



# Sistema Meteorológico con Comunicación Remota Usando Zigbee

## *Meteorological System with Remote Communication Using Zigbee*

**Edward Jhohan Marín García, MsC**

*Universidad de Valle  
Cartago, Colombia*

[marin.edward@correounivalle.edu.co](mailto:marin.edward@correounivalle.edu.co)

**José Neftalí Torres Marín**

*Universidad de Valle  
Cartago, Colombia*

[neftali.torres@correounivalle.edu.co](mailto:neftali.torres@correounivalle.edu.co)

**Andrés Felipe Serna Ruiz, MsC**

*Universidad de Valle  
Cartago, Colombia*

[andres.felipe.serna@correounivalle.edu.co](mailto:andres.felipe.serna@correounivalle.edu.co)

(Recibido el 29-06-2018, Aprobado el 05-12-2018, Publicado el 11-01-2019)

Estilo de Citación de Artículo:

E. J. Marín, J. Torres, A.F. Serna, "Sistema meteorológico con comunicación remota usando Zigbee", Lámpsakos, no. 20, pp 13-21, 2018  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2855>

**Resumen:** El presente artículo presenta la implementación de una estación meteorológica la cual permite observar en el lugar de medición y de forma remota, el cambio de las distintas variables climáticas como: la velocidad del viento, precipitación de lluvia, temperatura y humedad relativa del ambiente. Inicialmente se hace la respectiva caracterización de los sensores utilizados, para el caso, el anemómetro, pluviómetro y el termo higrómetro, por medio de un patrón y las especificaciones dadas por el fabricante. Estos datos son representados gráficamente generando la ecuación de tendencia, evaluada con su correlación correspondiente. Seguidamente del proceso de caracterización, por medio de la plataforma Arduino, se programa la lectura de los sensores e igualmente el envío inalámbrico de datos por medio de módulos Xbee, Zigbee. Como proceso final, los datos son visualizados en una pantalla de cristal líquido ubicada en la estación meteorológica y en el receptor por medio de un ordenador previamente configurado.

**Palabras clave:** Arduino, Estación Meteorológica, Zigbee.

**Abstract:** This paper shows a weather station implementation which allows to watch, at the measurement site and remotely, different weather variables like wind speed, rain precipitation and Humidity. Initially, the sensors, such as the anemometer, pluviometer and thermo-hygrometer, were characterized by using a pattern and the specification given by the manufacturer. This data is represented graphically to obtain the trend equation, the later tested with its corresponding correlation. Following the characterization process, the sensors reading algorithm was programmed in an Arduino. At the same time, the data was send wirelessly through

Xbee, Zigbee module. Finally, the values are shown in a liquid crystal screen located in the weather station and also is shown in the receptor through a computer previously configured.

**Keywords:** Arduino, weather station, Zigbee.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una estación meteorológica es un equipo utilizado para la medición y registro de variables climatológicas, cuyos datos se utilizan para la predicción de cambios del medio ambiente y a partir de estos tomar las respectivas prevenciones. También es utilizada para estudios atmosféricos en regiones donde el cambio climático hace parte del proceso agrícola.

Las precipitaciones, el viento, la humedad y la temperatura son variables usuales de una medición del medio ambiente, las cuales se interpretan por medio de modelos matemáticos generados de un proceso de caracterización. Estos modelamientos pueden ser representados por medio de datos numéricos o imágenes gráficas.

Este desarrollo tecnológico permite a las instituciones, empresas y en general a aquellas entidades que requieren medir microclimas, visualizar y registrar continuamente las variables

enumeradas en un centro de mando remoto. Discernir los cambios atmosféricos que inciden directamente en el sitio de la instalación, por medio del acceso remoto a los datos, puede servir de insumo para trabajos relacionados con la producción agrícola y la prevención a riesgos por desastres naturales muy comunes en los últimos tiempos en el mundo. En Colombia, estos sistemas de medición son necesarios debido a la topografía (diferentes microclimas) y la gran zona selvática.

