

# Plataformas tecnológicas aplicadas al monitoreo climático

## Technological platforms applied the climatic monitoring

Gabriel Piñeres Espitia<sup>1</sup>, Ángel Mejía Neira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Especialista en Telecomunicaciones. Docente Tiempo Completo. Corporación Universidad de la Costa -

<sup>2</sup> Joven Investigador. Corporación Universidad de la Costa.  
Grupo de investigación GIACUC. gpineres1@cuc.edu.co

Recibido 01/10/13, Aceptado 02/12/2013

### RESUMEN

Este artículo muestra la importancia que han tomado las tecnologías embebidas de bajo costo para aplicaciones de monitoreo ambiental, usadas en redes de sensores inalámbricos, destacándose una de ellas. Es realizado aplicando la metodología Work Breakdown Structure, comparando tres tecnologías de adquisiciones de datos, destacando la plataforma Arduino como una opción viable. Además, se muestra un análisis de cuatro sistemas de comunicación inalámbricos que complementarían un nodo para ser implementado en una red de sensores inalámbricos aplicada al monitoreo ambiental. Finalmente se muestran la comparación de mediciones de temperatura entre un prototipo de estación meteorológica secundaria construida con Arduino y la estación meteorológica Vantage Pro2, obteniéndose resultados similares.

**Palabras claves:** Arduino, Sistemas embebidos, monitoreo ambiental, estación meteorológica, Zigbee, redes de sensores inalámbricos.

### ABSTRACT

This paper shows the importance that has taken low-cost embedded technologies for environmental monitoring applications, used in wireless sensor networks, highlighting one of them. Is performed by using Work Breakdown Structure methodology, comparing three data acquisition technologies, highlighting the Arduino platform as a viable option. Furthermore, we show an analysis of four wireless communication systems that would complement a node to be implemented in a wireless sensor network applied to environmental monitoring. Finally, we show the comparison of measurements of temperature between a secondary weather station prototype, constructed with Arduino, and VANTAGE PRO 2 Meteorological Station, achieving similar results.

**Keywords:** Arduino, Embedded System, environmental monitoring, weather station, ZigBee, wireless sensor networks.

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión de alarmas tempranas con fines preventivos y de mitigación de daños en la población ha tomado fuerzas en los últimos tiempos, debido al avance tecnológico, permitiendo desarrollar aplicaciones a partir de sistemas que toman información de variables provenientes del ambiente, para estudiar el comportamiento de estas. Para la Región Caribe este tema es de gran importancia dado que estudios actuales concluyen, que además de la erosión de las playas, pantanos, y mangles, podría haber inundaciones permanentes en 4.900 kilómetros cuadrados en zonas costeras de tierra bajas, que afectarían a unos 1,4 millones

de habitantes, 85% de los cuales viven en zonas urbanas, por lo cual grandes extensiones de las tierras de cultivos y pastos en la región Caribe quedarían expuestas a inundaciones. [1]

Es por esto que el siguiente trabajo es motivado en la evaluación de tecnologías actuales y de bajo costo utilizadas en la medición de variables ambientales, destacando a las redes de sensores inalámbricas (WSN – Wireless Sensor Networks), como una arquitectura de red que permite integrar elementos como sensores y microcontroladores, para el desarrollo de soluciones que permitan realizar monitoreo climático. [2]

Se destaca el uso de la plataforma Arduino para desarrollo de prototipos de estaciones meteorológicas secundarias, complementadas con sistemas de comunicaciones inalámbricos para formar WSN. [3] Esto se evalúa realizando una medición de temperatura a través de sensores comerciales de bajo costo comparados con los datos que se obtienen de una estación meteorológica principal Vantage Pro 2. [4]

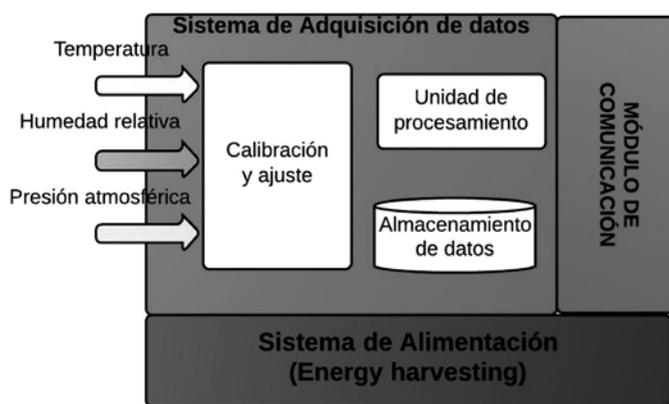
Este artículo se divide en 5 secciones, siendo la primera introductoria al tema. La segunda sección del trabajo, se centra en la revisión tecnológica de las plataformas de adquisición de datos y comunicaciones que pueden ser usadas en las WSN. En la tercera sección se muestra el desarrollo metodológico en el que se basó esta investigación. En la sección cuarta se muestran los resultados alcanzados para finalmente terminar con las conclusiones de este trabajo.

## 2. MONITORIZACIÓN AMBIENTAL MEDIANTE REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS.

El monitoreo ambiental, es una aplicación que hoy día tiene un despliegue importante, desarrollándose tecnologías para la medición de variables ambientales en campos como el agrícola y el forestal [5]; soluciones para la medición del flujo vehicular de una ciudad, emisión de gases, la contaminación producida por los automotores, control de tráfico [6], son otras de las aplicaciones que podemos encontrar.

