



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS PARA
INVERNADEROS: MANEJO DE DATOS

AUTOR: Jefferson Cárdenas

DIRECTOR: Carlos Xavier Rosero Chandi

Ibarra-Ecuador

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para q sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	0401734231		
Apellidos y nombres:	Jefferson Esteban Cárdenas Delgado		
Dirección:	San Gabriel-Carchi Av. Los Ciprés		
Email:	jecardenas@utn.edu.ec / jeffersoncardenas@gmail.com		
Teléfono fijo:	290-214	Teléfono móvil:	0995382586

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“Sistema de adquisición de variables climáticas para invernaderos: manejo de datos”
Autor:	Jefferson Esteban Cárdenas Delgado
Fecha:	Diciembre
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniero en Mecatrónica
Asesor /director:	Carlos Xavier Rosero Chandi

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra, objeto de la presente autorización, es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de diciembre del 2020

El Autor:

Jefferson Esteban Cárdenas Delgado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: "SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS PARA INVERNADEROS: MANEJO DE DATOS", para obtener el título de Ingeniera en Mecatrónica, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Jefferson Esteban Cárdenas Delgado, bajo mi supervisión.

Ibarra, diciembre del 2020

Carlos Xavier Rosero

DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a cumplir este objetivo.

A mis padres Oswaldo y Maty por su apoyo incondicional para poder cumplir con esta etapa.

A mis hermanos Diego, Alex y Esthefano que siempre estuvieron pendientes de mi en este proceso.

A mis amigos, compañeros y profesores quienes hicieron de este proceso una experiencia inolvidable.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mis padres
Oswaldo y Maty quienes me han ayudado
a levantarme una y otra vez,
por sus esfuerzos he logrado
culminar mis estudios.

RESUMEN

Hoy en día, la agricultura de precisión se ha desarrollado a tal forma que logra muestrear las variables más influyentes en el desarrollo de un cultivo y tomar decisiones basándose en estos datos para mejorar los procesos de cultivo. Una red de sensores inalámbrica (WSN), es uno de los sistemas que permite solucionar problemas relacionados a la comunicación y transmisión de datos. Dichos datos son obtenidos a través de sensores, y son transmitidos a un dispositivo central, donde se administra y gestiona esta información. Dentro del proyecto sistema de adquisición de variables climáticas para invernaderos, el manejo de datos a través de una WSN es de vital importancia, ya que permite desarrollar nodos sensores inalámbricos que permiten obtener datos de múltiples regiones de un cultivo para su estudio, siendo un beneficio en comparación a los sistemas de adquisición de datos cableados. En este trabajo se utiliza sensores y microcontroladores de la familia Arduino para realizar los ensayos de adquisición de datos. Por otro lado, debido a que existe variedad de módulos que permiten implementar una WSN, se realiza un análisis para determinar los elementos que forman parte del trabajo. Además, el sistema está basado en hardware y software libre, permitiendo su uso en el medio académico. Finalmente se desarrollan las pruebas de funcionamiento del sistema, al verificar el almacenamiento de los diferentes datos adquiridos por los diferentes sensores.

ABSTRACT

Today, precision agriculture has been developed in such a way that it manages the sampling of the most influential variables in the development of a crop and take decisions based on this data to improve the cultivation processes. A wireless sensor network (WSN) is one of the systems that allows solving problems related to communication and data transmission. The data are obtained through sensors, and are transmitted to a central device, where this information is administered and managed. In the present project, the system for the acquisition of climatic variables for greenhouses, the data management through a WSN is of vital importance, because, it allows the development of wireless sensor nodes that obtaining data from multiple regions of a crop for it's study, being a benefit compared to wired data acquisition systems. In this work, sensors and microcontrollers from the Arduino family are used to perform the data acquisition tests. On the other hand, there are a variety of modules that allow implementing a WSN, and an analysis is carried out to determine the elements that are part of the project. Furthermore, the system is based on free hardware and software, allowing its use in the academic environment. Finally, tests of the system are carried out, by verifying the storage of the different data acquired by the different sensors.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	12
Problema.....	12
Objetivos.....	14
Objetivo General	14
Objetivos específicos.....	14
Alcance	14
Justificación	15
REVISIÓN LITERARIA	18
1.1 Agricultura de precisión con sensores inalámbricos	18
1.2 Diseño e implementación de una red con sensores inalámbrica (wsn) con un protocolo abierto de comunicación basado en ieee 802.15.4 (xbee) para prácticas universitarias	20
1.3 Red WSN para el control y monitoreo de un sistema de riego por soteo de una plantación de fresas en la granja experimental Yuyucocha – UTN.....	23
1.4 Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología Zigbee	25
1.5 Análisis de dispositivos WSN.....	29
1.5.1 Jennic JN5121	29
1.5.2 Xbee S2.....	30
1.5.3 CM5000 TelosB	31
1.6 Características de los dispositivos analizados.....	32
1.6.3 Propuesta.....	35

DISEÑO DEL SISTEMA.....	36
2.1 Descripción general.....	36
2.1.1 Requerimientos del sistema.....	36
2.2 Diagrama de bloques del sistema.....	37
2.3 Nodos sensores y red WSN.....	38
2.3.1 Elementos de los nodos sensores.....	38
2.3.2 Red WSN	39
2.3.3 Software red WSN.....	41
2.3.4 Adaptador UART/USB.....	42
2.4 Microcomputador.....	42
2.4.1 Raspberry 3 B+.....	43
2.4.2 Especificaciones Raspberry.....	44
2.4.3 Algoritmo del microcomputador	45
2.4.4 Programa coordinador.....	46
2.5 Gestor de acceso remoto de datos	48
2.5.1 Configuración Apache	49
2.5.2 Base de datos MariaDB	50
2.5.3 MyWebSQL	51
2.5.4 PhpMyAdmin	53
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	56
3.1 Conexión.....	56

3.2 Configuración.....	57
3.2.1 Configuración Xbee.....	57
3.2.2 Configuración Raspberry	59
3.3 Pruebas de funcionamiento	60
3.3.1 Obtención de datos	62
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	67
4.1 Conclusiones	67
4.2 Recomendaciones.....	68
4.3 Trabajo Futuro.....	68
APÉNDICE	69
Código	69
1 Script de Arduino	69
2 Script de Raspberry pi	72
3 Hojas de datos de los módulos.....	73
Bibliografía.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Regla del sistema experto	19
Figura 1.2: Topología tipo anillo	21
Figura 1.3: a) Nodo con sensor de humedad, b) Nodo con sensor de temperatura.	22
Figura 1.4: Gráfica de visualización de valores medidos por los sensores.	22
Figura 1.5: Esquema de la red WSN.....	23
Figura 1.6: Interfaz humano – máquina.	24
Figura 1.7: Diagrama esquemático del sistema para el monitoreo de invernaderos.....	26
Figura 1.8: Pruebas de implementación, a) nodo coordinador y b) nodo sensor.....	27
Figura 1.9: Resultados, a) panel frontal y b) datos del sensor SHT71.....	28
Figura 1.10: Características del JN5121.....	30
Figura 1.11: Características Xbee S2.....	31
Figura 1.12: Características CM5000 TelosB.	32
Figura 1.13: Comparación de tecnologías para la WSN analizadas.	33
Figura 2.1: Diagrama de bloques.	37
Figura 2.2: XBee Series 2	40
Figura 2.3: Diagrama de flujo red WSN.	41
Figura 2.4: Xbee Usb Explorer.....	42
Figura 2.5: Computadoras de placa simple SBC.	43
Figura 2.6: Raspberry Pi 3bB+.	45
Figura 2.7: Diagrama de flujo del microcomputador.....	46
Figura 2.8: Apache2 instalado correctamente.	50
Figura 2.9: Página de inicio de MyWebSQL	52
Figura 2.10: Interfaz MyWebSQL.....	52
Figura 2.11: Crear tabla en MyWebSQL	53

Figura 2.12: Selección de apache2.....	54
Figura 2.13: Ingreso de contraseña para el servidor web.....	54
Figura 2.14: Interfaz de phpMyAdmin	55
Figura 3.1: Conexión del nodo sensor.....	56
Figura 3.2: Conexión del nodo coordinador.....	57
Figura 3.3: Xbee añadida correctamente.....	58
Figura 3.4: Firmware Coordinador.	58
Figura 3.5: Firmware dispositivo final.....	58
Figura 3.6: Configuración nodo coordinador.....	59
Figura 3.7: Configuración dispositivo final.....	59
Figura 3.8: Sistema de red WSN conectado a la red local	61
Figura 3.9: Implementación de los nodos sensores en invernadero.....	62
Figura 3.10: Ingreso de variables a la base de datos mediante Python.....	63
Figura 3.11: Detalle de los datos ingresado en la base.....	64
Figura 3.12: Exportar archivo Excel.....	65
Figura 3.13: Gráficas de los datos.....	66

INTRODUCCIÓN

Las redes de sensores inalámbricas (WSN: Wireless Sensor Network), son hoy en día una parte de la agricultura de precisión que permiten gestionar las variables que influyen en los diferentes tipos de plantaciones. Estos tipos de red han sido utilizados en ciertos campos como militar, medicina, vehicular, industrial, etc. Por lo cual han venido desarrollándose en gran medida a lo largo del tiempo. En el ámbito de la agricultura de precisión, estos tipos de redes y los nodos sensores (motes) tienen la finalidad de medir las condiciones que determinan el buen desarrollo de una plantación, para así mantener los cultivos en óptimos estados y libres de plagas con un manejo eficiente de los diferentes recursos necesarios como pesticidas utilizados en la plantación, fertilizantes y agua; además de obtener un ahorro económico al utilizar las dosis necesarias. Debido a la gran ayuda que brinda este tipo de sistemas en la agricultura y las aplicaciones que se le ha dado en varios ámbitos, se ha venido desarrollando dispositivos cada vez más eficientes e inteligentes por lo cual es necesario realizar un análisis de estos sistemas y determinar sus características para así poder plantear y desarrollar mejoras a los sistemas existentes.

Problema

El aumento poblacional genera una mayor demanda de productos alimenticios, que abren las puertas a las producciones protegidas (producción por invernadero). Un invernadero es un método donde se obtiene condiciones climáticas artificiales (microclima); reduciendo tanto el costo y tiempo de producción del cultivo.

El cultivo en Ecuador se realiza en invernaderos que se consideran como carpas que protegen el cultivo de variables físicas, tales como el viento, lluvia, granizo, exceso de radiación, polvo, niebla, etc. Es importante que los factores que inciden en el desarrollo del cultivo sean analizados y controlados, para que se mantengan en parámetros ideales, ya que afectan al crecimiento y a los procesos fisiológicos relacionados con la formación de la planta [1].

En los últimos años se ha incorporado nueva tecnología en el desarrollo de cultivos en el país, que ha favorecido radicalmente la producción, en nuestro medio no existe un sistema de adquisición de datos múltiples de microclima en los invernaderos despreciando información útil para la gestión de recursos.

Los módulos implementados representan herramientas de medición poco confiables ya que no permiten dar un seguimiento efectivo en los cambios climáticos dentro y fuera del invernadero, dificultando así, la toma de decisiones para mejorar los procesos de cultivos [2].

Las estaciones de adquisición de datos requieren que el operario las traslade a distintos puntos [3], esto genera pérdidas de tiempo y producción, por lo que es imprescindible disponer de esta información en tiempo real.

Los dispositivos existentes permiten la adquisición de datos en tiempos limitados [4], es decir que brindan información durante periodos pequeños de muestreo que no son suficientes para la veracidad del proceso de la agricultura de precisión.

Existen sistemas de adquisición de datos alámbricos los cuales representan costo adicional en infraestructura, cableado, trazo de ductos, y también representan un riesgo físico, donde se pone en riesgo la integridad de los operarios y fiabilidad de los datos [5].

Las conexiones cableadas no permiten una reconexión, auto reparación y reparación de la conexión de datos en caso de averías y también esta tecnología cableada carece de un autodiagnóstico [6].

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema de red para la adquisición y almacenamiento en una base de datos en la nube de variables climáticas mediante el uso de hardware y software libre.

Objetivos específicos

- Determinar requerimientos en base a las variables a medir
- Establecer un diseño conceptual
- Realizar la caracterización y diseño
- Implementar el sistema en condiciones reales de funcionamiento
- Demostrar la confiabilidad del sistema

Alcance

Se diseñará un sistema multiparamétrico desarrollado en hardware y software libre, mediante la implementación de una red de sensores inalámbricos que permitirán el muestreo de las variables climáticas definidas: temperatura del aire (interior y exterior), humedad del aire (interior y exterior), velocidad del viento (interior), radiación neta (interior), radiación global solar (interior) en tiempo real. Se implementará la red de sensores de baja potencia conectados entre sí, basada en el protocolo de comunicación ZigBee. El sistema permitirá la habilitación

y des habilitación del dispositivo de adquisición para la toma de muestras deseadas en tiempos definidos, además de realizar la supervisión remota, visualización y envío de las mismas a una base de datos para su posterior desarrollo. La implementación será de bajo costo, transportable, de fácil montaje y desmonte, capaz de adaptarse en diferentes invernaderos de varios cultivos, además se entregará un manual de usuario para el uso y manejo del sistema.

Justificación

A lo largo de nuestra historia, la actividad de mayor importancia en la economía del país ha sido la agricultura. Siendo esta actividad el sustento real para la alimentación de la población y la materia prima indispensable para la agroindustria.

La gran demanda de productos hortícolas hace que los agricultores no abastezcan dicha demanda, notándose una elevación en el costo del producto cultivado. Si cada productor incrementa su producción se logrará cubrir toda la demanda y la reducción de costos [7].

La producción agrícola no controlada tiene grandes efectos negativos en la contaminación del planeta, el uso de fertilizantes y pesticidas deben ser usados en cantidades adecuadas para evitar problemas. El uso excesivo provoca contaminación de las aguas y del ambiente [8].

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por variables climáticas. Las variables que se miden con más frecuencia dentro y fuera de un invernadero son la temperatura, la humedad del medio, velocidad del viento, la concentración de CO₂ y la radiación que se produce en su interior [9].

El uso de tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente de un lote a través del uso de sistemas de posicionamiento y de medios electrónicos para obtener datos del cultivo se denomina agricultura de precisión. Las tecnologías de la agricultura de precisión permiten satisfacer una de las exigencias en la agricultura moderna como es el manejo óptimo de grandes extensiones [10].

Las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN por sus siglas en ingles), se consideran como una agrupación de múltiples sensores pequeños, dispersas en un determinado espacio con un fin específico, con la característica de ser redes de bajos costo con bajo consumo de energía y que transmiten señales a corta distancia [11].

Las mediciones obtenidas lograrán arrojar datos que permitirán estudiar las cualidades de productos cultivados en invernaderos, pudiendo optimizar recursos tanto humanos como físicos, y con esto a su vez lograr reducir el impacto ambiental que implica cultivar productos. Incorporar tecnología como soporte al cultivo permitirá conocer los factores relevantes en plantaciones y a través de los datos de las variables recolectadas permitir la búsqueda de soluciones para evitar pérdidas en las producciones agrícolas tal como existe en países como México, Chile y España, que se dedican al cultivo bajo invernadero con sistemas automatizados y que brindan un beneficio en el manejo eficiente de los factores climáticos que inciden en el desarrollo y producción de las plantas [9].

Se considera tomar instrumentos de medición de bajo costo disponibles en el mercado para su análisis, y con una implementación de software se pueda realizar la adquisición y visualización de las condiciones climáticas internas del invernadero mediante la selección de un protocolo de comunicación adecuado para los sensores.

Esta propuesta tiene como innovación brindar el servicio de adquisición de datos adaptándose a las necesidades del usuario, recolectando los datos para un futuro sistema de control y obtener las condiciones óptimas dentro de los invernaderos.

El sistema dará un inicio a la investigación en la agricultura de precisión en el país y especialmente en sectores agrícolas de la zona norte, ya que en nuestro medio no existe este tipo de innovación en sistemas automáticos de invernaderos.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN LITERARIA

Para el desarrollo del presente proyecto es necesario realizar un análisis de los sistemas de adquisición y manejo de variables climáticas para invernaderos existentes, para luego determinar los requerimientos del nuevo sistema. De igual forma, se precisará ciertas características esenciales para poder determinar los requerimientos del nuevo sistema.

