

Capítulo 1 Estación Meteorológica para el análisis de la tierra para la siembra del maíz, en el municipio de Jocotitlán, Estado de México

Chapter 1 Meteorological Station for the analysis of the land for the sowing of corn, in the municipality of Jocotitlán, State of Mexico

ROSALES-DAVALOS, Jaime†*, LÓPEZ-RAMÍREZ, Roberto, MASTACHE-MASTACHE, Jorge Edmundo y ENRÍQUEZ-PÉREZ, Ma. de los Ángeles

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Carretera Toluca-Atlacomulco KM 44.8, Ejido de San Juan y San Agustín Jocotitlán, 50700 Jocotitlán, México

ID 1^{er} Autor: *Jaime, Rosales-Davalos* / **ORC ID:** 0000-0002-9059-6093, **Researcher ID Thomson:** MVQ9OX-GXKHUL, **CVU CONACYT-ID:** 812961

ID 1^{er} Coautor: *Roberto, López-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0001-8341-3684, **CVU CONACYT-ID:** 233228

ID 2^{do} Coautor: *Jorge Edmundo, Mastache-Mastache* / **ORC ID:** 0000-0001-6104-6764, **Researcher ID Thomson:** H-1187-2018, **CVU CONACYT-ID:** 544943

ID 3^{er} Coautor: *Ma. de los Ángeles, Enríquez-Pérez* / **ORC ID:** 0000-0002-2280-0661, **Researcher ID Thomson:** H-9399-2018

J. Rosales, R. López, J. Mastache y M. Enríquez

jaime.rosales@tesjo.edu.mx

A. Marroquín, H. Corres y L. Carpio. (Dir.) Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Queretaro, 2018.

Abstract

The current climate change affects different areas of development; among them agriculture and particularly that of corn production. In the following work a wireless meteorological (EM) station was designed and built to measure, visualize and store physical magnitudes (temperature, light intensity, atmospheric pressure, relative humidity, wind speed, soil moisture), in any point of a cultivation area, which was validated in Jocotitlán, State of Mexico. The EM measurement system consists of several stages, starting with capture, which consists of measuring each of the physical quantities, transforming them to electrical signals and sending them to a data acquisition card. After processing, signals are transmitted to a computer and processed by LabView software to obtain real time measurements of the physical quantities. The coding, transmission, reception and decoding of the signals was done using XBEE modules. With the automated meteorological information, the farmer would be helped to make opportune decisions in the handling of crops to be able to face any environmental eventuality.

Meteorological Station, Physical Variables, Magnitudes, Sensors

1 Introducción

En este trabajo, se explica el diseño e implementación de la instrumentación electrónica de una estación meteorológica móvil, con una conexión inalámbrica entre el emisor y receptor con la finalidad de captar, visualizar y almacenar variables físicas en tiempo real (temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, humedad del suelo, luz ambiental y velocidad del viento), implementado por el software (LabView) y el hardware (tarjeta Arduino) y los módulos de XBee PRO S1.

Por consecuencia del cambio climático, se han empezado a modificar las estaciones del año en el planeta. En México; en la zona norte del país, han aumentado la sequías; en el centro de país las heladas e inundaciones que afectan los cultivos (maíz, trigo, cebada, frijol, etc.) y al sur aumentan las lluvias extremas y huracanes (Greenpeace, 2012), por lo tanto, se prevé que el calentamiento podría aumentar de 2 a 4 grados en las partes centrales y en el norte del país (INE, 2006), provocando un aumento en la evaporación, reducción de la precipitación y de los escurrimientos lo que incidirá la distribución del recurso hídrico sobre el suelo (afectando al cultivo, ganado o asociaciones vegetales naturales) (Sanchez-Salazar & Matínez-Galicia, 2006), la disponibilidad y captación de la radiación solar, el agua y los nutrientes son factores básicos para el crecimiento y supervivencia de las plantas de maíz.

El incremento de la temperatura afecta en la polinización, aumenta la respiración y disminuye la fotosíntesis (Ojeda, Sifuentes, Íñiguez, & Montero, 2011). Por lo que, las condiciones ambientales, son elementos que limitan el crecimiento y desarrollo de las plantas y cultivos, en la germinación se requiere de apropiadas temperaturas, humedad y aireación y no se necesita luz en esta etapa, el cambio de la fase vegetativa a la fase productiva se realiza más temprano, cuando el periodo de cultivo coincide con los días cortos. Por ejemplo, durante días largos (más de doce horas con luz) el maíz tarda en florecer. La duración del ciclo de vida del maíz depende de las condiciones genéticas, aunque también del ambiente; periodos de sequía y temperaturas altas provoca una maduración temprana, el granizo y las heladas afectan su maduración. Por lo tanto el maíz requiere un clima cálido y agua en cantidades adecuadas, finalmente las condiciones ecológicas y edáficas son: temperaturas de 25 a 30°C, la humedad debe ser mayor a 500mm (bien distribuidos), Altitud desde 300 a 2500 metros sobre el nivel del mar, latitud 40 grados de latitud norte a 40 grados de latitud sur, fotoperiodo de 11 a 14 horas (optimo) (INE, 1997).