**Figura 1.** Caracterización de un nodo para redes de sensores inalámbricos

**Figure 1.** Characterization of a node for Wireless sensor Networks

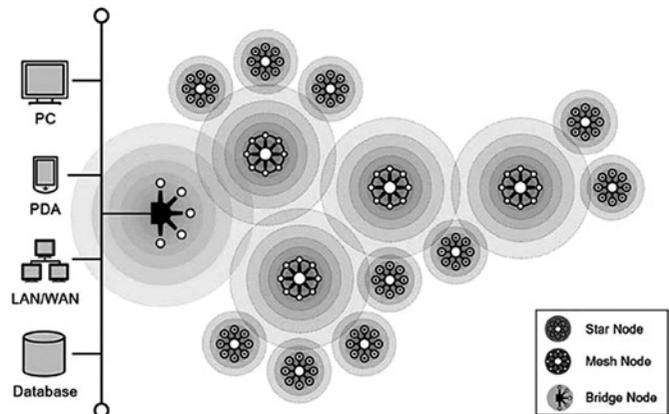


Una opción para el monitoreo ambiental son las WSN, que se basan en pequeños nodos encargados de adquirir la información del entorno. Los nodos, son dispositivos que integran en su arquitectura elementos como controladores, sensores, y dispositivos para la comunicación entre diversos puntos de la red. [7]

A continuación, se presentan la arquitectura que compone una red de sensores inalámbricos, en la que se incluyen los diversos elementos de procesamiento de la información, como los microcontroladores, sensores, puertos de entrada y salida, etc., como lenguajes de programación, sistemas operativos, etc. [8]

**Figura 2.** Arquitectura de una red de sensores inalámbricos. [9]

**Figure 2.** Architecture of a Wireless sensor networks



**Nodo o mote:** es una placa que contiene los sensores que detectan las variaciones presentadas en el ambiente; por lo general en los nodos se integran los siguientes bloques funcionales:

- Bloque de sistema de adquisición de datos, en donde se encuentra una etapa de procesamiento, llevada a cabo por microcontroladores; una etapa de calibración, para ajuste de las medidas obtenidas por los sensores; y una etapa de almacenamiento de datos, en donde se guardan registros de información, que en algunos casos se pueden dar en memorias extraíbles.
- El bloque de sensores, que se encargan de definir las variables ambientales a medir. Para estos es necesario definir de acuerdo a la aplicación los sensores más adecuados.
- El bloque de alimentación en donde se define el tipo de alimentación; esta puede ser fija, por baterías, por sistemas de "Energy Harvesting" o combinación de todas estas.
- El bloque de comunicación, en el cual define la tecnología de comunicación a implementar. Tecnologías como la IEEE 802.15.4, Zigbee o 6Lowpan son ejemplos de estas. Algunas tecnologías como 3G, GPRS también suelen ser usadas. Estos bloques permiten la comunicación entre diversos nodos de la red y lo interconectan con el Gateway de la red.

**Gateway:** también se le conoce como puerta de enlace; es el dispositivo dentro de la red encargado de proveer la

conectividad de los nodos que integran la red, con la estación base. Este dispositivo debe permitir conectividad a la Internet. En algunos casos este módulo tiene las mismas características del nodo sensor, complementado con un módulo adicional 3G, GPRS o GSM.

**Estación base:** se encarga de recolectar la información proveniente de los nodos a través del Gateway. Posee una unidad de cómputo o cualquier sistema que esté en la capacidad de almacenar información y poderla visualizar para el estudio y posterior procesamiento de datos.

**Protocolos y gestión:** definen los estándares y/o protocolos utilizados para el intercambio de datos entre los diferentes dispositivos que integran la red. Protocolos como Zigbee, IEEE 802.15.4 son los más usados. Actualmente están emergiendo protocolos como 6Lowpan (IPv6 comprimido). En esta parte se incluye la gestión de aplicaciones de la red, realizada por un software que puede ser propietario o libre, el cual interactúa con el hardware. Para este último caso se tienen ejemplos como TinyOS o Contiki.

#### **A. HARDWARE PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES ASOCIADAS A LA MONITORIZACIÓN AMBIENTAL.**

Para la evaluación del hardware a utilizar, se tuvieron en cuenta criterios como la robustez, la distribución de la energía, la capacidad de procesamiento y almacenamiento, y la facilidad de mostrar la información proveniente de los nodos sensores en tiempo real.

Un aspecto importante a considerar en el hardware es el consumo de energía, para lo que se tienen opciones de alimentación basadas en baterías y sistemas de Energy Harvesting (cosecha de energía). Además los componentes electrónicos poseen gestión en cuanto a sistemas de hibernación. Otro criterio es que los nodos trabajen en límites cercanos a la operación de corte de las baterías, con esto se garantiza que los nodos utilicen la menor cantidad de energía entregada por éstas [10].

