosquejos y experiencias y a reducir los costos de fabricación (Knörig *et al.*, 2009)

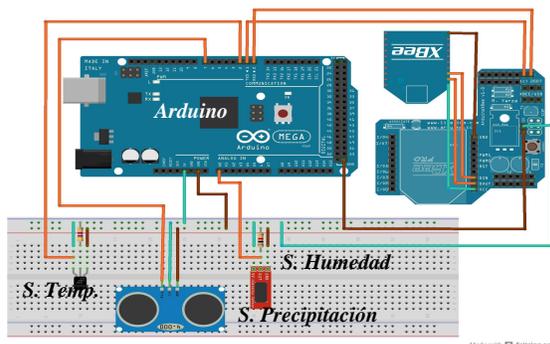


Fig.3: Acople simulado del prototipo de la estación remota con los módulos XBee-PRO® ZB (S2B)

La Fig.3 ilustra el esquema general del sistema remoto basado en tecnología ZigBee para la comunicación del nodo router de estación remota con el nodo coordinador.

3.3 Configuración de parámetros XBee-PRO® ZB (S2B)

Tabla 2: Configuración módulos XBee

Descripción	Parámetro	Módulo 0 (Coord)	Módulo 1 (Rout)
Canal	CH	12	12
Identificador PAN	ID	1234	1234
Dirección de Destino	DH	0	0
Dirección de Destino	DL	1 ó 2	0
Dirección de Origen (16 bits)	MY	0	1
Tiempo antes de transmitir	RN	0	0
Función (Coordinador/Router)	CE	1	0
Lista de canales para examinar	SC	0x1FFE	0x1FFE
Tiempo para examinar el canal	SD	4	4
Asociación Dispositivo Final	A1	-	0
Asociación Coordinador	A2	0	-
Nivel de Potencia	PL	4(0dBm)	4(0dBm)
Umbral de decisión para transmitir	CA	0X2C (-44dBm)	0X2C (-44dBm)
Velocidad de Transmisión	BD	3 (9600bps)	3 (9600bps)
Modo de operación	AP	1	1
Modo de sueño	SM	1	0

La configuración de los módulos XBee, se realiza mediante el programa X-CTU (Faludi, 2010). Se configuró en modo API 1, lo cual permite mayor flexibilidad a la hora de enviar como recibir datos a través del envío de paquetes. La tabla 2, describe la configuración mediante la programación de los dos módulos inalámbricos.

A continuación se relacionan los elementos utilizados en el diseño electrónico así como en la estructura que se utilizó para montar la plataforma meteorológica.

3.4 Dimensionado estructura soporte

Se diseñó una estructura tipo torre, dimensionándola de tal manera que pueda soportar todos los sensores con sus respectivos acoples, tal como se muestra en la Fig.4.

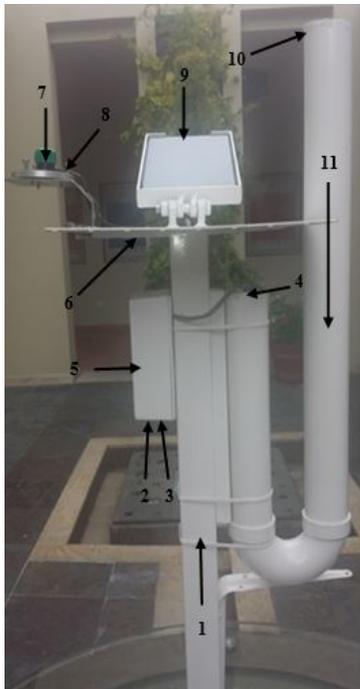


Fig. 4: Plataforma meteorológica diseñada con tecnología ZigBee

En la tabla 3, se relacionan los elementos que hacen parte de la estación.

Tabla 3: Elementos

No.	Elemento	Característica
1	Estructura metálica	Tipo torre, pintada con pintura aislante.
2	Sensor de temperatura	Sensor digital DS18B20 de la empresa Dallas Semi Conductors
3	Sensor de humedad	Sensor analógico HIH-4000-002 la empresa Honeywell
4	Sensor de precipitación	Sensor Ultrasónico de Distancia (Ping))) empresa parallax
5	Caja de comunicación y control.	Arduino mega 2560 y el módulo Xbee. Batería recargable
6	Platina protectora	Metálica, bañada en pintura aislante a la corrosión.
7	Sensor de radiación	CS300 Pyranometer empresa Apogee instruments.
8	Base niveladora	Base de nivelación 18356 para fijar el sensor con soporte de montaje CM225
9	Panel solar	8V a 310mA
10	Embudo	Tubo tipo embudo
11	Tubo PVC	50 cms de tubo PVC para precipitación

La estructura metálica soporta la plataforma de estación meteorológica, esta posee un baño en pintura aislante para evitar la corrosión y así permitir un uso duradero a los cambios de la intemperie.