1.1 Agricultura de precisión con sensores inalámbricos

El trabajo realizado en esta investigación, consiste de un proyecto en el cual se usan diferentes técnicas asociadas a la agricultura de precisión para capturar los datos con un sistema experto, el cual, se encarga de procesar la información y comunicar sus conclusiones a los actores humanos. Este sistema es parte del proyecto “Desarrollo de herramientas informáticas basadas en el conocimiento. Aplicaciones agrícolas” que se lleva a cabo en la Universidad Cooperativa de Colombia (UCC) sede Neiva [12].

Para ejecutar este proyecto se dispone de un ambiente de desarrollo de sistemas expertos, basado en el sistema UCShell con el cual se han realizado diversos sistemas expertos en otros campos, por ejemplo, en la industria del plástico. Por otro lado, se utiliza la metodología CommonKADS, la cual es una metodología estándar del conocimiento que soporta aplicaciones de ingeniería y de gestión del conocimiento conocido comúnmente como ingeniería del conocimiento, y poder obtener sistemas expertos que interactúan con los usuarios.

La recolección de datos se efectúa por medio de un mote (nodo principal de recolección de datos), los cuales están ubicados en una finca de cultivo de naranja, limón y mandarina, luego, a través un punto de acceso a la Internet, se almacenarán en un dominio de la web para poder procesarlos.

El entorno para desarrollar el sistema experto que se usa en esta investigación, utiliza el paradigma de representación del conocimiento conocido como reglas de producción, las cuales tienen una premisa y una conclusión de la forma:

SI <premisa> ENTONCES <CONCLUSIONES>.

Estas premisas se define a través de un conjunto de expresiones lógicas formadas por operadores de relación, que están unidas por operadores lógicos de conjunción (Yy) y disyunción (Oo).

```
REGLA 1
SI
LugarAtaque = 'Las hojas'      Yy
FormaHojas  = 'Cóncavas'      Yy
ParteHojas  = 'El envés'      Yy
ColorHojas  = 'Amarillentas'  Yy
ENTONCES
Ataque := 'Araña roja'
ACCIONES
MOSTRAR
'Los síntomas indican que las plantas está siendo',
'atacada por la araña roja'.
MOSTRAR IMAGEN ('/aranaRoja.jpg')
FIN
```

Figura 1.1: Regla del sistema experto

La Figura 1.1 es un ejemplo de las reglas usadas en el sistema experto para determinar si una plantación está siendo atacada por la araña roja localizando el ataque en el envés de las hojas, la cuales toman una forma cóncava y se tornan de un color amarillento.

Una vez que el sistema diagnostique los diferentes problemas emitirá las recomendaciones para resolverlos y se retroalimentará para verificar si esas sugerencias han tenido los resultados esperados. En esta etapa los sensores juegan un papel fundamental debido a que permiten captar datos reales en el campo que se transmiten inmediatamente al sistema experto el cual a su vez analiza las distintas situaciones y toma las decisiones pertinentes para finalmente comunicárselas al agricultor.

1.2 Diseño e implementación de una red con sensores inalámbrica (wsn) con un protocolo abierto de comunicación basado en ieee 802.15.4 (xbee) para prácticas universitarias

Este trabajo surge por la necesidad de implementar una red de sensores inalámbricos en la universidad Politécnica Salesiana, para que los estudiantes puedan realizar prácticas de redes inalámbricas en el laboratorio de telecomunicaciones, donde este módulo permitirá censar factores ambientales de un edificio de la universidad y a su vez analizar y desarrollar aplicaciones [13].

Este tipo de redes por lo general se utiliza en entornos donde se dificulta realizar cableado ya sea por el terreno o por otras condiciones, se las aplica para medir algún tipo de variable que en la mayoría de los casos son ambientales como temperatura, humedad, nivel de oxígeno,

densidad de lluvia, rayos ultravioletas, así como también otras variables como nivel de agua, ritmo cardiaco, peso, resistencia, etc.

La red implementada está compuesta por tres nodos sensores conformados por una placa electrónica de Arduino, un dispositivo electrónico Xbee, sensores de humedad y sensores de temperatura, que están conectados a una topología anillo, Figura 1.2. Este tipo de topología nos va ayudar de manera fácil y rápida a la transmisión y recepción de datos de cada uno de los nodos conectado a dicha red; los módulos XBee son configurados a través del programa XCTU con un ID el cual permite acoplarnos a esta red de manera inalámbrica y de esta forma procesar los datos recibidos inalámbricamente, con el fin de almacenarlos en una base de datos para su posterior análisis.

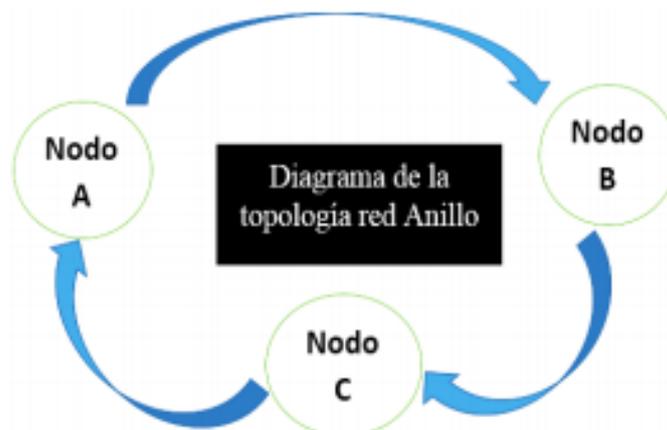
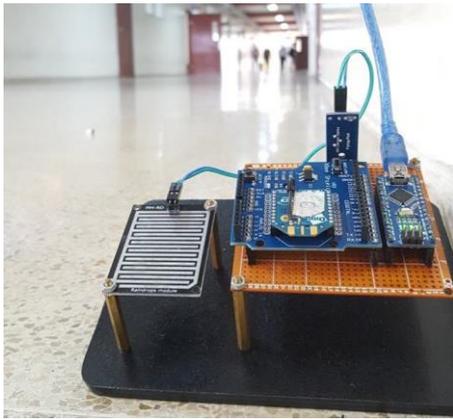
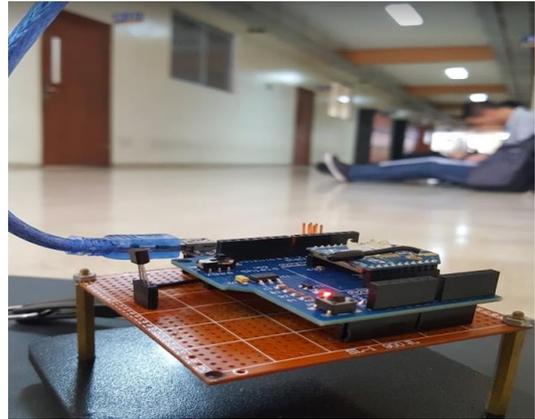


Figura 1.2: Topología tipo anillo

Como resultado se desarrollaron 10 prácticas con sus respectivos pasos e indicaciones correspondientes, desde como conectar y configurar un dispositivo XBee hasta la transmisión de datos con sus respectivas gráficas en Matlab. La Figura 1.3 muestra dos de los nodos usados en la red para transmitir los datos de los sensores hacia un computador y posteriormente ser almacenados en una base de datos, en este caso SQLite y obtener los gráficos de los sensores en Matlab (Figura 1.4).



a)



b)

Figura 1.3: a) Nodo con sensor de humedad, b) Nodo con sensor de temperatura.

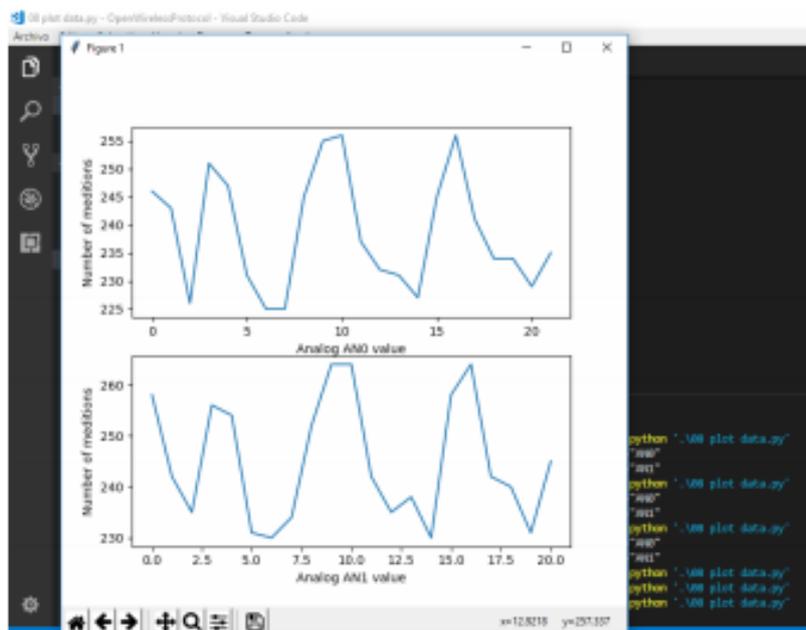


Figura 1.4: Gráfica de visualización de valores medidos por los sensores.

1.3 Red WSN para el control y monitoreo de un sistema de riego por soteo de una plantación de fresas en la granja experimental Yuyucocha – UTN

El presente proyecto consiste en la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN), para optimizar el control y monitoreo del sistema de riego por goteo del cultivo de fresas bajo invernadero de la granja experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, con el objeto de lograr un mejor aprovechamiento del agua de riego utilizada en este sitio específico, optimizando así el uso de este recurso no renovable [14].

La red WSN desarrollada en este trabajo está conformada por dos nodos sensores y un nodo central o gateway, el cual, hace de puente entre los nodos sensores y la estación base a través de una comunicación USB como se muestra en la Figura 1.5.

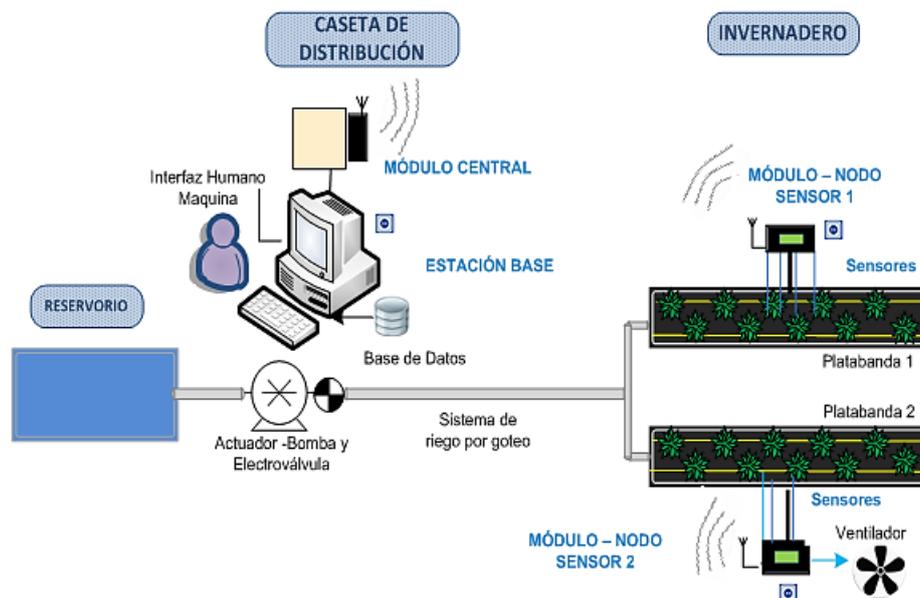


Figura 1.5: Esquema de la red WSN.

Los nodos sensores pueden medir los parámetros de temperatura ambiental, temperatura del suelo, humedad relativa, humedad del suelo y luminosidad; dichos parámetros pueden ser

visualizados en una pantalla LCD o en la interfaz gráfica ubicada en la estación base. Por otro lado, se hace el uso de un microcontrolador PIC18F2550 tanto para los nodos sensores como para el nodo central.

Para el caso del sistema de riego por goteo, los parámetros de humedad del suelo y temperatura del ambiente influyen directamente en el funcionamiento del sistema, mientras tanto las demás variables sirven de apoyo para diversos estudios que realizan los estudiantes de la carrera agropecuaria. Los datos generados por los sensores son almacenados en una base de datos creada en Microsoft Access 2010, la cual se aloja en la estación base que es un ordenador de escritorio el cual contiene el interfaz humano – máquina realizada en LabVIEW, Figura 1.6.

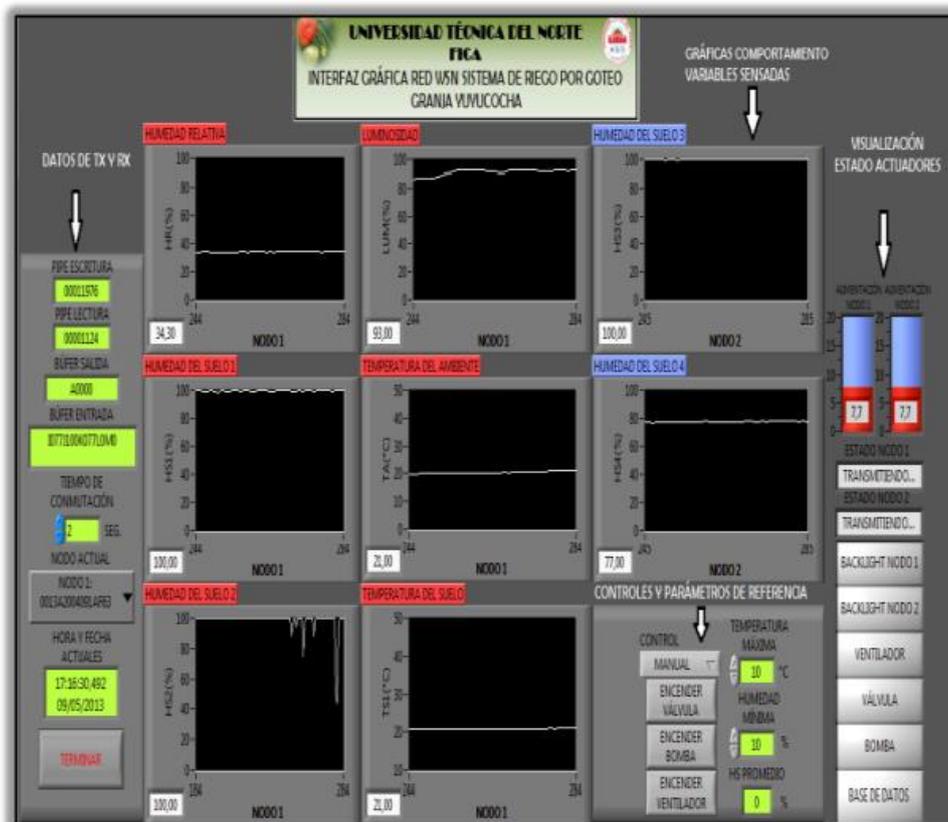


Figura 1.6: Interfaz humano – máquina.

Para conformar la red inalámbrica de los nodos sensores se hace el uso de un módulo XBEE Pro S1, el cual utiliza el estándar IEEE 802.15.4 que es la norma base para Zigbee, siendo la más apropiada, debido a su bajo consumo de energía.

Este sistema además cuenta con un proceso de respuesta que abarca a los actuadores tales como bomba, electro válvula y ventilador encargados de mantener las variables básicas (humedad del suelo y temperatura ambiental), dentro del parámetro de referencia establecido desde la interfaz de usuario.

Luego de realizar las pruebas mencionadas se verificó que el sistema permite cumplir con la optimización del agua destinada al cultivo, brindando la posibilidad de utilizar el agua economizada en otros cultivos de la Granja Yuyucocha, mejorando la producción del cultivo sin la presencia de un administrador que vigile el proceso de riego.