La estación implementada es un sistema de medida basado en sensores, como lo son: el Anemómetro: el cual detecta la velocidad y dirección del viento, el Pluviómetro: que mide la precipitación del agua generada por la lluvia, y el Termo higrómetro: que mide la humedad relativa del aire y la temperatura.

El sistema para la adquisición de datos se diseñó basado en tecnología Arduino, el cual permite el envío inalámbrico de datos por medio del soporte Arduino Xbee, Zigbee, y una visualización en tiempo real de las variables a medir.

## 2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

### 2.1. Descripción de la Estación Meteorológica

La meteorología es el estudio de los fenómenos atmosféricos y de los mecanismos que producen el tiempo, orientado a su predicción [1]. Teniendo en cuenta este concepto, una estación de meteorología permite brindar información de las diferentes variables atmosféricas que para este caso son: la temperatura, precipitación pluvial, humedad relativa y velocidad del viento.

La climatología es la rama de la meteorología que se preocupa de estudiar la evolución de las condiciones medidas de la atmósfera en periodos relativamente largos, incluyendo cambios que ocurren en periodos de décadas (variabilidad decadal) o de siglos (variabilidad secular) [1].

Esta estación meteorológica se basa en un modelo norteamericano cuyo sistema se llama: EZ MOUNT ADVANCE STATION [2], cuya función es proporcionar datos por medio de unos sensores hacia una consola inalámbrica. Las aplicaciones fundamentales radican en dos especialmente: como predictor, en donde es utilizada para la realización del análisis sinóptico, pronósticos y alertas tempranas sobre la ocurrencia de fenómenos severos. También como sistema básico de medición

para ciertas operaciones locales como por ejemplo: aeródromos, en la operación de cierta maquinaria de construcción, producción de frutas y verduras, entre otras.

Para la medición de las variables climáticas se usaron sensores que poseen un comportamiento lineal evidenciado en la caracterización de cada uno de ellos. Sus principios de funcionamiento son: tipo capacitivo, inductivo y magnético. Por lo anterior se hace fundamental seguir las leyes de Kirchhoff y la ley de ohm y así, realizar los procesos correspondientes para su modelamiento y posterior acondicionamiento de señal.

Los sensores utilizados son los siguientes:

Anemómetro: es un sensor conformado por 3 cazoletas usado específicamente para medir la velocidad del viento y dirección del viento [3], Fig. 1



Fig. 1. Anemómetro y sus partes.

Pluviómetro: Es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación. Se usa para medir específicamente la cantidad de precipitaciones caídas en un lugar durante un tiempo determinado [4], [5]. La Fig. 2 muestra un pluviómetro y sus partes.



Fig. 2. Pluviómetro y sus partes.

Hay que tener en cuenta que las lluvias se dividen acorde a su intensidad y comúnmente se mide por cantidad de precipitación por hora, siendo la unidad de medida mm/h. Se clasifican de la siguiente manera:

- Débiles: menos de 2 mm/h.
- Moderadas: entre 2 y 15 mm/h.
- Fuertes: entre 15 y 30 mm/h.
- Muy fuertes: entre 30 y 60 mm/h.
- Torrenciales: más de 60 mm/h.

Termohigrómetro: es un sensor de Humedad relativa del aire y temperatura que tiene como referencia DHT22, el cual utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital [6].

Para la caracterización de los sensores, se usa un patrón de referencia con características de medida mejor al dispositivo. Así mismo, se utilizan las curvas de tendencia dadas por los fabricantes, las cuales vienen referenciadas en las hojas de especificaciones y los métodos indirectos de caracterización del sensor.

Para la caracterización del anemómetro, se usó como referencia un dispositivo con medida digital (Cateye Velo 9) como el mostrado en la Fig. 3, que permite visualizar de manera más exacta la velocidad del viento. En el caso del pluviómetro, se tiene en cuenta una serie de ecuaciones que involucran las dimensiones del recipiente, resolución y la frecuencia de cambio dada por el balancín de acuerdo con la intensidad de la precipitación. El instrumento de referencia para determinar la cantidad de lluvia que cae es un catéter de perfusión, el cual permite proporcionar de forma controlada, la cantidad de líquido en milímetros de agua al recipiente. Por último, para el sensor de temperatura y humedad relativa del aire, se hicieron uso las características que trae el sensor, el cual viene calibrado de fábrica. Al conectarlo a la placa Arduino, y con el código respectivo se podrá tener el valor de Humdad en %RH y de temperatura en oC para su visualización.

