UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO TÉCNICO:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES PARA EL MONITOREO DE VARIABLES CLIMÁTICAS EN UN INVERNADERO DE ORQUÍDEAS.

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Luis Fernando Fernández Cruz

Tutor:

Dra. Ing. Mónica Karel Huerta. PhD,

CUENCA, 18 DE ABRIL DE 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Luis Fernando Fernández Cruz, con documento de identificación N° 0104964853, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: "**Diseño e Implementación de una Red de Sensores para el Monitoreo de Variables Climáticas en un Invernadero de Orquídeas"**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Luis Fernando Fernández Cruz

CI 0104964853

Cuenca, 18 de abril del 2017

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi **tutoría** fue desarrollado el trabajo de titulación: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES PARA EL MONITOREO DE VARIABLES CLIMÁTICAS EN UN INVERNADERO DE ORQUÍDEAS"**, realizado por Luis Fernando Fernández Cruz, obteniendo el P**royecto Técnico,** que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

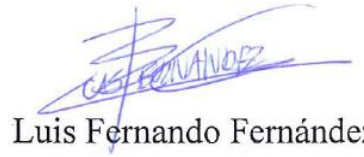
Cuenca, 18 de abril del 2017

Dra. Ing. Mónica Huerta PhD
0151550426

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Luis Fernando Fernández Cruz, con número de cédula CI. 0104964853 autor del trabajo de titulación **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES PARA EL MONITOREO DE VARIABLES CLIMÁTICAS EN UN INVERNADERO DE ORQUÍDEAS"** certifico que el total contenido del **Proyecto Técnico,** es de mí exclusiva responsabilidad y autoría

Cuenca, 18 de Abril del 2017



Luis Fernando Fernández Cruz

Luis Fernando Fernández Cruz
CC 0104964853

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a mi tutora de proyecto técnico Dra. Ing. Mónica Huerta, quien con su pacienicia, sabiduría y conocimento ha sabido orientar y motivarme para llegar a la culminación exitosa del presente trabajo.

Además, quiero extender el agradecimiento a mis grandes amigos, quienes me han apoyado en mi formacion profesional, la culminacion y realizacion de este trabajo : Fernando Guerrero, Jeferson Torres.

Luis Fernandez Cruz

DEDICATORIA

A mis padres Luis Fernández, Virginia Cruz, a mis hermanas, hermanos, sobrinos y mi enamorada María Eugenia Ramírez, por demostrarme en cada momento su apoyo incondicional, por confiar en mí, por creer en mi capacidad; por los esfuerzos y sacrificios que hicieron durante todos estos años, con el fin de posibilitar la culminación de mi carrera. A pesar de los momentos difíciles, siempre han estado apoyándome con sus consejos y sabiduría, los cuales han guiado a mi formación personal y académica. Gracias a ellos he llegado hasta aquí; alcanzando una meta más en mi vida. Por tal motivo, a ellos va dedicado el presente trabajo.

Luis Fernández Cruz

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO V
DEDICATORIA VI
INDICE DE FIGURAS IX
INDICE DE TABLAS XI
INTRODUCCION XII
ANTECEDENTES XIV
JUSTIFICACION XV
CAPÍTULO 1 1
1.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS 1
1.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ORQUÍDEAS 1
1.2.1 MORFOLOGÍA 2
1.3.1 TAXONOMÍA 3
1.4.1 CUIDADO Y DESARROLLO 4
1.2 TECNOLOGÍAS APLICADAS AL SISTEMA DESARROLLADO 6
1.1.2 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS APLICADAS AL SECTOR AGRÍCOLA 6
1.2.2 RED DE ÁREA AMPLIA (WAN) 6
1.3.2 REDES DE ÁREA LOCAL (LAN) 6
1.4.2 REDES DE ÁREA PERSONAL (PAN) 7
1.5.2 REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA PERSONAL (WPAN) 7
1.3 PROTOCOLO IEEE 802.15.1 (BLUETOOTH) 8
1.4 PROTOCOLO IEEE 802.15.4 (ZIGBEE) 8
1.1.4 TECNOLOGÍA ZIGBEE 9
1.2.4 DISPOSITIVOS DE UNA RED ZIGBEE 10
1.3.4 TOPOLOGÍA DE LA RED 11
1.5 HARDWARE ABIERTO 13
1.1.5 ARDUINO 13
1.2.5 RASPBERRY PI3 14
1.3.5 MODULO XBEE 14
1.6 SENSORES 15
1.1.6 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD 15
1.2.6 SENSOR DE LUZ 16
1.3.6 SENSOR DE CO2 17
CAPÍTULO 2 19
2.1 DISEÑO DE RED Y DESARROLLO DEL SISTEMA 19
2.1.1 MODULO DE ADQUISICIÓN 19
2.2.1 MÓDULO DE TRANSMISIÓN 20
2.3.1 MÓDULO DE RECEPCIÓN 21
2.4.1 MODULO DE PROCESAMIENTO 21
2.5.1 INTERFACE GRAFICA 22
2.2 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS 22
2.1.2 ARDUINO 23
2.2.2 RASPBERRY PI3 24
2.3.2 XBEE PRO SERIES 2 25
2.4.2 ESTRUCTURA DE TRAMA API 26
2.5.2 SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA 27
2.6.2 SENSOR DE LUZ 28

2.7.2 SENSOR DE CO2 28
2.3 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS 29
2.1.3 DISEÑO DE CIRCUITO PARA EL SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA 29
2.2.3 DISEÑO DE CIRCUITO PARA SENSOR DE CO2 31
2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO 31
2.5 PROTECTOR PLÁSTICO DE LAS PCB´S 34
2.6 SIMULACIÓN DE LA RED 35
2.7 INTERFAZ GRAFICA 37
2.8 ESCENARIO DE LAS PRUEBAS 39
CAPÍTULO 3 41
3.1 DIAGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN 41
3.2 DISEÑO DE LA RED 41
3.3 NODOS DE ADQUISICIÓN 42
3.4 IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA 45
3.1.4 UBICACIÓN DE NODOS 45
3.2.4 INICIALIZACIÓN Y PRUEBAS DE RED 46
3.3.4 SOFTWARE INTERFAZ GRAFICA 51
3.4.4 INICIALIZACIÓN DE INTERFACE Y SERVIDOR WEB 54
3.5 RESULTADOS 55
3.1.5 MEDICIONES DE TEMPERATURA 55
3.2.5 MEDICIONES DE HUMEDAD 56
3.3.5 MEDICIONES DE LUZ 57
3.4.5 MEDICIONES DE CO2 57
CAPÍTULO 4 59
4.1 COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 59
4.1.1 CONCLUSIONES 59
4.2.1 RECOMENDACIONES 60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61
APÉNDICES 65
APÉNDICE A 65
DIMENSIONES DEL PROTECTOR PLÁSTICO PARA LOS DISPOSITIVOS 65
APÉNDICE B 66
DIMENCIONES DEL INVERNADERO 66
APÉNDICE C 67
PROGRAMACIÓN RED DE SENSORES 67
APENDICE D 69
PROGRAMACIÓN DE SERVIDOR WEB 69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 *Orquídea cymbidium* 2
Figura 1.2 *Orquídea phalaenopsis.* 2
Figura 1.3 *Estructura de una flor de orquídea.* 3
Figura 1.4 *Clasificación de las orquídeas.* 4
Figura 1.5 *Tipos de dispositivos de una red.* 11
Figura 1.6 *Estructura de una red tipo estrella.* 12
Figura 1.7 *Estructura de una red tipo árbol.* 12
Figura 1.8 *Estructura de una red en malla.* 13
Figura 1.9 *Arduino uno.* 13
Figura 1.10 *Raspberry PI3.* 14
Figura 1.11 *Módulo XBee* 15
Figura 1.12 *Sensor de humedad y temperatura.* 16
Figura 1.13 *Sensor de Luz.* 17
Figura 1.14 *Sensor de CO2* 17
Figura 2.1 *Diagrama de bloques.* 19
Figura 2.2 *Interface gráfica.* 22
Figura 2.3 *Arduino Uno* 23
Figura 2.4 *Raspberry Pi3* 24
Figura 2.5 *Modulo XBee Pro series 2* 25
Figura 2.6 *Ejemplo de Trama* 26
Figura 2.7 *Sensor Temperatura y Humedad relativa* 27
Figura 2.8 *Sensor TEMT6000* 28
Figura 2.9 *Sensor de CO2* 29
Figura 2.10 *Esquema de conexión del sensor de temperatura y humedad* 30
Figura 2.11 *Esquema de conexión del sensor de Luz* 31
Figura 2.12 *Esquema de conexión del sensor de CO2* 31
Figura 2.13 *Diseño de la PCB sensor Temperatura y Humedad realizado en Altium Designer.* 32
Figura 2.14 *Diseño de la PCB sensor Luz realizado en Altium Designer.* 32
Figura 2.15 *Diseño de la PCB sensor CO2 realizado en Altium Designer.* 33
Figura 2.16 *PCB del sensor Temperatura y Humedad Relativa.* 33
Figura 2.17 *PCB del sensor de Luz.* 34
Figura 2.18 *PCB del sensor de CO2.* 34
Figura 2.19 *Protector plástico de forma rectangular para las PCB´s* 35
Figura 2.20 *Disposición de los elementos de la Red diseñada.* 36
Figura 2.21 *Enlaces entre router, coordinador y dispositivos finales.* 37
Figura 2.22 *Perfil de enlace entre el coordinador y el router.* 37
Figura 2.23 *Interfaz del servidor Web.* 39
Figura 38 *Ubicación geográfica del invernadero de Orquideas.* 39
Figura 2.25 *Invernadero tipo capilla.* 40
Figura 3.1 *Diagrama de bloques de la implementación.* 41
Figura 3.2 *Estructura de la red Zigbee.* 42
Figura 3.3 *Composición del nodo sensor de temperatura y humedad.* 43
Figura 3.4 *Composición del nodo sensor de luz.* 44
Figura 3.5 *Composición del nodo sensor de CO2.* 45
Figura 3.6 *Distribución de los nodos de la red.* 45
Figura 3.7 *Comunicación nodo sensor-PC.* 46
Figura 3.8 *Selección de dispositivo conectado.* 47

Figura 3.9 *Configuración de parámetros XBee.* 47
Figura 3.10 *Selección de firmware End Device.* 48
Figura 3.11 *Selección de firmware Router.* 48
Figura 3.12. *Selección de firmware coordinador.* 49
Figura 3.13 *Comunicación Acces point-PC.* 49
Figura 3.14 *Opción prueba de rango.* 50
Figura 3.15 *Red End Device - Access Point.* 51
Figura 3.16 *Red End device-Access Point-coordinador.* 51
Figura 3.17 *Programa Putty.* 52
Figura 3.18 *Ventana terminal de red.* 53
Figura 3.19 *Ventana terminal de red.* 53
Figura 3.20 *Ventana terminal de interface y servidor web.* 54
Figura 3.21 *Servidor de datos.* 54
Figura 3.22 *Tabla de valores de temperatura y humedad adquiridos.* 55
Figura 3.23 *Comportamiento de parámetros de Temperatura.* 56
Figura 3.24 *Comportamiento de parámetros de Humedad Relativa*. 56
Figura 3.25 *Comportamiento de parámetros de luz.* 57
Figura 3.26 *Comportamiento de parámetros de CO2.* 58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 *Factores para cultivo de orquídeas* 5
Tabla 2.1 *Características técnicas Arduino Uno.* 23
Tabla 2.2 *Características Técnicas Raspberry PI 3* 24
Tabla 2.3 *Características XBee Pro series 2* 25
Tabla 2.4 Características sensor DHT22 27
Tabla 2.5 *Características sensor TEMT6000* 28
Tabla 2.6 *Características sensor MQ-7* 29

INTRODUCCION

Existen alrededor de 30mil especies de orquídeas en la naturaleza a nivel mundial. Los principales exportadores son Francia, Alemania, Estados Unidos y Japón, en la actualidad los países sudamericanos han aumentado su inserción en la exportación y producción de orquídeas, especialmente Colombia, Perú y Ecuador. Por la biodiversidad climática y suelos fértiles Ecuador posee el 14% de las especies a nivel mundial, cuenta con 219 géneros de orquídeas, 4125 especies calcificadas y 1301 especies endémicas [1]. Las orquídeas son consideradas flores de verano y se han convertido en los productos de más exportación después del petróleo y el banano. Según datos del instituto de promoción de exportaciones e inversión del Ecuador, los ingresos por exportación de flores de verano, solo en el 2014 represento 202 millones de dólares y 35 mil toneladas de flores de verano, representando un crecimiento del 7% en ingresos y 8% en toneladas de orquídeas exportadas [2].

Existen diferentes sistemas para monitorear invernaderos, algunos están basados en el bus de comunicación 232, 485 [3] y CAN [4], este tipo se sistemas realizan el monitoreo de las variables climatológicas. Pero su trasmisión de datos y comunicación entre dispositivos es mediante una red cableada, lo cual limita el área a cubrir, la adición de nodos en la red, difícil instalacion e implantación debido al medio físico que conecta entre los diferentes puntos del sistema, así como el mantenimiento le genera costos elevados al usuario.

Una solución a las limitaciones presentes por estos sistemas, fue el desarrollo de una red inalámbrica de sensores desarrollada con tecnología GSM y Radio Frecuencia [5], este tipo de sistemas presentan ventajas, por fácil instalacion, mantenimiento y expansión de la red, pero el hardware para su implantación es muy costoso para pequeños productores. Otra solución, usa tecnología ZigBee para la transmisión de datos y laview para la interface gráfica, este sistema presenta ventajas por su bajo consto en hardware, pero alto por el software que debe manejar el usuario [6]. Sin embarco todas estas tecnologías usan la comunicación serial ya sea RS485 o RS232 para comunicar el modulo coordinador de la red a la computadora, lo que genera retardo en la transmisión de la información a más de los cables presentes en la red.

El objetivo es diseñar una red inalámbrica de sensores que permita monitorear un invernadero de orquídeas, las variables más importantes a medir son temperatura,

humedad relativa, concentración de CO2 y luminosidad. El sistemita se basa en tecnología ZigBee por su bajo consumo de energía, ancho de banda y protocolos de seguridad. Los módulos de adquisición, transición, recepción y procesamiento están diseñados en hardware de bajo costo y software libre. La información adquirida por la red puede ser visualizada a través de un navegador web desarrollado en Python. El diseño de este sistema está enfocado en pequeños y medianos productores.

ANTECEDENTES

El cultivo de flores en Ecuador tiene una gran incidencia en la economía ecuatoriana desde la década de los años 80, debido a que posee una gran ventaja en cuanto a sus exportaciones de materias primas tanto por su diversidad climática y suelos fértiles. La inserción del Ecuador en la exportación de flores lo ha convertido en el cuarto productor de flores a nivel mundial [1]. En el marco de producción de flores más exportadas del Ecuador se encuentra las rosas con el 65%, flores de verano 25% y flores tropicales 7%, dentro de la categoría de flores de verano se encuentran las orquídeas, existen más de 4200 especies dentro del ecuador, la mayoría de estas especies son flores de tamaños diversos, colores tenues con propiedades terapéuticas y exuberante belleza, su clasificación se realiza mediante géneros debido a él gran número de especies que existen. Las provincias que representan mayor producción de flores incluyendo las orquídeas son Pichincha, Cotopaxi, Azuay e Imbabura [1][2].

La producción de orquídeas dentro de la provincia del Azuay en el cantón Gualaceo, esta manejada por varias empresas, entre ellas se encuentra Ecuagenera, esta empresa produce orquídeas cymbidium y phalaenopsis. Estas orquídeas tienen propiedades que les permiten ser cultivadas en bajas y altas temperaturas (cymbidium $12C^o$-$18C^o$, phalaenopsis $14C^o$-$24C^o$), climas templados y su fácil propagación bajo condiciones artificiales[3][1]. Las características climáticas de la zona donde Ecuagenera está ubicada son las propicias para el desarrollo de las orquídeas antes mencionadas.

El desarrollo de sistemas de monitoreo de variables climáticas se basan en redes de sensores inalámbrico (WSN, *del inglés Wireless Sensor Network*) que permiten realizar la adquisición de: temperatura ambiental, presión atmosférica, CO2, humedad relativa, luminosidad, entre otros. Los sistemas que existen hoy en día en diferentes invernaderos en el país son cableados, de muy alto costo y no aptos para monitorear orquídeas [4] [5].

Diferentes investigaciones han demostrado que el desarrollo e implementación de los sistemas de monitoreo de variables climáticas utilizando redes de sensores inalámbricos mejoran sustancialmente diferentes tipos de plantaciones, como lo son: rosas[6], Ají Habanero [7] y Tomates de riñón [8][2].

JUSTIFICACION

A nivel mundial se ha marcado una división de países que a denotado a cada uno de por la especialización que realizan, por lo tanto, se han formado dos grupos; lo países desarrollados e industrializados y los países que están en proceso de desarrollo y son granes productores natos de materia prima. Ecuador es un país con biodiversidad muy grande que ha permitido producir y exportar banano, cacao. café. camarón, atún flores etc., poniéndolo entre los países que más incidencia tiene en el mercado internacional.

Con la inserción de Ecuador entre los más grandes productores de materia prima incluyendo flores, ha dado paso a que nuevos pequeños y medianos productores se desarrollen en su trabajo en cuanto al cultivo de girasoles, rosas gypsophila, orquídeas, lirios entre otras; estas flores son conocidas como flores de verano y representa el 21% de la producción de flores a nivel nacional. Las provincias que representan mayor producción de flores incluyendo las orquídeas son Pichincha, Cotopaxi, Azuay e Imbabura [1].Generalmente los productores utilizan técnicas artesanales para el cuidado y monitoreo de las condiciones climáticas dentro de los invernaderos, usando estándares muy generales que no permiten una lectura precisa de la variable que perciben sus cultivos.

La mayor producción de orquídeas dentro de la provincia del Azuay proviene del cantón Gualaceo, esta manejada por varias empresas que producen orquídeas cymbidium y phalaenopsis. Actualmente la empresa con mayor producción de orquídeas es Ecuagenera, pero no cuenta con un sistema de monitoreo, esta empresa usa métodos manuales, en base a la experiencia de una persona que describe si el clima es, o no, favorable para su producción. Este método tiene como resultado que muchos cultivos no tengan las características apropiadas para su venta, por lo tanto, representa pérdidas significativas para los floricultores y para la economía del país.

En este trabajo se pretende diseñar y desarrollar un sistema de monitoreo inalámbrico utilizando una red de sensores que permita medir las variables climáticas que afectan el crecimiento de la orquídea. Adicionalmente, este sistema permitirá medir las variables climáticas con precisión, seguridad en la trasmisión de los datos, bajo consumo energético, fácil mantenimiento y podrá instalarse en otros invernaderos.

CAPÍTULO 1

1.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ORQUÍDEAS

Las orquídeas, por su belleza y elegancia, son las plantas más cotizadas del mundo. Su existencia se remonta hace 65 millones de años, el nombre orquídea fue usado por primera vez por el filoso Teofrasto que firmó el tratado sistemático de botánica farmacológica "De historia platarum" en la antigua Grecia, entre el siglo VI y V; donde se hablan de plantas que presentaron 2 tubérculos en base de su raíz. Teofrasto del parecido con los testículos de los hombres las llamo "Orchis" que en griego significa "testículos" de ahí el nombre orquídeas [9] [10].

Estas plantas conforman la familia más extensa comprendidas entre 25 000 a 30 000 especies alrededor del mundo pertenecientes al reino vegetal [11], caracterizadas por generar flores exuberantes y la dificultad de su cultivo, dichas plantas tienen una característica muy diferente a las demás, ya que se pueden dar bajo condiciones artificiales y forma silvestre en lugares inhóspitos, paramos, climas tropicales o templados [12], donde ellas encuentran las variables climáticas ideales para su crecimiento.