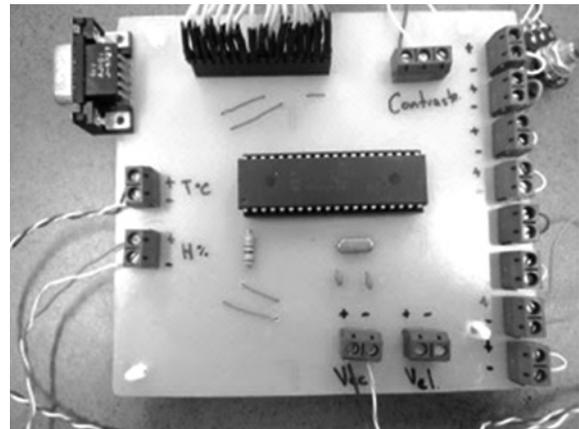
Otro criterio de evaluación es la facilidad de acoplamiento del dispositivo con tecnologías de otros fabricantes. En este trabajo fueron comparadas para su posible implementación las FPGA [11], los microcontroladores aplicados al desarrollo de redes de sensores inalámbricas y las plataformas de desarrollo abierto o hardware libre, las cuales son de amplio uso debido a su facilidad de adquisición. Estas últimas utilizan comúnmente los microcontroladores de la familia de Microchip (PIC), existiendo diversas versiones que varían en aspectos como la capacidad de almacenamiento, procesamiento de datos, por citar algunos ejemplos. Una descripción de estas plataformas se realiza a continuación.

#### **• Placas construidas con microcontroladores**

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, que permite controlar el funcionamiento de ciertas labores previamente definidas por un usuario. Este dispone de una memoria donde se aloja el programa a ejecutar, una vez se haya energizado o se presente algún estímulo externo. La utilización de este dispositivo reduce el uso de otros componentes, lo que facilita la localización de fallas [12].

Los PIC (Peripheral Interface Controller), son dispositivos difundidos a nivel comercial, pertenecientes a la empresa Microchip. Los microcontroladores son sistemas empotrados que en su interior se componen de todos los elementos dispuestos en una computadora, es decir, tienen elementos de entrada y salida, memorias, unidades aritmético lógicas (ALU), entre otros. Con este tipo de elementos, se pueden diseñar y construir aplicaciones de tipo industrial, biomédicas, control de procesos, entre otros tipos de diseño.

Figura 3. Microcontrolador PIC  
Figure 3. PIC Microcontroller



#### **• Plataformas de desarrollo**

Son una de alternativas con las que actualmente se cuenta en la creación de aplicaciones para prototipos de nodos sensores en WSN. Muchas de éstas tienen como valor agregado el poder acceder a los códigos fuentes sin ningún tipo de restricción y así poder realizar cambios en la configuración de éstos. Dentro de las plataformas evaluadas, se encuentra Arduino, la cual se puede decir que hoy día se ha convertido en uno de los sistemas líderes en cuanto al desarrollo libre se refiere.

Arduino es una tecnología de código abierto, que es utilizada en la creación de aplicaciones donde se hace necesario que tanto el hardware como el software estén acoplados ampliamente. Este dispositivo posee su propio lenguaje

de programación (Processing), el cual le permite al usuario utilizar de manera abierta el software empleado para su programación. "Arduino es una plataforma electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos." [13].

**Figura 4.** Placa de desarrollo Arduino [14].  
**Figure 4.** Arduino Development Board



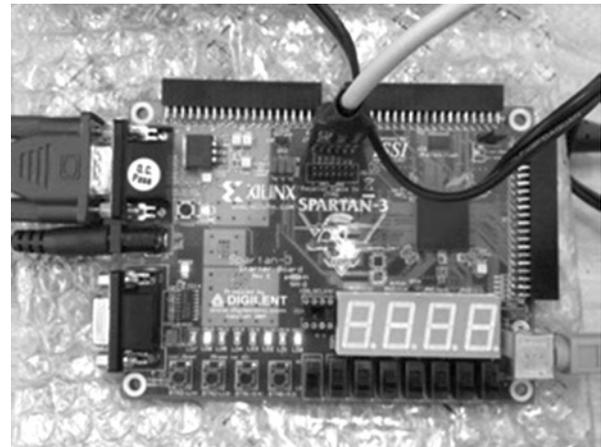
Arduino recoge información de los puertos de entradas (análogos o digitales) para realizar tareas de control. Posee un lenguaje de programación (WIRING), y se maneja bajo el entorno de desarrollo Processing, de descarga gratuita. Las placas se pueden construir, o adquirir ya hechas. Comparadas con otras placas de desarrollos son bastantes asequibles. Su plataforma de desarrollo corre bajo cualquier sistema operativo (Windows, Linux, MAC OS). El lenguaje de programación soporta librerías C++. Arduino está basado en los microcontroladores ATMEGA168, ATMEGA328 y ATMEGA1280, que son de código abierto y de licencia Creative Commons. La mayoría de estas placas funcionan con un voltaje de 5V, poseen entradas analógicas y digitales (16 análogas y 54 E/S digitales para la placa Mega de gran uso). La alimentación se puede dar por baterías, fuentes o por medio de un equipo de cómputo a través de puerto USB. Soporta voltajes de 5V y de 7 – 12V de fuentes externas. Tiene puertos determinados para cada una de las entradas de voltaje. La tarjeta en sí posee bastante acople a otras tecnologías.