A continuación se describen otros dispositivos usados para la implementación de la estación e meteorología.

Cateye Velo 9: Es un sensor que al igual que el anemómetro mide la velocidad dependiendo de las revoluciones por segundo que este marca, es usado comúnmente para medir la velocidad en vehículos de una sola llanta [7]. La Fig. 3 muestra la apariencia del dispositivo.



Fig. 3. Cateye Velo 9.

Los dispositivos usados para el procesamiento de la información y la transmisión de los datos son:

Arduino Mega: Es una placa electrónica basada en el ATmega128, la cual cuenta con 54 pines digitales de entrada, salida y 16 entradas analógicas, que funciona como tarjeta de adquisición para sistemas electrónicos configurados por medio de lenguaje de programación [8], [9].

Módulo Xbee, ZigBee: son pequeños dispositivos que pueden comunicarse entre sí de manera inalámbrica. Son fabricados por Digi International, los cuales ofrecen una gran variedad de combinaciones de hardware, protocolos, antenas y potencias de transmisión [9] [10].

## 2.2. Desarrollo y Procedimientos de Caracterización

Inicialmente los datos obtenidos de las variables mencionadas serán visualizados en el sitio de ubicación de la estación meteorológica, para luego llevarlas inalámbricamente a un sitio de medida remoto. La Fig. 4 muestra el diagrama procedimental utilizado.

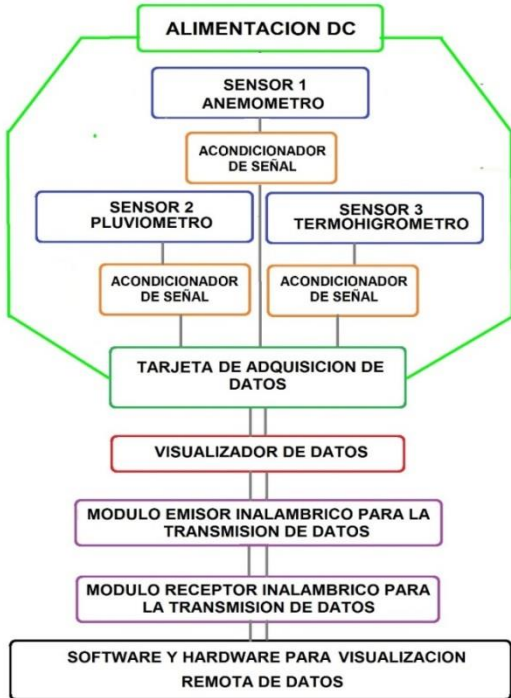


Fig. 4. Diagrama procedimental para la implementación de la estación.

La caracterización de los sensores se realizó de la siguiente forma:

Caracterización del anemómetro: para caracterizar el anemómetro se tuvo en cuenta las interrupciones generadas cada vez que se cruzan el imán y el reed switch, y que a la vez son interpretadas por el sistemas Cateye velo 9 como velocidad en km/h.

El proceso consiste en ir colocando el sensor cada 40 cm en línea recta hasta llegar a los 280 cm. Estas medidas se establecieron bajo criterios de prueba ensayo y error. Se utilizó como fuente, un equipo de generación de viento. La Fig. 5 muestra el proceso de caracterización distancia versus viento.

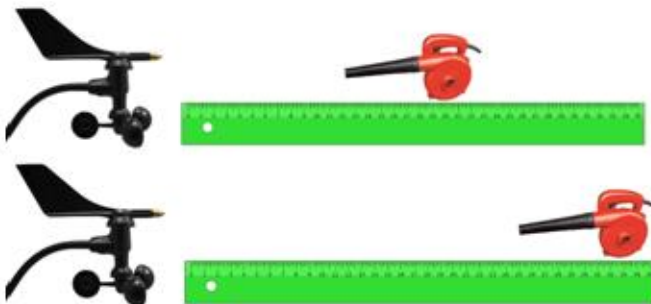


Fig. 5. Caracterización del Anemómetro.