En Ecuador, las orquídeas son consideradas una de las plantas más significativas a nivel económico, debido a las condiciones climáticas que presenta el país [1]. El cultivo de orquídeas produce la segunda especia más exportada por Ecuador. Dentro de la gran variedad de especies existentes las más cultivadas son: cymbidium y phalaenopsis, las cuales se pueden observar en las Figuras 1.1 y 1.2.

Figura 1.1 *Orquídea cymbidium*

Fuente: *Autor*

Figura 1.2 *Orquídea phalaenopsis.*

Fuente: *Autor*

1.2.1 MORFOLOGÍA

Las morfologías de las orquídeas son de gran variedad, pero en términos generales son: plantas herbáceas perennes, monocotiledóneas que se caracterizan por la complejidad de sus flores, siendo hermafroditas, zigomorfas y trímeras. La estructura de esta flor está conformada por pétalo, sépalo, columna y labelo [13] [14].

- Los sépalos forman el cáliz de una flor de la orquídea, envuelven a las partes de la orquídea en la primera fase de desarrollo y se encuentran en la parte externa o circulo externo que forman los sépalos.
- Los pétalos se encuentran en la parte interior de la orquídea son de gran tamaño y colores vistosos, el tamaño de estos suele ser más grande que el labelo.
- Labelo generalmente es la parte más atractiva de la flor, tiene como función actuar como un atractivo para la polinización, puede estar dividió en varios lóbulos o en uno solo.
- La columna es también conocida como ginostemo, es una estructura reproductora en el centro de la flor de la orquídea, el estigma se sitúa en el apéndice de la columna en el frente, pero ligeramente apuntando hacia abajo, como se observa en la Figura 1.3

Las flores de las orquídeas tienen una gran diversidad y variedad de formas, producen néctar, aceites, perfumes y alimentos que atraen a los insectos y aves, que al colectarlos provocan la polinización [13].

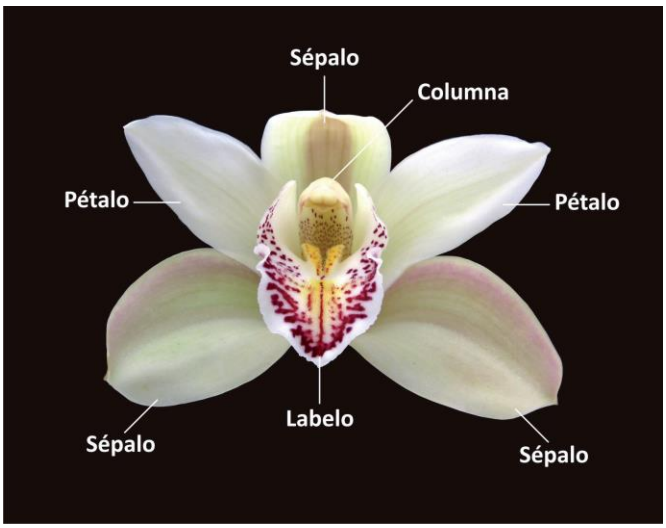


Figura 1.3 *Estructura de una flor de orquídea.*

Fuente: *Autor*

1.3.1 TAXONOMÍA

Para la clasificación de las orquídeas se utilizan diferentes categorías las cuales se colocan según un orden definido como se muestra en la Figura 1.4.

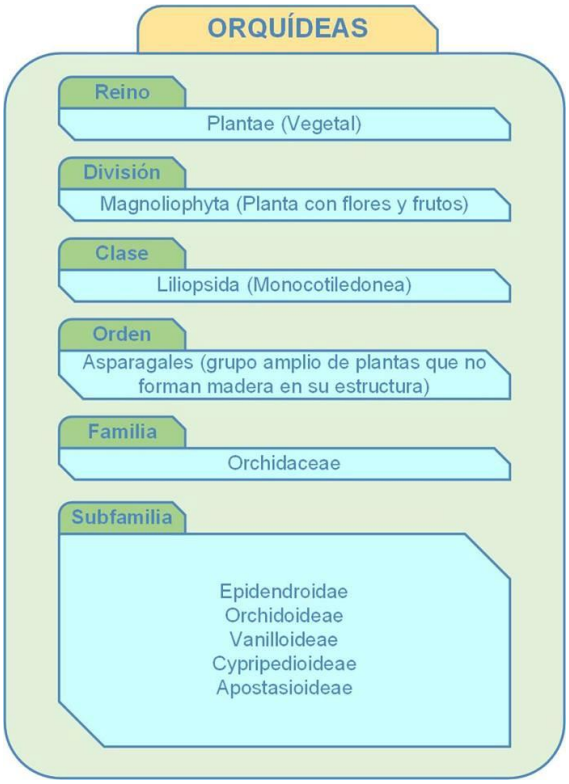


Figura 1.4 *Clasificación de las orquídeas.*

Fuente: *Autor*

La morfología de la orquídea permite definir una clasificación de acuerdo al eje de crecimiento, en dos grupos que son [15]:

- Crecimiento monopodial: son conocidas como Phalaenopsis, tienen un crecimiento vertical, siendo plantas con un único tallo, del que nacen nuevas hojas por apice mersitematico, de entre las nuevas hojas nace el tallo floral y las raíces aéreas, como se observa en la Figura 1.3.
- Crecimiento simpoidal: son conocidas como Cymbidium, presentan un crecimiento horizontal son plantas con varios tallos que brotan de un rizoma. Los nuevos tallos crecen desde la base del tallo anterior y las flores de las orquídeas nacen del nuevo tallo, como se observa en la Figura1.3.

1.4.1 CUIDADO Y DESARROLLO

La familia de las orquídeas es considerada una especie complicada de cultivar. Principalmente por su taxonomía. Por lo general para el cultivo se tiene dos opciones: Primero es la selección de la orquídea cuyos requerimientos climáticos estén dentro de las posibilidades climáticas del lugar donde se va a trabajar. Segundo

es ajustar las condiciones climáticas del lugar, lo más aproximado a las necesidades de la planta.

De manera general y dependiendo del tipo de planta, se necesitan de 5 factores para el desarrollo de forma adecuada de la planta: luz, humedad, CO2, temperatura y fertilización. En la tabla 1.1 se presentan los valores de los diferentes factores a considerar para el cultivo de la planta de manera óptima [16].

Tabla 1.1 *Factores para cultivo de orquídeas[16].*

Factores a considerar para el cultivo de las orquídeas				
Luz	Humedad	C02	Temperatura	Fertilización
De 30% a 80% de luz indirecta	Humedad relativa del aire de 60% a 80%	Del 10%-20% cuando se da el cambio brusco de temperatura	Diurna de $18C^o$-$26C^o$ nocturna de $12C^o$-$23C^o$ dependiendo del tipo de orquídea	Una vez por semana o cada 15 días. con cortezas o musgo etc.

En cuanto al cultivo de una especie de planta se refiere, existen otros aspectos que influyen y pueden provocar la muerte de la misma. Un aspecto importante son las plagas y enfermedades, las cuales están presentes en circunstancias ecológicas naturales. Adicionalmente, la actividad bajo condiciones artificiales puede ocasionar poblaciones de plagas desmesuradas y enfermedades [15] [16].

Las plagas más comunes que atacan con frecuencia a las orquídeas son [17]:

- Áfidos (pulgones); son insectos de color verde claro que atacan las partes internas, como nuevos brotes, inflorescencias y botones.
- Araña roja; son ácaros de color amarillento que absorben la savia de la planta dejando la hoja moteada de blanco y amarillo.
- Algodoncillos y escamas; los algodoncillos son de apariencia blanquecina y las escamas son de color crema redondas, generalmente para contrarrestar estas plagas y enfermedades se usa métodos artesanales, matando con los dedos los insectos, elevando la humedad en un porcentaje que afecte a los insectos y el uso de insecticidas en un 70%.

1.2 TECNOLOGÍAS APLICADAS AL SISTEMA DESARROLLADO

La agricultura ha dejado de ser una labor artesanal. Hoy en día con el desarrollo de la tecnología se han dado avances tecnológicos en busca de grandes cosechas, mejores cultivos y mayor producción; logrando así una mejor calidad de los productos. Los avances para el sector agrícola van desde maquinaria para la cosecha hasta invernaderos inteligentes. Estos avances se han introducido la tecnología más moderna en el sector agrícola sustituyendo las metodologías tradicionales.

1.1.2 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS APLICADAS AL SECTOR AGRÍCOLA

Las redes inalámbricas cubren las necesidades de comunicación, de forma flexible en tiempo, espacio, autónomas, autoconfiguración e independiente de una estructura con la posibilidad de implementar y reenviar la información de forma inalámbrica a un centro de coordinación son clasificadas según su cobertura en:

1.2.2 RED DE ÁREA AMPLIA (WAN)

Una red de área amplia o también llamadas WAN (*del inglés Wide Área Network*), son utilizadas para dar cobertura inalámbrica y están diseñada para cubrir distancias desde 100Km hasta 1000Km. Estas redes permiten compartir dispositivos y tener un acceso rápido y eficaz ya que proporciona un medio de trasmisión a larga distancia de datos, voz, videos sobre grandes áreas geográficas [18][19].

Características

- Cobertura y operación de área geográfica extensa.
- Permite el acceso a través de interfaces seriales a menor velocidad.
- Velocidad parcial y continua.

1.3.2 REDES DE ÁREA LOCAL (LAN)

También son conocidas como LAN (*del inglés Local Área Network*), son redes de área local, esta red es usada para interconectar computadoras personales o estaciones de trabajo en una oficina o edificio permitiéndoles compartir servicios, archivos, impresoras etc. Este tipo de redes dan paso a la conexión inalámbrica, con velocidades entre 10 y 100Mbps. Dentro de la red LAN podemos encontrar WIFI y

WIMAX que son redes utilizadas para aplicaciones que requieren ancho de banda y altas tasas de trasmisión como en el caso de envío de datos, video y VoIP [20] [21].

Características

- Operan dentro de un área geográfica limitada.
- Administración y control de red de forma privada y local.
- Conectividad continua a servicios locales.

1.4.2 REDES DE ÁREA PERSONAL (PAN)

Las redes PAN (*del inglés Personal Área Network*) constituyen uno de los campos de más rápida evolución en el área de las redes informáticas. Es una red de computadoras utilizadas para la comunicación entre dispositivos que se encuentras situados en el entorno personal y local del usuario: casa, parques, trabajo, entre otros. Actualmente existen diferentes tecnologías que permiten el desarrollo de una red privada que sea segura y confiable para la trasmisión de datos. Los protocolos más utilizados se encuentran: Bluetooth y ZIGBEE, estos presentan las siguientes características [20] [21]:

- Bluetooth es una red que permite una velocidad hasta de 1Mbps y cobertura máxima de 30m con bajo consumo energético. Uno de sus inconvenientes es la baja velocidad de respuesta en aplicaciones en tiempo real.
- ZIGBEE es ideal para aplicaciones en distancias que no superen los 300m. Su característica principal es el ahorro de energía con requerimientos de ancho de banda y la baja tasa de trasmisión de datos.
- Cada uno de estos protocolos es un conjunto de normas para formatos de mensajes y procedimientos que permite la comunicación y el intercambio de datos entre máquinas y aplicaciones.

1.5.2 REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA PERSONAL (WPAN)

Las redes WPAN (*del inglés Wireless Personal Área Network*) son redes inalámbricas de corto alcance diseñadas para abarcar un área pequeña de hasta 100 metros, este tipo de red se utiliza generalmente para conectar dispositivos periféricos como: impresoras teléfonos móviles o electrodomésticos.

Características

- Requiere muy poca o nula infraestructura
- Diseñada en base a protocolos simples
- Ideal en aplicaciones para control y monitoreo industrial

1.3 PROTOCOLO IEEE 802.15.1 (BLUETOOTH)

Ericsson Mobile comunicados AB en 1994 promovió el desarrollo de la tecnología bluethooth a través de un proyecto de enlaces de comunicaciones múltiples conectados a la red celular utilizando teléfonos, en 1998 IBM, Ericsson, Toshiba e Intel generaron el consorcio Bluetooth [22].

Bluetooth es un estándar IEEE 801.15.1 de comunicaciones utilizado para redes de área personal (WPAN), mediante señales de radio frecuencia permitiendo la trasmisión de voz y dato, el objetivo de este estándar es eliminar el medio guiado entre dos o más dispositivos electrónicos [23].

1.4 PROTOCOLO IEEE 802.15.4 (ZIGBEE)

El conjunto de estándares IEEE 802 hace referencia a redes de comunicación inalámbricas cuyas características y capacidades que varían según el propósito o el rango de uso de las mismas, y tienen en común la ausencia de cables [24].

La parte 15.4 del estándar IEEE 802 contiene las especificaciones para el control de acceso al medio inalámbrico (*Wireless Medium Access Control*) y Capa Física (*Physical Layer*) de las denominadas Redes de Área Personal inalámbricas de baja tasa de trasmisión [25].

El estándar abarca únicamente la definición de la capa física y la de control de acceso al medio (capas más bajas del modelo OSI) para las redes LR-WPANs *(del inglés Low Rate Personal Área Networks*). Son redes con baja tasa de trasmisión, compuestas por nodos móviles y fijos, con bajo consumo de energía, operando típicamente en un entorno de ámbito personal como vivienda, oficina, etc [24] [25].

Las redes WPANs, tiene como objetivo el trasporte de información sobre distancias relativamente cortas. Las comunicaciones vía WPANs necesitan una escasa

infraestructura. Esta característica permite implementar soluciones a dispositivos para que sean eficientes en consumo de energía y económicos [25].

1.1.4 TECNOLOGÍA ZIGBEE

El termino ZigBee está inspirado en el sonido de una abeja haciendo una analogía entre el insecto y los nodos de la red. Las abejas utilizan un movimiento en Zig-Zag para comunicarse entre ellas compartiendo información relacionada con dirección, distancia y ubicación de alimento con cada miembro de la colmena. ZigBee emula esta coordinación en la comunicación creando una red con coordinadores y nodos para trasmitir la información [26].

La tecnología ZigBee se define como un protocolo de comunicación inalámbrico basado en el estándar IEEE 802.15.4 normalizado para redes de área personal (WPAN). El cual contiene las especificaciones de control de acceso al medio inalámbrico (*Wireless Medium Accsess Control*) y la capa física (*Physical Layer*) con bajas tasas de trasferencia de información y bajo consumo energético. Esta tecnología es ideal para aplicaciones en redes de sensores en medios industriales, agrícolas, médicos y principalmente en domóticos e inmoticos [26] [27].

El estándar fue desarrollado por ZigBee Alliance, una organización con numerosas empresas vinculadas a la fabricación y desarrollo de semiconductores, las empresas más representativas podemos anotar que son: Motorola, Philips Mitsubishi, Invens entre otras [27].

Características generales

Bandas de operación. - funcionamiento en frecuencias de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos) son bandas libres ISM (*Industrial Scientific & Medical*).

Método de acceso. - se plantea el acceso mediante el canal CSMA/CA (*del inglés Carrier sense multiple Access with collision avoidance*) es decir chequea el canal antes de trasmitir para evitar colisiones con otras trasmisiones.

Protocolos. - funciona con un protocolo asíncrono, half-duplex estandarizado.

Ancho de banda. - transferencia de datos a 250kbps para la banda de 2.4GHz, de 40kbps para la banda de 915 MHZ y 20kbps para la banda de 868 MHZ.

Área de cobertura. - el rango de cobertura de los dispositivos ZigBee es de 10 a 100metros.

Numero de dispositivo. - Una red ZigBee puede contener un máximo número de 65.536 dispositivos distribuidos en sub redes de 256 nodos.

Aplicaciones. - la tecnología ZigBee puede abarcar automatización de edificios, control industria, control y monitoreo agrícola, cuidado personal y salud, electrónica de consumo, domótica y hogar Digital, entre otras.

1.2.4 DISPOSITIVOS DE UNA RED ZIGBEE

Los dispositivos de una red ZigBee se pueden observar en la Figura 1.5. Sus principales características son:

- **Coordinador (maestro).** - El coordinador es el responsable de estableces un canal de comunicación y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Cuando se establece los parámetros de la comunicación PAN ID, el coordinador forma una red en la que permite la conexión del Router y los dispositivos finales (esclavos) [29].
- **Router.** -Es el encargado de la comunicación entre dispositivos que se encuentran fuera de la cobertura de la red, es decir el router representa a un nodo que crea y mantiene información de toda la red, determina la mejor ruta para enviar un paquete de información [29].
- **Dispositivo esclavo.** -Un dispositivo final posee la característica de comunicarse con el nodo principal o coordinador, este dispositivo solo puede acceder a la red para visualizar o adquirir datos, pero no puede trasmitir información a ningún dispositivo de la red. Generalmente, los dispositivos esclavos tienen un bajo consumo de energía debido a que pueden pasar un largo tiempo en reposo, por lo tanto, no trasmite ninguna información [29].

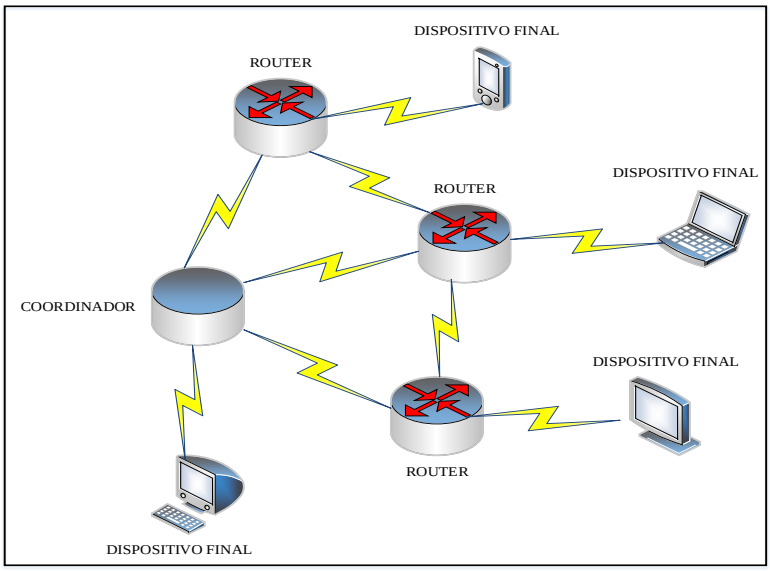


Figura 1.5 *Tipos de dispositivos de una red.*

Fuente: *Autor*

De acuerdo a la funcionalidad se puede clasificar en:

1.1.4.2 Dispositivos con funciones Completas (FFD)

Son dispositivos que puede funcionar como coordinador o router, puedes implantarse en cualquier tipo de topología ya que poseen la memoria y capacidad computacional necesaria además de comunicarse con otros dispositivos FFD o RFD [30].

1.2.4.2 Dispositivos con funciones reducidas (RFD)

Estos dispositivos no poseen la capacidad de almacenamiento y procesamiento por lo que sus aplicaciones son sencillas debido a que tiene baja tasa de envío y recepción de datos. Estos dispositivos solo pueden ser implementados solo en topología estrella, ya que se comunicación únicamente con dispositivos FFD [30].

1.3.4 TOPOLOGÍA DE LA RED

Existen tres tipos de topologías: estrella, árbol y malla

1.1.4.3 Topología estrella

Este tipo de topología se configura un solo coordinador de la red, el cual es el responsable de inicializar todos los dispositivos en la misma, el resto de elementos se comportan como dispositivos esclavos. Cada mensaje debe pasar por el nodo

coordinador el cual enruta la información al correspondiente dispositivo. En la Figura 1.6 se muestra la estructura de una red en topología estrella [31].