Por lo tanto, el cambio climatológico afecta el crecimiento y desarrollo de la planta de maíz, que dependen de las magnitudes físicas como: temperatura, humedad del suelo, intensidad de la luz solar y velocidad del viento. Cuando incrementa la temperatura aumenta la evaporación y por lo tanto disminuye la precipitación y la humedad del suelo, lo que ocasiona sequías y una mayor velocidad del viento. Por desgracia, el clima se ha ido modificando (INE, 1997), lo que ocasiona cambios en las condiciones del tiempo para el crecimiento y desarrollo del maíz, siendo los agricultores de pocos recursos económicos los más afectados por su bajo acceso a tecnologías, insumos, información y recursos monetarios para tomar medidas de adaptación, por esa razón se propone la construcción de una estación meteorológica móvil diseñada y edificada en el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, con al cual se pretende ayudar a los agricultores de la región con los datos y registros de las variables físicas sin gastos.

El INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) cuenta con estaciones meteorológicas que integran redes de estaciones agroclimáticas y están equipadas con sensores de temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, dirección del viento y humedad de las hojas, cuyas características son la medición de las magnitudes se realiza cada 15 minutos y los datos son transmitidos en el laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos ubicados en el campo experimental (Media, Grageda, Ruiz , & Báez , 2008); Estación Meteorológica con anemómetro alecto, las magnitudes físicas que capta son: velocidad del viento, temperatura, humedad, además de una pantalla LCD (Jadineria.top, s.f.); la estación Meteorológica Inalámbrica está diseñada para medir cinco variables físicas: temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad del viento y dirección del viento, controlado por un microcontrolador 16F877A y una LCD (Arango, Rincón, Manrique, & Buitrago, 2010), el sistema de monitoreo está constituida por los sensores para medir la velocidad del viento, termistor, y Pirómetro, además transmite datos cada cinco minutos y se almacenan en la memoria; finalmente la Estación Meteorológica para el análisis de la tierra para la siembra del maíz, en el municipio de Jocotitlán, Estado de México se implementó con el software LabView, el Hardware de Arduino y los sensores que mide la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, humedad del suelo, luz ambiental y velocidad del viento donde está la variable de humedad del suelo con la (Media, Grageda, Ruiz , & Báez , 2008), las magnitudes son almacenadas en una PC cada minuto, y al mismo tiempo visualizadas en tiempo real en la computadora y almacenarlas en una base de datos (Excel), es importante mencionar que no solo afecta las condiciones climatología para el crecimiento y desarrollo del maíz, también influye los nutrientes de la tierra y otros factores, pero este trabajo solo está enfocado a la obtención y almacenamiento de las variables físicas.

El diseño está basado en una red de sensores inalámbricos; el sistema está compuesto por TX (transmisión de datos)/RX (recibir datos) de radio frecuencia, sensores y microcontroladores y fuentes de poder, que generalmente es autoorganizable, autocofigurable, autodiagnosticable y autoreparable (Jimenez , Ravelo, & Gómez, 2010).

El sistema de captación es conformado de la etapa de sensado constituido por sensores (temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, humedad del suelo, luz ambiental y velocidad del viento), su función consiste convertir un fenómeno físico en señales eléctricas analógicas (voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico), que se pueda medir y varia con el tiempo (National instruments, 2015), una estación meteorológica móvil está constituida por un conjunto de sensores, que están conectados en la topología estrella, porque cada una de las magnitudes físicas son enviadas a un nodo en común (Faludí, 2010), después estas son digitalizadas y procesadas por la tarjeta Arduino y son enviadas al módulo Xbee pro S1 (transmisor), para ser enviados los datos por el medio ambiente y las capta el receptor del módulo del Xbee PRO S1, que implementa la tecnología de comunicación inalámbrica de radio frecuencia XBee-Pro S1, que trabaja con el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4 y solamente aplica para las dos primeras capas del modelo OSI (nivel físico y nivel de enlace); algunas de sus características están basada en redes de bajo costo, sensores inalámbrico de baja potencia y de control en cualquier mercado, también se puede utilizar en cualquier lugar, es fácil de implementar y requiere poca energía para funcionar (Kinney, 2003), posteriormente son enviadas a la computadora su función es acondicionar y procesar la información por medio del receptor, y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos y finalmente obtener la magnitudes de las magnitudes de las variables físicas.