#### Dispositivos lógicos programables (PLD)

Los dispositivos de lógica programable permiten al usuario, a través de un arreglo lógico (compuertas) desarrollar aplicaciones basadas en la descripción de hardware. Entre los dispositivos de lógica programables, se encuentran los PLA (arreglo de lógica programable), arreglo lógico programable (PAL) y el arreglo de compuertas programables en campo (FPGA), siendo este último uno de los más utilizados para el desarrollo de aplicaciones que requieren altas velocidad de transferencia y procesamiento de datos.

**Figura 5.** FPGA. (Arreglo de compuertas programables en campo)

**Figure 5.** FPGA (Field Programmable Gate Array)



Un PLD, es un circuito integrado que contiene una serie de compuertas lógicas al interior de éste, las cuales se encuentran conectadas a través de trayectorias electrónicas que se comportan como fusibles, cuando este dispositivo se encuentra sin programar, puede decirse que todas sus trayectorias se encuentran intactas [15]. Después de programar el dispositivo, la tarjeta almacena en su circuito la configuración que el usuario modificó a través de software.

#### B. TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS

En esta sección, se realizará una revisión breve de las tecnologías en comunicaciones inalámbricas que se implementan en el desarrollo de aplicaciones para monitorización ambiental y registro de los cambios presentados en la climatología.

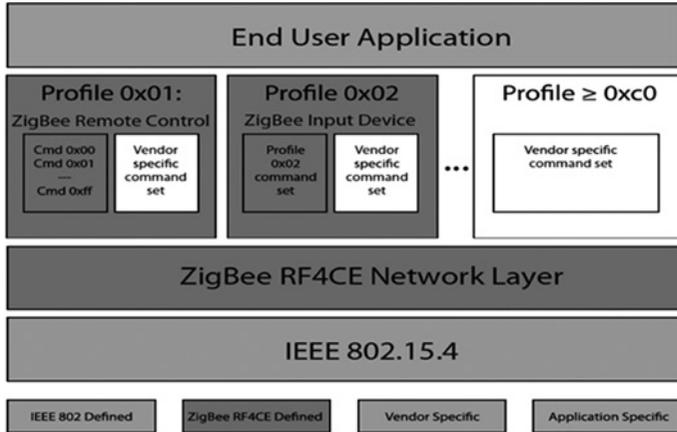
Estas tecnologías son aplicadas principalmente para Redes de Sensores de Inalámbricas. En el desarrollo de estas redes, se cuenta con diversidad de sistemas para la adquisición de datos provenientes de los sensores, pero de igual manera, los datos que se obtengan deben ser enviados a una estación de trabajo dentro de la red, por lo que se debe tener un medio sobre el cual va a viajar la información. Para esta solución, se cuenta con diferentes alternativas de tecnologías inalámbricas a implementar; en este trabajo no se han contemplado algunas como por ejemplo, Bluetooth[16]. Las WSN ofrecen opciones en tecnologías de comunicaciones, donde a continuación se detallan las más usadas en la actualidad.

- Zigbee

Esta tecnología es una de las más usadas en redes de sensores inalámbricos. Su versatilidad y arquitectura la hacen

bastante óptima para las redes de sensores inalámbricos. La arquitectura de esta tecnología se muestra a continuación en la siguiente figura:

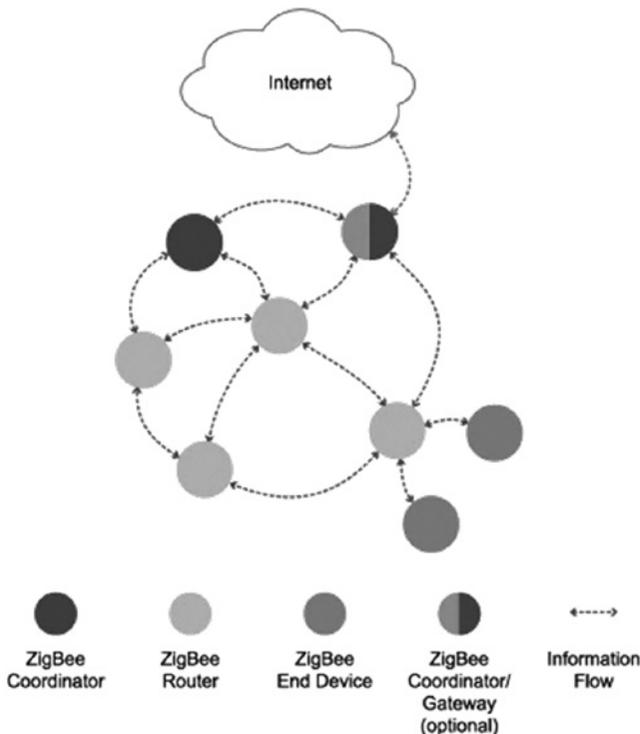
**Figura 6.** Arquitectura Zigbee [17]  
**Figure 6.** Zigbee Architecture.



Como se puede analizar en la figura 6 el estándar Zigbee opera en la capa 3 ofreciendo servicios a la capa superior y recibiendo información de la capa 2; esto con base en la caracterización del modelo OSI.