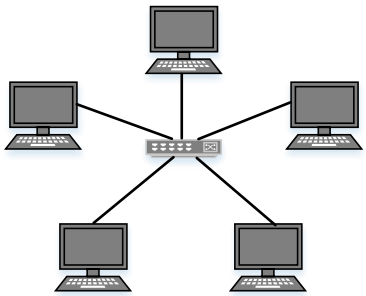


Figura 1.6 *Estructura de una red tipo estrella.*

1.2.4.3 Topología en árbol

La topología en árbol está conformada por varias sub redes y en la cual el coordinador es el encargado de formar el primer clúster. Pero este tipo de topología permite que el coordinador pueda se precedido por otros routers que, de acuerdo a la ubicación del destinatario en la topología de la red, se enrutaran los paquetes. Los dispositivos esclavos no pueden comunicarse entre sí. En la Figura 1.7 se muestra la estructura de una red tipo árbol [31].

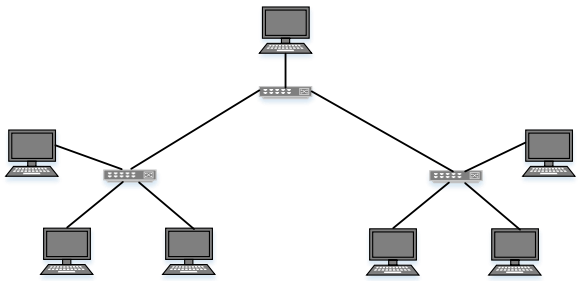


Figura 1.7 *Estructura de una red tipo árbol.*

1.3.4.3 Topología malla

En esta configuración el nodo coordinador es el responsable de inicializar la red y elegir los parámetros de la red. En esta topología al menos un nodo tendrá más de dos conexiones. Este tipo de topología permite a la red enrutar por diferentes caminos la información y así mantener la comunicación entre los dispositivos. En la Figura 1.8 se muestra la estructura de una red tipo malla [31].

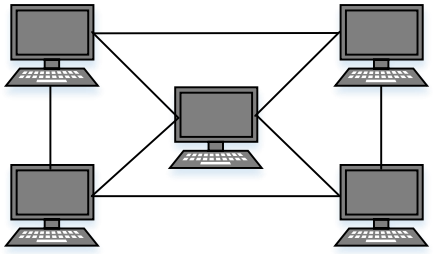


Figura 1.8 *Estructura de una red en malla.*

1.5 HARDWARE ABIERTO

1.1.5 ARDUINO

Arduino es una placa electrónica diseñada con microcontroladores ATMEL. Que permite crear aplicaciones utilizando los datos provenientes de una alta variedad de sensores y actuadores como lo son: sensores de luz, nivel, motores, luces etc. Está basado en hardware y software fáciles de usar debido a que la programación y los periféricos son de código abierto. La Figura 1.9 muestra la tarjeta Arduino uno [32].

Figura 1.9 *Arduino uno.*

Fuente: *Autor*

Características más resaltantes:

- Velocidad alta de procesamiento superior a un microcontrolador.
- Bajo costo.
- Multi- plataforma trabaja en todos los sistemas operativos.
- Entorno de programación simple y directo.
- Código abierto y disponibilidad de librerías para sensores.

1.2.5 RASPBERRY PI3

Raspberry es una placa electrónica está diseñada con chip broadcom BCM2835 con procesador ARM hasta de un 1 GHz de velocidad en la que se tiene a disposición una página web. El sistema operativo es Linux basada en Debian, a la que se puede acceder mediante su salida HDMI y un monitor. El raspberry es un diseño electrónico que permite desarrollar programas y acceder a internet debido a que posee un puerto ethernet Rj-45 y una antena wifi. El raspberry es como una computadora de dimensiones pequeñas (85 x 54 mm). La Figura 1.10 muestra la tarjeta Raspberry PI3 [33].

Figura 1.10 *Raspberry PI3.*

Fuente: *Autor*

Características más resaltantes:

- Procesa ARM Cortex A53 de 4 nucleos 1.2GHZ.
- Antena WiFi y módulo bluetooth incluidos.
- Mayor temperatura de funcionamiento de 65^0C.
- Cuatro puertos USB.

1.3.5 MODULO XBEE

Los módulos XBee-pro son diseñados para cumplir los estándares IEEE 802.15.4 que especifican la comunicación ZigBee. Soportan las necesidades de las redes de sensores inalámbricos por su bajo costo y consumo energético. Los módulos requieren una potencia mínima y son confiables en la entrega de datos entre

dispositivos. Trabajan dentro de la frecuencia de ISM 2.4GHz, generalmente se usan sobre un socket, por lo tanto, no necesitan ser soldados sobre una placa. El modelo Pro 2 se conecta a un dispositivo host a través de un módulo asíncrono a nivel lógico puerto serial, a través de su puerto serial, estos modulo pueden comunicarse a cualquier lógica y voltaje UART. La Figura 1.11 muestra el Modulo XBee [34].

Figura 1.11 *Módulo XBee*

Fuente: *Autor*

Características más resaltantes:

- Comunicación punto a punto, punto –multipunto y redes malladas (mesh).
- Alcance de trasmisión 122 metros.
- La antena es un chip de cerámica más cerca de la placa principal para hacerlo más pequeño.
- Velocidad máxima de trasmisión hasta de 1 Mbps.
- Bajo consumo de energía.
- Temperatura de funcionamiento de -40^0C a 85^0C.

1.6 SENSORES

1.1.6 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

El modelo DHT22 es un sensor de humedad y temperatura que permite medir las dos variaciones simultáneamente, es de bajo costo con una interface digital, posee un protocolo de comunicación serial propio, ocupa una conexión de sus pines para cada uno de las variables que se desean medir. Sus elementos de conexión están conectados a un chip de 8 bits, cada sensor de este modelo es compensado por temperatura y calibrado en cámara de calibración precisa y el coeficiente de calibración se guarda en el tipo de programa en la memoria OTP, cuando el sensor

detecta la variación de humedad o temperatura [35]. La Figura 1.12 muestra el sensor de humedad y temperatura.

Figura 1.12 *Sensor de humedad y temperatura.*

Fuente: *Autor.*

Características más resaltantes:

- Procesamiento de señal mediante un microcontrolador interno.
- Está formado de un sensor capacitivo y un termistor.
- No necesita calibración.
- No necesita un diseño de circuito externo para condicionar la señal o usar el sensor.
- Alta fiabilidad de captación de datos y procesamiento.
- Mayor rango de medición para temperatura y humedad.

1.2.6 SENSOR DE LUZ

El modelo del sensor de luz es el TEMT6000 es un phototransistor epitaxial NPN de silicio para montaje superficial. Está diseñado como un sensor para medir la luz ambiente, su aplicación es muy sencilla debido a que actúa como un transistor, es decir entre mayor luz de captación tenga mayor es el voltaje. El pin denominado SIG permite obtener el voltaje asociado a la intensidad lumínica captada por el fototransistor, el valor de su salida va desde 0 a 5v de acuerdo sea la intensidad. La Figura 1.13 muestra el sensor de luz [36].

Figura 1.13 *Sensor de Luz.*

Fuente: *Autor*

Características más resaltantes:

- Montaje SMD para PCB.
- Adaptado para la receptividad del ojo humano.
- Angulo de captación $\pm$60 grados.
- Temperatura de funcionamiento de -40^{0}C a 70^{0}C.

1.3.6 SENSOR DE CO2

El MQ-7 es un sensor diseñado para la detección de monóxido y dióxido de carbono, miden la concentración de este gas en el aire. Este sensor puede medir concentraciones de gas entre 20 a 2000 partes por millón (ppm), posee alta sensibilidad y rápida respuesta al momento de su medición, el sensor está constituido por 4 pines, dos de los cuales son una salida analógica y una salida digital. la conexión de este sensor requiere de solo 5v continuos para su funcionamiento, la detección del gas a medir dependerá de la calibración que se realice en él, ya que puede medir los dos gases y dependiendo del diseño de nuestra aplicación y podremos obtener la medición del gas deseado. La Figura 1.14 muestra el sensor de CO2 [37].

Figura 14 *Sensor de CO2*

Fuente: *Autor*

Características más resaltantes:

- Salida analógica y digital.
- Voltaje de alimentación de 5v.
- Aplicación industrial.
- Ajuste de umbral para la salida digital.
- Bajo costo.
- Fácil acondicionamiento de la señal.

CAPÍTULO 2

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el diseño de una red de sensores para el monitoreo de variables climáticas en un invernadero de orquídeas. Se detallarán las características, prestaciones y la aplicación de la tecnología seleccionada para el desarrollo de la red, junto con el diseño para la adecuación de la señal adquirida, así como la transmisión, recepción, procesamiento y visualizcion de los datos en el escenario de pruebas.

2.1 DISEÑO DE RED Y DESARROLLO DEL SISTEMA

El diseño que se realizó para el desarrollo de una red de sensores con el fin de monitorear las variables climáticas en un invernadero de orquídeas está formado por 5 módulos: adquisición, Transmisión, Recepción, procesamiento y Visualización, como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 2.1

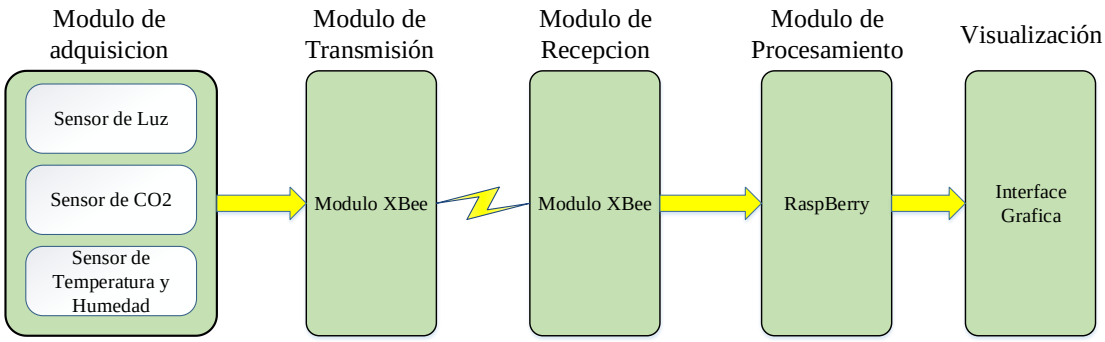


Figura 15 *Diagrama de bloques.*

Fuente: *Autor*

2.1.1 MODULO DE ADQUISICIÓN

El módulo de temperatura y humedad relativa conforman un solo encapsulado, permitiendo medir las dos variables simultáneamente, para esta medición es necesario el control por medio de un módulo Arduino Uno, el cual recibe del sensor una trama de datos de 40 bits, la cual constituye dentro de sus datos los valores de temperatura y humedad. Por ejemplo, para una trama recibida se tienen los bits 0000 0010 1001 0010 0000 0001 0000 1101 1010 0010, en los cuales los primeros 16 bits, muestran los valores de high humity y low humidity, los siguientes 16 bits representan los valores de high temp y low temp, con 8 bits para cada subtrama. Los

8 bits finales representan los bits de paridad para comprobar los valores de la trama. Por lo tanto, si el valor de los highest bits es igual a 1, la temperatura es negativa y si son 0, la temperatura es positiva. Para la humedad si los highest bits son 0, existe humedad de lo contrario no existe medición. Realizando los cálculos necesarios se obtiene un valor en hexadecimal que indica el valor esperado de humedad y temperatura.

Bus data calculation example:

0000 0010 1001 0010 = 0292H = 658 = 65.8% RH
0000 1101 1010 0010 = 10Dh = 269 = 26.9^0C

Este procedimiento sobre el bus de datos es realizado por la librería dht que nos estrega los valores de la temperatura y humedad en una trama a través del puerto serial del Arduino hacia el XBee.

Este procedimiento sobre el bus de datos es realizado por la librería dht que nos estrega los valores de la temperatura y humedad en una trama a través del puerto serial del Arduino hacia el XBee.

A diferencia de el modulo anterior los módulos de CO2 y luz se conectan directamente a los módulos XBee, debido a que trabajan en el mismo nivel de comunicación. Es decir, los transductores de los sensores de CO2 y Luz entregan un valor analógico entre 0 a 3.3v que es leído por el ADC del módulo XBee y convertido en una señal digital, Cada módulo de cada sensor es el encargado de armar la trama que contenga la información, dirección, tamaño etc. A su vez estos se conectan mediante radio frecuencia al módulo de trasmisión. Como se describe en la sección 2.2.3.

2.2.1 MÓDULO DE TRANSMISIÓN

El módulo de transmisión está constituido por un XBee que funciona como Access Point para los sensores. Enlaza todos los dispositivos finales a él y a su vez se conecta para él envió de los paquetes de datos con el módulo de recepción o coordinador. Él envió se da mediante radio frecuencia en la banda de 2.4GHz con modulación QPSK. La dirección única de cada módulo identifica que paquete de tramas proviene de cada módulo de adquisición.

2.3.1 MÓDULO DE RECEPCIÓN

El módulo de recepción o coordinador está conectado mediante el puerto serial a un Raspberry pi3. Es el encargado de recopilar todos los paquetes de datos enviados por el router o *Access point,* mediante radio frecuencia de 2.4GHz con modulación QPSK. El coordinador permite verificar que todos los módulos estén conectados al mismo PAN ID y recibe las tramas establecidas por cada módulo de adquisición para enviarlas hasta el RPI 3, por lo tanto independientemente de la dirección de cada dispositivo final, el coordinador recibe en orden en la información, si todos los datos llegan al mismo tiempo o existe alguna colisión, este dispositivo es el encargado de poner los datos en cola identificarlos y recibir en el orden de llegada para evitar que la información se pierda.

2.4.1 MODULO DE PROCESAMIENTO

El procesamiento de los datos lo realiza un Raspberry pi3, en el cual se ha programado todo el procesamiento de las tramas recibidas. Cada trama es identificada de acuerdo a la dirección de cada módulo XBee, las direcciones son: 402c75bc para el sensor de humedad y temperatura, 402c75bd para el sensor de luz, 402c75d2 para el sensor de CO2. Una vez establecidas las direcciones se importan las librerías *struct*, math, MySQLdb, xbee, ZigBee para proceder a realizar los cálculos de cada variable adquirida, mediante la librería de xbee se importa a través del puerto seria los datos. Una vez establecido los datos médiante la librería *struct* se toman las tramas del primer sensor de Humedad y temperatura en la que desde bite 0 al 4 corresponden a la variable de humedad y de 4 en adelante corresponden a la temperatura. De igual manera se identifica la dirección correspondiente a los otros sensores, luego de obtener el valor del ADC se realiza el cálculo para obtener el valor de luz como el de CO2 y a su vez ese resultado almacenarlo en una base de datos, la cual crea tablas con la información recopilada mediante la importación de la librería MySQLdb.

Los datos procesados y almacenados en una base de datos MySQL son llamados a través de un segundo *script* en el cual se encarga de recuperar los datos del servidor y

transfórmalos en un formato llamado JSON (*de inglés javaScript Object Notation)* que es un formato ligero para intercambio de datos, debido a que puede ser leído por cualquier lenguaje de programación. Este formato almacena la cantidad, nombre y tipo de variable medida, en forma de un *array*.

Mediante métodos de post y get se recupera los datos del servidor web, se asigna mediante la variable timestamp el valor y el tiempo de cuando se realizó la medición, luego se procede a especificar qué valor es temperatura-humedad y que valor es el tiempo, por ejemplo "x" para temperatura y "y" para humedad, esos valores son obtenidos del array, de igual forma se asigna para las varíales de luz y CO2 del array que se crea para cada variable. Finalmente, el scrip ejecuta el index.html el cual permite visualizar los datos en graficas según programación del index.

2.5.1 INTERFACE GRAFICA

La visualización de los datos es a través de una dirección IP establecida, esta dirección se coloca en un navegador web y el index.HTML ejecutado en el script de la sección 2.1.4 permitirá al usuario observar mediante graficas amigables las mediciones realizadas por el sistema. Como se puede observar en la Figura 2.2.

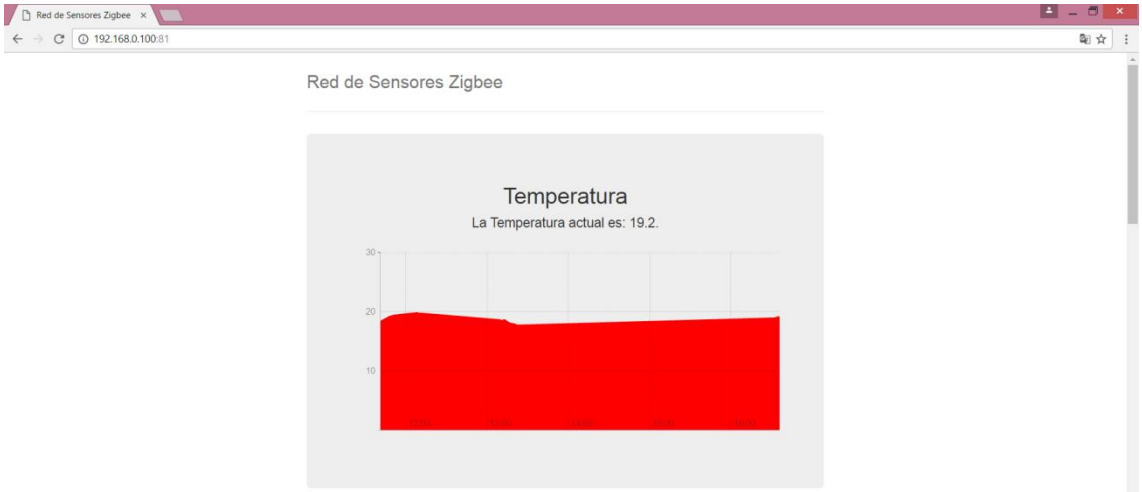


Figura 16 *Interface gráfica.*

Fuente: *Autor*

2.2 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

Los dispositivos que se seleccionaron para desarrollar el sistema planteado tomando en cuenta que se va a trabajar con variables climáticas y software libre son: Arduino,

Raspberry PI3, XBee Pro Series 2, Sensores (Humedad relativa y Temperatura, Luz y CO2).

2.1.2 ARDUINO

Para procesar las señales se humedad relativa y temperatura se ha seleccionado el Arduino Uno como se observa en la Figura 2.3. Este dispositivo se basa en un micro procesador ATmega328 que permite el manejo de librerías y velocidad alta de procesamiento, el voltaje de operación es de 5V y para nuestro objetivo permite manejar las salidas UART del módulo XBee Pro 2 que se detallara en la sección 2.3. Arduino nos permite la comunicación ya sea con un computador u otros arduinos dependiendo del modelo, en la Tabla 2.1. se detallan las características del Arduino Uno [32].

Figura 17 *Arduino Uno*

Fuente: *Autor*

Tabla 2.1 *Características técnicas Arduino Uno [32].*

Características técnicas Arduino Uno	
Voltaje de operación	5v
Pines de entrada-salida digital	14, 6 pueden usarse como salidas PWM
Entradas analógicas	6 pines
DC corriente pin I/O	40mA
DC corriente pin 3.3v	50mA
Memoria flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16MHz

2.2.2 RASPBERRY PI3

Para almacenar y procesar los datos de una red de sensores de un invernadero se requiere de un dispositivo central que permite la conexión con el coordinador de la red y el manejo de los datos de los nodos de la red. Para este trabajo se ha seleccionado el Raspberry Pi3, el cual se muestra en la Figura 2.4 [33].

El Pi3 es la tercera generación de Raspberry Pi, su tecnología está basada en un procesador Broadcom BCM2835 chipset con una velocidad superior de 1GHz, con antena Wifi integrada que permite la conexión y transmisión de datos del proyecto directamente a la red sin necesidad de usar una antena periférica en el puerto USB como sus modelos anteriores. Adicionalmente, permite desarrollar un servidor web y diseñar la página web donde se muestran las gráficas de las variables climáticas censadas por los nodos, la Tabla 2.2 se muestra las características del Raspberry Pi3.