1.1 Definición y Etapas

La estación meteorológica móvil e inalámbrica es un sistema de control que esta constituido de entradas, proceso y salidas, en donde las salidas tienen relación con respecto a las entradas (Bolton, 2014), o es una red de sensores inalámbricos, que está constituido por sensores, módulos de radio frecuencia, microcontrolador y fuentes de poder (Jimenez , Ravelo, & Gómez, 2010). También, es considerado como un sistema de medición donde sus entradas son las magnitudes que se desean medir y sus salidas son el valor correspondiente a cada una de las entradas; es decir, están constituidos por tres elementos: sensado, acondicionador de señal y medio de representación visual (Bolton, 2001).

En la figura 1.1, se muestra el diagrama de bloques de una estación meteorológica móvil, constituido por:

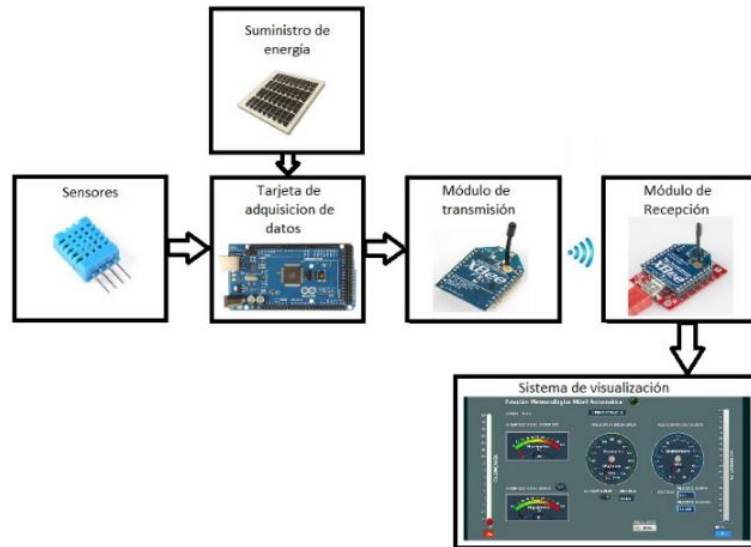
1. Etapa de sensado, donde está ubicado cada uno de los sensores de las variables físicas que se captan y procesadas.

2. Etapa de transmisión y recepción de datos (módulo Xbee Pro S1).
3. Fuente de alimentación solar (panel solar). La interfaz, consiste en una conexión entre las señales de entrada y salida.
4. Etapa de visualización, de las magnitudes de las variables físicas (software de LabView).

1.2 Sensores

Son dispositivos, que convierten las variables físicas en señales eléctricas, como voltaje, corriente, resistencia, etc. (National instruments, 2015). Las variables físicas que intervienen en la siembra y desarrollo del maíz son: temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, humedad del suelo, luz ambiental y velocidad del viento (Granados & Sarabina, 2013).

Figura 1.1 Diagrama a bloques de la estación meteorológica móvil



Fuente: Autoría Propia

Temperatura

Se implementó el sensor de temperatura AD22100ATZ, su rango de medición esta entre -50 a 150 °C, suministra de 4 a $6.5V_{DC}$, con una corriente de salida (sensibilidad) $500\mu A/^\circ C$ y una exactitud de ± 1 °C. El rango de temperatura es manipulable y el suministro de corriente (Voltage Output Temperature Sensor with Signal conditioning, 2004). La función de transferencia del sensor está dada por:

$$V_{salida} = \left(\frac{V_{sum}}{5V}\right) \left(1.375V + 22.5 \frac{V}{^\circ C}\right) * T_A \quad (1)$$

Donde:

$$V_{sum}=5V$$

V_{salida} = Voltaje que entrega el sensor.

T_A = Temperatura.

Despejando a T_A de la ecuación 1

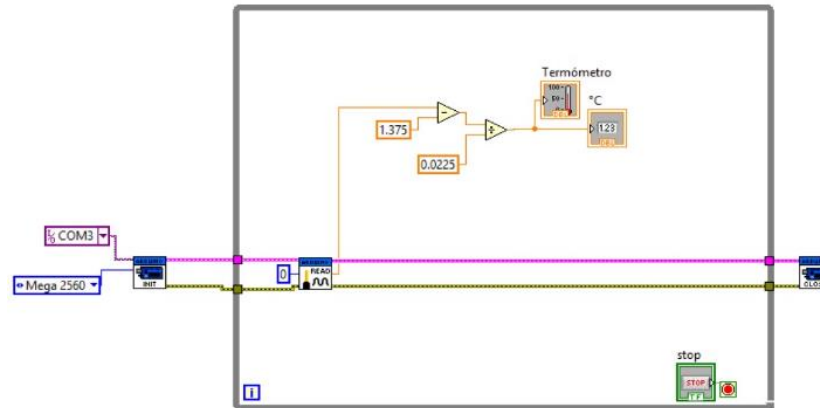
$$T_A = \frac{(V_{salida}-1.375V)}{\left(0.0225 \frac{V}{^\circ C}\right)} \quad (2)$$

Con la ecuación 2, se realizó el código en el software de LabView, para obtener la magnitud de la variable física de la temperatura (ver figura 1.2).