**Figura 7.** Topología estándar Zigbee [18]  
**Figure 7.** Zigbee Topology Standard

**ZigBee Network Topology**



La figura 7 describe la topología de red del estándar Zigbee, la cual se basa en un nodo Coordinador, el cual se encarga de recoger la información de todos los dispositivos de un clúster de red y llevarlo a un servidor de datos. Un nodo enrutador que se comunica directamente con el nodo coordinador y se encarga de recoger la información de los nodos finales con los cuales se comunica. Finalmente están los nodos finales que se encargan de recoger información de los sensores instalados.

Dentro de las principales características se tienen las siguientes presentadas en la tabla a continuación:

**Tabla 1.** Características principales del estándar Zigbee [19]  
**Table 1.** Top characteristics of the zigbee standard

Características estándar Zigbee		
Frecuencia de operación	2.4 GHz	ISM (Industrial Scientific and Medical) - 20 dBm
	868 MHz	Europa
	915 Mhz	EEUU
Rango cobertura	Hasta 3,2 Km	En rango abierto por cada salto
Capacidad de transmisión	23 / 250 Kbps	16 canales
Potencia de transmisión (28Kbps)	100mw	Rango de 154 m
	10mW	Rango de 54 m
	1mW /	Rango de 23 m
Potencia de transmisión (250Kbps)	100mw	Rango de 66 m
	10mW	Rango de 29 m
	1mW /	Rango de 13 m

Los últimos avances de la tecnología Zigbee van encaminados al direccionamiento IPV6, lo que mejora aspectos como consumo energético, acceso web y mejor acople con las tecnologías IEEE 802.15.4. Esta información se puede ampliar en [20]

Esta tecnología es de gran uso en redes de sensores inalámbricos y tiene mucha aplicación en sistemas de monitoreo climático, lo que la hace bastante recomendable para este tipo de aplicaciones. Dentro de sus desventajas se tiene que no permite la comunicación directa de los nodos entre sí, debido a que debe hacerse a través del nodo que opera como Coordinador (Existe uno por red)

• IEEE 802.15.4

Esta tecnología también es de gran uso en redes de sensores inalámbricos. A diferencia de la tecnología Zigbee se tiene que este estándar trabaja en la capa 2 del modelo OSI (Open System Interconnection).

Sobre este protocolo operan capas superiores para el enrutamiento de los paquetes de datos entre nodos. Esta tecnología permite la comunicación entre nodos directamente. Dentro de sus principales características técnicas se tienen las siguientes:

**Tabla 2.** Características principales del estándar IEEE 802.15.4

**Table 2.** Top characteristics of the IEE 802.15.4 standard

Características estándar IEEE 802.15.4		
Frecuencia de operación	2.40 - 2.48 GHz	Banda ISM (Industrial Scientific and Medical) - 16 canales
	868.0 - 868.6 MHz	Europa - 1 canal
	902.0 - 928.0 Mhz	EEUU - 10 canales
Rango cobertura	Varios Km	Los módulos XTEND de DigiMesh alcanzan hasta 64Km
Capacidad de transmisión	20/100/250 Kb/s	Europa
	40/250 Kb/s	EEUU
	250 Kb/s	Banda ISM
Potencia de transmisión	0,5mW	- 95 dBm de sensibilidad

Esta tecnología es de bastante uso, dado que sobre la misma se pueden insertar protocolos de capa 3, tales como Wireless HART, 6Lowpan, ISA-SP100 o DigiMesh. Permite la comunicación entre nodos directamente, dado que su arquitectura puede ser mesh (malla) [21].

• **GPRS / 3G**

Los estándares GPRS y 3G son usados para el envío de datos a través de la plataforma tecnológica de un operador de telefonía celular. [22] Estas tecnologías aunque no son gestionadas por la WSN, pueden ser utilizadas como plataforma de comunicación [23].

Es usada para generar conectividad entre el nodo que opere como Gateway y el servidor de datos; existen casos en donde se han implementado redes de sensores con esta tecnología como plataforma de comunicación. Esto generaría el pago de servicios adicionales, encareciendo los costos de la solución.

• **6LOWPAN**

Esta es una de las tecnologías emergentes en las WSN, dado que su estándar define el uso del direccionamiento IPV6 en los nodos sensores. 6Lowpan (IPV6 Low Power Wireless Personal Area Network) está definido por la Internet Engineering Task Force (IETF) en le documento

RFC4944 en donde se destaca la compresión de una trama de paquetes IPV6 para que pueda ser implementada en un nodo sensor. Una arquitectura de este protocolo se describe a continuación en la siguiente figura:

**Figura 8.** Arquitectura típica para una red 6Lowpan [24].  
**Figure 8.** Typical architecture for a 6lowpan Network



Este protocolo opera en la capa 3 del modelo OSI y sus principales ventajas [25] son:

- La infraestructura IP ya se encuentra instalada y es de libre uso.
- El protocolo permite la interoperabilidad de distintas plataformas de comunicación.
- Soporta múltiples protocolos de radio de capa 2.
- Soporta diversas arquitecturas de red.
- Ofrece mejoras en el rendimiento energético.
- Permite a las WSN adquirir servicios de seguridad y de acceso web.

Esta tecnología en Colombia tiene poca exploración y se entiende como una oportunidad para el desarrollo de prototipos que puedan empezar a generar espacios para estudio y profundización de este protocolo.

**3. METODOLOGÍA DE DESARROLLO**

Para el desarrollo metodológico de este trabajo se establecieron cuatro (4) fases, generando actividades que posibilitaran el cumplimiento de los alcances propuestos. Estas fases y actividades se enuncian a continuación en la tabla 3 y obedecen a la metodología de proyectos Work Break-down Structure (WBS).