En la parte superior de la estructura se adecuó el espacio para un panel solar que suministra la energía para una batería recargable de batería de 7.4V, la cual permite hasta un consumo de 2200 mAh.

Sobre la platina protectora se colocó el sustentáculo CM225 y la base de nivelación 18356 del sensor CS300, acoplado el sensor junto con los demás elementos que están sobre la platina protectora como el sensor de humedad, de temperatura. Igualmente se instaló el pluviómetro basado en el sensor ultrasónico ping que utiliza un sonar por ultrasonido tal como se ilustra en la figura 5.

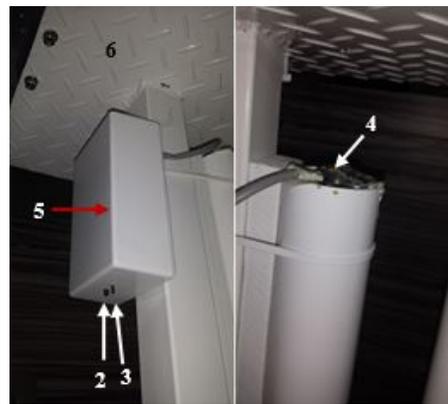


Fig. 5: Sensores instalados en la estructura tipo torre.

3.5 Monitoreo web de la estación

Un servidor web no es más que un dispositivo que atiende peticiones de otro dispositivo cliente a través de una dirección IP (Narten, *et al.*, 2007), es decir, si se accede la IP de Arduino (proporcionada por la *Ethernet Shield*) mediante un navegador, se estará solicitando una información, y el Arduino como servidor, enviará la información solicitada.

La tarjeta *Ethernet Shield* posee una dirección MAC (*Media Access Control*) impresa en una etiqueta pegada a ella de tal forma: byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; esta es la configuración del identificador único MAC del adaptador de red (*Arduino Ethernet Shield*), este debe ser único en la red, puesto que no debe existir otro dispositivo con esta misma dirección.

Ahora la IP Address IP (192.168.36.78) va a ser la IP que el Arduino tomará como servidor a la cual se acceder para ver los datos y está dentro del rango de red para poder ser visible. Se ha utilizado

una IP más cercana a la IP del PC con el que se ha venido trabajando en la red local.

También se dispone la librería para usar la *shield Ethernet* (incluida en la IDE de Arduino): `#include <Ethernet.h>`. Este código imprime información a través de dos medios. Una a través del puerto serie y otra como servidor a través del navegador (McRoberts, 2013). Por esto, cuando existe un cliente solicitando información, primero imprime (carácter a carácter) la información que el cliente solicita a través del puerto serie y seguido se atiende la petición imprimiendo los datos en el navegador. Una vez se ha cargado el código en Arduino, aparece la IP del servidor en el monitor serie. Se accede a un navegador a la IP del ahora servidor web Arduino aparece un mensaje como el de la Fig.6, mostrando los datos de la estación remota diseñada y esta se actualiza cada 5 segundos.



Fig.6: Página web realizada en el Arduino Ethernet.

4. RESULTADOS

La función principal de la interfaz de usuario es la de monitorear en tiempo real y constantemente la información proveniente de los cuatro sensores de la estación meteorológica diseñada, la cual se alimenta a través de un panel solar que garantiza la autonomía del sistema ya que esta permite acumular de forma oportuna la batería recargable.

Los dispositivos se configuraron mediante el programa gratuito X-CTU, lo cual permite verificar el funcionamiento de los dispositivos y garantizar que exista comunicación inalámbrica tanto en la transmisión como en la recepción de datos en los módulos XBee. Además el programa X-CTU permitió la configuración de los dispositivos de

radiofrecuencia ajustándolos a lo deseado en la topología de comunicación elegida.

Mediante una interfaz gráfica diseñada en html y accediendo mediante una dirección se muestra los datos en tiempo real de la estación remota diseñada

5. CONCLUSIONES

Se diseñó una estación meteorológica incorporando el protocolo de comunicaciones IEEE 802.15.4 haciendo uso de la tecnología ZigBee, la cual es una herramienta muy útil y flexible que permite la comunicación de un sitio remoto. Se logró comprender el funcionamiento de los dispositivos de radiofrecuencia como los módulos XBee, destacando la gran versatilidad que tienen estos dispositivos. Se logró construir una estación meteorológica y se logró recibir los datos de forma remota, para ser estos visualizados en tiempo real en un computador, accediendo mediante una dirección web en una red de área local.

Se construyó una plataforma meteorológica autónoma de bajo costo, la cual gracias a uso eficiente e instalación de los dispositivos se permiten trabajar 24 hora al día.