Presión atmosférica

Es la presión ejercida por la atmósfera terrestre, depende de la altitud y se mide en Pa (pascales), hPa (hectopascal), es decir que 1hPa=100Pa (Creus, 2010). Se seleccionó, el sensor MPX4115AP, por su rango de medida está en el orden 150 a 1150 hPa y suministra un voltaje entre 4.85 a 5.35V. En base a la función de transferencia.

Figura 1.2 Código de programación en LabView de la variable física de la temperature



Fuente: Autoría Propia

$$V_{salida} = (V_{sumin}(0.009(P - 0.095))) \quad (3)$$

Donde:

V_{salida} = voltaje que entrega el sensor.

V_{sumin} =voltage que se le suministra al sensor.

P = presión atmosférica en KPa.

Despejando de la ecuación 3 a la variable P , multiplicando por 10, para obtener en KPa, se tiene:

$$P = 10 \left(\frac{(0.095 \cdot 5) + V_{salida}}{5 \cdot 0.009} \right) \quad (4)$$

Además, se debe considerar la altura con la presión atmosférica.

$$Altitud = 44330 \left(1 - \left(\frac{P}{1013.25 hPa} \right)^{\frac{1}{5.225}} \right) \quad (5)$$

Sustituyendo, la ecuación 4 en 5, la altitud está dada por:

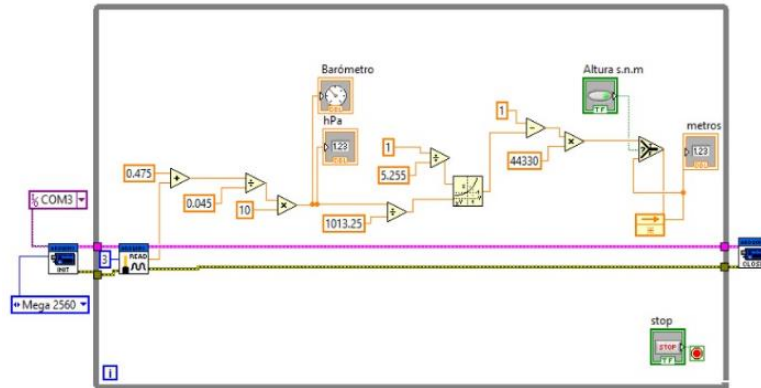
$$= 44330 \left(1 - \left(\frac{10 \left(\frac{(0.475) + V_{salida}}{0.045} \right)}{1013.25 hPa} \right)^{\frac{1}{5.225}} \right) \quad (6)$$

Con la ecuación 6, se obtiene la ecuación que determina la magnitud de presión atmosférica, como se muestra en la figura 1.3.

Humedad relativa

Es la relación entre la masa de vapor de agua contenida en la unidad de volumen de aire y de vapor de agua en la atmósfera (Higrómetro), se optó por el HIH-4030-00, manipula un rango de 0 a 100% y una exactitud del 3.5%. En base (HIH-4030/31 SERIES HUMEDITY SENSORS, 2008), la función de transferencia del sensor está determinada por:

Figura 1.3 Código de programación en LabView de la variable de la presión atmosférica



Fuente: Autoría Propia

$$V_{salida} = (V_{sumin})(0.0062(\%RH) + 0.16) \quad (7)$$

Donde:

$V_{sumin}=5V$ es el voltaje que se le suministra al sensor.

V_{salida} = voltaje que entrega el sensor.

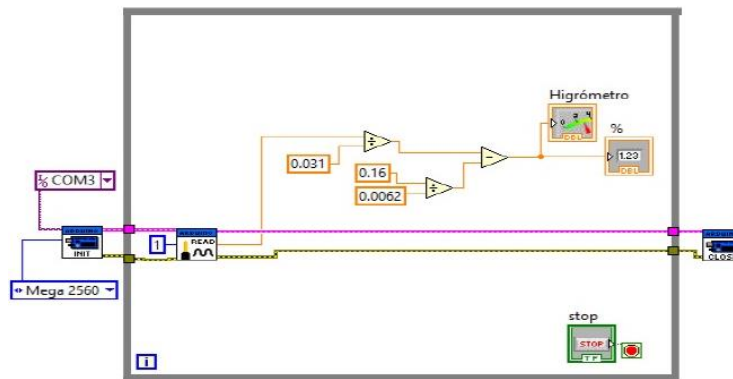
$\%RH$ = humedad relativa sensada dada en porcentaje.