1.4 Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología Zigbee

Este artículo describe el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores (WSN) aplicando el estándar Zigbee, usada para monitorear humedad relativa y temperatura en invernaderos [15]. El sistema desarrollado en el presente trabajo se compone de un nodo sensor y un dispositivo coordinador como se presenta en la Figura 1.7

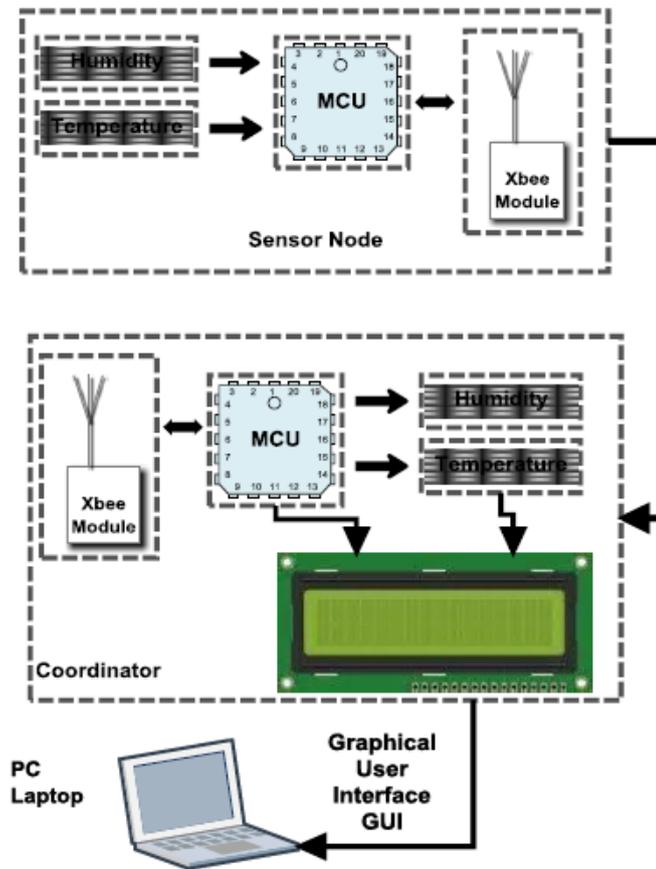


Figura 1.7: Diagrama esquemático del sistema para el monitoreo de invernaderos.

El nodo sensor (dispositivo final) es básicamente una unidad de adquisición de datos, y es responsable de recoger datos de las variables climáticas tales como la temperatura, y humedad relativa, y los transmite al coordinador a través de módulos Zigbee. Internamente se encuentra funcionando un microcontrolador MC9S08JM16, perteneciente a la familia HC9S08 de Freescale®.

El coordinador, se encarga de recibir los datos adquiridos por el nodo sensor (formando una red de topología estrella) para procesarlos, almacenarlos y permitir a los usuarios acceder fácilmente a ellos y mostrarlos en tiempo real en una LCD y una interfaz gráfica de usuario (GUI). El coordinador está conformado por un módulo Xbee que permite la comunicación

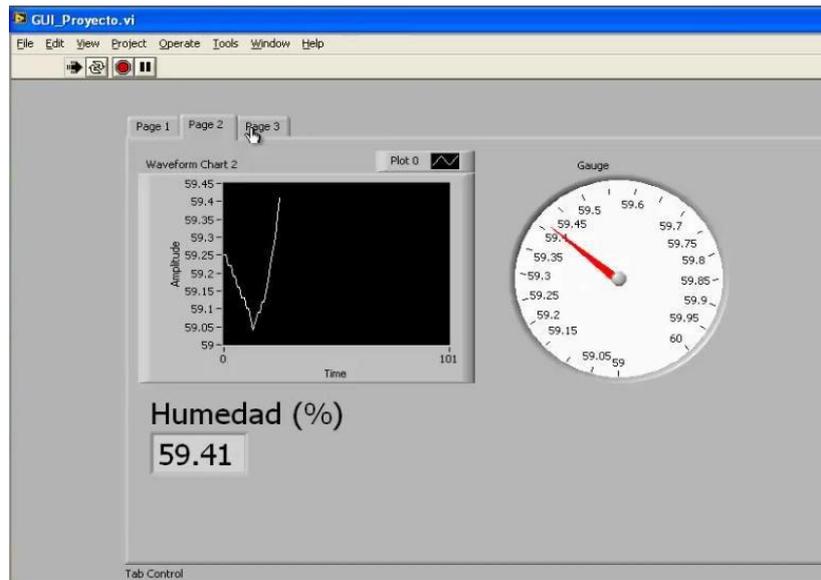
inalámbrica con el nodo sensor, además cuenta con un microprocesador MCS08JM60 y un chip FTDI FT2232D para realizar la comunicación del nodo controlador con el PC.

Después de verificar la correcta comunicación entre los diversos elementos del sistema desarrollado, se comprueba la correcta conectividad de todo el prototipo y el buen funcionamiento de las tareas. Para emular un entorno de efecto invernadero, se creó un espacio con dos plantas ornamentales. Cerca de cada planta se encuentra un nodo sensor que mide la humedad relativa y la temperatura ambiental de las plantas. Los resultados del nodo sensor se visualizan en la pantalla LCD. La Figura 1.8 muestra a los dos nodos ubicados en las plantas y las medidas correspondientes que se muestran en la LCD.

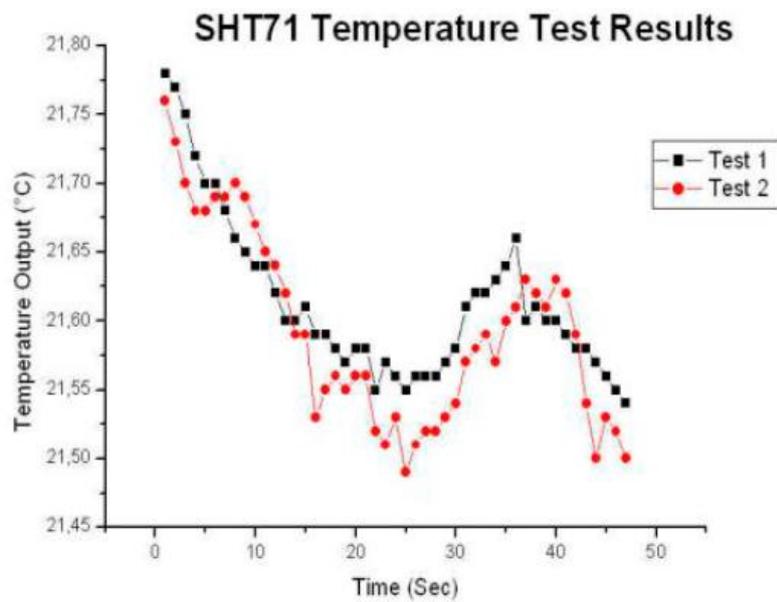


Figura 1.8: Pruebas de implementación, a) nodo coordinador y b) nodo sensor

Para complementar el desarrollo del sistema, se diseñó un instrumento virtual (VI), el cual está centrado en la manipulación del puerto USB del PC para la comunicación con el prototipo mediante un proceso de transmisión y recepción de datos serie (FT2232D). El programa está en capacidad de indicar las mediciones realizadas de temperatura, humedad relativa según la manipulación del usuario. El resultado final se muestra en la Figura 1.9.



a)



b)

Figura 1.9: Resultados, a) panel frontal y b) datos del sensor SHT71.

1.5 Análisis de dispositivos WSN

Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto se analizan tres dispositivos que permiten crear una red WSN, la cual es un tipo de red WPAN, debido a que presenta las características de ser una red con un bajo consumo de energía, una tasa de transmisión de 250 Kbps y se maneja bajo el protocolo IEEE 802.15.4 [16].

Entre los parámetros para realizar el análisis de estos dispositivos se considera las siguientes características:

- Velocidad de transmisión
- Seguridad
- Voltaje
- Consumo de Tx
- Consumo de Rx
- Corriente en modo sleep
- Protocolo
- Costo
- Facilidad adquisitiva

1.5.1 Jennic JN5121

El microcontrolador JN5121 está diseñado para aplicaciones inalámbricas de radiofrecuencia (RF) y baja potencia, siendo una solución para una gama de aplicaciones de red de sensores de baja potencia que pueden ser desde conexiones punto a punto hasta mallas complejas en

sistemas de automatización y control de viviendas, edificios e industrias. El JN5121 combina un núcleo RISC de 32 bits, un transceptor IEEE802.15.4 de 2,4 GHz totalmente compatible y bloques integrados de memoria ROM de 64KB y RAM de 96KB, todo en un solo paquete de chip QFN de plomo de 56x de 8x8mm.

Jennic dispone de un módulo de radiofrecuencia con diferentes diseños que se pueden personalizar fácilmente para adaptarse a la aplicación deseada. El módulo tiene un tamaño de 18x25 mm e incluye una antena integrada, 21 E/S digitales multipropósito, un puerto SPI y cuatro conexiones analógicas [17].

Sus diferentes características se muestran en la Figura 1.10.

CRITERIO / PLACA	JN5121
Velocidad Transmisión	250 kbps
Seguridad	128-bit AES
Voltaje	$2.2V \leq 3.6V$
Consumo Tx	34mA
Consumo Rx	34mA
Corriente en modo sleep	<14uA
Frecuencia de trabajo	2,4 GHz
Protocolo	802.15.4
Memoria	96kb RAM, 64kb ROM
Facilidad adquisitiva	Difícil
Precio	\$580 (Costo del kit)

Figura 1.10: Características del JN5121.

1.5.2 Xbee S2

Los módulos xbee son dispositivos que están integrados con un transmisor – receptor de ZigBee, un microcontrolador dentro del mismo modulo que permite desarrollar aplicaciones más allá de la simple conexión y comunicación entre ellos.

Comúnmente van acompañados de las placas Arduino, las cuales controlan el funcionamiento de estos y tienen la capacidad de formar varios tipos de redes como las punto a punto hasta redes tipo mesh (malla). Su costo es muy bajo al igual que su consumo que oscila entre los 45 y 50 mA en pleno rendimiento. Por lo tanto, debido a estos bajos costes su velocidad de transmisión también es baja, del orden de 256kbps.

Operan dentro de la banda de 2,4Ghz y realiza sus comunicaciones en canales (1 de los 16 posibles). Permite un direccionamiento amplio de hasta 65535 equipos (con direccionamiento de 16 bits). Su alcance es variado en función de las antenas utilizadas, pero de media, en zonas concurridas, es de entre 30 a 50 metros y en espacios libres de 100 a 120 metros [18].

La Figura 1.11 muestra las características del xbee s2.

CRITERIO / PLACA	XBEE S2
Velocidad Transmisión	250 kbps
Seguridad	128-bit AES
Voltaje	$2.8V \leq 3.4V$
Consumo Tx	40mA
Consumo Rx	40mA
Corriente en modo sleep	<10uA
Frecuencia de trabajo	2.4 GHz
Protocolo	802.15.4
Memoria	---
Facilidad adquisitiva	Fácil
Precio	\$35

Figura 1.11: Características Xbee S2.

1.5.3 CM5000 TelosB

Los sensores CM5000 TelosB corresponden a sensores inalámbricos que cumplen el estándar IEEE 802.15.4, de código abierto y publicado por la Universidad de California (Berkeley). Estos sensores, además de las características básicas de cualquier sensor, pueden medir la temperatura, la humedad relativa y la luminosidad.

Su sistema operativo se llama TinyOS y para la programación se utiliza un lenguaje exclusivo llamado nesC (Lenguaje C orientado a eventos propios del sensor). Para transmitir y recibir paquetes en el medio inalámbrico hace uso del estándar Zigbee [19].

Las características del CM500 se describen en la Figura 1.12.

CRITERIO / PLACA	CM5000 TelosB
Velocidad Transmisión	250 kbps
Seguridad	128-bit AES
Voltaje	$2.1V \leq 3.6V$
Consumo Tx	17.4mA
Consumo Rx	18.8mA
Corriente en modo sleep	1uA
Frecuencia de trabajo	2.4 GHz
Protocolo	802.15.4
Memoria	10kb RAM, 48KB+256B Flash Memory
Facilidad adquisitiva	Media
Precio	\$98

Figura 1.12: Características CM500 TelosB.

1.6 Características de los dispositivos analizados

La Figura 1.13 presenta una comparación de las tecnologías analizadas anteriormente para establecer una red inalámbrica.

CRITERIO / PLACA	Jennic JN5121	Xbee S2	CM5000 TelosB
Velocidad Transmisión	250 kbps	250 kbps	250 kbps
Seguridad	128-bit AES	128-bit AES	128-bit AES
Voltaje	$2.2V \leq 3.6V$	$2.8V \leq 3.4V$	$2.1V \leq 3.6V$
Consumo Tx	34mA	40mA	17.4mA
Consumo Rx	34mA	40mA	18.8mA
Corriente en modo sleep	<14uA	<10uA	1uA
Banda de frecuencia	2,4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Protocolo	802.15.4	802.15.4	802.15.4
Memoria	96kb RAM, 64kb ROM	---	10kb RAM, 48KB+256B Flash Memory
Precio	\$23,03	\$38,00	\$105,45

Figura 1.13: Comparación de tecnologías para la WSN analizadas.

1.6.1 Características en común

Entre los tres dispositivos analizados se determina que comparten características en común, a continuación se describe dichas características que presentan los dispositivos.

Velocidad de transmisión.- Todos los dispositivos que se han analizado se han diseñado para aplicaciones de WSN, por lo tanto su tasa de transmisión de datos es baja, 250 Kbps.

Seguridad.- En este caso todos los dispositivos cuentan con el algoritmo de cifrado 128-bit AES.

Voltaje.- En este apartado se puede concluir que los tres dispositivos funcionan en un voltaje en común, ya que sus rangos de voltaje de funcionamiento son muy similares.

Protocolo.- El protocolo que manejan todos los dispositivos es el estándar IEEE 802.15.4, por lo cual tienen características similares en su operación, es así que estos dispositivos analizados operan en una banda de frecuencia de 2.4 GHz.

1.6.2 Diferencias

A continuación se describen las características que diferencian a estos dispositivos.

Consumo Tx, Rx y modo sleep.- Saber cuál es el consumo de corriente de los dispositivos ayudara a determinar de mejor manera la duración de las baterías. El dispositivo CM5000 tiene una gran ventaja en este punto, ya que el consumo en transmisión, recepción y en el modo sleep es mucho menor en comparación a los demás.

Memoria.- Esta característica que implementan ciertos dispositivos no tiene mucha relevancia al momento de seleccionar una tecnología, debido a que en los nodos sensores se puede incluir cualquier otro tipo de microcontrolador que puede realizar las funciones de adquisición y tratamiento de datos.

Facilidad adquisitiva.- En este punto es posible observar el dispositivo Xbee S2 es de fácil adquisición, debido a que se lo encuentra en el mercado ecuatoriano, mientras que los otros dispositivos son de difícil acceso, ya que los debemos adquirir en otros países vía online.

Precio.- Por último, el costo de los dispositivos es un punto que es necesario tenerlo claro, ya que al utilizar las Xbee s2 se puede implementar fácilmente algunos nodos sensores sin invertir mucho capital.

1.6.3 Propuesta

Con base en lo analizado previamente, se determina realizar un dispositivo que permita al usuario monitorear los diferentes parámetros de un invernadero a través de una red WSN de bajo costo basado en el protocolo IEEE 802.15.4 y almacenar estos parámetros en una base de datos a la cual se puede acceder desde un computador de placa simple.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA

En esta Sección se precisarán las características que tendrá el nuevo dispositivo, en base al análisis realizado a los diferentes dispositivos existentes en el medio y así satisfacer las propuestas que se han planteado en el presente proyecto.

2.1 Descripción general

Este nuevo sistema se diseña con el propósito de obtener los diferentes datos de las variables fundamentales en un invernadero, mediante la utilización de sensores en conjunto con un microcontrolador. Estos se encargan de adquirir, procesar y transmitir esta información mediante una red WSN a un nodo coordinador, que se encargara de gestionar dicha información en una base de datos. Los requerimientos del sistema se detallan en la siguiente Sección.