La cantidad de interrupciones son tomadas cada 20 segundos; al finalizar los 20 segundos se comparan la cantidad de interrupciones con respecto a la velocidad en km/h que marca el Cateye Velo 9; Estos datos son utilizados para sacar la ecuación característica.

Caracterización del Pluviómetro: en la parte superior del Pluviómetro de balancín se encuentra la boca de captación que tiene forma de embudo, la cual recolecta la muestra de precipitación y lo dirige hacia un elemento llamado balancín.

Al igual que el anemómetro, el pluviómetro trabaja por medio de interrupciones, con un Reed Switch que trae en la parte interna. La Fig. 6, muestra la posición del sistema de detección magnético.

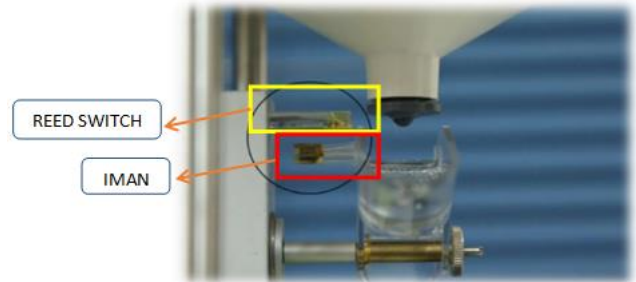


Fig. 6. Balancín. Reed Switch – imán.

Al exponer el pluviómetro al evento de precipitación líquida, se recolecta el volumen de agua que será dirigido al balancín. El volumen necesario para hacer funcionar el balancín viene dado por el área de la boca de captación y la resolución del instrumento, que en este caso es de 0,2 mm (dato obtenido de la placa del pluviómetro).

Como muestra la Fig. 6, en la parte posterior se encuentra un imán, que cuando se acumula cierta cantidad de agua. El peso hace que el balancín pierda el equilibrio y gire, haciendo que el imán pase al lado de un detector magnético que produce el cierre temporal de un interruptor. Este cierre temporal produce un pulso que es detectado por el elemento de medición.

Para realizar la caracterización se utiliza un catéter de perfusión, cuya función es simular la cantidad de lluvia (precipitación) proveniente de un recipiente con una cantidad determinada. Recordar que 1 mm de agua equivale a 1 litro de agua por metro cuadrado (1 Lm<sup>2</sup>).

Al vaciar el agua en la boca de captación, variando la velocidad en la que sale por el catéter de

perfusión y con una duración de 5 minutos por intervalo de captación se tiene una relación indirecta de precipitación versus tiempo y acumulación versus tiempo. Este proceso se hace durante los siguientes 20 minutos.

Para obtener los datos de la de la acumulación total se realizan los siguientes pasos:

Se multiplica la precipitación o pulsos por la resolución, en este caso es de 0,2 mm, obteniendo así la acumulación. La ecuación que la representa se muestra en (1):

$$\text{Acumulación} = \# \text{ interrupciones} \times \text{resolución} \quad (1)$$

**Ejemplo 1:** pluviómetro con resolución de 0,2 mm y cantidad de pulsos 3.

Aplicando la ecuación (1), se tiene:

$$\text{Acumulación} = 3 \times 0,2 \text{ mm} = 0,6 \text{ mm}$$

Asumiendo este resultado se dispone a realizar la acumulación total por medio de una relación de proporcionalidad, donde se tiene en cuenta la toma de datos de captación cada 5 minutos en un lapso de tiempo de 1 hora. La anterior relación se muestra en la ecuación (2).

$$\text{Acumulación}_{total} = \frac{60 \text{ minutos} \times \text{Acumulación}}{5 \text{ minutos}} \quad (2)$$

**Ejemplo 2:** de acuerdo a los resultados obtenidos del ejemplo 1, encontrar la acumulación total.

Usando la ecuación (2), se tiene:

$$\text{Acumulación}_{total} = \frac{60 \text{ minutos} \times 0,6 \text{ mm}}{5 \text{ minutos}} = 7,2 \text{ mm}$$

Caracterización del Termohigrómetro: este sensor mide la temperatura y humedad relativa del ambiente durante el momento que esta encendido, está protegido por una carcasa que está formada por varios segmentos de plásticos cuya función es brindarle protección al sensor del agua, debido a que estos tipos de estaciones se encuentran instaladas en la intemperie. Ver Fig. 7.