**Tabla 3.** Metodología de desarrollo  
**Table 3.** Methodology of Development

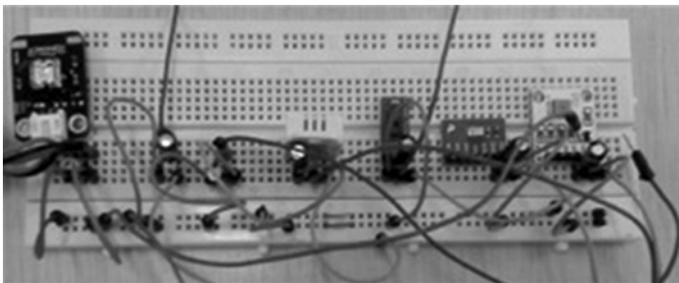
FASE	ACTIVIDADES
Revisar diferentes tecnologías que puedan ser implementadas para el monitoreo ambiental.	Revisar investigaciones similares en Colombia y otros países sobre monitoreo ambiental.
	Revisar bases de datos de consultas especializadas, orientadas a la transmisión de datos de sensores meteorológicos.
	Discriminar las posibles plataformas tecnológicas que podrían adaptarse al monitoreo ambiental.

FASE	ACTIVIDADES
Identificar las principales características de las distintas plataformas de adquisición de datos y comunicación inalámbrica para monitoreo ambiental.	Caracterizar tres opciones en cuanto plataformas de adquisición de datos
	Caracterizar las tecnologías de comunicación inalámbrica para monitoreo ambiental
Evaluar una plataforma de adquisición de datos que pueda ser utilizada para monitoreo ambiental	Realizar un experimento para evaluar una plataforma de adquisición de datos.
	Realizar pruebas de adquisición de datos sobre sensores que puedan ser comparadas con un instrumento de medida.
	Comparar los resultados y exponer la viabilidad de la plataforma de adquisición de datos
Proponer un sistema de adquisición de datos que pueda ser usado para monitoreo ambiental.	Definir un prototipo electrónico de adquisición de datos para monitoreo de temperatura
	Proponer un sistema de adquisición de datos aplicable para monitoreo ambiental de acuerdo al prototipo escogido.

Para llevar a cabo esta metodología se contó con una placa Arduino UNO y sensores de temperatura, con el fin de evaluarlos y poder definir un prototipo de terminal para monitoreo ambiental. Además se contó con la estación meteorológica Vantage Pro 2, para corroborar los datos y determinar si las mediciones del prototipo eran fiables. Se realizó una comparación entre la el prototipo de estación meteorológica secundaria con la placa Arduino y la estación principal Vantage Pro 2. Se evaluaron los diferentes sensores que se acoplaron a la plataforma escogida y que a su vez, arrojaran los resultados más fiables y exactos.

**Figura 9.** Montaje de elementos para la medición de variables ambientales.

**Figure 9.** Mounting of components for the measurement of environmental variables.



Para el montaje se acoplaron los sensores temperatura RHT03, TMP36 y MCP9700 a las entradas de la placa Arduino; se calibraron a través de capacitores y resistores, de acuerdo a las recomendaciones de sus hojas de datos; se

conectaron a las entradas analógicas y digitales de la placa, de acuerdo a la naturaleza de los transductores. Se desarrolló un software que permitiera arrojar a la salida, las mediciones obtenidas de temperatura para ser visualizadas en la interfaz de la plataforma Arduino en un PC.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados para determinar si la placa Arduino era una plataforma adecuada para un el diseño de un nodo en una WSN se llevó a cabo a través de una comparación de adquisición de datos entre un prototipo de estación meteorológica secundaria basada en esta placa y una estación meteorológica principal Vantage Pro 2 perteneciente al Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Costa. La estación principal fue usada como instrumento de verificación de los datos que se obtendrían con la placa Arduino.

La adquisición de los datos se realizó durante una primera jornada en la que se tomaron 32 muestras de la temperatura de los sensores en diferentes horas del día y permitió observar el comportamiento de esta variable ambiental. Se realizó la programación de la placa Arduino y se realizaron ajustes de calibración en los sensores para obtener las mediciones adecuadas.

**Figura 10.** Estación meteorológica Vantage Pro2.  
**Figure 10.** Vantage Pro 2 Meteorological Station



#### A. Pruebas

Se realizaron ensayos iniciales con la variable de temperatura, para lo cual se utilizaron los sensores: RTH03, MCP9700 y TMP36.

Los resultados obtenidos de la comparación entre el prototipo de estación meteorológica secundaria, basada en la placa Arduino y la estación Vantage Pro 2 se plasman en la tabla 4

**Tabla 4.** Comparación datos de sensores vs Datos de la estación Vantage Pro2.**Table 4.** Comparison sensor data vs. data Vantage Pro2 Station.