Finalmente, se despeja a la humedad relativa de la ecuación 7, quedando:

$$\%RH = \left(\frac{V_{salida}}{0.031} - \frac{0.16}{0.0062} \right) \quad (8)$$

De la ecuación 8, se obtiene el código del algoritmo, que se usa para determinar la magnitud de la humedad relativa, ver figura 1.4.

Figura 1.4 Código de programación en LabView de la variable de la humedad relativa

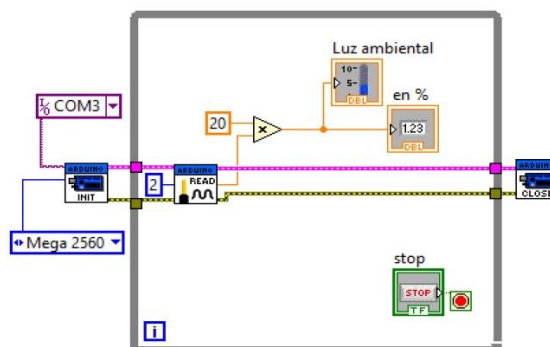


Fuente: Autoría Propia

Luz ambiental

Es la radiación visible emitida por el sol. Por lo tanto, se selección el TEPT4400, por tener mayor respuestas (Pablo , 2015). A partir de las especificaciones del sensor (TEPT4400 Vishay Semiconductor, 2016), el voltaje se multiplica por 20 para obtener el 100% de la intensidad de la luz; cuando sea cero se obtendrá el 0%, se muestra en la figura 1.5, el código de la ecuación para determinar la magnitud de la intensidad de la luz ambiental.

Figura 1.5 Código de programación en LabView de la variable de la luz ambiental



Fuente: Autoría Propia

Humedad del suelo

Mide la cantidad de agua por volumen de tierra, se seleccionó el YL-69, su funcionamiento depende de la corriente que suministra entre las dos terminales y que fluye a través del suelo; por lo tanto, la humedad del suelo se determina en relación con la resistencia que presenta el suelo ante el flujo de corriente. Posee una exactitud de $\pm 2\%$ y señal es analógica o digital (Becerril, 2017). Con respecto a las hojas de especificaciones del sensor de humedad del suelo, se obtiene la función de transferencia, como:

$$\%RHs = \frac{(V_{salida} - 5)(-100)}{5} \quad (9)$$

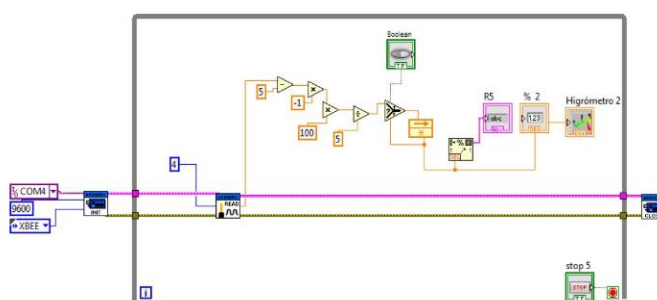
Donde:

%RHs= Humedad relativa del suelo

V_{salida} = Voltaje de salida del sensor

Con la ecuación 9, se determina el código con el que se calcula la magnitud de la variable física de la humedad relativa, ver figura 1.6.

Figura 1.6 Código de programación en LabView de la variable de la humedad relativa del suelo



Fuente: Autoría Propia

Velocidad del viento

Este sensor determina la velocidad de aire; es decir, es el aire en movimiento, el instrumento que se implementa para medir esta variable se llama anemómetro. Se seleccionó el UGC-FS por su precisión, está en el rango de $0.3 + 0.03$ m/s y su rango es de 0 a 32 m/s (Becerril, 2017). Basándose en las hojas especificaciones del fabricante se obtuvo la función de transferencia.