2.1.1 Requerimientos del sistema

- Estar desarrollado en hardware libre.
- El dispositivo será capaz de almacenar la información de las variables en una base de datos.
- Realizar la transmisión de datos a través de una red WSN.
- Al ser un dispositivo de hardware libre, estará a disposición de usuarios para que tengan acceso a su programación, realizar estudios o cambiar su configuración.

2.2 Diagrama de bloques del sistema

La Figura 2.1 indica las partes el sistema propuesto. Dichas partes son:

- Nodo sensor (mote), es el encargado de realizar las mediciones de las variables del entorno del invernadero a través de los diferentes sensores que estarán implementados.
- La red WSN será la encargada de transmitir los datos de las variables del entorno del invernadero desde los nodos sensores hasta el nodo coordinador
- El nodo coordinador, tiene la función de recibir los datos y transmitirlos a un microcomputador
- El microcomputador será quien gestione los datos para ser almacenados y además de proporcionar esta información al usuario

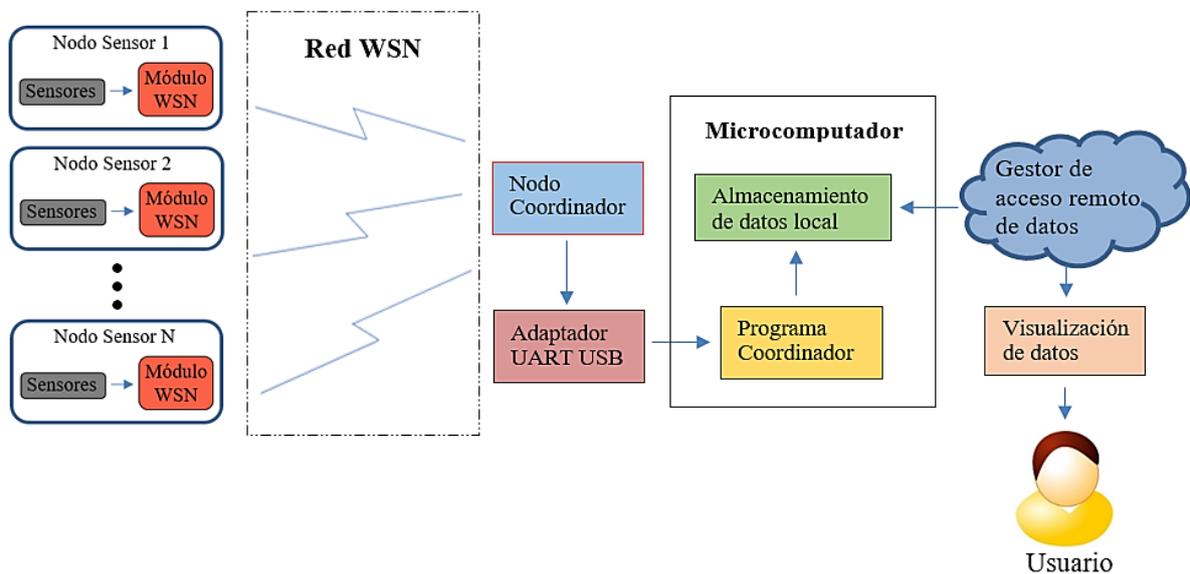


Figura 14: Diagrama de bloques.

2.3 Nodos sensores y red WSN

2.3.1 Elementos de los nodos sensores

Dentro del proyecto de sistemas de adquisición de variables climáticas para invernaderos, el presente trabajo se centra al área de manejo de datos. Dichos datos son recolectados por sensores que se desarrollan juntamente a este trabajo. Por lo tanto, para realizar las pruebas del sistema propuesto, se desarrollan los nodos sensores con dispositivos de la plataforma Arduino [20]. Dichos nodos sensores están compuestos por tres partes, tales como:

- Dispositivos sensores
- Microcontrolador
- Módulo WSN.

Dispositivos sensores: los dispositivos sensores que se implementan, miden diferentes magnitudes que se pueden encontrar en el entorno de un invernadero, las cuales dependen principalmente del tipo de cultivo; entre las principales magnitudes se tiene:

- Temperatura del ambiente
- Humedad del ambiente
- Iluminación
- Humedad del suelo.

Microcontrolador: este será el encargado de adquirir los datos generados por los sensores y transmitir mediante comunicación serial al módulo WSN. Para efecto del presente trabajo se hace uso del microcontrolador Arduino Nano [20].

En este apartado no se hace mención al “Modulo WSN”, ya que se lo estudiara en una Sección completa a continuación.

2.3.2 Red WSN

Como se ha mencionado previamente, el presente proyecto está basado en un tipo de red inalámbrica que, para efecto del presente caso se implementara una red WSN, la cual es un tipo de red WPAN, debido a que presenta las características de una red con un bajo consumo de energía, una tasa de transmisión de 250 Kbps y se maneja bajo el protocolo IEEE 802.15.4 [16]. Por lo tanto es necesario implementar módulos WSN en los nodos sensores y en el nodo coordinador, para configurar un tipo de red con topología tipo estrella [21].

2.3.2.1 Xbee S2

Los módulos xbee s2 son dispositivos que están integrados con un transmisor – receptor de ZigBee y un microcontrolador dentro del mismo módulo, lo que permite desarrollar aplicaciones más allá de la simple conexión y comunicación entre ellos.

Comúnmente van acompañados de las placas Arduino, las cuales controlan el funcionamiento de estos y tienen la capacidad de formar varios tipos de redes como las punto a punto, punto multipunto y redes tipo mesh (malla). Su costo es muy bajo al igual que su consumo que oscila entre los 45 y 50 mA en pleno rendimiento. Por lo tanto, debido a estos bajos costes su velocidad de transmisión también es baja, del orden de 256kbps. Su alcance es variado en función de las antenas utilizadas, pero de media, en zonas concurridas, es de entre 30 a 50 metros y en espacios libres de 100 a 120 metros [18].

2.3.2.2 Especificaciones Xbee s2

En el mercado además existe una versión PRO de los módulos para cada serie, la cual varía en el tamaño del módulo y en el alcance de la comunicación, que llega hasta el rango de un kilómetro.

La xbee s2 tiene toda la funcionalidad de la serie PRO y las características más relevantes de los módulos son:

- Alimentación: 3.3V
- Velocidad de transferencia: 250kbps Max
- Potencia de salida: 1mW o 60mW (+18dBm)
- Alcance: 100 metros en línea vista del módulo y 40 metros en interiores.
- Certificado FCC
- 6 pines ADC de 10-bit
- 8 pines digitales IO
- Encriptación 128-bit
- Configuración local o de forma inalámbrica
- 65000 direcciones para cada uno de los 16 canales disponibles.



Figura 15: XBee Series 2 [18].

2.3.3 Software red WSN

La red WSN que es generada a través de los módulos Xbee, es la encargada de transmitir los datos provenientes de los nodos sensores hacia el nodo coordinador, para ser posteriormente administrada por un microcomputador.

La Figura 2.3 muestra el flujo que sigue la información desde que es adquirida por medio de los sensores, pasando a través de la red WSN, hasta llegar al microcomputador. Además, se usa el software XCTU para llevar a cabo la configuración de los módulos de la red WSN.

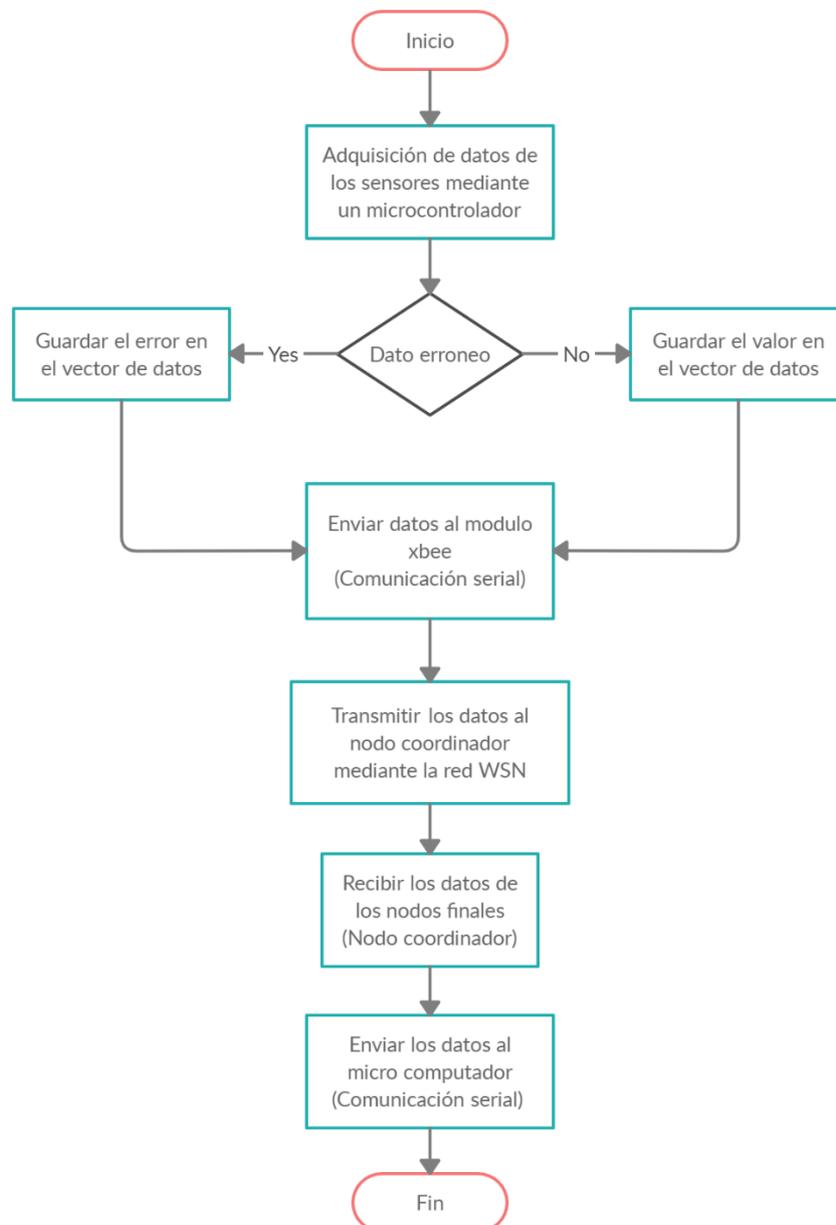


Figura 16: Diagrama de flujo red WSN.

2.3.3.1 XCTU

XCTU es un software multiplataforma gratuita que permite a los desarrolladores interactuar con módulos Digi RF a través de una interfaz gráfica de fácil uso. Este software permite acceder a la Xbee y cargar el firmware necesario para establecer a una tarjeta Xbee como coordinador o router, y además de configurar los parámetros necesarios para establecer la comunicación entre los mismos [22].

2.3.4 Adaptador UART/USB

El adaptador Xbee USB Explorer (Figura 2.4), permite tener acceso a los pines seriales de comunicación y de programación de los módulos Xbee y acceder a sus parámetros de configuración. Por otro lado, se utiliza este dispositivo para realizar la comunicación física entre el nodo coordinador y el microcomputador a través de cable usb.



Figura 17: Xbee Usb Explorer [22].

2.4 Microcomputador

El microcomputador o tarjetas SBC (Computador de placa simple, por sus siglas en inglés), son computadoras que están diseñadas en un solo circuito, las cuales tienen las características

de un computador funcional como un microprocesador, memoria RAM, periféricos E/S, etc., todas estas características son de tamaño reducido [23] .

Existen una variedad de dispositivos en el mercado, entre las cuales podemos destacar las que se presentan en la Figura 2.5, donde se hace además una comparativa de otras tecnologías.

CRITERIO / PLACA	Raspberry pi 3B+	Pine A64+	Banana Pi m64
CPU	Broadcom BCM2837B0, quad core Cortex-A53 de 64 bits a 1,4 GHz	Allwinner ARM Cortex-A53 a 1,2 GHz	ARM Quad core Cortex-A53 a 1,2 GHz
Memoria RAM	1 GB	2 GB	2 GB
Puerto LAN	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet
Alimentación	5 V. 2.5 A.	5 V. 2 A.	5 V. 2 A.
Ranura de Tarjeta	Micro SD	Micro SD	Micro SD
WiFi	Dual 2,4 GHz y 5 GHz. 802.11	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Bluetooth	4.2	4.0	4.0
GPIO	40 pines	1 Euler bus y otro Pi-2 bus	40 pines
USB	4x USB 2.0	2x USB 2.0	2x USB 2.0
HDMI	Estándar	Estándar	1.4 Estándar
Precio	\$42	\$49,95	\$59,90

Figura 18: Computadoras de placa simple SBC.

De entre las tarjetas presentadas, se ha hecho la comparación y análisis necesario, seleccionado como tarjeta de desarrollo a la Raspberry Pi 3B+, la cual cuenta con características similares a sus homologas, pero a un costo más accesible.

2.4.1 Raspberry 3 B+

La Raspberry 3 B+ es un minicomputador personal de una sola placa de la compañía Raspberry. En el presente proyecto, será la encargada de recibir los datos del nodo coordinador y guardarlos en la base de datos para ser posteriormente presentado al usuario.

2.4.2 Especificaciones Raspberry

La Raspberry Pi 3B+ ejecuta un sistema operativo basado en Debian denominado Raspbian, que se lo implementa en una tarjeta micro SD, el cual además es el sistema operativo oficial de la raspberry pi [24].

La raspberry consta de las siguientes características:

- CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM
- Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE
- Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)
- GPIO de 40 pines
- HDMI
- 4 puertos USB 2.0
- Puerto CSI para conectar una cámara.
- Puerto DSI para conectar una pantalla táctil
- Salida de audio estéreo y vídeo compuesto
- Micro-SD
- Power-over-Ethernet (PoE).



Figura 19: Raspberry Pi 3bB+ [25].

2.4.3 Algoritmo del microcomputador

La Figura 2.7 detalla el algoritmo a establecerse en el microcomputador para realizar las funciones de adquisición y administración de la información en una base de datos. Para efectuar dichas tareas se hace uso de Python y de diferentes librerías que permiten configurar la raspberry-pi de manera correcta.

Entre los datos enviados por los nodos sensores, se encuentra un identificador de nodo, con el cual se reconoce que nodo se encuentra transmitiendo en ese momento y además indica a la base de datos en que apartado debe almacenar el resto de valores recibidos.

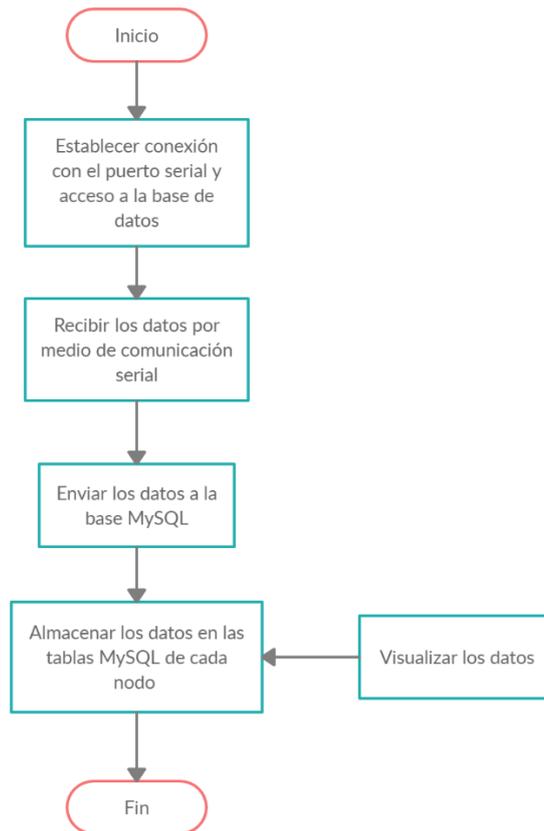


Figura 20: Diagrama de flujo del microcomputador.