Sensor	Fecha	Hora	Temperatura sensor en placa Arduino	Temperatura estación meteorológica
RHT03	19/02/2013	9:38 a.m.	28,6	28
RHT03	19/02/2013	10:00 a.m.	28,6	28,7
MCP9700	19/02/2013	10:08 a.m.	26,7	28,8
MCP9700	19/02/2013	10:20 a.m.	26,7	28,8
MCP9700	19/02/2013	10:37 a.m.	27,2	28,8
MCP9700	19/02/2013	10:45 a.m.	27,2	28,9
MCP9700	19/02/2013	10:51 a.m.	27,2	29,1
TMP36	19/02/2013	10:59 a.m.	28,1	29,3
RHT03	19/02/2013	11:06 a.m.	29,3	29,3
TMP36	19/02/2013	11:20 a.m.	27,6	29,2
RHT03	19/02/2013	11:27 a.m.	29,4	29,3
RHT03	19/02/2013	11:38 a.m.	29,6	29,2
TMP36	19/02/2013	11:46 a.m.	28,1	29,3
RHT03	19/02/2013	11:54 a.m.	29,6	29,4
MCP9700	19/02/2013	2:07 p.m.	32,0	30,3
RHT03	19/02/2013	2:15 p.m.	32,6	30,2
MCP9700	19/02/2013	2:22 p.m.	31,5	30,2
MCP9700	19/02/2013	2:29 p.m.	33,0	30,2
TMP36	19/02/2013	2:37 p.m.	31,1	30
RHT03	19/02/2013	2:51 p.m.	30,1	30
MCP9700	19/02/2013	2:58 p.m.	28,6	29,9
MCP9700	19/02/2013	3:04 p.m.	28,6	29,8
TMP36	19/02/2013	3:11 p.m.	29,1	29,9
RHT03	19/02/2013	3:19 p.m.	30,4	30
TMP36	19/02/2013	4:02 p.m.	28,1	29,6
MCP9700	19/02/2013	4:10 p.m.	27,6	29,4
TMP36	19/02/2013	4:23 p.m.	27,6	28,8
TMP36	19/02/2013	4:29 p.m.	27,6	28,7
MCP9700	19/02/2013	4:37 p.m.	27,6	28,6
RHT03	19/02/2013	4:44 p.m.	28,6	28,4
RHT03	19/02/2013	4:50 p.m.	28,2	28,3
MCP9700	19/02/2013	4:58 p.m.	27,2	28,2

## B. Análisis de los resultados

### • Comparación entre sensores.

Las pruebas en campo arrojaron que los sensores de temperatura TMP36 y MCP9700 presentan un desfase de 2°C – 3°C con respecto a la estación meteorológica Vantage

Pro2; por el contrario el sensor RHT03 arrojó mediciones de temperatura casi iguales a los obtenidos por la estación Vantage Pro 2.

### • Ventajas y desventajas en la utilización de plataformas de desarrollo abiertas frente a estaciones meteorológicas comerciales.

Ofrecen facilidad de programación, buen acople con otros dispositivos y tecnologías y poseen bajo costo. Dentro de las desventajas se encuentra que deben ser adaptadas para ambientes externos.

### • Ventajas de utilizar Arduino frente Vantage Pro2.

Al usar la plataforma Arduino se obtuvo mejoras en cuanto al número de cifras significativas, mejorando la exactitud de la medición; al ser manipulada por software se pudo expresar la cantidad de cifras decimales que se requerían expresar.

La plataforma Arduino soporta múltiples sensores conectados a sus entradas, sin que la operación de todos al mismo tiempo afecte la fiabilidad de las mediciones.

### • Desventajas al utilizar Arduino frente a Vantage Pro2.

Una desventaja es la alteración en las mediciones al usar el dispositivo sin protección: esta situación se presentó al dejar descubierto los sensores integrados a la placa Arduino en horas del medio día, lo que produjo un calentamiento de la plataforma que alteró los resultados. Por tal motivo se hace imprescindible encapsular el sistema en un tipo de recubrimiento determinado previamente (plástico ABS).

Algunos sensores durante la prueba de campo debieron ser calibrados por software para poder obtener mediciones cercanas a las obtenidas por la estación Vantage pro 2.

Un primer análisis permite determinar la precisión de cada uno de los sensores utilizados, siendo el de mejor respuesta, el sensor RHT03, en donde a medida que pasa el tiempo dispuesto para las pruebas se estabiliza y muestra datos cercanos a los valores arrojados por la estación meteorológica Vantage Pro 2, teniéndose así un instrumento que puede ser usado para diferentes aplicaciones de medición ambiental.

## 5. CONCLUSIONES

- Las redes de sensores inalámbricos son una de las tecnologías de mayor uso en la actualidad para el monitoreo climático. En la actualidad los sistemas embebidos de bajo costo son los de mayor uso para el sistema de adquisición de datos provenientes de

transductores que recogen la información de las diferentes variables ambientales

- Dentro de las tecnologías actuales para la comunicación de nodos en WSN aplicadas a monitoreo climático se destacan las basadas en Zigbee. Sin embargo existen en la actualidad protocolos que ofrecen resultados que optimizan las WSN como es 6LOWPAN, recomendándose su evaluación a futuro en prototipos que se desarrollen para monitoreo climático.
- La plataforma Arduino como tecnología para el desarrollo de nodos de monitoreo climático, ofrece resultados confiables. Se recomienda la evaluación de más variables ambientales sobre esta plataforma con miras a mejorar la escalabilidad del prototipo utilizado.