$$V_{vel_vto} = (20V_{salida} - 8) (m/s) \quad (10)$$

$$V_{vel_vto} = 3.6(20V_{salida} - 8) (Km/h) \quad (11)$$

$$V_{vel_vto} = 1.940(20V_{salida} - 8) (Nudo) \quad (12)$$

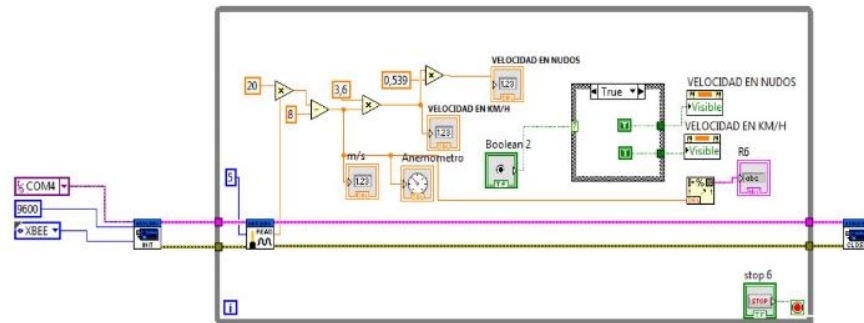
Donde:

V_{vel_viento} = Velocidad del viento.

V_{salida} = Voltaje de salida del sensor.

Con las ecuaciones 10, 11 y 12, se calculó el código para determinar el valor de la magnitud de la velocidad del viento en m/s, Km/h y Nudos, ver la figura 1.7 (Becerril, 2017).

Figura 1.7 Código de programación en LabView de la variable de la velocidad del viento

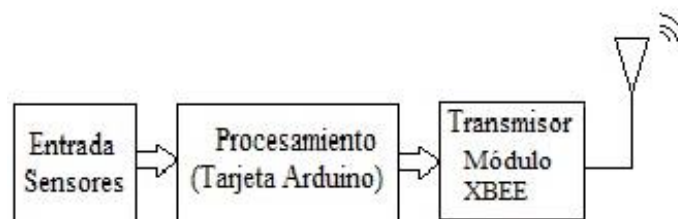


Fuente: Autoría Propia

Transmisión de datos

Para la comunicación inalámbrica, entre el sistema de sensado de las variables físicas (transmisor de datos) y el sistema de control (receptor de datos), se implementaron dos módulos de Xbee Pro S1, estos trabajan utilizando el protocolo de red IEEE 802.15.4, además soportan el modo transparente, se implementan para la conexión inalámbrica, la recepción de datos, a través de UART, es decir, es la transmisión y recepción de datos por medio de Pines (TXD y RXD) para comunicarse con el microcontrolador, finalmente se implementó el modo directo e indirecto que consiste en enviar los datos sin retenerlos un determinado tiempo, se implementó la red de sensores inalámbricos y utilizando la topológica estrella (Vera, Barbosa, & Pabón, 2015), además utiliza dos capas físicas y enlace del modelo OSI (Castellano, Padrón, Martínez, Barga, & Madruga, 2015), donde los nodos son cada uno de los sensores que esta acopladas al nodo común, que es la tarjeta de adquisición de datos (Arduino Mega 2560). Su función consiste en acondicionar y procesar las señales de entrada y/o obtener señales digitales (National instruments, 2015) y son enviadas al transmisor XBEE Pro S1, empaqueta los datos y los envía en el modo directo (DIGI, 2009), a una velocidad de operación es de 2.4 GHz, como se muestra en la figura 1.8.

Figura 1.8 Sistema a bloques de la captación, procesamiento y envío de las magnitudes de las variables físicas

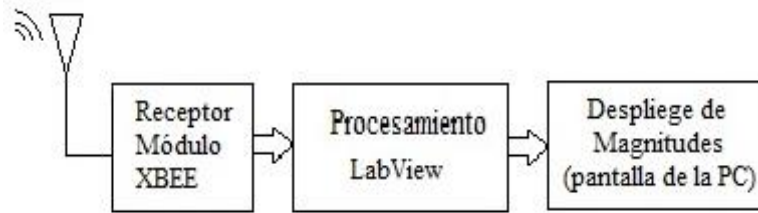


Fuente: Autoría Propia

Los paquetes de datos, son recibidos por el receptor, es decir una todos los datos que fueron divididos en paquetes y son enviados a una computadora para visualiza las magnitudes numéricas y gráficas de las variables físicas. Después, son almacenadas en una base de datos, la información se guarda en el software de Excel, ver figura 1.9.

Para el funcionamiento de los módulos de transmisión y recepción, se configuraron los módulos, con la implementación del software X-CTU (DIGI X-CTU Configuratuion & test, 2012), donde se asignó la velocidad del puerto serial, paridad; además se determinó el receptor y emisor.