Fig. 7. Carcasa plástica del Termohigrómetro.

Por ser el Termohigrómetro (DHT22) un sensor que ya viene caracterizado de fábrica, lo que se hace es conectar el sensor directamente a la placa Arduino y descargar de la página oficial su respectiva librería para que el sensor pueda leer y visualizar los datos [11].

### 2.3. Configuración para la Transmisión de Datos

Para La programación de los módulos Xbee se debe contar con el software de configuración X-CTU, Fig. 8.

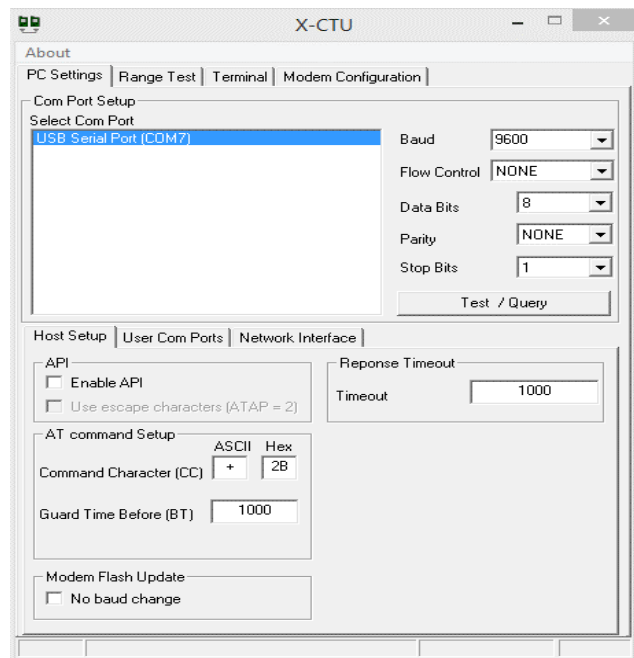


Fig. 8. Software de configuración X-CTU.

Los Xbee se configuran uno como coordinador y otro como enrutador. El coordinador será el responsable de mantener la red, identificando uno por red; el enrutador actúa como mensajero entre los dispositivos que están demasiado separados para transmitir la información por su cuenta.

La configuración utilizada para la comunicación de datos es de tipo serial y para comenzar la configuración, primero se asignan los siguientes parámetros.

- Baud=9600
- Flow Control= NONE.
- Data Bits=8
- Parity=NONE
- Stop Bits=1

Seguidamente, la opción TEST/QUERY como se muestra en la Fig. 9, se confirma, para que detecte el modulo y registre el programa.

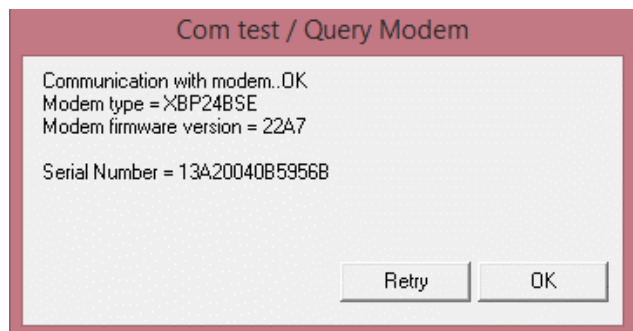


Fig. 9. Configuración serial del Xbee.

En la misma ventana se ingresa a la opción *Modem Configuration*, como se muestra en la Fig. 10, para configurar el modulo como COORDINADOR (*SH – Serial Number High*) – (*SL – Serial Number Low*) y como ENRUTADOR, en donde se asigna cuantos módulos se van a enrutar, que para este caso es uno.