## REFERENCIAS

- [1] Bueno, R., Herzfeld, C., Stanton, E. and Ackerman, F., El Caribe y el cambio climático: Los costos de la inacción, Stockholm, Disponible en <<http://ase.tufts.edu/gdae/Pubs/rp/Caribbean-ES-Span.pdf>> [Acceso 05 de diciembre del 2013].
- [2] Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci, E., Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks, Volumen 38, 393–422, 2002.
- [3] Abdullah, A., Sidek, O., Amran, N. and Za'bah, U., Development of wireless sensor network for monitoring global warming, International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), 107 - 111, 2012.
- [4] Davis Instrument Corp. (2010). Vantage Pro2 Integrated Sensor Suite Installation Manual, Disponible en <[http://www.davisnet.com/product\\_documents/weather/manuals/07395-249\\_IM\\_06152.pdf](http://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-249_IM_06152.pdf)> [Acceso 31 de octubre del 2013].
- [5] Jiang, X., Zhou, G., Liu, Y and Wang, Y, Wireless Sensor Networks for Forest Environmental Monitoring, Information Science and Engineering (ICESI), 2nd International Conference, 2514 – 2517, 2010
- [6] Vikatos, P., Theodoridis, E., Mylonas, G. and Tsakalidis, A., Patras Sense: Participatory Monitoring of Environmental Conditions in Urban Areas Using Sensor networks and Smartphones, Panhellenics Conference on Informatic (PCI), 15th 392 - 396, 2011.
- [7] Ye, D., Gong, D. and Wang, W., Applications of Wireless Sensor Networks in Environmental Monitoring, International Conference on Power Electronic and Intelligent Transportation Systems, (PEITS), 2nd, Volumen 1, 205 - 208, 2009
- [8] Yick, J., Mukherjee, B. and Ghosal, D, Wireless sensor network survey, Computer Networks 52, 2292 –2330, 2008.
- [9] Mancuso, M. and Bustaffa, F, A Wireless Sensors Network For Monitoring Environmental Variables in a Tomato Greenhouse, International Workshop on Factory Communication Systems, 107 – 100, 2006.
- [10] Iacono, L., Godoy, P., Marianetti, O. and García, C, Estudio de plataformas de hardware empleadas en redes de sensores inalámbricos, Congreso argentino de ciencias de la computación (CACIC), XVI, 784 – 793, 2010.
- [11] Chalivendra, G., Srinivasan, R. and Murthy, N., FPGA Based Reconfigurable Wireless Sensor Networks Protocol, International Conference on Electronic Design (ICED), 1 -4, 2008.
- [12] Remiro, F., López, Y., and Palacios, L., Microcontroladores PIC16F84: Desarrollo de proyectos, RA-MA, Madrid, 2004.
- [13] Arduino. (2013). Arduino Home. Disponible en <<http://www.arduino.cc/>> [Acceso 31 de octubre del 2013].
- [14] Morris, M., Diseño digital, Pearson Education, México, 2003.
- [15] Frasquier, D., (2008). Comunicación entre automóviles vía radio utilizando Zigbee. Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones en Telemática. Escola Tècnica Superior Enginyeria. Valencia. 2008.
- [16] Rodríguez, C. (2012). Capítulo 2: Estándar IEEE 802.15.1 “Bluetooth”. Disponible en <<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/229/A5.pdf?sequence=5>> [Acceso 31 de octubre del 2013].
- [17] Moreno, J. and Ruíz, D. (2007). Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4). Disponible en <[http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe\\_ZigBee.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe_ZigBee.pdf)> [Acceso 31 de octubre del 2013].
- [18] Zigbee Alliance. (2013). ZigBee Specification Network Topology. Disponible en <<http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/NetworkTopology.aspx>>
- [19] Zigbee Alliance. (2013). Zigbee Alliance Specifications. Disponible en <<http://www.zigbee.org/Specifications.aspx>> [Acceso 31 de octubre del 2013].
- [20] Gascón, D. (2009) Libelium World: 802.15.4 vs Zigbee. Disponible en <<http://www.libelium.com/es/802-15-4-vs-zigbee/>> [Acceso 31 de octubre del 2013].
- [21] Sarwar, U., Rao, G., Suryady, Z. and Khosdilniat, R., Architecture for 6Lowpan Mobile Communicator System,

International MultiConference Engineers and Computer Scientists (IMECS), Vol. II, 787-790, 2010.

[22] Aram, S., Troiano, A. and Pasero, E., Environment Sensing Using SmartPhone, Sensors ApplicationS Symposium (SAS), 1 - 4, 2012.

[23] Harnett, C., Open Wireless Sensor Network Telemetry Plataform for Mobile Phones, Sensors Journal, Volumen 10, 1083 - 1084, 2010.

[24] Raza, S., Duquennoy, S., Voigt, T. and Roedig, U., Demo Abstract: Securing Communication in 6LoWPAN

with Compressed IPsec, International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS), 1.2, 2011.

[25] Kioumars A. and Tang, L., Wireless Network for Helth Monitoring: Heart Rate and Temperature Sensor, International Conference on Sensing Technology (ICST), 5th, 362 - 369, 2011.

[26] Ali, Q., Abdulmaowjod, A. and Mohammed, H., Simulation & performance study of wireless sensor network (WSN) using MATLAB, International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ), 307 - 314, 2010.