2.4.4 Programa coordinador

Dentro del microcomputador se ejecuta un programa que tiene la función de administrar el puerto serial de la raspberry, por el cual ingresan los datos y posteriormente se almacenan en una base de datos. La placa Xbee Usb Explorer además de usarse para configurar los nodos de la red, también se la utiliza para realizar la comunicación física entre el nodo coordinador y el microcomputador.

Para ejecutar dicho programa se debe configurar primeramente las librerías a utilizarse en el microcomputador como se detalla a continuación:

Python PIP: pip es un acrónimo que significa “*programa de instalación preferida*”, el cual es una utilidad de línea de comandos que permite instalar, reinstalar o desinstalar paquetes PyPI con un comando simple y directo [26].

Para instalarlo es necesario tener previamente instalada una versión de Python, en el proyecto se hace uso de Python 2.7.5, por lo tanto, para instalar PIP se ejecuta en el terminal el siguiente comando “*sudo apt-get install python-pip*”.

Librería Python serial: a través de la Raspberry Pi se controla diferentes pines GPIO para entradas y salidas, y además de contar con un puerto serial con el cual se puede comunicar con diferentes dispositivos [27], como la propia Xbee que se usa en el presente proyecto.

Para ello es necesario instalar la librería “*python-serial*”, que se lo realiza a través de un terminal e ingresando el comando “*apt-get install python-serial*”.

Librería Time: la base de datos que se ha creado almacena los datos que son proporcionados por los nodos sensores, además, es necesario tener un registro de hora y fecha para saber cómo han evolucionado estos parámetros en función del tiempo. Para ello, se ha incluido en Python la librería “*Time*”, la cual es la encargada de obtener la hora y fecha del sistema que se encuentre funcionando en la Raspberry Pi [28].

La instalación de esta librería se lleva a través de un terminal, donde se ejecuta el comando “*pip install time*”, el cual una vez finalizado proporciona el acceso a la hora y fecha del sistema.

MySQL Connector: para acceder a una base de datos MySQL desde Python es necesario tener un controlador de base de datos. MySQL Connector / Python, es un controlador de base de datos proporcionado por la misma MySQL, el cual permite comprimir los datos compartidos entre los dos programas usando un protocolo de compresión. Este soporta conexiones usando TCP/IP y TCP/IP mediante SSL [29].

Para instalar este controlador de base de datos se ejecuta en el terminal el siguiente comando:

- `pip install mysql - conector - python`

2.5 Gestor de acceso remoto de datos

Para realizar el almacenamiento y gestión de datos se utiliza un servidor LAMP, los cuales son populares debido a que las diferentes herramientas que lo conforman son software libre, proporcionando una plataforma de desarrollo de bajo coste con una gran funcionalidad y capacidad de adecuación a las necesidades del usuario.

LAMP es un acrónimo de:

- **Linux.** Servidor GNU/Linux donde se instalan los servicios.
- **Apache.** Servidor web.
- **MySQL/MariaDB.** Servidor de base de datos.
- **PHP/Perl/Python.** Lenguajes de programación.

Las cuales son aplicaciones con las cuales se puede montar un servidor web (Apache) con base de datos (MariaDB o MySQL) y administración de la misma (PHP, Perl o Python) [30].

Para la administración de la base de datos se procede a instalar el servidor web Apache2 y el servidor de base de datos MariaDB en vez de mySQL. Cabe recalcar que el conector de Python funciona igual en ambos servidores de bases de datos.

2.5.1 Configuración Apache

Para iniciar con la configuración se debe actualizar a la raspberry con los siguientes comandos en un terminal:

- `sudo apt-get update`
- `sudo apt-get upgrade`

La instalación de apache2 se la realiza ejecutando en el terminal el siguiente comando:

- `sudo apt-get install apache2`

Al final de la instalación pedirá una contraseña para el gestor de base de datos MariaDB, a la cual se ha establecido como “*raspberry*”. Por otro lado, para verificar que todo este correcto, se ingresa la dirección “*http://192.168.1.101/index.php*”, la cual muestra que la creación fue exitosa, tal como indica la Figura 2.8. Cabe mencionar que la dirección IP es de la raspberry.

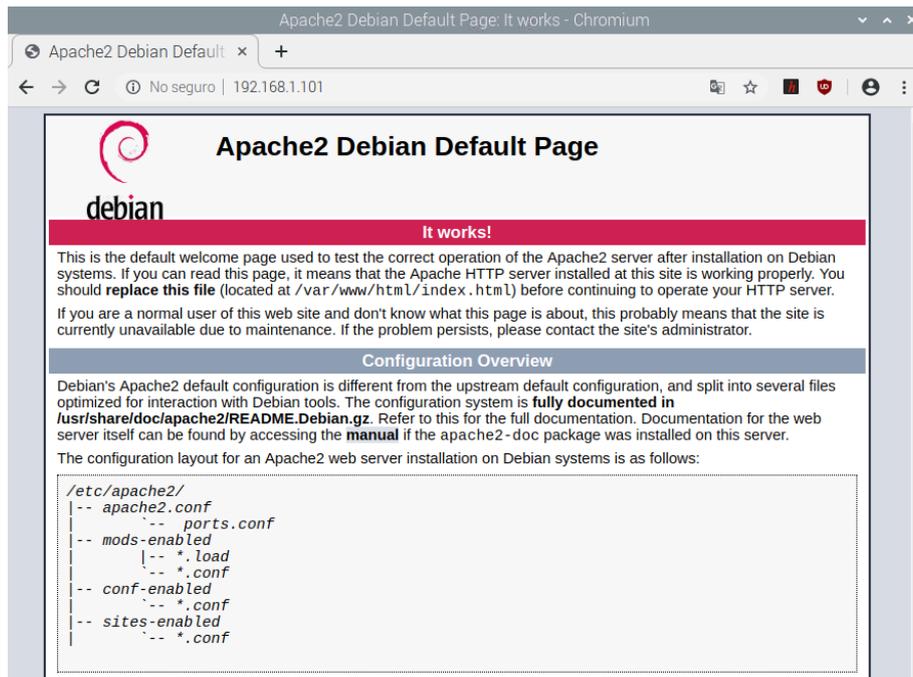


Figura 21: Apache2 instalado correctamente.

2.5.2 Base de datos MariaDB

Para realizar la instalación de mariaDB se ejecuta la siguiente línea de comando en el terminal:

- `sudo apt-get install mariadb-server php7.0-mysql`

Después de instalar MariaDB, se crea un usuario con el cual se utilizará en las diferentes aplicaciones, para ello se ejecuta MariaDB con el siguiente comando

- `sudo mariadb`

Una vez abierto MariaDB, se crea un usuario en el local host y una contraseña, en el presente caso el usuario es “*pi*” y por contraseña “*raspberry*”, para ello se ejecuta las siguientes órdenes:

- `CREATE USER 'pi'@'localhost' IDENTIFIED BY 'raspberrry';`
- `GRANT ALL PRIVILEGES ON * . * TO 'pi'@'localhost';`

- FLUSH PRIVILEGES;
- quit

Una vez terminado este proceso, se procede a instalar el gestor de base de base de datos MyWebSQL. Además, se instalará el gestor phpMyAdmin, el cual es un clásico en la gestión de base de datos, pero para el caso del presente proyecto solo se lo utiliza para poder exportar la base de datos a formato xlsx (Excel).

2.5.3 MyWebSQL

Es una aplicación web para gestionar la base de datos de MyWebSQL, el cual consta con una interfaz más amigable y completa. Para proceder a instalarlo se ejecuta las siguientes órdenes en el terminal:

- `cd /var/www/html`
- `wget -O mywebsql.zip https://sourceforge.net/projects/mywebsql/files/stable/mywebsql-3.7.zip/download`
- `unzip mywebsql.zip`
- `sudo chown -R www-data:www-data mywebsql`
- `sudo find mywebsql -type f -exec chmod 664 {} \;`
- `sudo find mywebsql -type d -exec chmod 775 {} \;`

Una vez finalizado este proceso, se abre algún navegador web y se ingresa la dirección de la raspberry que es “192.168.0.100”, seguido por “/mywebsql/ así: “<http://192.168.0.100/mywebsql/>, el cual abre una página web que se muestra en la Figura 2.9.



Figura 22: Página de inicio de MyWebSQL.

Para verificar que se encuentre funcionando correctamente, se ingresa el usuario y contraseña, y en servidor se selecciona “Localhost MySQL” y se inicia sesión, lo cual muestra la interfaz de MyWebSQL como si indica en la Figura 2.10.

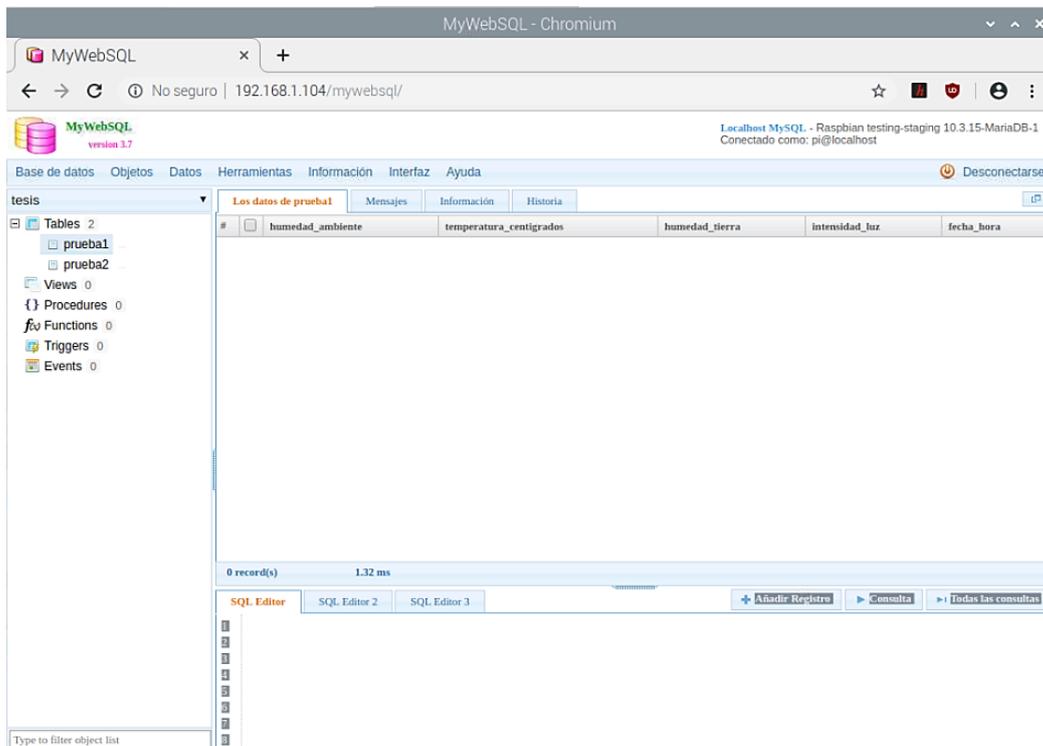


Figura 23: Interfaz MyWebSQL.

Ahora se procede a crear una tabla donde se almacenarán los datos de los sensores, para lo cual se selecciona el apartado “Objetos” y se procede a llenar los campos que indica la ventana. Dependiendo de cuantos datos se desee almacenar en la base de datos, se debe crear los campos (Figura 2.11).

En el presente proyecto, cada nodo sensor envía 4 datos diferentes, por lo tanto, se decide crear una tabla por cada nodo sensor para almacenar sus datos, además se incluye una columna adicional donde se almacena la hora y fecha.

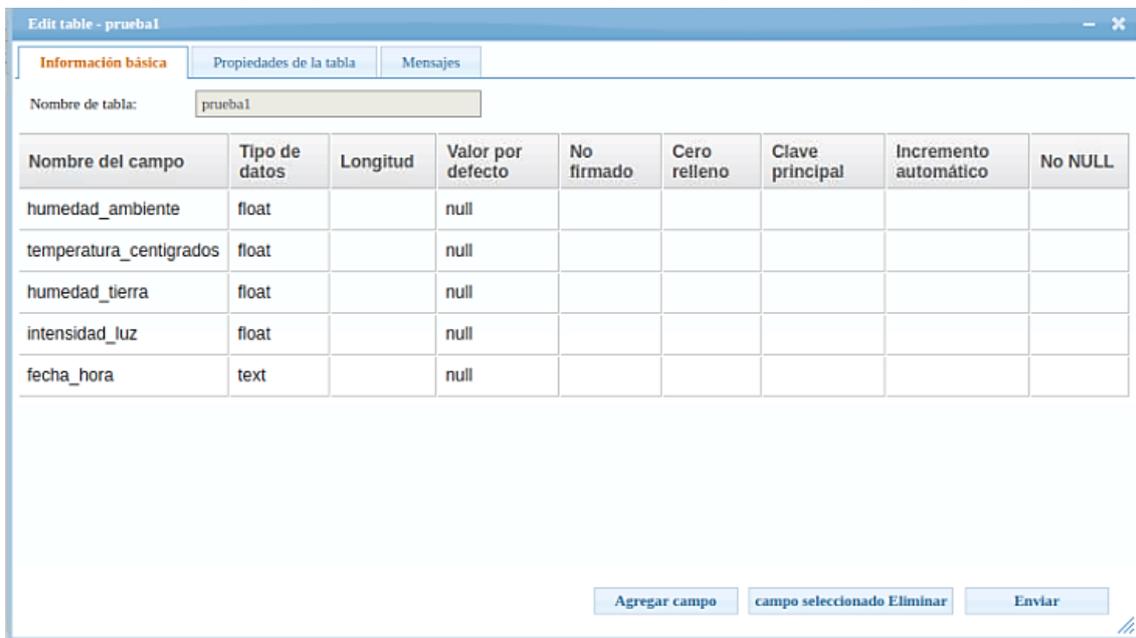


Figura 24: Crear tabla en MyWebSQL

2.5.4 PhpMyAdmin

El proceso de instalación de phpMyAdmin es muy sencillo, para ello primeramente se ejecuta en un terminal el siguiente comando:

- sudo apt install -y -t phpmyadmin

Luego se procede a elegir el servidor web y a configurarlo para que funcione phpMyAdmin, para el presente caso se selecciona “*apache2*” como se muestra en la Figura 2.12.

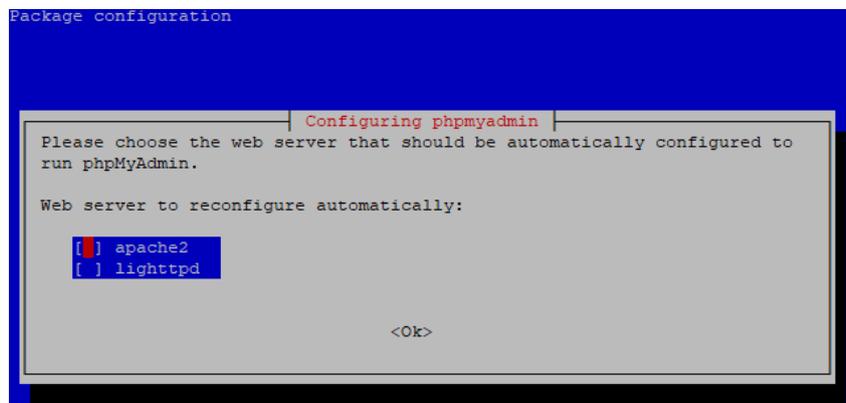


Figura 25: Selección de apache2

Tras haber seleccionado el servidor web, en la siguiente ventana emergente se responde “Si”, luego se establece una contraseña para que phpMyAdmin se registre con el servidor de base de datos como se indica en la Figura 2.13.