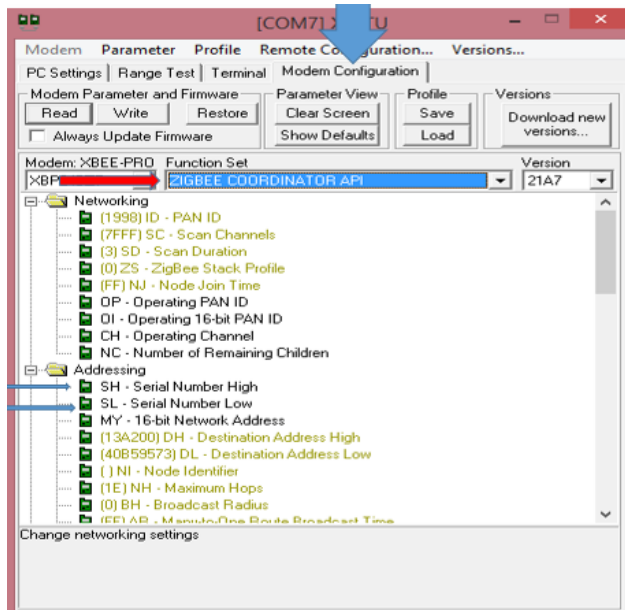


Fig. 10. Configurando Xbee.

La verificación y visualización de los datos en el ordenador se realizó utilizando el software de configuración X-CTU, el cual permite mostrar los datos por medio de un puerto virtual (hyperterminal).

### 3. RESULTADOS

La caracterización del anemómetro arrojó los datos mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de anemómetro.

Interrupciones	Km/h
293	112
221	85
171	62
119	42,5
82	31,5
64	21,5
43	11

Con los datos anteriores se obtiene una gráfica que permite ver la curva característica del sensor y así mismo poder sacar de allí la ecuación que predomina en el sistema, Fig. 11.

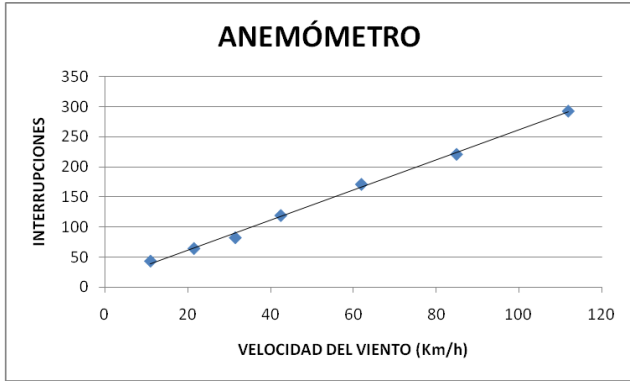


Fig. 11. curva característica del Anemómetro.

La ecuación característica encontrada para el anemómetro es (3):

$$Velocidad \left( \frac{km}{h} \right) = \frac{(\#interrupciones - 10,875)}{2,5086} \quad (3)$$

La correlación obtenida es:

$$R^2 = 0,997$$

Ahora, la caracterización del pluviómetro arrojó los datos mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización del Pluviómetro.

Tiempo	Interrupción	Precipitación(0,2)	Acumulación
5	3	0,6	7,2
10	8	1,6	19,2
15	23	4,6	55,2
20	31	6,2	74,4

Con los datos de la Tabla 2 se obtuvieron las mediciones de interrupciones contra el tiempo, precipitación acumulada frente al tiempo e intensidad versus tiempo.

La Fig. 12 muestra la cantidad de interrupciones obtenidas en intervalos de 5 minutos.

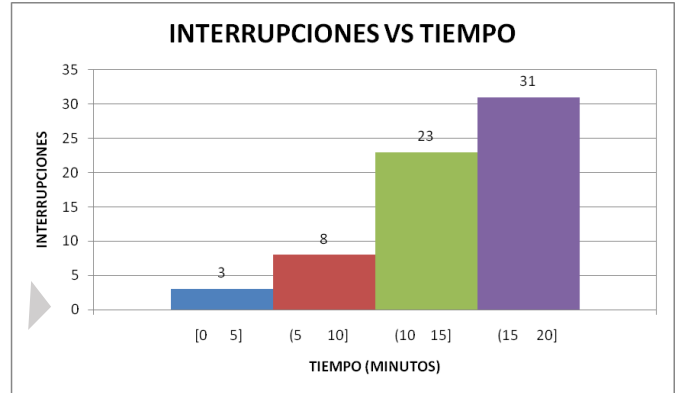


Fig. 12. Interrupciones vs tiempo.