Figura 18 *Raspberry Pi3*

Fuente: *Autor*

Tabla 2.2 *Características Técnicas Raspberry PI 3 [33]*

Características Técnicas Raspberry PI3	
Core Procesador (SoC)	Broadcom BCM2837 Quad-Core 1.2Ghz
Benchmark Score	2092
Ram	1GB ram
Display	HDMI con HD resolution
NIC	100M LAN
Audio	48K716bit
Wi-Fi	Wi-Fi 802.11 b/g/n
Bluetooth	4.1 + LE
SDIO	SDIO 2.0
Official Supported OS	Linux, Debian

2.3.2 XBEE PRO SERIES 2

Para la adquisición, procesamiento y trasmisión de los datos adquiridos por los sensores, se ha seleccionado el módulo XBee Pro Series 2 el cual se observa en la Figura 2.5 [34]. Este dispositivo proporciona conectividad inalámbrica con otros dispositivos de la misma serie, además permite crear una red Zigbee bajo los entandares IEEE 802.15.4 descritos en la sección 1.3. Una de las características más importantes del XBee, es que permite configurar su modo de funcionamiento en función de la aplicación desarrollada en este proyecto lo cual facilita su implementación. Para el uso específico del módulo XBee se configura el dispositivo en modo de operación API, como se describe en la subsección 2.1.2.3 La Tabla 2.3 muestra las características del XBee Pro series 2.

Figura 19 *Modulo XBee Pro series 2*

Fuente: *Autor*

Tabla 2.3 *Características XBee Pro series 2 [34].*

Características XBee pro series 2	
Indoor/Urban Range	Up to 90m, up to 60m
Outdoo RF line-of-sight Range	Up to 3200m, up to 1500m
Transmit Power Output	50mW(+17dBm) 10mW(+10dBm)
RF Data Rate	250 bps
Data Throghput	Up to 35000 bps
Serial Interface Data Rate	1200bps -1Mbps
Reciever Sensitivity	-102 dBm

2.1.2.3 Modo de operación API

Cuando un módulo XBee está configurado en modo API permite el uso de tramas con cabeceras que aseguran la entrega de los datos, toda la información que entra y

sale es empaquetada en tramas, que definen operaciones y eventos dentro del módulo. Este modo hace que el módulo XBee espere por una secuencia especifica de bytes que indican que tipo de operación se deberá realizar. Cada una de estas secuencias se las conoce como *frame* o paquete, y dependiendo del contenido de cada frame se llamará a una función específica u otra del modo de funcionamiento API. El modulo responde con secuencias dependiendo si lo que está reportando es un cambio en el estado del modem, en el estado de la trasmisión o si esta recibiendo un paquete de datos desde un nodo remoto [34].

Una trama de trasmisión de información incluye:

- Trama de información RF transmitida.
- Trama de comandos.

Una trama de recepción de información Incluye:

- Trama de información RF recibida.
- Comando de respuesta.

Notificaciones de eventos como Reset, Associate, Disassociate, etc.

Características de modo API

- Trasmitir información a múltiples destinatarios, sin entrar al modo comandos.
- Recibir estado de éxito/falla de cada paquete RF trasmitido.
- Identificar la dirección de origen de cada paquete recibido.

2.4.2 ESTRUCTURA DE TRAMA API

La estructura de la trama API se muestra en la Figura 2.6.

Figura 20 *Ejemplo de Trama*

Fuente: *Autor*

En la trama el primer byte 0x7E indica el comienzo de la trama, esto muestra que tipo de modo de funcionamiento está configurado. Los siguientes dos bytes indican solamente la longitud de la trama de datos que se especifica desde el byte más

significativo al menos significativo (*MSB = Most Sinificant Byte, LSB = Least significant Byte*) es decir toda la trama sin incluir el byte que indica el comienzo de la trama, la siguiente parte es la data frame o campo de longitud tiene un valor de dos bytes que especifican el número de bytes que se contendrá en el campo de datos de trama, pero no incluye el checksum. El checksum es un byte que permite probar la integridad de los datos, para calcular no incluye los delimitadores de la trama y la longitud, se agregan todos los bytes manteniendo solo 8 bits más bajos del resultado y se resta del 0xFF, es la suma de todos los bytes contenidos en el paquete, si la suma no coincide el paquete queda descartado [24] [25] [34].

2.5.2 SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA

Para la adquisición de las dos variables climáticas: humedad y temperatura, se ha seleccionado el sensor DTH22 [35], como se observa en la Figura 2.7. esta elección se basó en la capacidad del sensor de: medir simultáneamente dos variables, tiempo de muestreo menor a 2 segundos, precisión de + 05C +1C, rango de -40C hasta 80C y 0% a 90% de humedad relativa en condiciones adversa. En la tabla 2.4 se muestra las características del sensor DTH22.

Figura 21 *Sensor Temperatura y Humedad relativa*

Fuente: *Autor*

Tabla 2.4 *Características sensor DHT22 [35].*

Características técnicas	
Alimentación	3.3Vcc - 6 Vcc
Señal de salida	Digital
Rango de medida temperatura	-40^{0}C a 80^{0}C
Precisión temperatura	$\pm$0.5^{0}C
Resolución temperatura	0.1^{0}C
Rango de medida humedad	0 a 100%RH
Precisión	2%RH

Resolución humedad	0.1%RH
Tiempo de censado	2s

2.6.2 SENSOR DE LUZ

La captación de luz es importante en un cultivo bajo condiciones artificiales como las de un invernadero ya que de ello depende el crecimiento del cultivo. La adquisición de la luz se realizó con el sensor TEMT6000, el cual se puede observar en la Figura 2.8 [36]. Este dispositivo permite medir una longitud de onda de luz ambiente de 570nm soporta una temperatura de -40C hasta 85C y no se ve afectado por la humedad ambiental lo que representa una gran ventaja al trabajar bajo condiciones tropicales o frías. En la tabla 2.5 Se detallan las características técnicas del sensor TEMT6000.

Figura 22 *Sensor TEMT6000*

Fuente: *Autor*

Tabla 2.5 *Características sensor TEMT6000[36].*

Características técnicas	
Collector Emitter Voltage	6v
Emitter Collector Voltage	1.5v
Collect Current	20mA
Total Power Dissipation	100mW
Juntion Temperature	100^0C
Operation Temperature Range	-40 a 85^0C
Storage Temperature Range	-40 a 85^0C
Soldering Temperature	260^0C
Thermal Resistance Junction/Ambient	450K/W

2.7.2 SENSOR DE CO2

Para detectar el CO2 se utilizó el sensor MQ7. Este sensor, como se observa en la Figura 2.9, permite detectar la concentración de CO2 y CO [37]. El rango de concentración que puede detectar es de 20 a 2000ppm. Este sensor tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta menor a 2 segundos, la salida es analógica por lo que su implementación es muy sencilla. Para aplicaciones bajo condiciones

húmedas no presenta intermitencia en su funcionamiento. Su programación permite censar el gas deseado mediante una ecuación permitiendo medir el gas según la aplicación con alta precisión y fiabilidad. Las características del sensor MQ7 se pueden observar en la Tabla 2.9.

Figura 23 *Sensor de CO2*

Fuente: *Autor*

Tabla 2.6 *Características sensor MQ-7 [37].*

Características	
Voltaje	5v±0.1v
Heating voltaje(high)	5v±0.1v
Heating voltaje(low)	1.4v±0.1v
Heating time(high)	60s±1seconds
Heating time(low)	90s±1seconds
Oxigen concentration(O2)	Up to 21% (initial before heating)
Concentration(ppm)	20 a 2000ppm

2.3 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS

Para la medición de las variables climáticas en un invernadero de orquídeas se utilizan diferentes sensores descritos en la sección 2.2. La señal de salida de cada uno de ellos debe ser acondicionada mediante un diseño analógico, ya que los módulos XBee que trasmiten los datos al coordinador trabajan con un voltaje de 3.3v y el voltaje de alimentación es 5v. A continuación, se describe el diseño de cada uno de los dispositivos que requieren un acondicionamiento en su señal de salida.

2.1.3 DISEÑO DE CIRCUITO PARA EL SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA

Para el diseño del esquema de conexión del sensor de humedad y temperatura se utiliza un segundo dispositivo, debido a que este sensor envía una trama de datos que debe ser leída por un Arduino, este se encarga de procesar y armar una nueva trama

mediante la librería correspondiente y los datos procesados se trasmiten a través del puerto serial del Arduino hacia al puerto serial del XBee como se muestra en la Figura 2.10.

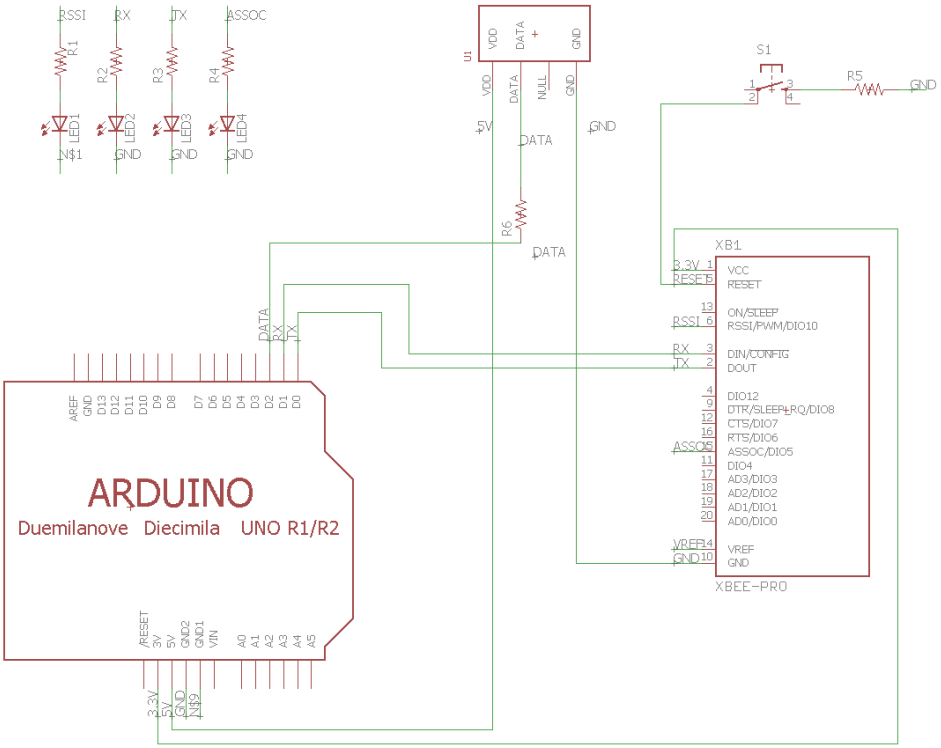


Figura 24 *Esquema de conexión del sensor de temperatura y humedad*

Fuente: *Autor*

2.3.2 Diseño de circuito para sensor de luz

En el diseño del sensor de luz no se quiere implementar ningún otro dispositivo para la lectura de las variables, debido que este sensor trabaja con el voltaje 3.3v por lo que es compatible con del módulo XBee. Este circuito requiere de un regulador de voltaje el cual reduce de 5v a 3.3v para alimentar a todos los dispositivos. Como se muestra en la Figura 2.11.

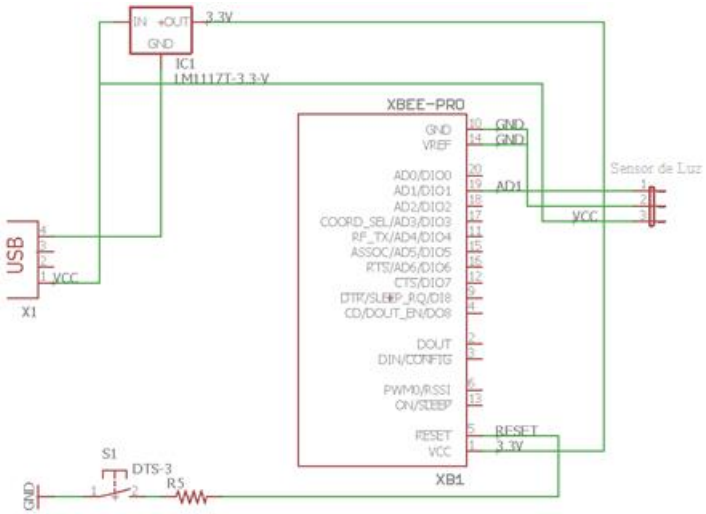


Figura 25 *Esquema de conexión del sensor de Luz*

Fuente: *Autor*

2.2.3 DISEÑO DE CIRCUITO PARA SENSOR DE CO2

Sensor de CO2 funciona de forma similar al diseño del sensor de luz mostrado en la sección 2.3.2, como se muestra en la Figura 2.12. Funciona directamente con el módulo XBee, la alimentación del circuito es de 5v por lo que se requiere de un regulador de 3.3v para reducir el voltaje y alimentar a todos los dispositivos.

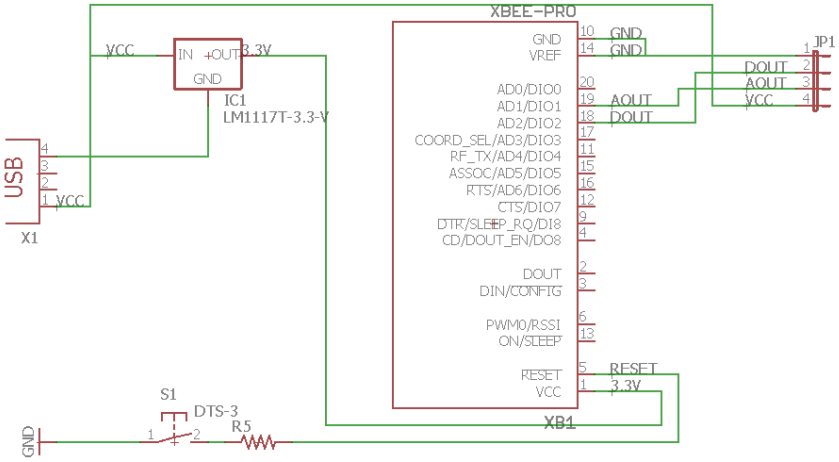


Figura 26 *Esquema de conexión del sensor de CO2*

Fuente: *Autor*

2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO

El diseño de un circuito impreso o PCB (*Del Inglés Print Circuit Board*), se realiza mediante un software especializad en diseño de componentes y circuitos. Para la

realización de este proyecto se seleccionó el programa Altium Designer. El criterio de selección para el uso de este programa fue: su gran capacidad de diseño, numerosas librerías de componentes y la creación de elementos que se requieran en el diseño de la aplicación. Adicionalmente, este programa permite diseñar y fabricar físicamente el circuito diseñado por el usuario.

Otra característica resaltante del programa Altium Designer es su capacidad de crear rutas que conectan a los dispositivos con las normas ya establecidas sin la necesidad de dar medida a las mismas. El resultado obtenido del diseño de la PCB, utilizado en este proyecto con programa Altium Designer, para el sensor de temperatura, luz y CO2, se muestra en las Figuras 2.13, 2.14 y 2.15, respectivamente.

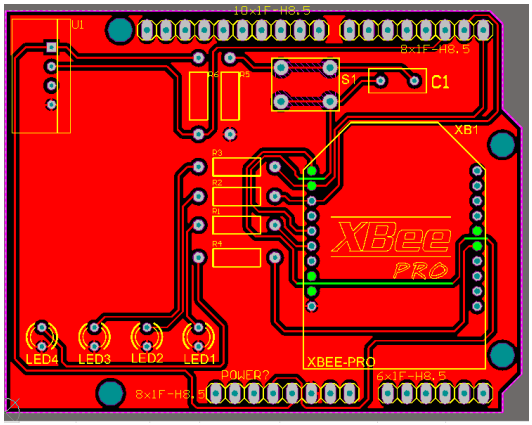


Figura 27 *Diseño de la PCB sensor Temperatura y Humedad realizado en Altium Designer.*

Fuente: *Autor*

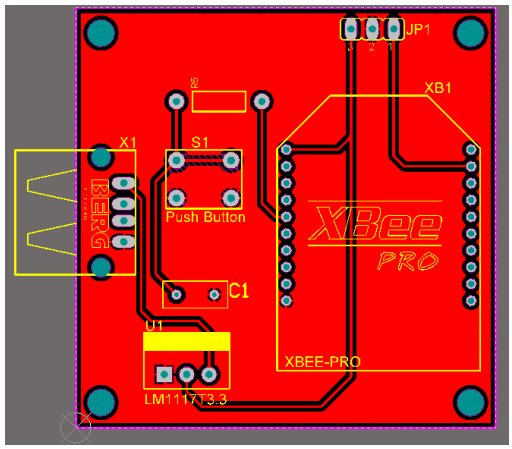


Figura 28 *Diseño de la PCB sensor Luz realizado en Altium Designer.*

Fuente: *Autor*

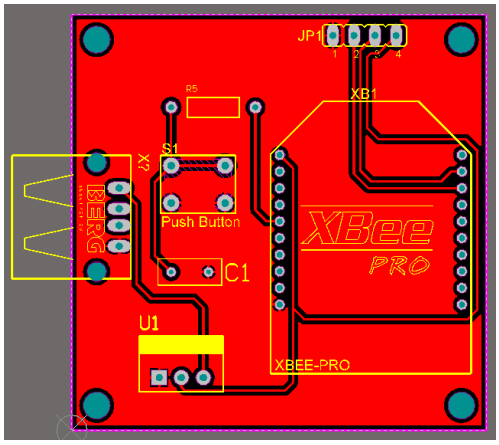


Figura 29 *Diseño de la PCB sensor CO2 realizado en Altium Designer.*

Fuente: *Autor*

Para la elaboración de la PCB se utilizó un proceso industrial mediante una empresa especializada en construcción de circuitos impresos llamada SME Electronik. En la parte superior de color café, tienen el diseño de cada elemento lo que permite colocar cada dispositivo en su posición correcta. La parte inferior de color verde está compuesta por hidróxido de aluminio y cada pista que conecta cada pin de los elementos es elaborada con cobre, la parte inferior requiere una protección para evitar degradación del cobre por lo que se utilizó una laca anti corrosiva y anti abrasión que le da el color verde y protege el cobre del ambiente y le da una apariencia brillante y verdosa. El resultado obtenido se muestra en las Figura 2.16, 2.17 y 2.18.