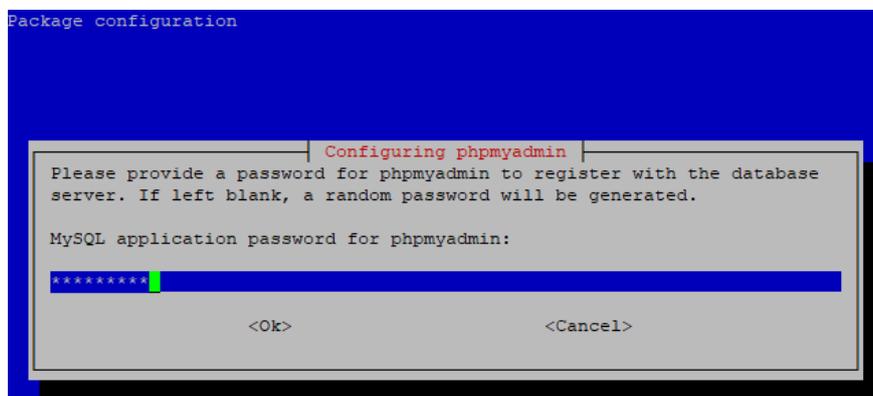


Figura 26: Ingreso de contraseña para el servidor web

Al finalizar todos estos pasos se procede a reiniciar el servidor de Apache para evitar cualquier problema de comunicación, para ello se ejecuta la orden a continuación:

- sudo systemctl restart apache2.

Con la ayuda de un navegador web se ingresa la ip de la raspberry “192.168.0.100”, seguido por “*phpmyadmin* así: “*http://192.168.0.100\phpmyadmin*”, lo cual abre una pantalla emergente donde se debe ingresar el usuario y contraseña creados previamente (Figura 2.14).



Figura 27: Interfaz de phpMyAdmin

Al ingresar en este gestor de base de datos se observa las tablas creadas previamente en MyWebSQL con sus respectivos datos.

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

En esta Sección se detallan tanto el proceso de implementación, como las pruebas a las que fue sometido el dispositivo, con el fin de asegurar su buen rendimiento y robustez.

3.1 Conexión

Para llevar a cabo la conexión del sistema se presenta a continuación los diagramas que se han usado tanto para el nodo sensor como para el nodo coordinador.

La Figura 3.1 detalla la conexión del nodo sensor, mientras que la Figura 3.2 presenta la conexión del nodo coordinador hacia los diferentes elementos que lo conforman.

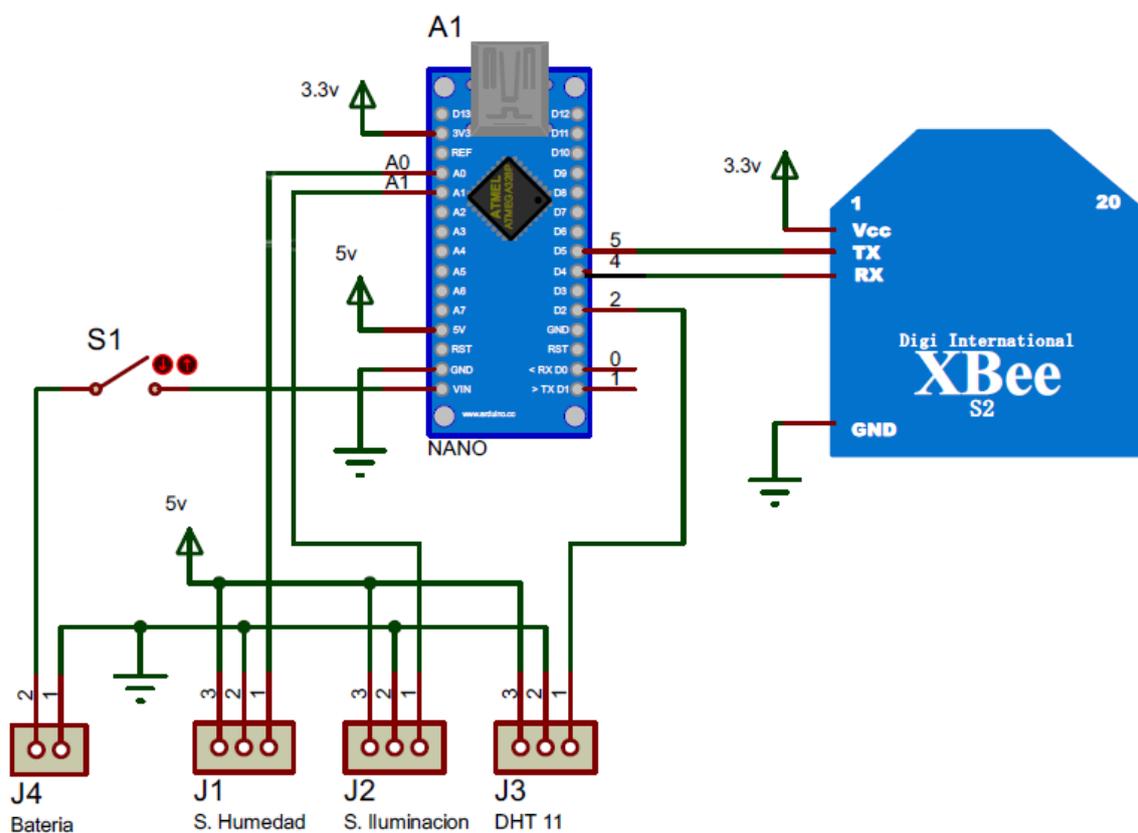


Figura 28: Conexión del nodo sensor

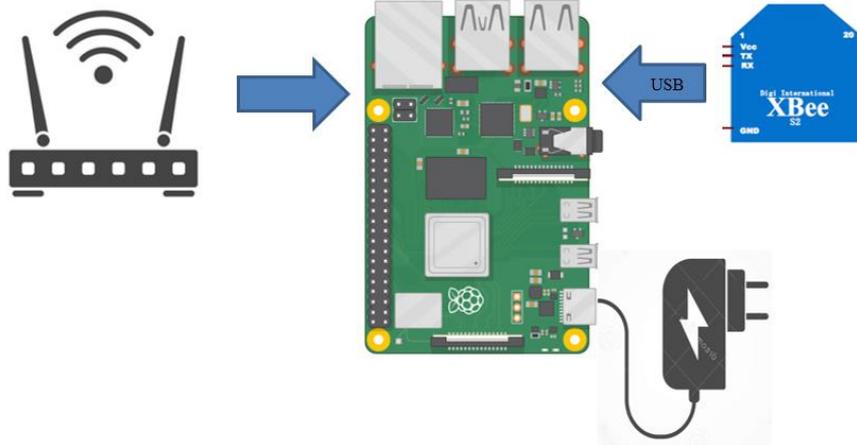


Figura 29: Conexión del nodo coordinador.

3.2 Configuración

Diferentes dispositivos a usarse en el proyecto deben configurarse para realizar su trabajo, tal como se detalla a continuación.

3.2.1 Configuración Xbee

Los módulos Xbee para este proyecto se los configura de manera que establezcan una comunicación punto a multipunto, lo que permite crear nodos sensores (end device o dispositivos finales) que transmitan los datos a un coordinador. Para lo cual se debe conectar el módulo Xbee a un computador por medio de la Xbee Explorer (Figura 2.5) y además de ser añadida por el software XCTU, Figura 3.3.

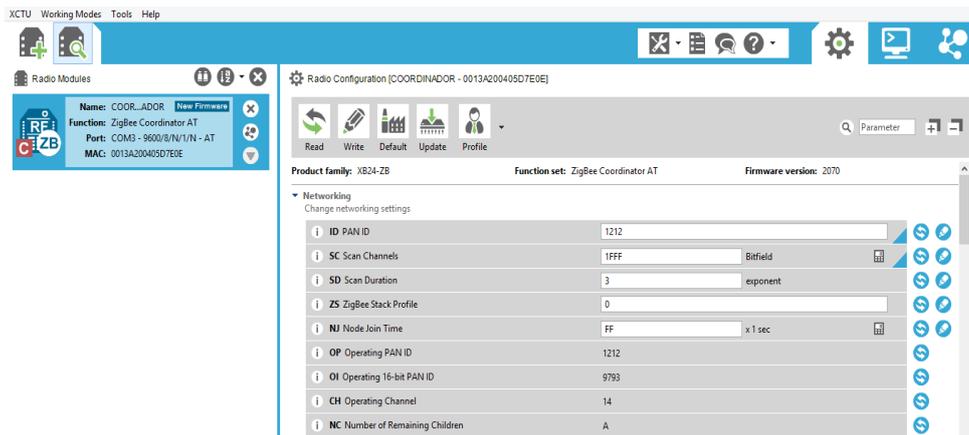


Figura 30: Xbee añadida correctamente.

Previa la configuración de los parámetros del módulo, se debe actualizar el firmware del mismo, las opciones seleccionadas para llevar a cabo la actualización son:

Firmware Coordinador	
Familia del producto	XB24-B
Grupo de funciones	Znet 2.5 Coordinador AT
Versión del firmware	1047 (La más actual)

Figura 31: Firmware Coordinador.

Firmware dispositivo final	
Familia del producto	XB24-B
Grupo de funciones	Znet 2.5 Router/End Device AT
Versión del firmware	1047 (La más actual)

Figura 32: Firmware dispositivo final.

Por último, se prosigue a modificar los parámetros de configuración de los módulos xbee, tanto para el nodo coordinador como los dispositivos finales. Los parámetros a configurarse en cada nodo son:

Configuración nodo coordinador	
PAN ID	2222
DH	0
DL	FFFF
MY	0
NY	Coordinador

Figura 33: Configuración nodo coordinador.

Configuración dispositivo final	
PAN ID	2222
DH	0
DL	0
MY	Cualquier valor
NY	Router 1, 2, etc.

Figura 34: Configuración dispositivo final.

Se observa que el PAN ID puede ser cualquier número entre 0 y 65535, pero este número debe ser el mismo en todos los módulos coordinador y routers. Además, el valor DL en el nodo coordinador se establece como “FFFF” para poder comunicarse con todos los dispositivos de la misma red.

Ahora, se sube la nueva configuración con un clic en “*Write*” y así los módulos están listos para usarlos en el presente proyecto.

3.2.2 Configuración Raspberry

Hasta este punto se tiene instalado Linux en la raspberry y configurado completamente la estructura LAMP, para utilizar al microcomputador como un servidor web. Además, se ejecuta un script de Python, el cual es el encargado de adquirir los datos que el nodo coordinador envía

a través del puerto serial de la raspberry, para luego direccionarlos a la base de datos. El mencionado script se lo presenta en el apéndice 2.

3.3 Pruebas de funcionamiento

En la Figura 3.8 se presenta al sistema completo, el microcomputador se encuentra conectado a una red wifi, la cual permite ingresar a controlar este dispositivo a través de un computador o por medio de un móvil celular utilizando la aplicación “PuTTY” (cliente de SSH), donde se ingresa el usuario y contraseña correspondientes, en este caso “*pi*” y “*raspberrry*” respectivamente. Mientras que los nodos sensores están conectados mediante la red WSN. Tras haber realizado las conexiones correspondientes y la alimentación completa del sistema, se procede a realizar las pruebas de comunicación de la red WSN.



Figura 35: Sistema de red WSN conectado a la red local

Las pruebas de funcionamiento del sistema se las llevó a cabo en un invernadero que contiene plantas de frejol, como se observa en la Figura 3.9 donde cada nodo sensor está separado del nodo coordinador 10 m aproximadamente.



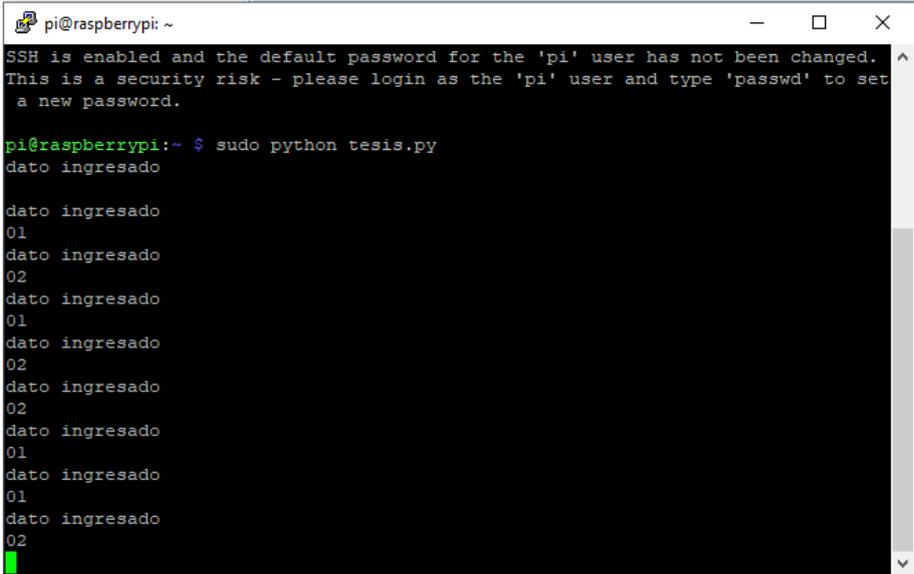
Figura 36: Implementación de los nodos sensores en invernadero.

3.3.1 Obtención de datos

En este punto, se puede comprobar que la red de sensores se encuentra funcionando correctamente al ejecutar en un terminal el script de Python “*prueba.py*”, con el siguiente comando “*sudo python prueba .py*”. Este programa permite visualizar los datos que ingresan por el puerto serial de la raspberry donde se encuentra conectado el nodo coordinador.

Al verificar que los datos de ambos nodos sensores están ingresando correctamente, se ingresa la combinación de teclas “*ctrl+c*” para detener el programa actual y proceder a ejecutar el programa que almacena los datos en la base, para lo cual se ingresa el comando “*sudo python*

tesis.py”. Al ejecutar el programa mencionado previamente, se observa en el terminal que los datos enviados por los nodos sensores 1 y 2 son ingresados correctamente en la base de datos, (Figura 3.10). Si en un futuro sea necesario cambiar algún parámetro de la programación, se ejecuta el comando “*sudo nano tesis.py*”, el cual permite configurar el script de Python según las nuevas necesidades.



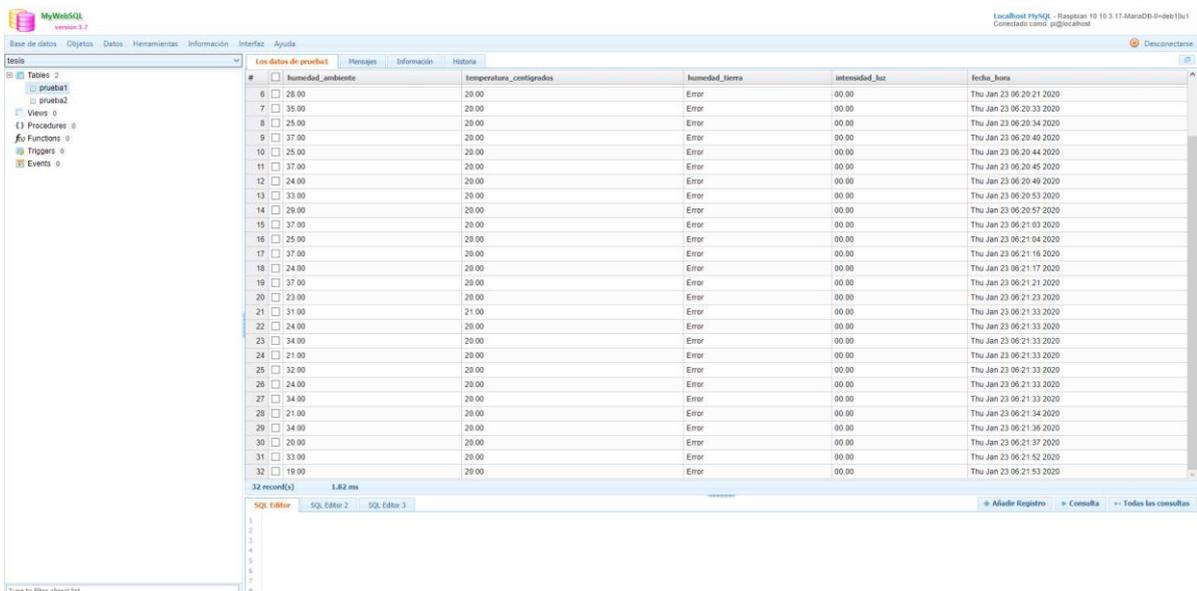
```
pi@raspberrypi: ~  
SSH is enabled and the default password for the 'pi' user has not been changed.  
This is a security risk - please login as the 'pi' user and type 'passwd' to set  
a new password.  
pi@raspberrypi:~$ sudo python tesis.py  
dato ingresado  
  
dato ingresado  
01  
dato ingresado  
02  
dato ingresado  
01  
dato ingresado  
02  
dato ingresado  
02  
dato ingresado  
01  
dato ingresado  
01  
dato ingresado  
02
```

Figura 37: Ingreso de variables a la base de datos mediante Python

El enfoque principal que tiene el sistema desarrollado en este proyecto se centra en realizar el envío y almacenamiento de la información proporcionada por los sensores, por lo tanto, las pruebas exhaustivas de la exactitud de los instrumentos de medición se lo realiza en el trabajo denominado “Sistema de adquisición de variables climáticas para invernaderos manejo de datos: sistema embebido”, que se lo desarrolla a la par con el presente trabajo. El cual tiene como objetivo desarrollar el hardware para la adquisición de las variables climáticas implementando algoritmos de filtros digitales para disminuir su error y validar el sistema en base a la precisión medida con dispositivos existentes en el mercado.