Figura 1.9 Sistema a bloques de la recepción y visualización de datos



Fuente: Autoría Propia

Resultados

Se obtuvo la interfaz gráfica, para la visualización de las magnitudes numérica y gráfica de las variables físicas, temperatura, humedad ambiental, humedad del suelo, presión atmosférica, velocidad del viento y luz ambiental implementando el software de LabView y tarjeta de interfaz el Arduino, a través de una conexión inalámbrica, ver figura 1.10. En la figura 1.11, se muestra el sistema de monitoreo, donde se muestra el sistema de alimentación su función es suministrar voltaje a los sensores y al módulo de transmisión (XBEE), después se muestra el sistema de procesamiento y acondicionamientos de los datos y la interfaz gráfica del sistema de monitoreo y finalmente la estructura de sistema de captación de las variables físicas.

También se realizaron pruebas de ubicación entre el emisor y receptor, en donde la distancia entre el receptor y el emisor eran de 70mts con obstáculos, es decir estaban emisor en el interior de un edificio y el receptor en el interior de un edificio y entre los dos estaba un edificio. Además, al aumentar la distancia entre el sistema de captación y recepción de datos se perdía la comunicación, ver figura 1.12.

Figura 1.10 Interfaz gráfica de la estación meteorológica móvil e inalámbrica



Fuente: Autoría Propia

Figura 1.11 Sistema de monitoreo de las variables físicas



Fuente: Autoría Propia

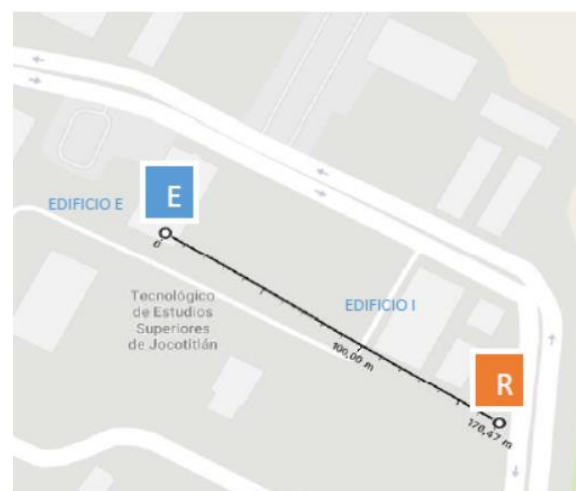
Figura 1.12 Distancia entre el emisor y receptor con tres obstáculos



Fuente: Autoría Propia

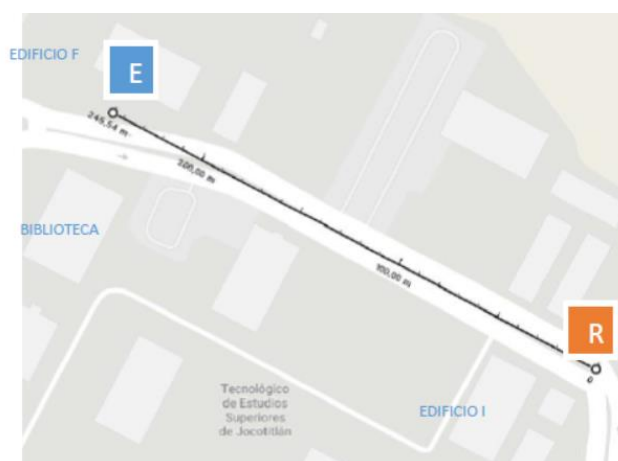
Segunda prueba a una distancia de separación entre el emisor y receptor de 170mts, el obstáculo solo era una pared de un edificio, es decir el emisor estaba en la parte exterior y el receptor en la parte interior de una construcción ver figura 1.13. Finalmente, se realizó una prueba sin obstáculos, como se muestra en la figura 1.14, donde la distancia máxima entre el emisor y receptor fue de 245 mts, no se pierde la conexión entre ambos y a mayor distancia la comunicación se pierde.

Figura 1.13 Distancia entre el emisor y receptor con un obstáculo



Fuente: Autoría Propia

Figura 1.14 Distancia entre el emisor y receptor es de 246.54 mts, sin obstáculo



Fuente: Autoría Propia

Agradecimiento

Agradecemos al Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, por el apoyo económico para desarrollar el proyecto, además por utilizar la infraestructura de la institución y proporcionar un espacio de trabajo.

Conclusiones

Se diseñó y construyó un sistema inalámbrico que transmite y recibe datos a diferentes distancias entre el receptor y emisor en tiempo real, con una interfaz gráfica entre el usuario y PC, además si hacer uso de red local que dependa de la red inalámbrica, también almacena las magnitudes de las variables físicas cada minuto o puede ser manipulado en una base de datos en el software Excel en un tiempo real, por lo tanto, se puede obtener y almacenar las magnitudes de las variables físicas durante días, semanas, meses o años, con la finalidad de poder analizar las condiciones climatológicas en el municipio de Jocotitlán. Para que los habitantes, que se dedican a la agricultura puedan adaptar la siembra del maíz a las variantes en las condiciones climatológicas que están ocurriendo.