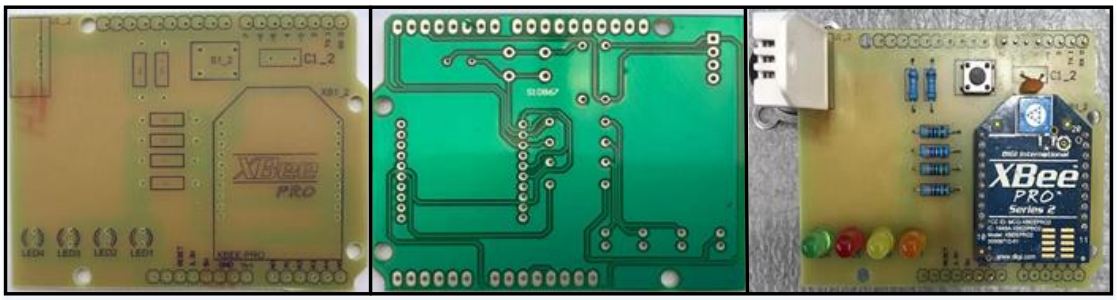


Figura 30 *PCB del sensor Temperatura y Humedad Relativa.*

Fuente: *Autor*

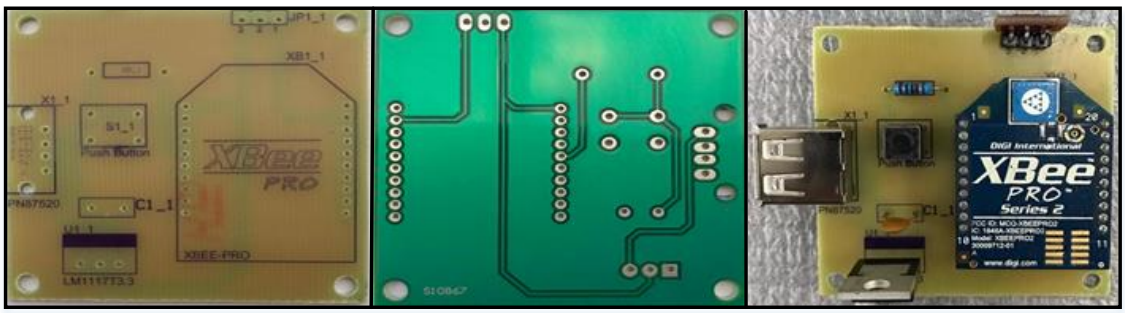


Figura 31 *PCB del sensor de Luz.*

Fuente: *Autor*

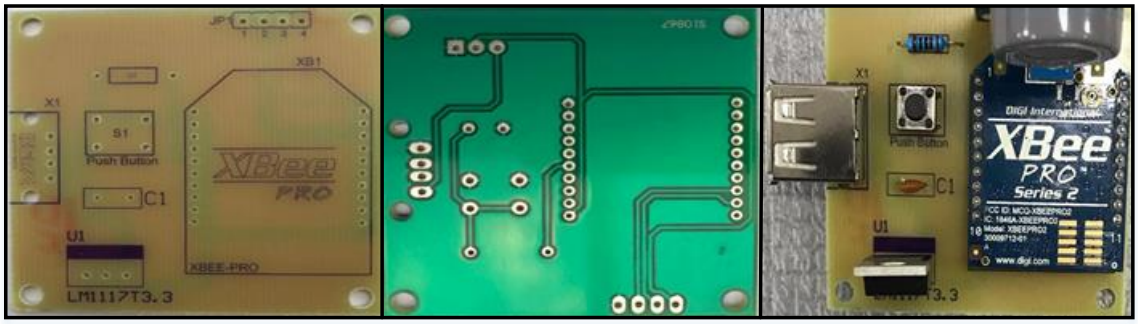


Figura 32 *PCB del sensor de CO2.*

Fuente: *Autor*

2.5 PROTECTOR PLÁSTICO DE LAS PCB´S

Una red de sensores para monitoreo de variables climáticas en un invernadero de orquídeas está compuesto por varios sensores y un coordinador, que requieren una protección a las variables presentes bajo un ecosistema artificial. Para proteger a los dispositivos empleados en este proyecto de las condiciones climáticas del invernadero se ha seleccionado un protector plástico con forma rectangular como se muestra en la Figura 2.19. Esta Carcasa permite aislar de la temperatura, humedad, lluvia, polvo, golpes, líquidos corrosivos y ofrece al equipo protección de desconexión ante la manipulación o cambio de lugar geográfico del módulo. El protector es un tetraedro plástico compuesto de poliuretano usado como material dieléctrico de color negro amigable con el medio ambiente. Las dimensiones del protector se encuentran en el apéndice A.

Figura 33 *Protector plástico de forma rectangular para las PCB´s*

Fuente: *Autor*

2.6 SIMULACIÓN DE LA RED

Existen varios simuladores para desarrollar redes virtuales y obtener datos que permitan determinar la eficiencia y aplicabilidad de nuestro diseño, que dependiendo de nuestra aplicación, podemos obtener el software de forma gratuita o mediante la compra de su licencia. para nuestra aplicación se ha seleccionado Link Plañir. El cual es una herramienta software de cálculo de enlaces punto a punto y multipunto, fácil de utilizar por su interface gráfica personalizada, para el diseño y configuración del enlace.

Link Plañir permite determinar el rendimiento del enlace y la aplicabilidad de la red en el lugar que se desarrolle el sistema de redes. Entre sus varias características se destaca la capacidad de configuración de antenas, equipos, ubicación geográfica que posee para calcular el rendimiento de la red a simular.

Para obtener el área que abarcara la red, ubicación de sensores y las coordenadas desde donde se trasmitirá y recibirá los datos, se utilizó un GPS garmin 720, el cual permite obtener datos reales de la ubicación en las que se que se colocará el sistema.

Las coordenadas se ingresan en el simulador junto con las características que el sistema debe contar como: frecuencia, distancia, equipos etc. Los equipos escogidos fueron XBEEpro S2B y mediante su documentación se obtuvieron los datos necesarios para configurar el enlace en la simulación.

La red de sensores maneja un área de 50m^2 por lo que se utilizara 5 sensores que cubren un radio de 2.6m.

El sistema costa con 3 elementos: router, coordinador, y dispositivos finales. Todos los enlaces entre los elementos del sistema son punto a punto. Como se puede observar en la Figura 2.20. En dicha figura se puede observar los puntos S1, S2, S3 y S4 que representan los sensores del invernadero los cuales están conectados con el router, el mismo que se enlaza al coordinador que está ubicado en la oficina de monitoreo.

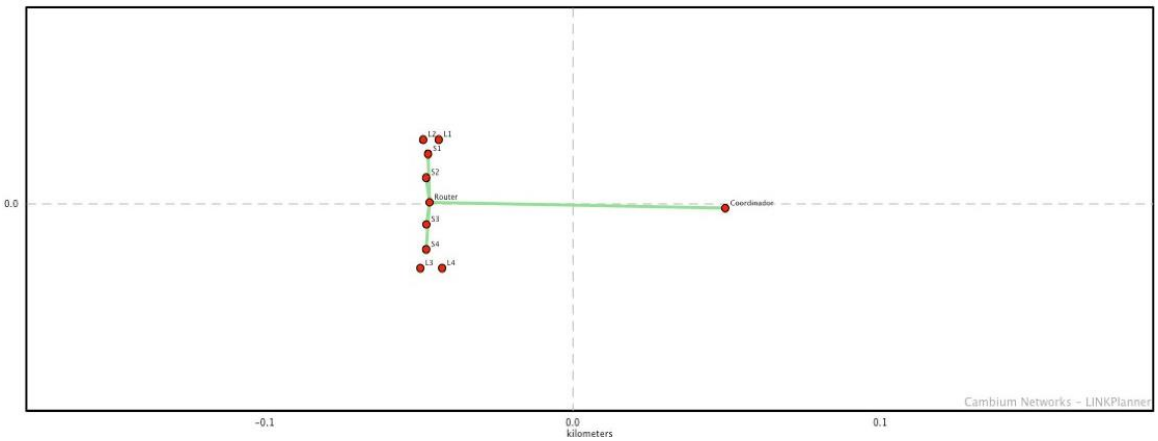


Figura 34 *Disposición de los elementos de la Red diseñada.*

Fuente: *Autor*

La distancia más grande del sistema de monitoreo es la del router al coordinador, con 95m. La altura de los sensores y coordinador es de 2 metros y 3m respectivamente sobre el área del invernadero. En la Figura 2.21 se muestran los resultados exportados a google earth. Las coordenadas del router al coordinador nos indican que tienen línea de vista directa para la trasmisión de datos. La línea verde indica que los enlaces del coordinador, router, y dispositivos finales funcionan correctamente y que su conexión es óptima, el color morado indica el desnivel de la zona geográfica entre el router y el coordinador.

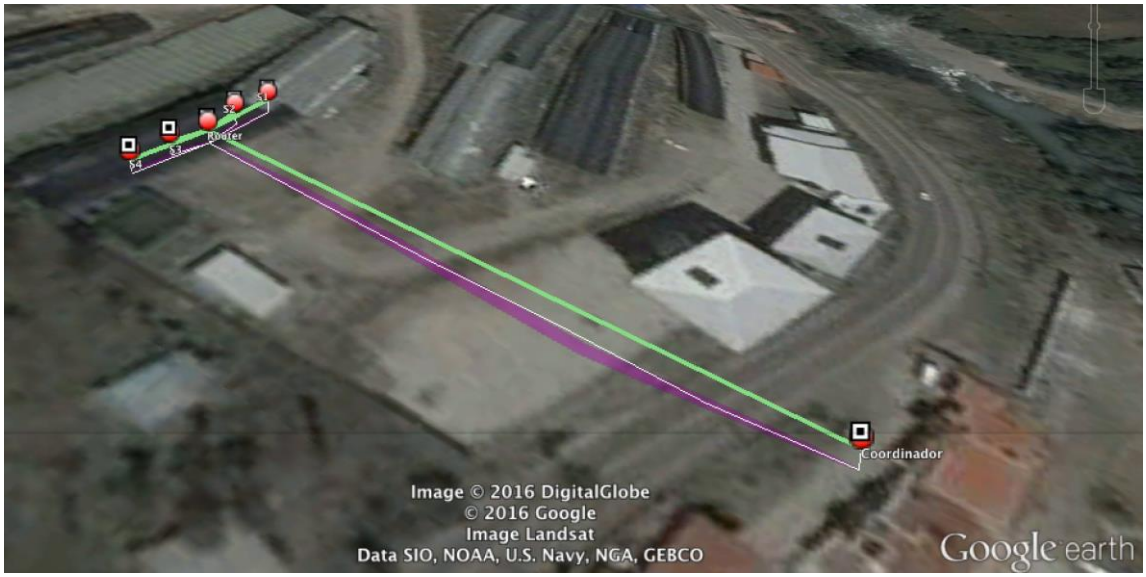


Figura 35 *Enlaces entre router, coordinador y dispositivos finales.*

Fuente: *Autor*

Para comprobar si existe una línea de vista directa se realiza un *range test*, entre el router y el coordinador. En la Figura 2.22, se observa rango de trayectoria del enlace más grande a cubrir, esto demuestra que existe línea de vista directa y un enlace fiable. Como se muestra en la Figura 2.21.

Figura 36 *Perfil de enlace entre el coordinador y el router.*

Fuente: *Autor*

2.7 INTERFAZ GRAFICA

Para visualizar los resultados obtenidos mediante la red de sensores dentro del invernadero se ha utiliza un servidor web que está programado dentro del coordinador conformado por el Raspberry Pi3, el servidor es un programa que gestiona cualquier tipo de aplicación en el servidor siguiendo el modelo cliente-

servidor, es decir se encarga de prestar un servicio y un cliente es quien recibe el servicio. Realiza conexiones bidireccionales o unidirecionales con el cliente-servidor.

Cliente (navegador web): es el ordenador que pide la información a otro, mediante la aplicación de un programa llamado cliente. esta contacta con el servidor y da formato a la petición de la información y da formato a la respuesta.

Servidor: es el ordenar que ofrece la información mediante la aplicación de un programa llamado servidor que recibe la información, la procesa y responde enviando la petición al cliente mediante una página web que se exhibe en el navegador.

El cliente es un programa mediante el cual el usuario accede y solicita al servidor él envió de información, esta ejecuta y trasfiere la información mediante el protocolo HTTP perteneciente a la capa de aplicación del modelo OSI, el conjunto de la información que recibe son documentos de texto codificados en lenguaje HTML. El cliente web interpreta el conjunto de documentos de texto y presenta al usuario en el formato correspondiente, si la información recibida no puede ser interpretada, el cliente web es el encargado de activar una aplicación externa que gestione la lectura de lo recibido, como suelen ser los objetos multimedia. Los clientes web más habituales son: Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox, Netscape, Safari, Google Chrome. Como se muestra en la Figura 2.23.

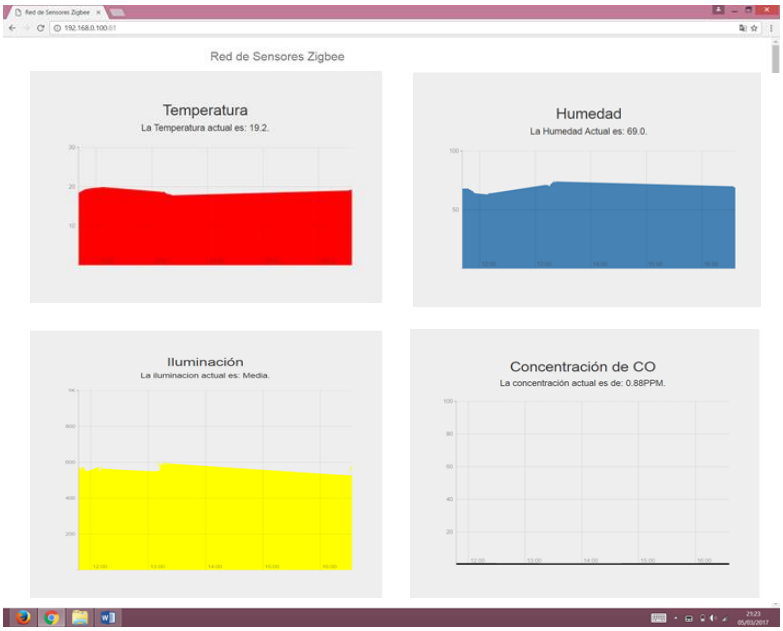


Figura 37 *Interfaz del servidor Web.*

Fuente: *Autor*

2.8 ESCENARIO DE LAS PRUEBAS

En la provincia de Azuay se encuentra una de las empresas más reconocidas en cuanto al cultivo y comercialización de orquídeas llamada Ecuagenera. Esta empresa está ubicada en el cantón Gualaceo. Podemos mencionar algunas de las características principales del cantón que se consideran altamente influyentes en cuanto al desarrollo de las plantas. Gualaceo es un valle ubicado a las orillas del rio Santa Bárbara, su clima templado y frio con temperaturas medias que van desde los 6°C hasta los 25°C lo convierten en uno de los lugares más idóneos para la siembra de muchas especies de flora, su pluviosidad puede variar de 800 hasta 1100mm anuales dependiendo de los meses de lluvia comprendidos desde de Abril a Julio y la sequía correspondiente en los meses de Agosto a Noviembre.

La empresa esta ubicada en el sector de Llampasay Km. 2 ½ vía cuenca sus coordenadas son: latitud 2°52'36.22"S y longitud 78°45'50.74"O como se observa en la Figura 2.24 donde se muestra la ubicación médiate Google Earth.

El invernadero se encuentra a 90 metro de la oficina principal, sus coordenadas son: latitud 2°52'36.16"S y longitud 78°45'53.85"O como se muestra en la Figura 2.24. La red de sensores trabaja a 2.4GhZ de acuerdo al protocolo de red IEEE802.15.4 descrito en la sección 1.3. Se observa la ubicación del invernadero médiate coordenadas tomadas con el GPS Garmin y localizadas con Google Earth.

Figura 38 *Ubicación geográfica del invernadero de Orquideas.*

Fuente: *Autor*

La forma del invernadero es de tipo capilla o multicapilla, se caracteriza por la forma de la cubierta por arcos curvos semicirculares y estructura metálica, las características de este invernadero lo colocan dentro de la categoría de invernadero tipo túnel, como se muestra en la Figura 2.25

El empleo de este tipo de estructuras, tipo capilla, son diseñadas para climas templados y fríos, aunque su diseño se adapta a todo tipo de climas dependiendo del recubrimiento, el material que recubre toda la estructura generalmente es de policarbonato. Un polímero termoplástico con resistencia al impacto y peso ligero, los grosores de las placas van desde 1 a 16mm, esta placa dependiendo de la aplicación se encuentran en el mercado con protección UV o sin ella, lo que ayuda a evitar el deterioro de la misma. Las dimensiones del invernadero se describen en el apéndice B.

Figura 39 *Invernadero tipo capilla.*

Fuente: *Autor*

CAPÍTULO 3

En este capítulo se presentan el diseño de los nodos de adquisición y de la red en un invernadero de orquídeas. Se detallará la implementación y el arranque del software para cada uno de los componentes que conforman la red de sensores, los resultados obtenidos se mostraran mediante la interface gráfica para análisis.

3.1 DIAGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

La implantación de la red de sensores sigue una serie de pasos con los que se obtiene los resultados. El diagrama mostrado en la Figura 3.4 muestra los módulos que componen la implementación: Diseño de la red, Nodos de adquisición, implementación y resultados.

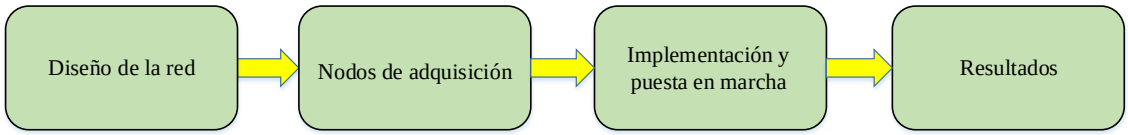


Figura 40 *Diagrama de bloques de la implementación.*

Fuente: *Autor*

3.2 DISEÑO DE LA RED

Las características de una red ZigBee permite diseñar una red con topología estrella y comunican en banda libre de 2.4GHz, el alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo, así como el tipo de antena. La Figura 3.2 muestra la estructura diseñada para esta red, así como la comunicación entre nodo- access-point-coordinador. Esta red consta de 3 nodos: tres end device, un access point y un módulo coordinador.

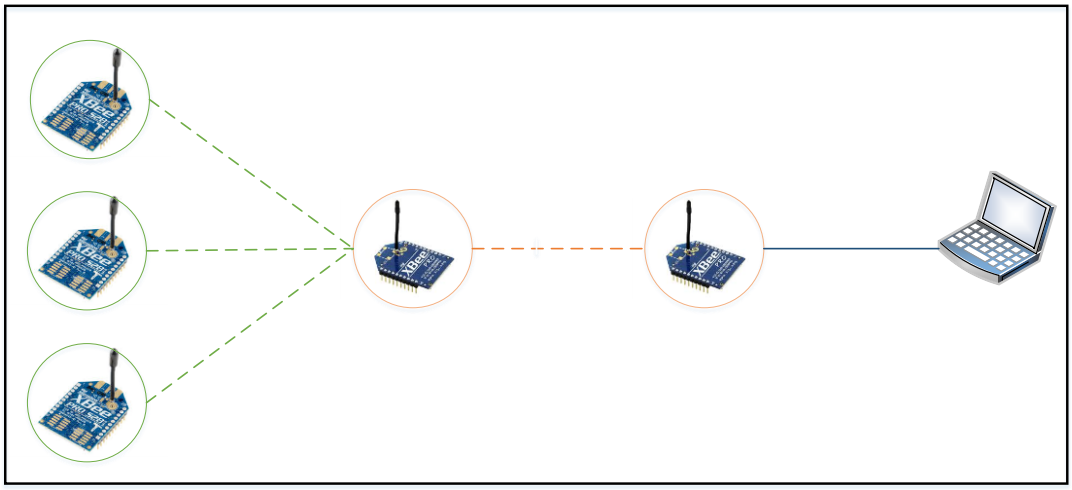


Figura 41 *Estructura de la red Zigbee.*

Fuente: *Autor*

3.3 NODOS DE ADQUISICIÓN

Una de las principales etapas para crear red ZigBee es diseñar el sensor, como se describe en la sección 2.3, la Figura 3.3 muestra el nodo sensor de temperatura y humedad y sus componentes.

El nodo sensor de temperatura y humedad está compuesto por un sensor que adquiere las dos variables simultáneamente, la señal es procesada en el Arduino a través de la librería *dht* que permite estructurar una trama de datos como se describe en la sección 2.1.1, la misma se envía hacia el módulo XBee. Este dispositivo toma la información y crea una nueva trama según el modo de funcionamiento API. Para identificar que la trama de datos enviada proviene del nodo de temperatura y humedad el módulo XBee agrega su dirección única de fábrica que se reconoce por coordinador.

Componentes

- Sensor dht22
- placa de sensor
- módulo XBee
- Arduino Uno
- resistencias
- leds

Figura 42 *Composición del nodo sensor de temperatura y humedad.*

Fuente: *Autor*

El nodo sensor de luminosidad capta la cantidad de luz presente en el ambiente, el valor adquirido por el sensor es una señal analógica que es leída mediante el ADC en módulo de transmisión XBee, el cual digitaliza el valor para crear y enviar una trama de datos con la información correspondiente. La Figura 3.4 muestra el nodo sensor de luz y sus componentes.