RECONOCIMIENTO

A la Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería – ECBTI por apoyar esta iniciativa de investigación, mediante el sistema de gestión de la investigación SIGI de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD Colombia, en convocatoria interna No.002 bajo el código SIGI-0044 al grupo de investigación para el desarrollo económico, tecnológico y social GRINDES-COL0045135.

REFERENCIAS

- Acevedo, C. M. D. & Iturriago, A. X. (2013). Automatización de un sistema de suministro de agua potable a través de la tecnología ZigBee *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(20).
- Albacore. (2013) Características del XBee & XBee-PRO ZB ZigBee PRO. Brasil. <http://www.albacore.com.br/index.php/produtos/solucoes-embarcaveis/modulos-zigbee-e-rf/modulos-zigbee-e-mesh/xbee-zigbee> (2 de febrero de 2014)

- Adams, J. T. (2006, March). An introduction to IEEE STD 802.15. 4. In *Aerospace Conference, 2006 IEEE* (pp. 8-pp). IEEE.
http://sonoma.edu/users/f/farahman/sonoma/courses/cet543/resources/802_intro_01655947.pdf (23/10/2012)
- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4), 393-422.
http://www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR328/Readings/WSN_Zigbee%200vw.pdf (03/03/2013)
- Bonnet, P., Gehrke, J., & Seshadri, P. (2000). Querying the physical world. *Personal Communications, IEEE*, 7(5), 10-15.
https://intranet.daiict.ac.in/~ranjan/isn2007/papers/Bonnet_IEEE_Personal_Comm2000.pdf (05/03/2013)
- Craig, W. C. (2004). Zigbee: Wireless control that simply works. *Program Manager Wireless Communications ZMD America, Inc.*
http://211.227.236.243/databook/Interface/ZIGBEE/041427r000ZB_Members-ZigbeeWireless.pdf (7/03/2013)
- Dávila, J. R., Gutiérrez, J. C. P., & Blanco, R. P. (2013). Red de “detectores pasivos infrarrojos” enlazados por radiofrecuencia, como sistema de alarma de seguridad de bajo costo *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(18).
- Digi® (2009). XBee®/XBee-PRO® RF Modules datasheet
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf> (3/09/2012)
- Ergen, S. C. (2004). ZigBee/IEEE 802.15. 4 Summary. *UC Berkeley, September, 10.*
<http://staff.ustc.edu.cn/~ustesse/papers/SR10.ZigBee.pdf> (27/02/2013)
- Faludi, R. (2010). *Building wireless sensor networks: with ZigBee, XBee, arduino, and processing.* “O’Reilly Media, Inc.
- Gutierrez, J. A., Callaway, E. H., & Barrett, R. L. (2004). *Low-rate wireless personal area networks: enabling wireless sensors with IEEE 802.15. 4.* IEEE Standards Association.
- Knörig, A., Wettach, R., & Cohen, J. (2009, February). Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction* (pp. 351-358).
ACM.<http://fritzing.org/media/uploads/publications/Fritzing-TEI09-final.pdf> (2 de febrero de 2014)
- Lee, M. J., Zheng, J., Ko, Y. B., & Shrestha, D. M. (2006). Emerging standards for wireless mesh technology. *Wireless Communications, IEEE*, 13(2), 56-63.
<http://www.cse.iitb.ac.in/~varsha/allpapers/wireless/mesh/lee-zheng-emerging-standards.pdf> (27/02/2013)
- McRoberts, M. (2013). Communicating over Ethernet. In *Beginning Arduino* (pp. 341-390). Apress.
http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4302-5017-3_17#page-1 (2/2/2014)
- Mohanty, S. (2010). Energy Efficient Routing Algorithms for Wireless Sensor Networks and Performance Evaluation of Quality of Service for IEEE 802.15. 4 Networks (Doctoral dissertation, National Institute of Technology, Rourkela).
<http://ethesis.nitrkl.ac.in/2077/1/sanatan.pdf> (13/11/2012)
- Narten, T., Draves, R., & Krishnan, S. (2007). Privacy extensions for stateless address autoconfiguration in IPv6.
<http://tools.ietf.org/html/rfc4941> (9 de febrero de 2014)
- Principi, M., Manno, R., Bortis, C., Escobar, M., Urani, C., Díaz, D., & Peris, (2008) F. Diseño construcción y desarrollo de una estación meteorológica con comunicación por radioenlace y posicionamiento global. Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. Argentina.
<http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2011/2011-t009-a009.pdf> (30/09/2013)
- Sandoval, G., Molano, J. T., Mosquera, V. H., & González, L. J. (2013). Pluviógrafo electrónico con transmisión de datos inalámbrica. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1 (17).
- Yao, J., & Warren, S. (2005). Applying the ISO/IEEE 11073 standards to wearable home health monitoring systems. *Journal of clinical monitoring and computing*, 19(6), 427-436.
<http://diac.cps.unizar.es/~imr/personal/docs/refWarren.pdf> (27/02/2013)