3.3.2 Visualización de datos

Para visualizar los datos almacenados se abre cualquier navegador web y se ingresa la dirección IP de la raspberry “<http://192.168.0.100/mywebsql/>”, luego ingresar el usuario y contraseña mencionada en las Secciones previas. Esto genera una nueva pestaña emergente donde se puede ingresar a la base de datos y verificar los datos que se transmitieron a través de la red WSN y ahora están almacenados (Figura 3.11). En el lado izquierdo de la ventana se observa las tablas con los datos correspondientes a cada nodo (1 y 2), al seleccionar una tabla se abre una ventana que muestra los datos almacenados, donde la primera y segunda columna contiene los datos del sensor de humedad y temperatura ambiental respectivamente, la tercera columna los datos del sensor de humedad del suelo, la cuarta columna los datos del sensor de iluminación y la quinta columna contiene la fecha y hora.



#	Humedad_ambiente	temperatura_ambientada	humedad_suelo	intensidad_luz	Fecha_hora
6	28.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:21 2020
7	35.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:33 2020
8	25.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:34 2020
9	37.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:40 2020
10	25.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:44 2020
11	37.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:45 2020
12	24.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:49 2020
13	33.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:53 2020
14	29.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:20:57 2020
15	37.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:03 2020
16	25.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:04 2020
17	37.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:19 2020
18	24.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:17 2020
19	37.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:21 2020
20	23.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:23 2020
21	31.00	21.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:33 2020
22	24.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:33 2020
23	34.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:33 2020
24	21.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:33 2020
25	32.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:33 2020
26	24.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:33 2020
27	34.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:33 2020
28	21.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:34 2020
29	34.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:36 2020
30	20.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:37 2020
31	33.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:52 2020
32	19.00	20.00	Error	00.00	Thu Jan 23 06:21:53 2020

Figura 38: Detalle de los datos ingresado en la base.

Cabe recalcar que, para poder ingresar y visualizar los datos se lo puede realizar desde cualquier computador que se encuentre vinculada a la red local generada por el router WiFi.

Para exportar los datos y analizarlos por terceros, (como en un archivo de Excel), se ingresa en el navegador el link `http://192.168.0.100/phpmyadmin`, e ingresar el usuario y contraseña respectiva. Esto genera una ventana muy similar a la presentada en la figura 3.11 donde se selecciona la tabla de interés y en la parte superior se elige la opción “Exportar”; luego, se elige el formato deseado, para el presente caso será “*CSV for MS Excel*” el cual genera un archivo en formato “Excel” y se continua para finalizar la exportación (Figura 3.12).

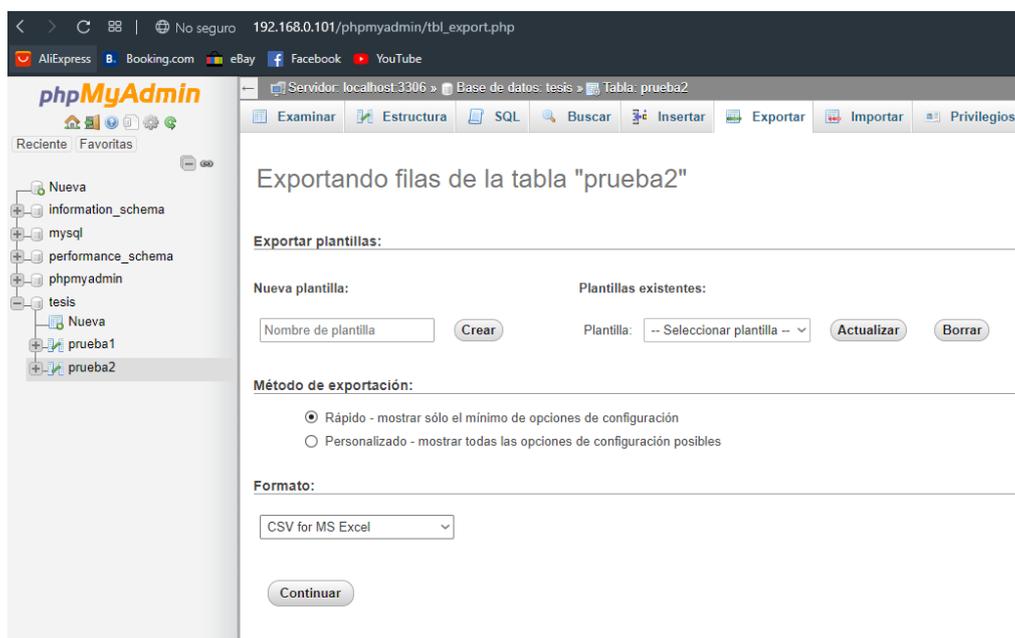
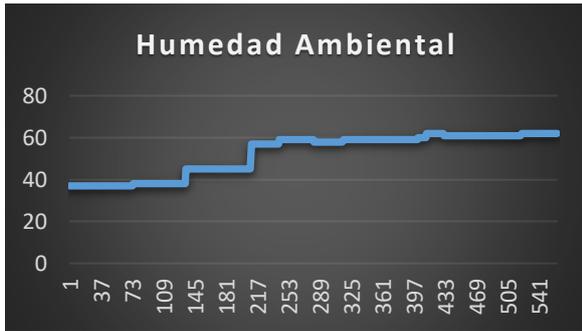
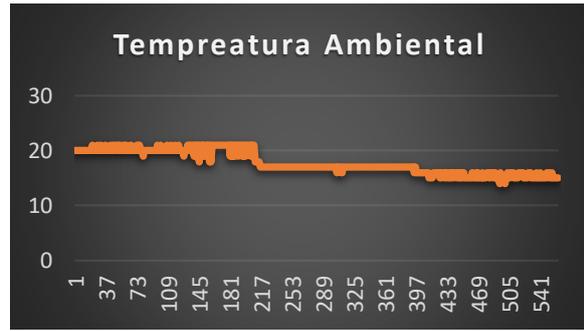


Figura 39: Exportar archivo Excel.

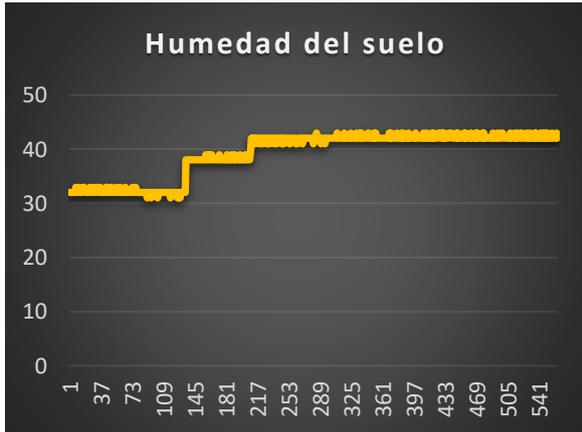
Ahora con este archivo de Excel, se procede a obtener gráficas de la evolución de las variables obtenidas en el tiempo, como se ilustra en la Figura 3.13.



a)



b)



c)



d)

Figura 40: Gráficas de los datos, a) Humedad ambiental, b) Temperatura ambiental, c) Humedad del suelo y d) Intensidad de luz.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

4.1 Conclusiones

- La red inalámbrica implementada con los módulos Xbee s2, ofrece varias ventajas en comparación a otras tecnologías, entre las principales figuran su bajo costo, bajo consumo de energía y la facilidad de interconectarse en diferentes topologías, siendo una solución efectiva, donde no se requieran grandes transmisiones de datos.
- Las variables que se pueden supervisar en un invernadero pueden llegar a ser varias, donde cada una es un factor importante en las plantaciones, en este proyecto se usan las variables de humedad y temperatura ambiental, humedad del suelo e intensidad de luz, dichas variables son las de mayor interés de estudio en nuestro entorno.
- La raspberry pi es un elemento vital en el desarrollo del sistema, pues es la encargada de recibir y almacenar los datos enviados por los nodos finales y administrar esta información en el gestor de base de datos MyWebSQL, lo que permite el desarrollo del sistema.
- Se comprobó el correcto funcionamiento de la red inalámbrica al aplicar el sistema en un invernadero de tomates, logrando transmitir los datos desde los nodos finales hacia el nodo coordinador, para posteriormente ser almacenados en la base de datos.

4.2 Recomendaciones

- Antes de realizar las pruebas de funcionamiento en cualquier instalación, se debe tomar en cuenta que exista en el entorno energía eléctrica, ya que ciertos invernaderos no cuentan con instalación eléctrica.
- Realizar las actualizaciones necesarias para la raspberry pi antes de poner en marcha al sistema.
- Al implementar los nodos sensores, se recomienda instalarlos sobre una superficie alta (parte superior de una columna de madera o metal del invernadero) del área donde se interese monitorear, esto para garantizar una mayor visibilidad de comunicación entre los nodos finales y el coordinador.
- En el caso de no contar con un computador en el invernadero, se recomienda utilizar la app PuTTY, la cual permite controlar la raspberry a través de un dispositivo celular y visualizar los datos a través del navegador web.

4.3 Trabajo Futuro

- Implementar sensores más robustos para una mejor lectura de las variables a monitorearse, puesto que los sensores usados en el proyecto son diseñados para realizar prototipos electrónicos, más no para trabajar en la industria.
- Desarrollar una HMI que permita acceder de una forma fácil a la información obtenida por el sistema.

APÉNDICE

Código

Esta parte incluye el código desarrollado en el proyecto. Sólo se han anexado los códigos más importantes.

1 Script de Arduino

```
#include <SoftwareSerial.h> // Puerto serial virtual
SoftwareSerial Xbee(5, 4); // Rx, Tx
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 2 // Pin donde se conecta el sensor DHT
#define DHTTYPE DHT11 // De el tipo de sensor DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Inicialización del sensor

float humedad = 0; // Variables de almacenamiento
float luz = 0;
float h = 0;
float t = 0;
String datos = ""; // Cadena de almacenamiento de los datos

unsigned long tiempo = 0; // Variables de tiempo para envío de datos
unsigned long tiempo1 = 0; //
unsigned long muestreo = 0; // Variables de tiempo para la toma de datos
unsigned long muestreo1 = 0; //
int x = 0;
int y = 0;
float humedad_a = 0; //
float luz_a = 0; //

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicio los puertos seriales
  Xbee.begin(9600); //
  dht.begin(); // Inicio del sensor DHT

  //Serial.println("CLEARDATA"); //Plx-daq, comentar cuando se use
  serial plotter

  //Serial.println("LABEL,Date,H.Ambiente,T.Ambiente,H.Suelo,Luz");

  Serial.println("H.Ambiente,T.Ambiente,H.Suelo,Luz"); //Serial plotter,
  comentar cuando se use plx-daq
}

void loop() {

  muestreo = millis(); // Timmer para variar el tiempo de muestreo
  if (muestreo > (muestreo1 + 100)) { // Muestreo cada 100 ms
    h = dht.readHumidity(); // Lectura de humedad
    t = dht.readTemperature(); // Lectura de temperatura °C
```

```

    humedad = map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 99); // Lectura de sensor
humedad resistivo
    luz = map(analogRead(A0), 0, 1023, 0, 99); // Lectura de sensor de
luminosidad
    muestreo1 = millis();
}

datos = datos + "01"; // Encabezado de nodo 1
if (isnan(h) || isnan(t)) { // Verifica si hay error en las lecturas
del sensor DHT

    datos = datos + "DescnDescn";
}
else { // Almacenamiento de los datos en el vector
    if (h < 10) {
        datos += "0";
        datos += String(h);
    }
    else {
        datos += String(h);
    }

    if (t < 10) {
        datos += "0";
        datos += String(t);
    }
    else {
        datos += String(t);
    }
}

if (humedad == 0 && ((humedad - humedad_a) > 15 || (humedad - humedad_a)
< -15)) { // Verifica la desconexión del sensor
    datos += "Descn";
    x = 1;
}
else if (humedad < 10 && x == 1)
    datos += "Descn";
if ((humedad - humedad_a) > 10 || (humedad - humedad_a) < -10 && x ==
0) // Verifica un error de lectura del sensor de
humedad del suelo
    datos += "Error";
else {
    if (humedad >=
10)
// Almacenamiento de los datos en el vector
        datos += String(humedad);
    else if (humedad < 10 && x == 0) {
        datos += "0";
        datos += String(humedad);
    }
}
if (humedad > 2 && x == 1)
    x = 0;
humedad_a = humedad;

if (luz == 0 && ((luz - luz_a) > 15 || (luz - luz_a) < -15))
{ // Verifica la desconexión del sensor
    datos += "Descn";
    y = 1;
}
}

```

```

else if (luz < 10 && y == 1)
  datos += "Descn";
if ((luz - luz_a) > 10 || (luz - luz_a) < -10 && y == 0) // Determina si
hay un error de lectura del sensor de luz ambiente

  datos += "Error";
else {
  if (luz >= 10 ) // Almacenamiento de los datos en el vector
    datos += String(luz);
  else if (luz < 10 && y == 0) {
    datos += "0";
    datos += String(luz);
  }
}
if (luz > 2 && y == 1)
  y = 0;
luz_a = luz;

tiempo = millis(); // Timer para enviar los datos a la Xbee cada 3
segundos
if (tiempo > (tiempo1 + 3000)) {
  tiempo1 = millis();
  Xbee.println(datos);
}

//enviar(); //Lazo de envio de datos mediante comunicaci3n
serial
datos = ""; //Encera el vector de datos
}

void enviar() {
  //Serial.print("DATA,TIME,"); // Fecha y hora para plx-daq

  Serial.print(h); Serial.print(", "); // Envia el valor de las variables
por el puerto serial
  Serial.print(t); Serial.print(", ");
  Serial.print(humedad); Serial.print(", ");
  Serial.println(luz);

  //Serial.println(datos); // Envia el vector de datos que se
va a transmitir por la xbee
}

```

2 Script de Raspberry pi

```
import serial
import mysql.connector
import time

#inicializacion de la conecion entre base de datos y python
db = mysql.connector.connect(
    host="localhost",
    user="pi",
    passwd="raspberrypi",
    database="tesis"
)

#inicializacion del serial para obtencion de los datos de la xbee
xbee = serial.Serial(
    port='/dev/ttyUSB0',
    baudrate = 9600,
    timeout=1
)
while 1:
    while xbee.in_waiting:
        x=xbee.readline() #lectura de datos del serial
        ide=x[0:2] #separación de la cadena obtenida en el serial
        por datos individuales
        ha=x[2:7]
        tc=x[7:12]
        ht=x[12:17]
        il=x[17:]

        fecha=time.strftime("%c") #obtencion de la fecha del sistema

        mycursor= db.cursor()

        iden=ide #conversion del dato identificador de las xbee

        if iden == '01':
            #envio de todos los datos obtenidos e la base de datos por parte
            del sistema 1
            sql = "INSERT INTO
prueba1(humedad_ambiente,temperatura_centigrados,humedad_tierra,intensidad_
luz,fecha_$
            val = (ha,tc,ht,il, fecha)
            mycursor.execute(sql,val)

            elif iden == '02':
            #envio de todos los datos obtenidos e la base de datos por parte
            del sistema 2
            sql = "INSERT INTO
prueba2(humedad_ambiente,temperatura_centigrados,humedad_tierra,intensidad_
luz,fecha_$
            val = (ha,tc,ht,il, fecha)
            mycursor.execute(sql,val)

        db.commit()

        print("dato ingresado")
        print(ide)
```

3 Hojas de datos de los módulos

Hoja de datos módulo xbee

XBee®/XBee-PRO® RF Modules

XBee®/XBee-PRO® RF Modules
RF Module Operation
RF Module Configuration
Appendices



Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol
For RF Module Part Numbers: XB24-A...-001, XBP24-A...-001

IEEE® 802.15.4 RF Modules by Digi International



Digi International Inc.
11001 Bren Road East
Minnetonka, MN 55343
877 912-3444 or 952 912-3444
<http://www.digi.com>

90000982_B
2009.09.23

1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



Key Features

Long Range Data Integrity

XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available

Source/Destination Addressing

Unicast & Broadcast Communications

Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

Low Power

XBee

- TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

XBee-PRO

- TX Peak Current: 250mA (150mA for international variant)
- TX Peak Current (RPSMA module only): 340mA (180mA for international variant)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O

I/O Line Passing

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications

Free X-CTU Software (Testing and configuration software)

AT and API Command Modes for configuring module parameters

Extensive command set

Small form factor

Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) 2.4 GHz frequency band

Manufactured under ISO 9001:2000 registered standards

XBee®/XBee-PRO® RF Modules are optimized for use in the United States, Canada, Australia, Japan, and Europe. Contact Digi for complete list of government agency approvals.