Componentes

- Sensor de luz
- placa de sensor
- módulo XBee
- Regulador 3.3V
- resistencias
- condensador
- pulsante

Figura 43 *Composición del nodo sensor de luz.*

Fuente: *Autor*

El nodo sensor de dióxido de carbono funciona igual a lo descrito en el sensor de luminosidad. Por lo tanto, el procedimiento de la señal captada será el mismo. En la Figura 3.5 se muestra el nodo de sensor de CO2 y sus componentes.

Componentes

- Sensor de dióxido de carbono
- placa de sensor
- módulo XBee
- Regulador 3.3V
- resistencias
- condensador
- pulsante

Figura 44 *Composición del nodo sensor de CO2.*

Fuente: *Autor*

3.4 IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

3.1.4 UBICACIÓN DE NODOS

La red de sensores diseñada se implementó en el invernadero tipo capilla, las características de este escenario se describen en el capítulo 2 sección 2.8. De acuerdo a las dimensiones del invernadero y al diseño de la red, la ubicación de los nodos sensores a lo largo del invernadero se muestran en la figura 3.6. Cada nodo tiene 10m de separación y 2m de distancia de las paredes laterales.

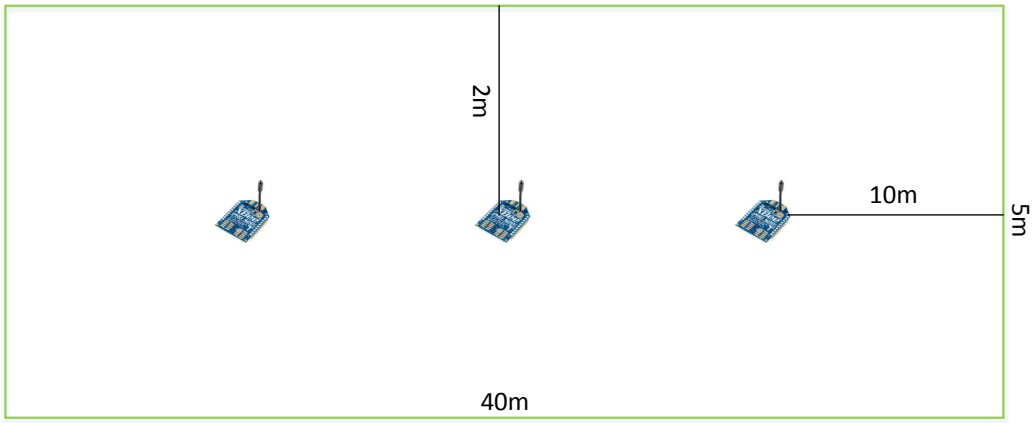


Figura 45 *Distribución de los nodos de la red.*

Fuente: *Autor*

Las mesas, en las que están situadas las macetas de orquídeas, se encuentra a 50cm de la pared lateral dependiendo de la concentración de platas, con el fin de evitar que agentes externos entren en contacto con ellas y afecte el cultivo. Para la ubicación óptima de los nodos se realiza una serie de pruebas hasta obtener la posición correcta, y de la lectura real de las variables climáticas que afectan al cultivo. La información obtenida de las pruebas realizadas; permite conocer las lecturas en diferentes puntos del invernadero y determinar que la ubicación adecuada de los nodos sensores, es como se muestra en la Figura 3.6. Por lo tanto, los nodos en esa ubicación entregan el valor real de cada variable que involucra al cultivo de la orquídea. La información obtenida permite comparar que los valores censados, se aproximan a los datos teóricos y los medidos de forma convencional.

3.2.4 INICIALIZACIÓN Y PRUEBAS DE RED

Una vez que los nodos se ubican en la posición correcta se realiza la configuración que permite la comunicación nodo-Accesspoint y nodo-Accesspoint-coordinador para ello cada módulo se conecta mediante un cable USB a la PC como se muestra en la Figura 3.7 y se abre el software de configuración X-CTU que permite configurar los módulos XBee.

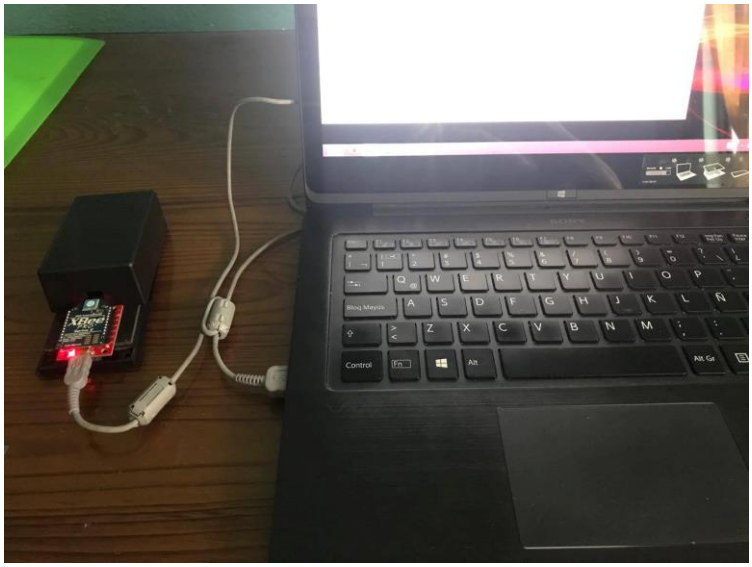


Figura 46 *Comunicación nodo sensor-PC.*

Con la ayuda del software X-CTU se realiza la configuración necesaria para la utilización del módulo XBee en la red de sensores.

1. Para acceder a los parámetros de configuración del módulo Xbee desde X-CTU, se selecciona en el icono buscar >> seleccionar el puerto USB >> seleccionar los parámetros de puerto>> finalizar, como se presenta en la Figura 3.8.

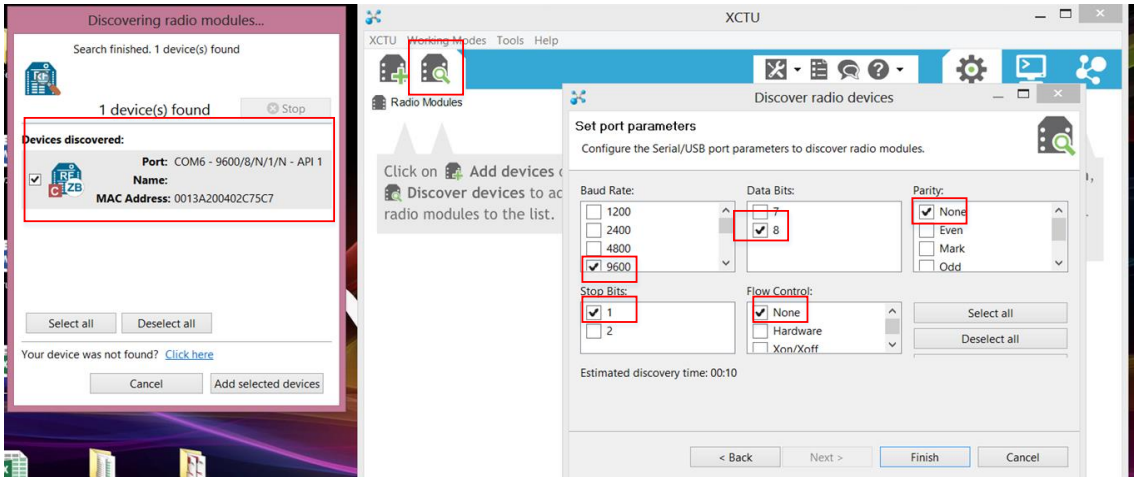


Figura 47 *Selección de dispositivo conectado.*

Fuente: *Autor*

2. El software busca y reconoce el módulo conectado mostrándolo en la parte izquierda, como se presenta en la Figura 3.9. Para acceder a los parámetros del XBee se selecciona el modulo y presentara toda la información perteneciente al XBee en la parte derecha.

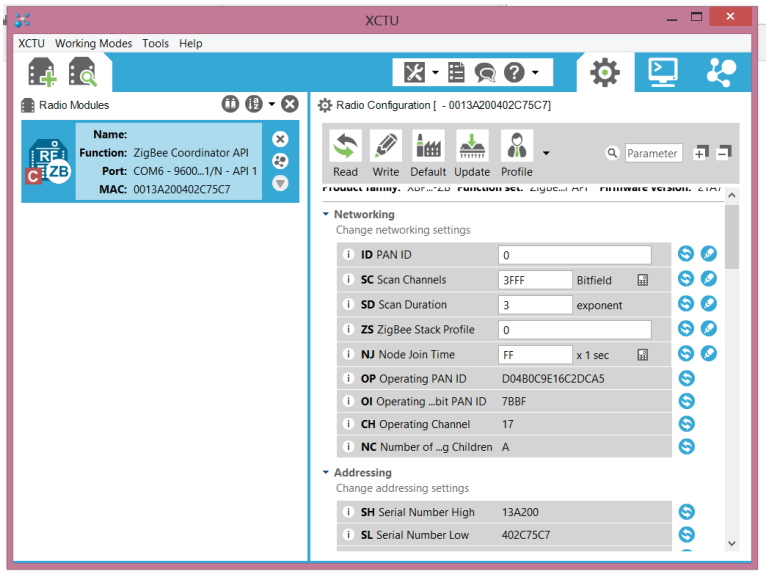


Figura 48 *Configuración de parámetros XBee.*

Fuente: *Autor*

3. Para configurar el módulo XBee como un end device se debe seleccionar la opción update firmware>> seleccionar el firmware end device API >>

update. Como se muestra en la Figura 3.10, este procedimiento descrito debe ser repetido para cada uno de los nodos sensores.

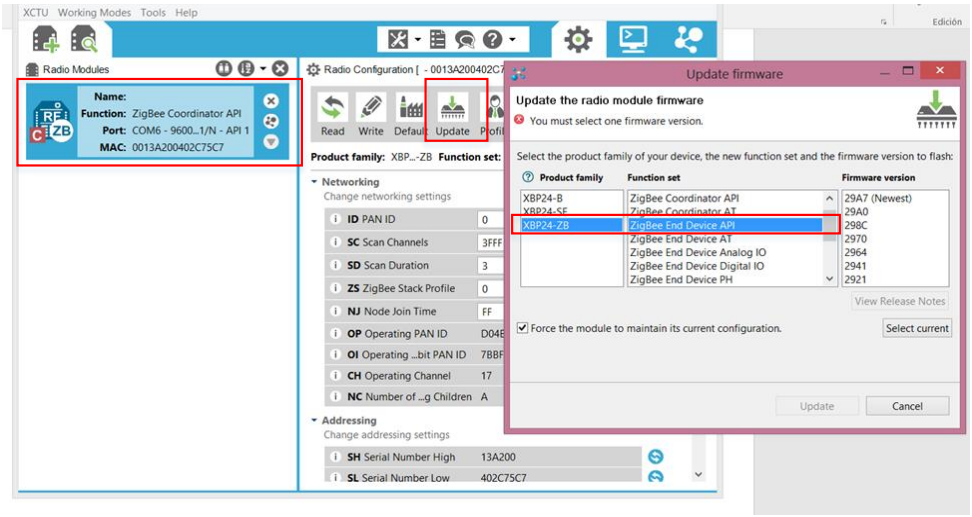


Figura 49 *Selección de firmware End Device.*

Fuente: *Autor*

La configuración del módulo Router y coordinador de la red sigue la misma secuencia descrita anteriormente, pero se selecciona el firmware según corresponda como se muestra en las Figuras 3.11 y 3.12.

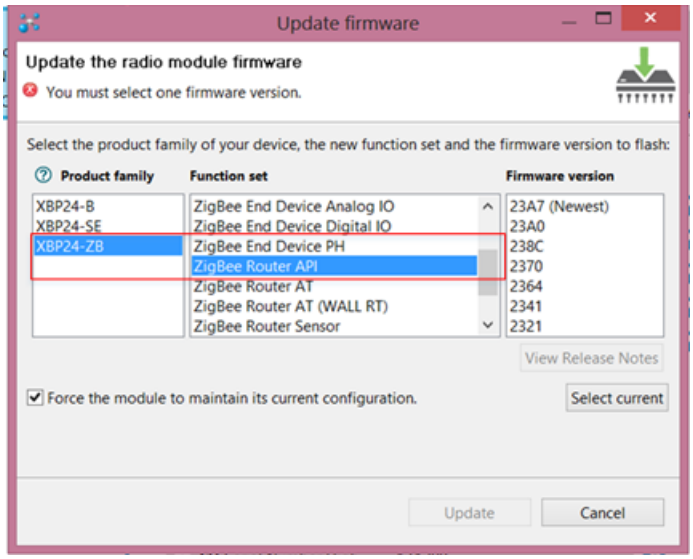


Figura 50 *Selección de firmware Router.*

Fuente: *Autor*

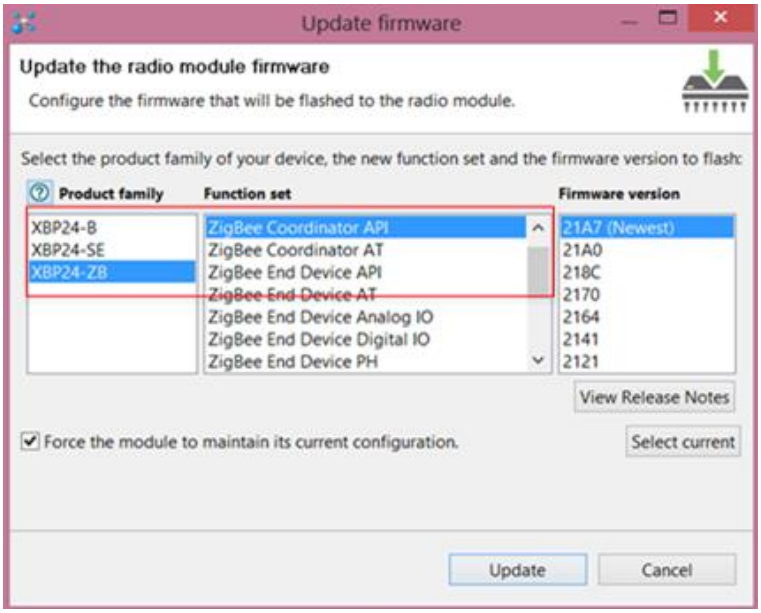


Figura 51. *Selección de firmware coordinador.*

Fuente: *Autor*

Se realiza la prueba de rango que permite conocer la comunicación nodo-Access Point y nodo-Access Point-coordinador para ello se conecta mediante un cable USB a la PC el módulo de transmisión o Access Point, y se abre el software de configuración X-CTU que permite configurar los módulos XBee, como se muestra en la Figura 3.13.

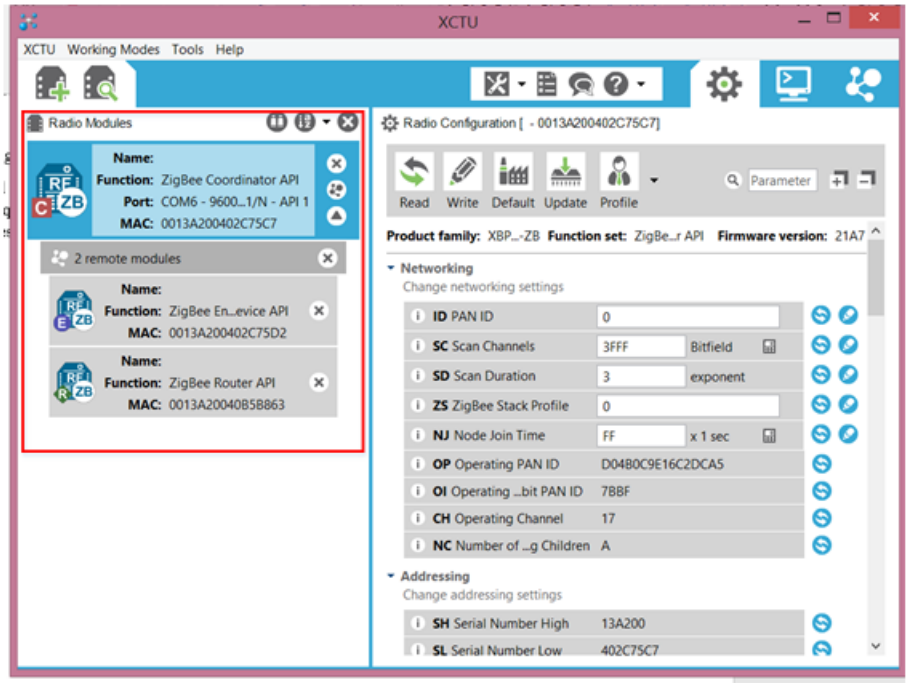


Figura 52 *Comunicación Acces point-PC.*

Fuente: *Autor*

El software buscara el módulo conectado al puerto USB mostrándolo en la parte izquierda. Para iniciar la prueba de rango se selecciona el tools en la parte superior, que despliega un menú con la opción Range test como se muestra en la figura 3.14

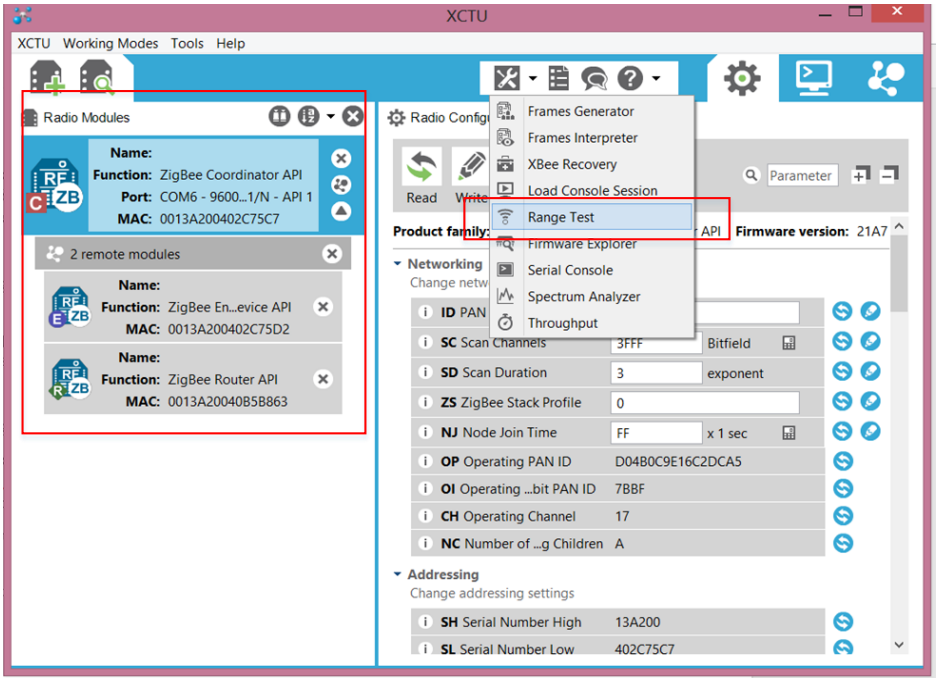


Figura 53 *Opción prueba de rango.*

Fuente: *Autor*

Las pruebas de rango se realizan en dos etapas, la primera prueba es la comunicación - End device-Access Point, la segunda prueba es la comunicación - End device-Access Point-coordinador.

3.1.4.2 Prueba de comunicación End device-Access Point

La opción *Rage Test* despliega la red que detecta el software a través de los módulos conectados como se muestra en la Figura 3.15. Para esta prueba solo se conecta mediante un cable USB al Access Point o Router y lo demás nodos por radio frecuencia.