Con los dos módulos XBEE Pro S1 empleados, se obtuvo un sistema de configuración punto a punto operando de manera eficiente hasta 20 metros de distancia con obstáculos y 245.6 mts en un espacio libre; logrando obtener datos entre el emisión y recepción en la comunicación, entre el sistema de captación y visualización de las variables físicas.

Durante todo el proceso, se comprobó que los módulos XBEE Pro S1, son dispositivos de comunicación confiables, de bajo costo y alto desempeño en aplicaciones como esta, además permite utilizar el protocolo ZigBee y soportar todas las capas de red del estándar 802.15.4 utilizada en estos dispositivos.

Referencias

- Arango, D. A., Rincón, F. E., Manrique, L., & Buitrago, D. (2010). Estación Meteorológica Inalámbrica. Umbral Científic, Bogotá Colombia, 66-72.
- Becerril, I. (2017). Rediseño de una estación meteorológica móvil con comunicación XBEE para el monitoreo de condiciones climatológicas en el municipio de Jocotitlán, Estado de México.
- Bolton, W. (2001). Ingeniería de Control. Alfaomega.
- Bolton, W. (2014). Mecatrónica . En Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica (Segunda ed.). Alfaomega.
- Castellano , A., Padrón, F., Martínez , F., Bárgaza, Á., & Madruga, L. (2015). Diseño de un sistema electrónico utilizando modulos Xbee para transmitir voz. Revista de Ingeniería Electrónica Automatica y Comunicacion.
- Creus, A. (2010). Instrumentación industrial (Octava ed.). Alfaomega Grupo Editores.
- DIGI X-CTU Configuration & test. (2012). DIGI. Obtenido de www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001458-13/default.htm#concept/c_90001458-13_start.htm%3FTocPath%3D_____1
- DIGI. (2009). XBee/XBee-PRO Sa1 802.15.4. Obtenido de www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000982.pdf
- DIGI X-CTU Configuration & test. (2012). DIGI. Obtenido de www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001458-13/default.htm#concept/c_90001458-13_start.htm%3FTocPath%3D_____1
- Faludi, R. (2010). Building wireless sensor network: with Zigbee, Xbee, arduino and processing. Publisbed O'Reilly Media, Inc. 1005 Gravenstein Highway North .

- Granados , R., & Sarabina, A. (2013). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexican de Ciencias Agrícolas*.
- Greenpeace. (2012). La agricultura mexicana y el cambio climático. Obtenido de www.greenpeace.org.mx
- HIH-4030/31 SERIES HUMEDITY SENSORS. (2008). HONEYWELL. Obtenido de www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/SEN-09569-HIH-4030-datasheet.pdf
- Impacto del estrés hídrico y la temperatura alta sobre las plantas cultivadas: el caso del maíz (*Zea mays* L.) en Tamaulipas. (2009). *Revista Digital Universitaria*.
- INE. (1997). Características generales del maíz. Estado de Mexico.
- INE, I. (2006). Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México.
- Jadineria.top. (s.f.). Las ocho mejores estaciones meteorológicas domésticas del 2018. Obtenido de <https://jardineria.top/mejores-estaciones-meteorologicas-domesticas/>
- Jimenez , A., Ravelo, D., & Gómez, J. (2010). Sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de información fenológica para el manejo de plagas y enfermedades de un duraznero mediante tecnologías de agricultura de precisión . *Tecnura*.
- Kinney, P. (2003). Zigbee technology: Wireless control that simply works. *Communications desing conference*, (págs. 1-7).
- Media, G., Grageda, J., Ruiz , J. A., & Báez , A. D. (2008). Uso de Estaciones Meteorológicas en la Agricultura. *Zacatecas*.
- National instruments. (2015). Adquisición de datos. Obtenido de www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Íñiguez, M., & Montero, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 1-11.
- Pablo , H. (2015). Estacion Meteorologica Movil.
- Sanchez-Salazar, M., & Matínez-Galicia , M. (2006). La vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos ante el cambio climático global. *Instituto Geografía. UNAM*.
- TEPT4400 Vishay Semiconductor. (2016). Vishay. Obtenido de [/www.vishay.com/docs/81341/tept4400.pdf](http://www.vishay.com/docs/81341/tept4400.pdf)
- Vera, C., Barbosa , J., & Pabón, D. (2015). Configuración de parámetros en el Módulo Xbee Pro ZB S"B for Medición de Variables Ambientales. *Tecnura*.
- Voltage Output Temperature Sensor with Signal conditioning. (2004). Analog Device. Obtenido de <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD22100.pdf>