Specifications

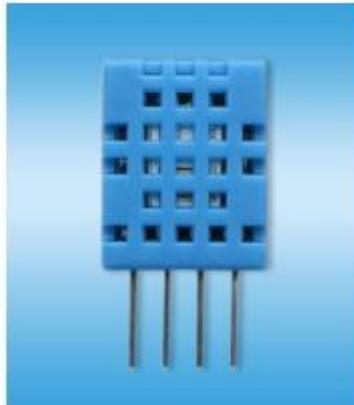
Table 1-01. Specifications of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) International variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A	< 10 μ A
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (Industrial)	-40 to 85° C (Industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	R201WW07215214	R201WW08215111 (Max. 10 dBm transmit power output)*
Australia	C-Tick	C-Tick

Hoja de datos módulo DHT11

1. Product Overview

DHT11 digital temperature and humidity sensor is a calibrated digital signal output of the temperature and humidity combined sensor. It uses a dedicated digital modules capture technology and the temperature and humidity sensor technology to ensure that products with high reliability and excellent long-term stability. Sensor includes a resistive element and a sense of wet NTC temperature measurement devices, and with a high-performance 8-bit microcontroller connected .



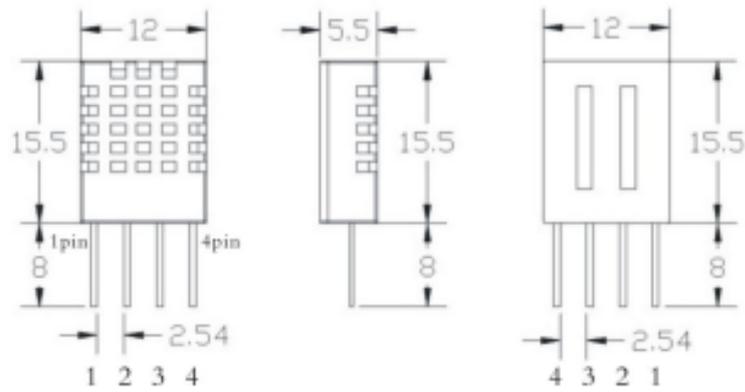
2. Applications

HVAC, dehumidifiers, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automation, data loggers, weather stations, home appliances, humidity regulator, medical and other relevant humidity measurement and control.

3. Product Highlights

Low-cost, long-term stability, relative humidity and temperature measurement, excellent quality, fast response, anti-interference ability, long distance signal transmission, the digital signal output, precise calibration.

4. Dimensions (Unit : mm)



5. Parameters

Relative Humidity

Resolution : 16Bit

Repeatability : $\pm 1\%RH$

Accuracy : 25°C $\pm 5\%RH$

Interchangeability : Fully interchangeable

Response time : 1/e (63%) 25°C 6s

1m/s Air 6s

Hysteresis : $< \pm 0.3\%RH$

Long-term stability : $< \pm 0.5\%RH/yr$

Temperature

Resolution : 16Bit

Repeatability : $\pm 1^\circ C$

Accuracy : 25°C $\pm 2^\circ C$

Response time : 1/e (63%) 10S

Electrical Characteristics

Power supply : DC 3.3 ~ 5.5V

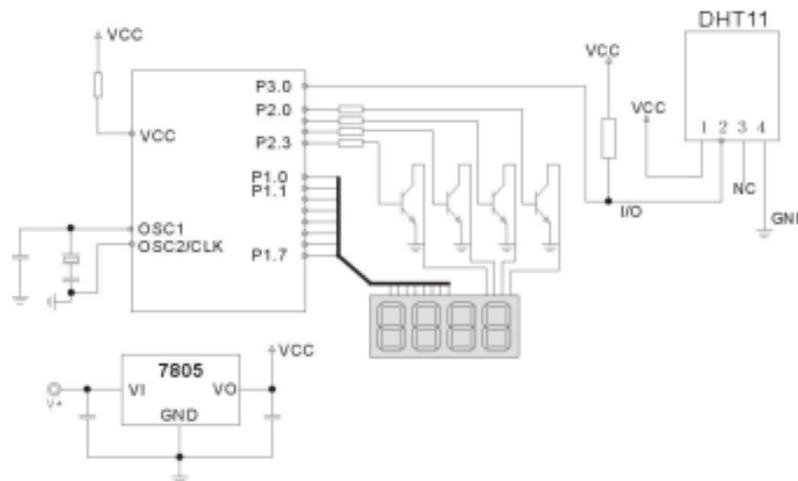
Supply current : Measure 0.3mA Standby 60 μ A

Sampling period : Secondary Greater than 2 seconds

Pin Description

1. VDD supply 3.3 ~ 5.5V DC
2. DATA serial data, single-bus
3. NC NC
4. GND grounding, power negative

6. Typical circuit



Connecting the typical application circuit shown above the microprocessor and DHT11, DATA pull-up and microprocessor I/O port.

1. A typical application circuit recommended cable length shorter than 20 meters with a 5.1K pull-up resistor when greater than 20 meters when the pull-up resistor to reduce the actual situation.
2. When using a 3.3V voltage supply cable length must not be greater than 100cm. Otherwise it will lead to lack of line drop sensor supply, causing measurement bias.
3. Temperature and humidity values are read out every last measurement result, want to get real-time data, to be read twice in a row, but not recommended repeatedly read sensors, each sensor reading interval of more than 5 seconds to obtain accurate data.

Hoja de datos sensor de intensidad de luz



COMPONENTES



FOTORRESISTENCIA LDR 4,3mm x Ø 5,1 mm

?? Los nombres registrados y marcas que se citan son propiedad de sus respectivos titulares.

C-2795

DESCRIPCION GENERAL.

Fotorresistencia o resistencia dependiente de la luz, consistente en una célula de Sulfuro de Cadmio, altamente estable, encapsulada con una resina epoxi transparente, resistente a la humedad. La respuesta espectral es similar a la del ojo humano. Su nivel de resistencia aumenta cuando el nivel de luz disminuye.

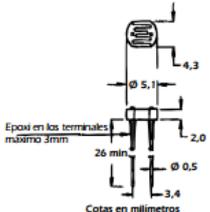
Aplicaciones: Control de contraste en televisores y monitores, control automático de la iluminación en habitaciones, juguetes y juegos electrónicos, controles industriales, interruptores crepusculares, boyas y balizas de encendido automático, auto-flash, etc...

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

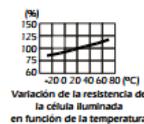
Modelo	Valores máximos			Características a 25°C (nota E)						
	Tensión a 25°C	Potencia disipable	Temperatura ambiente	Resistencia (nota A)		?	Tiempos de respuesta a 10 lx (nota D)		Respuesta espectral	
	(Vdc)	(mW)	(°C)	10 lux (2856K) Min.(k?)	Max.(k?)	0 lux (nota B) Min.(M?)	100-10 lx (M?)	t. subida (ms)	t. bajada (ms)	(pico) (nm)
C-2795	150	90	-25 a 75	50	140	20	0.9	60	25	570

Notas: A) Medido con una fuente luminosa formada por una lámpara de tungsteno, trabajando a una temperatura de color de 2856K.
 B) Medición efectuada 10 segundos después de retirar una iluminación incidente de 10 lux.
 C) Sensibilidad entre 10 y 100 lux, dada por:

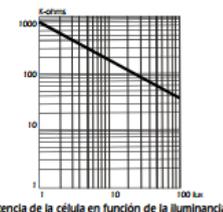
$$? = \frac{\log(R100) - \log(R10)}{\log(E100) - \log(E10)}$$
 donde R100, R10 son las resistencias a 100 y 10 lux respectivamente, y E100, E10 las iluminancias de 100 y 10 lx respectivamente.
 D) Tiempo de subida es el tiempo necesario para alcanzar el 63% del nivel de saturación. Tiempo de bajada es el necesario para que la célula alcance el 37% desde el nivel saturación.
 E) Todas las características están medidas con la célula LDR expuesta a la luz (100-500 lux) durante 1 o 2 horas.



Cotas en milímetros



Variación de la resistencia de la célula iluminada en función de la temperatura



Resistencia de la célula en función de la iluminancia

CONSIDERACIONES.

Este componente está destinado para su uso por parte de profesionales, o usuarios con un nivel técnico o conocimientos suficientes, que les permita desarrollar por sí mismos los proyectos o aplicaciones deseados. Por este motivo no se facilitará asistencia técnica sobre problemas de implementación del citado componente en las aplicaciones en las que sea empleado.

Para cualquier problema relativo al funcionamiento del producto (excluidos los problemas de aplicación), póngase en contacto con nuestro departamento técnico. Fax 93 432 29 95. Correo electrónico: sat@fadisel.com. La documentación técnica de este producto responde a una transcripción de la proporcionada por el fabricante.

Los productos de la familia "Componentes" de Cebek disponen de 1 año de garantía a partir de la fecha de compra. Quedan excluidos el trato o manipulación incorrectos. Disponemos de más productos que pueden interesarle, visítenos en: www.fadisel.com ó SOLICITE GRATUITAMENTE nuestro catálogo.

Rev. Full0041 1

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. C. Chaudhary, J. S. Nanda, D. V. Tran, Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz, Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2003.
- [2] Fernando Rojas, Mateo Lezcano, Ferley Medina, «Agricultura de precisión con sensores inalámbricos,» de *3er Congreso internacional AmITIC*, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 2016.
- [3] D. E. Roca, Posicionamiento con una red de sensores inalámbricos (WSN): implementación para una aplicación real, Barcelona: Departamento de Telecomunicaciones e Ingeniería en sistemas, 2012.
- [4] Kevin Samartin, Kevin Alvarez, Diseño e implementación de una red con sensores inalámbricos (WSN) con un protocolo abierto de comunicación basadas en IEEE 802.15.4 (XBEE) para prácticas universitarias, Guayaquil, 2018.
- [5] S. H. R. Isleño, Redes integradas de datos aplicadas a la agricultura de precisión, Ingeniería en telecomunicaciones, 2017.
- [6] L. T. Ojeda, «Xbee,» 2017. [En línea]. Available: <https://xbee.cll/que-es-xbee/>. [Último acceso: 23 Diciembre 2017].
- [7] J. P. Prieto, H. Sendoa, «Prototipo de un sistema de automatización de invernadero basado en arduino y sensores con control de comando web,» *Saeta Digital*, vol. 5, n° 1, pp. 1-16, 2019.
- [8] «Ciencias de la tierra y del medio ambiente,» [En línea]. Available: http://proyectosalohogar.com/ciencias_ambientales/06Recursos/121ImpactAmbAgr.html#:~:text=%20Contenido%20de%20la%20p%C3%A1gina%3A%20%201%20Impactos,f%

C3%B3siles%20y%20liberaci%C3%B3n%20de%20gases%20invernadero%20More%20.
[Último acceso: 6 Diciembre 2018].

- [9] Caiza María, Camuendo Myriam, Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura en los invernaderos de los microempresarios floricultores de la asociación camino a la Esperanza de la comuna jurídica de Patután, Parroquia Eloy Alfaro, Latacunga, 2011.
- [10] E, García y F. Flego, «Agricultura de precisión,» [En línea]. Available: <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>. [Último acceso: 26 Noviembre 2018].
- [11] S. E. Campaña Bastidas y J. M. Londoño Pelaez, Estudio de redes de sensores y aplicaciones orientadas a la recolección y análisis de señales biomédicas, vol. 1, GTI, 2013.
- [12] F. R. Rojas, «Agricultura de precision con sensores inalámbricos,» *3er congreso internacional AmITIC 2016*, pp. 8-11, 2016.
- [13] Sanmartín Kevin, Álvarez Kevin, Diseño e implementación de una red con sensores inalámbrica (wsn) con un protocolo abierto de comunicación basado en ieee 802.15.4 (xbee) para prácticas universitarias, Guayaquil: Politecnica salesiana, 2018.
- [14] B. J., Red WSN para el control y monitoreo de un sistema de riego de una plantacion de fresas en la granja experimental yuyucocha., Ibarra : Universidad Técnica del Norte, 2014.
- [15] Suárez J., Suárez M., «Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología Zigbee.,» *6to Congreso Argentino de Agroinformática*, pp. 165-175, 2014.
- [16] I. SA, «IEEE 802.15.4 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks,» [En línea]. Available: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html. [Último acceso: 2019].
- [17] Octopart, «Octopart,» [En línea]. Available: <https://octopart.com/jn5139-z01-m01r1v-jennic-8043135?r=sp>. [Último acceso: 2019].

- [18] DIGI, «MCI electronics,» [En línea]. Available: <https://xbee.cl/que-es-xbee/>.
- [19] Advanticsys, «Advanticsys,» [En línea]. Available: <https://www.advanticsys.com/shop/mtmcm5000msp-p-14.html>. [Último acceso: 2019].
- [20] Jecrespom, «Aprendiendo Arduino,» Wordpress, [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/microcontrolador/>. [Último acceso: 2020].
- [21] Anónimo, «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Topologías_de_red_ZigBee#:~:text=En%20ZigBee%20existen%20Otros%20tipos,rutas%20de%20comunicación%20entre%20dispositivos.. [Último acceso: 2020].
- [22] DIGI, «DIGI,» [En línea]. Available: <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu>. [Último acceso: 2019].
- [23] Hardwarelibre, «Hardwarelibre,» [En línea]. Available: <https://www.hwlibre.com/que-es-una-placa-sbc/>. [Último acceso: 2019].
- [24] R. p. org, «Raspberry pi blog,» Raspberry, [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspberry-pi-os/>. [Último acceso: 2019].
- [25] R. Shop, «Raspberry Shop,» [En línea]. Available: <https://www.raspberryshop.es/raspberry-pi-3.php>. [Último acceso: 2019].
- [26] Ubunlog, «Ununlog,» [En línea]. Available: <https://ubunlog.com/pip-conceptos-administracion-paquetes/>. [Último acceso: 2019].
- [27] R. p. blog, «Raspberry pi blog,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?p=317573&sid=b4376ed92f413f6724ee0ad432fa0594#p317573>. [Último acceso: 2019].

- [28] P. org, «Pypi Org,» [En línea]. Available: <https://pypi.org/project/python-time/>. [Último acceso: 20019].
- [29] P. Org, «Pypi Org,» [En línea]. Available: <https://pypi.org/project/mysql-connector-python/>. [Último acceso: 2019].
- [30] IONOS, «IONOS Digital Guide,» IONOS, [En línea]. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/servidor-lamp-la-solucion-para-webs-dinamicas/>. [Último acceso: 2019].