La Fig. 13 muestra la precipitación, la cual se obtiene al multiplicar la cantidad de pulsos por la resolución (0,2 mm).

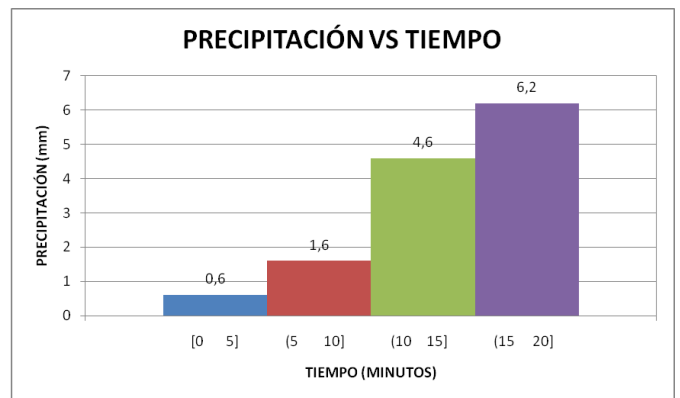


Fig. 13. Precipitación acumulada vs tiempo.

La Fig. 14 muestra la intensidad en cada intervalo de tiempo, teniendo en cuenta la cantidad acumulada en 60 minutos.

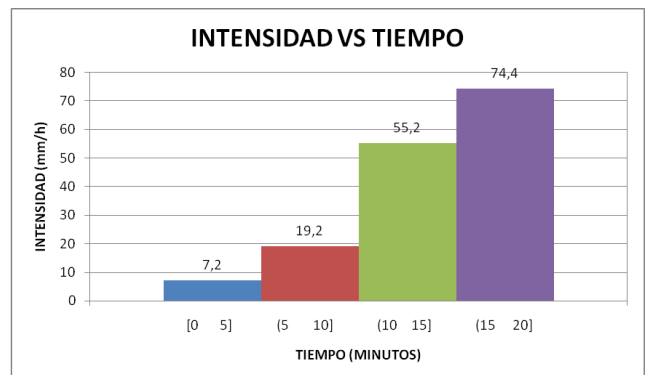


Fig. 14. Intensidad vs tiempo.

Como resultado final se muestra en Fig. 15, el montaje final de la estación de meteorología con la ubicación de los sensores en la estructura y también, en la Fig. 16, la descripción de las etapas principales de la caja de control y visualización.



Fig. 15. Estación meteorológica.

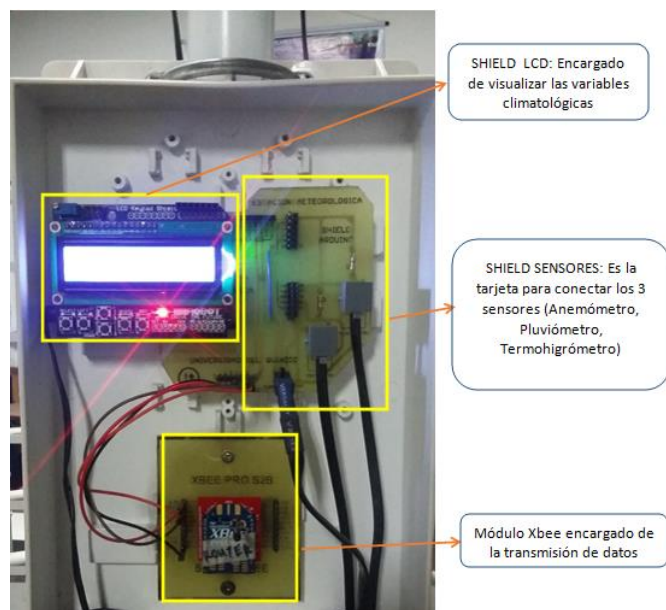


Fig. 16. Caja de visualización de la estación de meteorología y sus partes.