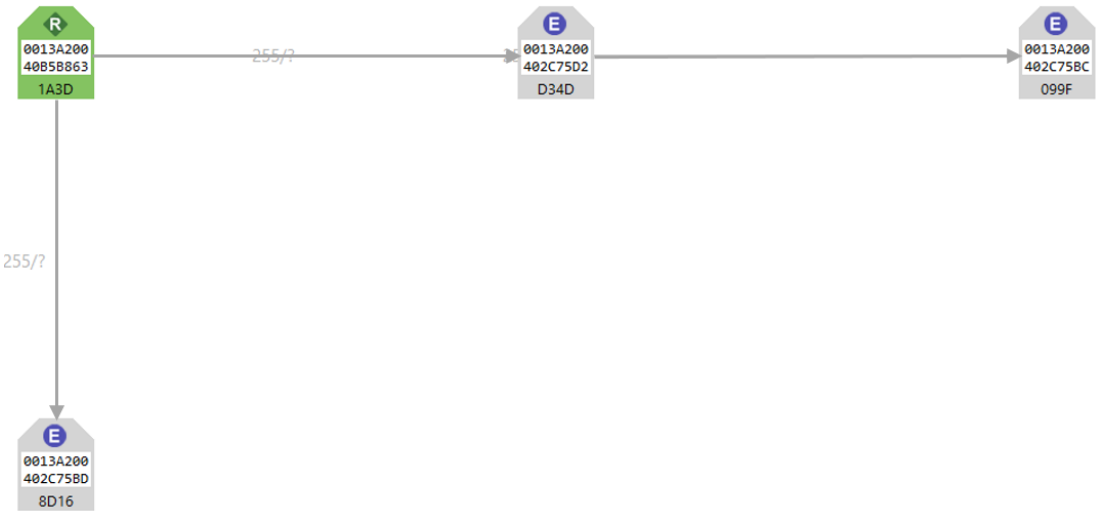


Figura 54 *Red End Device - Access Point.*

Fuente: *Autor*

3.2.4.2 Prueba de comunicación End device-Access Point-coordinador

La opción *Rage Test* despliega la red que detecta el software a través de los módulos conectados como se muestra en la Figura 3.16.

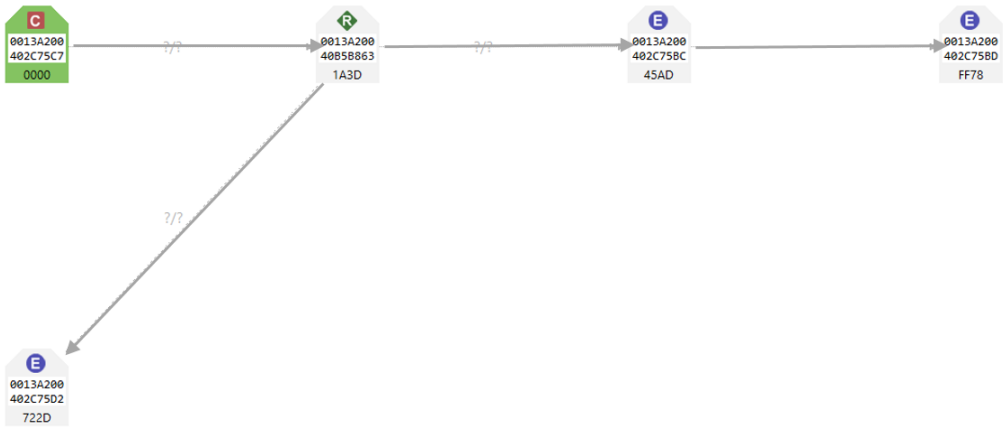


Figura 55 *Red End device-Access Point-coordinador.*

Fuente: *Autor*

3.3.4 SOFTWARE INTERFAZ GRAFICA

Para poner en marcha la red se debe acceder de forma remota al Raspberry, para ello se utiliza el programa *putty* que permite ingresar al servidor web e instalar programas, generar script, o ejecutar comandos. Para ingresar se conecta el

Raspberry a una red wifi, de igual manera se conecta la PC desde la cual se puede acceder.

Puesta en marcha

1. Abrir programa putty>> introducir discreción IP del Raspberry>>Open Como se muestra en la figura 3.17.

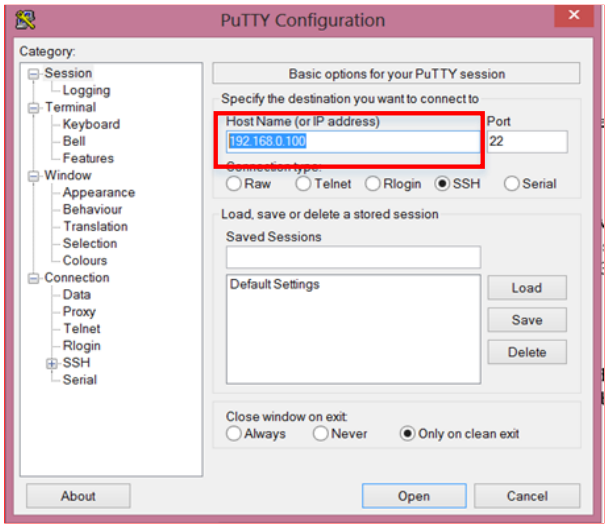


Figura 56 *Programa Putty.*

Fuente: *Autor*

2. Al iniciar la conexión, se abre una ventana terminal, en la que se introduce el nombre de usuario: *pi* y contraseña: *Raspberry*, una vez ingresado los parámetros de seguridad se inicia la sesión y permite escribir comandos en el cual se ingresa la dirección destino en la que se encuentra el script a ejecutar como se observa en la Figura 3.18. Para ejecutar el programa se debe poner el nombre del archivo anteponiendo la palabra Python, por ejemplo: **python** log_temp.py (nombre de archivo) como se muestra en la Figura 3.19.

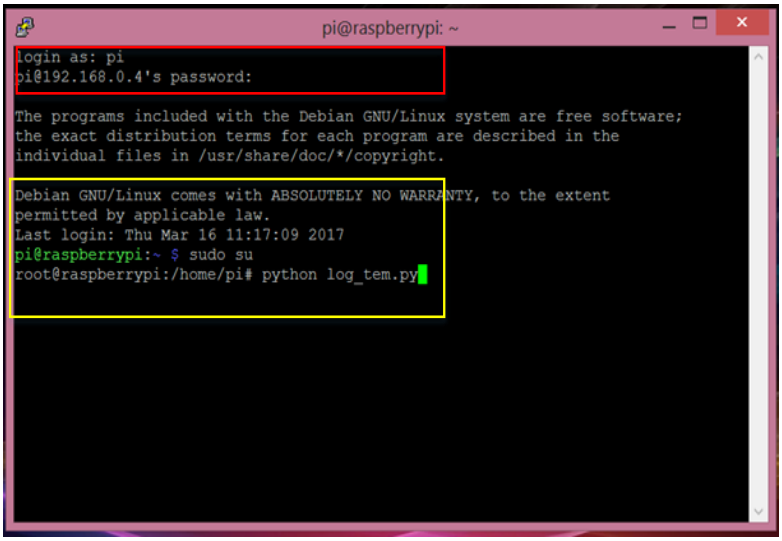


Figura 57 *Ventana terminal de red.*

Fuente: *Autor*

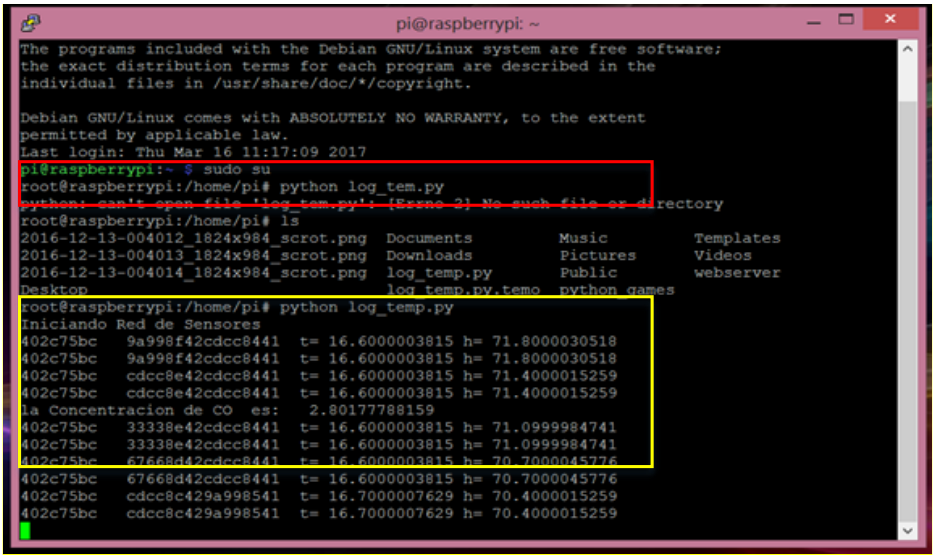


Figura 58 *Ventana terminal de red.*

Fuente: *Autor*

3.4.4 INICIALIZACIÓN DE INTERFACE Y SERVIDOR WEB

El ingreso para iniciar el servidor y la interface gráfica se realiza de igual forma que el paso 1 y 2 descrito en la iniciación de la red, pero ingresando en el paso dos el comando con el nombre del archivo que ejecuta la interface y el servidor simultáneamente, por ejemplo: **Python app.py**, como se muestra en la Figura 3.20.

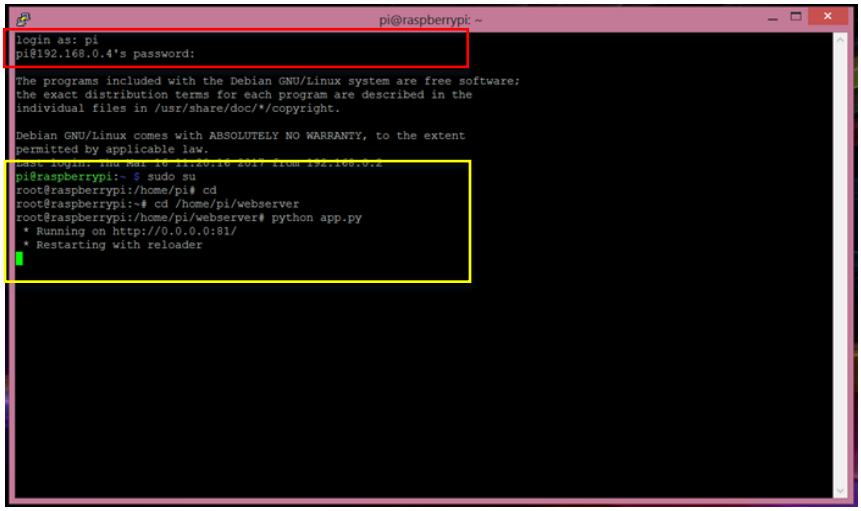


Figura 59 *Ventana terminal de interface y servidor web.*

Fuente: *Autor*

Una vez iniciado el servidor web se puede accedes a través de un navegador web con la dirección ip del Raspberry y phpmyadmin, por ejemplo 192.168.0.4/phpmyadmin como se muestra la Figura 3.21.

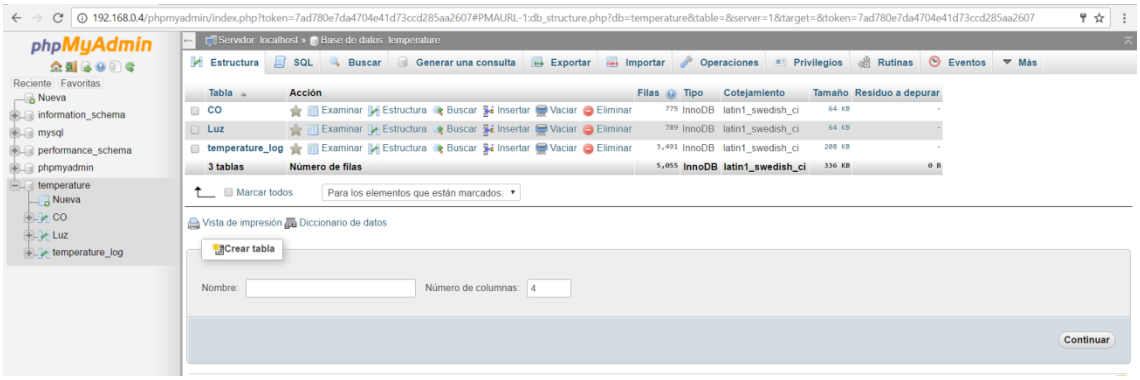
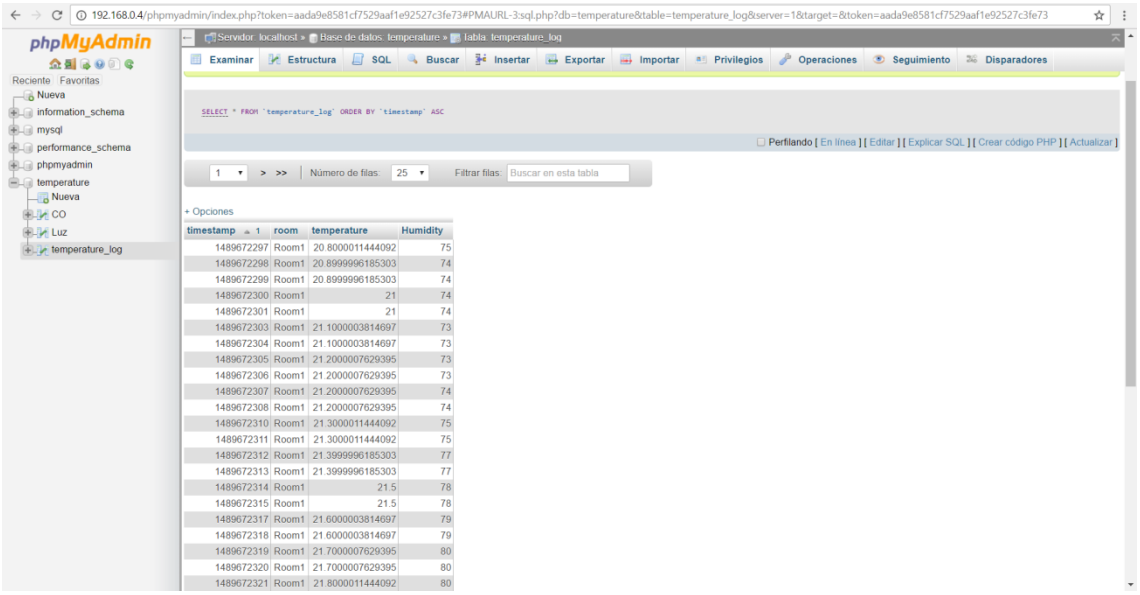


Figura 60 *Servidor de datos.*

Fuente: *Autor*

Cuando la red sensores está en funcionamiento los valores adquiridos son almacenados en tablas los cuales pueden ser visualizadas y exportados a cualquier formato para su posterior procesamiento como se muestra en la Figura 3.22.



timestamp	room	temperature	Humidity
1489672297	Room1	20.8000011444092	75
1489672298	Room1	20.8999996185303	74
1489672299	Room1	20.8999996185303	74
1489672300	Room1	21	74
1489672301	Room1	21	74
1489672303	Room1	21.1000003814697	73
1489672304	Room1	21.1000003814697	73
1489672305	Room1	21.2000007629395	73
1489672306	Room1	21.2000007629395	73
1489672307	Room1	21.2000007629395	74
1489672308	Room1	21.2000007629395	74
1489672310	Room1	21.3000011444092	75
1489672311	Room1	21.3000011444092	75
1489672312	Room1	21.3999996185303	77
1489672313	Room1	21.3999996185303	77
1489672314	Room1	21.5	78
1489672315	Room1	21.5	78
1489672317	Room1	21.6000003814697	79
1489672318	Room1	21.6000003814697	79
1489672319	Room1	21.7000007629395	80
1489672320	Room1	21.7000007629395	80
1489672321	Room1	21.8000011444092	80

Figura 61 *Tabla de valores de temperatura y humedad adquiridos.*

Fuente: *Autor*

3.5 RESULTADOS

De acuerdo en el procedimiento de diseño, nodos de red, y puesta en marcha es posible la obtención de mediciones que permiten validar la red de sensores y el correcto funcionamiento del sistema. Estos resultados permitirán analizar el comportamiento de los siguientes parámetros: luz, humedad relativa, CO2, temperatura; de acuerdo a una línea de tiempo diaria y continua. Para este análisis se han recopilado mediciones correspondientes a 3 días aleatorios, los cuales permitirán visualizar y concluir acerca de la tendencia y comportamiento de estas cuatro variables.

3.1.5 MEDICIONES DE TEMPERATURA

El inicio de tomas de datos para los tres días de análisis empieza a las 7am; como se puede observar en la Figura 3.23 las mediciones indican que la temperatura empieza en un promedio 12 grados y continúa creciendo constantemente, dentro del crecimiento constante se puede observar que el rango más alto de temperatura que existe dentro del invernadero desde las 14:30 hasta las 15:00, como se observa existen algunos cambios acelerados en el crecimiento y decrecimiento de la temperatura a lo largo del día. El máximo valor absoluto de las mediciones converge a las 14:30, la gráfica decrece desde este punto máximo hasta llegar a su mínimo valor dentro de las mediciones a las 18:00pm. Esta medición permite comprobar que la temperatura tiene un comportamiento lineal a medida que el día avanza, pero al ser una variable climática hace difícil que sea pronosticada.

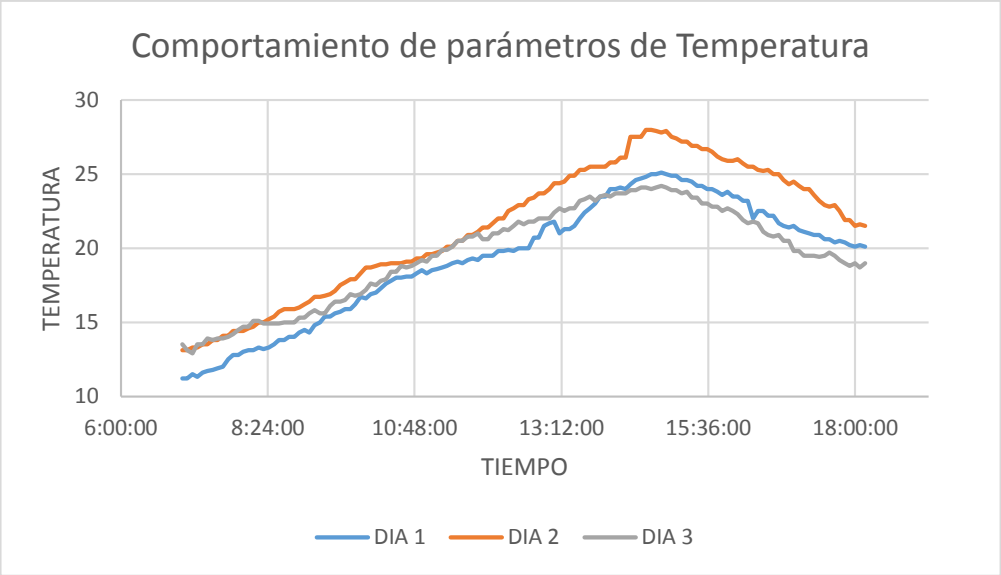


Figura 62 *Comportamiento de parámetros de Temperatura.*

Fuente: *Autor*

3.2.5 MEDICIONES DE HUMEDAD

El inicio de tomas de datos para los tres días de análisis empieza a las 7am; como se puede observar en la Figura 3.24, las mediciones indican que la Humedad Relativa no tiene un comportamiento lineal como la temperatura, el rango que se mantiene a lo largo del día es de 40% a 80%; el comportamiento de esta variable dependerá de la temperatura que tenga el invernadero en un determinado tiempo. El máximo valor alcanzado de humedad relativa es de 79% y el mínimo valor de 45%.