#### 4. TRABAJOS FUTUROS

Es importante tener en cuenta que a raíz del desarrollo mostrado, se puede complementar el trabajo creando una base de datos permanente, que sirva como insumo para el análisis y

desarrollos en diferentes ámbitos como lo es la agricultura y el comercio entre otras.

Otro aspecto que es importante resaltar, tiene que ver con la posibilidad de expandir la zona de medición implementando una red de estaciones de medición en tiempo real, que permita abarcar mayor territorio.

#### 5. CONCLUSIONES

Dadas las circunstancias, los prototipos desarrollados de esta índole son comúnmente utilizados para prevenir futuros estados del medio ambiente en alertas tempranas, la información almacenada puede ser de gran utilidad en sectores como la agricultura, la ganadería entre otros, puesto que se les haría muy fácil obtener información adecuada para sus respectivas áreas.

La estación desarrollada sirve para la recopilación continua de datos de las variables de temperatura, precipitación, velocidad del viento y humedad relativa, los cuales sirven de insumo importante para académicos, investigadores, entidades relacionadas con la generación de productos agrícolas de la región.

#### REFERENCIAS

- [1] Fundación española para la ciencia y la tecnología, "Unidad Didáctica: Metrología y Climatología", Edición: FECYT, ISBN: 84-688-8535-5, 2004.
- [2] EZ - Mount Weather Stations Manual, "EZ SOLAR POWER KIT", DAVIS - PRODUCTO # 7707 - Disponible en: [http://www.davisnet.com/product\\_documents/weather/manuals/ez\\_solar\\_power\\_kit.pdf](http://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/ez_solar_power_kit.pdf)
- [3] Aguirre L, Chuquiej B, Granados W, Cifuentes J., "Instrumentación Industrial: Anemómetro", Universidad de San Carlos de Guatemala, Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/301495533\\_INSTRUMENTACION\\_INDUSTRIAL\\_-ANEMOMETRO](https://www.researchgate.net/publication/301495533_INSTRUMENTACION_INDUSTRIAL_-ANEMOMETRO)
- [4] Muller A., "Pluviómetros y Pluviógrafos", METEOROLOGISCHE INSTRUMENTE KG, 2013, DISPONIBLE EN: <http://www.rfuess-mueller.de/221-0S.pdf> .
- [5] Bateman A., "Hidrología Básica y Aplicada", UPTC: Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos (GITS) – 2007.



- [6] La Rosa D, Trujillo M., "Blog de Laboratorio de Química", 2013, Disponible en: <http://laboratorio-quimico.blogspot.com.co/2013/10/que-es-un-termohigrometro-digital.html> .
- [7] CYCLOCOMPUTER, "Manual: Cateye velo 9", 2012, Disponible en: [https://www.cateye.com/files/manual\\_dl/1/734/CC-VL820520\\_HP\\_ES\\_v3-1.pdf](https://www.cateye.com/files/manual_dl/1/734/CC-VL820520_HP_ES_v3-1.pdf) .
- [8] Evans W., "Arduino notebook: a beginner's reference written and compiled", 2007, Disponible en: <http://www.arduino.cc>, <http://www.wiring.org.co>, <http://www.arduino.cc/en/Booklet/HomePage>, <http://cslibrary.stanford.edu/101/>
- [9] Tienda de Robótica, "Guía Básica de Arduino – Una guía práctica sobre el mundo del Arduino", Disponible en: [http://tdrobotica.co/download/Libro\\_kit\\_Basico.pdf](http://tdrobotica.co/download/Libro_kit_Basico.pdf)
- [10] DIGI INTERNATIONAL INC., "PRODUCT MANUAL V1.XEX - 802.15.4 PROTOCOL - RF MODULE PART NUMBERS: XB24-A...-001, XBP24-A...-001", 2009.
- [11] AOSONG ELECTRONICS CO.,LTD, "MANUAL DHT22: DIGITAL - OUTPUT RELATIVE HUMIDITY & TEMPERATURE SENSOR/MODULE", 2016.