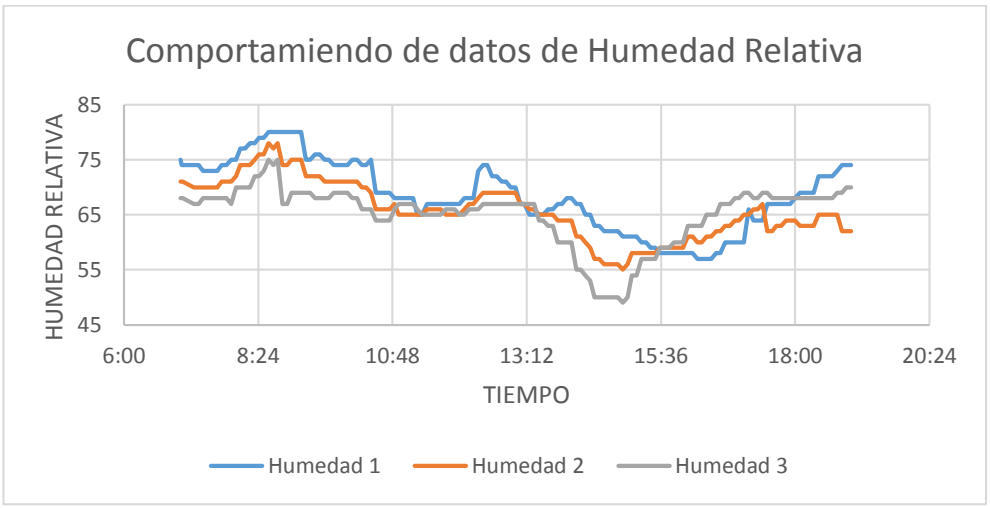


Figura 63 *Comportamiento de parámetros de Humedad Relativa***.**

Fuente: *Autor*

3.3.5 MEDICIONES DE LUZ

El inicio de tomas de datos para los tres días de análisis empieza a las 7am; como se puede observar en la Figura 3.25. La intensidad lumínica influye directamente en las fases de desarrollo de la orquídea, este factor es uno de los más críticos, como se observa la figura la intensidad no supera los 900 lux. La cantidad de luz presente se mantiene promedio desde las 11:00 am hasta 14:40 am, por lo que se debe tomar en consideración este periodo; debido a, que si la cantidad de luz está por debajo del límite de 300 lux la planta no se desarrollará y si la cantidad supera los 1000 lux el cultivo sufre deshidratación o quemaduras. Por lo tanto, observamos que los limites críticos son 300 y 1000 lux; si la cantidad de luz presente esta fuera de este rango deberá tomarse medidas correctivas, como por ejemplo luz artificial si el límite mínimo no es alcanzado o el uso de cobertores para invernaderos, si se supera el valor máximo.

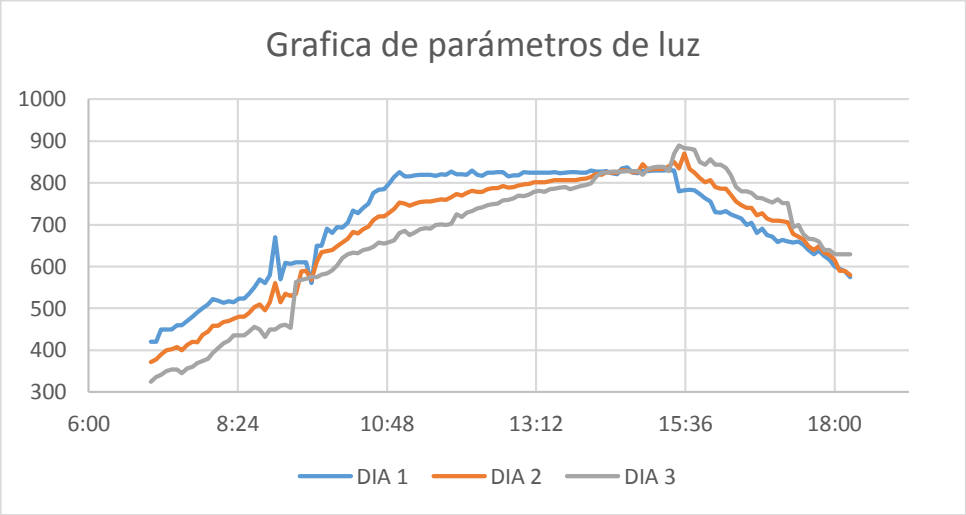


Figura 64 *Comportamiento de parámetros de luz.*

Fuente: *Autor*

3.4.5 MEDICIONES DE CO2

El inicio de tomas de datos para los tres días de análisis empieza a las 7am; como se puede observar en la Figura 3.26 las mediciones indican que el valor de CO2 no puede ser considerada una variable con comportamiento lineal. Debido a que para nuestra aplicación la concentración de este gas depende de las características de diseño, ubicación y sistema de ventilación que presente el invernadero, como se observa en la gráfica la concentración de este gas disminuye. Esta disminución se debe al incremento de la luz, cuidados por parte del floricultor y el sistema de ventilación. En la gráfica se observa el comportamiento de este gas en los tres días aleatorios que fue medida; indicando que la tendencia de comportamiento es decreciente a medida que el día avanza y por acciones de cuidado del cultivo.

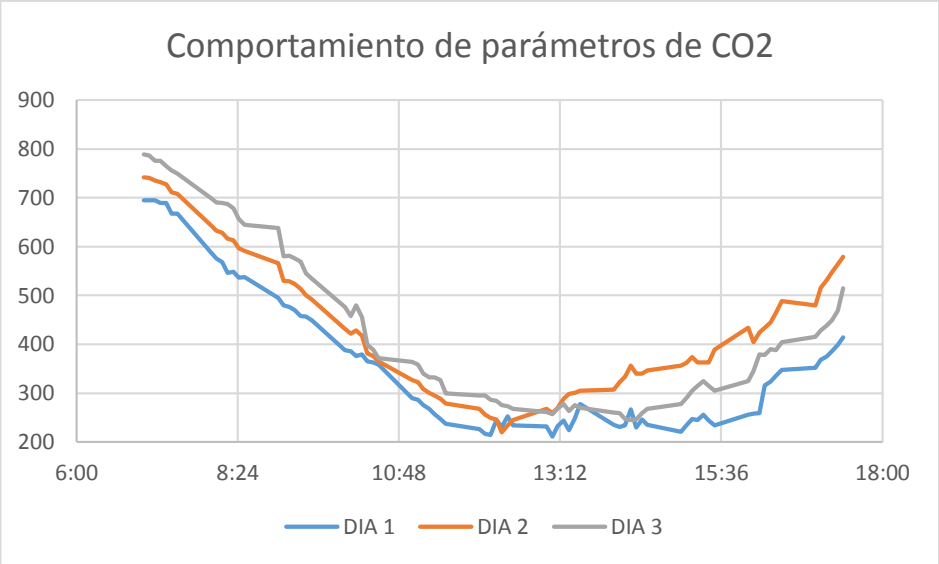


Figura 65 *Comportamiento de parámetros de CO2.*

Fuente: *Autor*

CAPÍTULO 4

4.1 COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.1 CONCLUSIONES

Se logró diseñar y desarrollar una red de sensores para el monitoreo de variables climáticas en un invernadero de orquídeas, basado en software y hardware libre que permite captar, enviar, almacenar y visualizar el valor de las variables climáticas dentro de un ecosistema artificial.

Los resultados obtenidos permiten visualizar al usuario el valor medido de la variable climatológica medida en la que se observa la tendencia y tomar una medida preventiva o correctiva de acuerdo a los parámetros que el agricultor de flores desea tener.

Las lecturas de los módulos diseñados resultan ser precisos de bajo costo y gran rendimiento de energía con duración de 8 horas de batería dependiendo de la composición de la batería a usar.

Para la implementación no se deben usar antenas de metal para colocar en la posición que se desea, ya que en base a las pruebas realizadas se determinó que atenúa la señal hasta dejarla nula.

La graficas presentan picos en determinados días, se deben a cambios bruscos de los datos, esto puede ser por que el usuario pudo interferir con los nodos sensores o el clima dentro de invernadero puede verse afectado por varios factores como: plagas mala ventilación y efectos externos al sistema.

Para visualizar los datos la interfaz gráfica permite visualizar los datos en cualquier tipo de sistema operativo, pero observar los valores con una frecuencia de tiempo corta se tiene que actualizar la página web de forma manual.

Los resultados obtenidos mediante el sistema permitieron comprobar el comportamiento de diferentes tipos de variables climáticas que se involucran para el cultivo de orquídeas.

Con la implementación del sistema de monitoreo se logra mantener los valores de las variables de temperatura, humedad, luz, CO_2 dentro de los márgenes requeridos para

el óptimo crecimiento de las orquídeas, con el control de las variables climáticas se puede optimizar el crecimiento de la planta dado que las acciones ejercidas permitirán evitar la proliferación de placas, deshidratación y quemaduras en el cultivo.

4.2.1 RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar las pruebas entre 6 pm a 7 am, ya que el prototipo diseñado no pudo ser instalado en la noche, debido a que la empresa mantiene un sistema de seguridad sobre los procesos de cuidado y cultivo, el cual es estrictamente reservado y bajo la supervisión de personal de la empresa; por lo tanto, no permiten el ingreso en el horario requerido de personal no autorizado sin la presencia de un supervisor del área.

Ampliar el monitoreo del cultivo para verificar los diferentes cambios de las variables climáticas que involucra el cultivo de orquídeas, a un tiempo de 6 meses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PROECUADOR, "Flores de verano," Jun-2011. [Online]. Available: http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/PROEC_AS2015_FLORESVERANO.pdf.

[2] H. Milton and D. Toribio, "Manual de cultivo de orquídeas," 2013 IIIEncuentro Mexicano de Orquideología, Mar-2013. [Online]. Available: www.sev.gob.mx/Difucion/Publicaciones.

[3] J. Yulong, and Y. Jiaqiang, "Design an Intelligent Environment Control System for GreenHouse Based on RS485 Bus," International Conference on Digital Manufacturing and Automation, vol. 2, pp. 361, Aug. 2011.

[4] C. Pengzhan, and L. Baifen, "Construction of intelligent greenhouse control system based on CAN bus" International Conference on Computer Application and System Modeling, vol. 10, pp.631, Oct. 2010.

[5] M. Erazo, D. Rivas, M. Perez, O. Galarza, V. Bautista, M. Huerta, and Jose Luis Rojo, "Design and implementation of a wireless sensor network for rose greenhouses monitoring," 2015 6th Int. Conf. Autom. Robot. Appl., no. November, pp. 256–261, 2015.

[6] R. Ceballos, L. Gorricho, O. Palma Gamboa, M. Huerta, D. Rivas, and M. Erazo Rodas, "Fuzzy System of Irrigation Applied to the Growth of Habanero Pepper (Capsicum chinense Jacq.) under Protected Conditions in Yucatan, Mexico," Int. J. Distrib. Sens. Networks, vol. 2015, 2015.

[7] H. Ibayashi, K. Yukimasa, I. Jungo, O. Naoki, K. Masahiro, and M. Hiroshi. "A Reliable Wireless Control System for Tomato Hydroponics." Sensors 16, no. 5 (2016): 644.

[8] W. H. Chang, S. Y. Yang, C. H. Wang, G. Bin Lee, T. Y. Chen, P. C. Li, and F. J. Jan, "Pathogen detection from phalaenopsis orchids by using an integrated microfluidic system," IEEE Int. Conf. Nano/Molecular Med. Eng. NANOMED, pp. 6–10, 2012.

[9] AMERICAM ORCHID SOCIETY. 1971. Manual sobre el cultivo de las orquídeas. Massachussets, Est Unid, 57 p.

[10] BUSTOS, T. ECUADOR PATRIA DE ORQUIDEAS LOJA Y ZAMORA CHINCHIPE. Editorial de la Universidad Nacional de Loja. 2006. Loja Ecuador. 286 pp.

[11] BAYER CROPSCIENCE. (2008). Manual de fertilización Foliar. 13 p. CANEVÁ N. (1984). Germinación de semillas de orquídea. México. 166. p.

[12] Trujillo, M. 2013. Servicio de consultoría para la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre del Ministerio de Agricultura y Riego. Ulloa Ulloa C., J. L. Zarucchi & B. León. 2004.

[13] PEÑA, M. 2001. Orchidaceae. Pp. 1266-1297, en: Calderón, G. y J. Rzedowski (eds.). Flora fanerogámica del Valle de México, 2ª. ed. Instituto de Ecología, A.C.- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán

[14] Intuwong, O.; Kunisaki, J.T.; Sagawa, Y. 1972. Vegetative propagation of Phalaenopsis by flower stalk cuttings. Na Okika of hawaii 1: 13-18. Jasper, B. 1966. A Method for Meristem Tissue Culture. Amer. Orchid Soc. Bull. 35: 10-11.

[15] Tesis para optar al título de Biólogo. Scully, R. 1966. Stem propagation of Phalaenopsis. Amer. Orchid Soc. Bull. 35: 40-42.

[16] SOTO, M.A., E. HÁGSATER, R. JIMÉNEZ, G.A. SALAZAR, R. SOLANO, R. FLORES E I. CONTRERAS. 2007. Las orquídeas de México: catálogo digital. Instituto Chinoin, A.C., México, D.F.
[17] Van Staden, J. y J. Stewart 1975. Citokinins in Banana Fruit. Z. Pflanzenphysiol. 76: 280-283. Wimber, D. 1963. Clonal Multiplication of Cymbbidium through Tissue culture of the Shoot Meristem. Amer. Orchid Soc. Bull. 32:105-107.
[18] Building Wireless Community Networks Por Rob Flickenger Publicado: O'Relly; Segunda edición (Junio de 2003). ISBN: 0-596-00502-4
[19] 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide por Gast. Matthew Publicado: O'Reilly; Primera edición (Abril de 2002) ISBN: 0-596-00183-5
[20] R. Prasad and L. Gavrilovska,"Research Challenges for Wireless Personal Area Networks", http://www.eng.ukm.my/~micc2001/html/prasad.pdf.
[21] IEEE802.11-1999. Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC)and Physical Layer(PHY) Specifications. IEEE Computer Society, September 1999
[22] Marks, Roger B.; Gifford, Ian C.; O'Hara, Bob. "Standards in IEEE 802 unleash the wireless Internet." IEEE microwave Magazine, 2001, vol. 2, no 2, p. 46-56.
[23] Suquilanda Villa, T. V. & Idrovo Torres, M. A. "Diseño y montaje de enlace inalámbrico para transmisión de datos utilizando tecnologia Bluetooth." 2013.
[24] Zigbee Alliance. Zigbee Specification [Online]. http://www.zigbee.org
[25] ZigBee Specification 2006. ZigBee Alliance, Dec. 2006. 7
[26] Buettner, M., Yee, G., Anderson, E., and Han, R. X-MAC: A short preamble mac protocol for duty-cycledwireless networks. Tech. rep., University of Colorado at Boulder, 2006. 14, 15, 24
[27] Callaway, E. Wireless sensor networks: architectures and protocols. Auerbach Publications, 2004.
[28] Cunha, A., Alves, M., and Koubaa, A. An IEEE 802.15.4 protocol implementation (in nesc/tinyos): Reference Guide v1.2. Tech. rep., IPPHURRAY, Instituto Politecnico do Porto, 2007. 16
[29] M Keshtgari and A Deljoo, "A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology," Journal Wireless Sensor Network, vol. IV, pp. 25-30, 2012
[30] L.García, L.Lunadei, P.Barreiro, J.Robla, "A Review of Wireless Sensor Techologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends". Sensor Journal, pp 4728-4750, 16 June 2009.
[31] P.Baronti, P.Pillai,V.Chook,S.Chessa,A.Gotta, Y.Fun."Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and Zig-Bee standards". Mobile and Satellite Communication Research Centre, School of Engineering, Design and Technology, University of Bradford, United Kingdom
[32] Badamasi, Yusuf Abdullahi. "The working principle of an Arduino." Electronics, Computer and Computation (ICECCO), 2014 11th International Conference on. IEEE, 2014.
[33] R. Pi, "DATASHEET Raspberry Pi Compute Module (CM1) Raspberry Pi Compute Module 3 (CM3) Raspberry Pi Compute Module 3 Lite (CM3L)," vol. 3, no. October, pp. 0–21, 2016.

[34] Digi International Inc. (2007) XBee ZNet2.5/XBee-PRO ZNet2.5 OEM RF Modules, Product Manual v1.x.4x - ZigBee Protocol For OEM RF Module Part Numbers: XB24-BxIT-00x. [Online]. http://www.digi.com
[35] Temperature & Humidity. Liu, "Aosong Electronics Co - DHT22," vol. 22, pp. 1–10, 2015.
[36] Ambient Ligth Sensor, TEMT6000.https://www.sparkfun.com/products/ AmbientLigthSensor TEMT6000/8688.
[37] Zhengzhou Winsen Electronics Technology, "Toxic Gas ," pp. 66–71, 2014
[38] C.Aranazu, G.Moreno, "Revisión del estado del arte de redes de sensores inalámbricos". Revista Politécnica, pp 94-111, 2009.
[39] J.Torres, "Estado del arte – Sistemas de Información para Redes de Sensores Inalámbricos Ubicuos".
[40] R. Casas, H. J. Gracia, A. Marco and J. L. Falco, "Synchronization in wireless sensor networks using Bluetooth," Third International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems, 2005., 2005, pp. 79-88.
[41] L. Li, H. Xiaoguang, C. Ke and H. Ketai, "The applications of WiFibased Wireless Sensor Network in Internet of Things and Smart Grid," 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Beijing, 2011, pp. 789-793.
[42] A. F. Murillo, M. Peña and D. Martínez, "Applications of WSN in health and agriculture," Communications Conference (COLCOM), 2012 IEEE Colombian, Cali, 2012, pp. 1-6.
[43] K.Kaushal, T.Kaur, J.Kaur. "Zigbee based wireless sensor networks", Computer science department, CTIEMT, Shahpur, Jalandhar, India [11] F. Akyildiz, W.Su, Y.Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks". IEEE Comunications Magazine, pp 102-114. August 2002
[44] S.Yinbaio. "Internet of things: Wireless Sensor Networks", IEC, Market Strategy Board, University of Science and Technology, Beijing.
[45] C.Bravo, M. Redondo. "Sistemas Interactivos y Colaborativos en la Web". Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha, 2005.
[46] E.Ferro, F.Potorsi. "Bluetooth and wi-fi wireless protocols: A survey and a camparison". Institute of the national research council, February 2005.
[47] K. Langendoen, A. Baggio, O. Visser. "Murphy Loves Potatoes: experiences from a pilot sensor network deployment in precision agriculture". Transo n Parallel and Distributed Processing Symposium, 2006.
[48] J. López, F. Soto, J. Suardíaz, P. Sánchez, A. Iborra, J.Vera. "Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain". Transin Computers and Electronics in Agriculture, Vol 68, pp. 25–35, May2009.
[49] Park Dae-heon, Park Jang-woo. Wireless sensor networks based greenhouse environment monitoring and automatic control system for dew condensation prevention, 2011: 371–405.Brown, K. and Jameton, A. Public Health Implications of Urban Agriculture. Journal of public health policy 21, 1 (2000), 20–39.
[50] Carlos Andrés Lozano Garzón, Oscar Javier Rodríguez Riveros. Temperature, humidity and luminescence monitoring system using Wireless Sensor Networks (WSN) in flowers growing. Engineering School. Universidad Sergio Arboleda. Bogotá, Colombia.
[51] Neeraj Khera. Amity University, Noida. Real Time Condition Monitoring System for Tomato Ripening. Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014), May 09-11, 2014, Jaipur, India.

[52] WeiQi Yan, Ramesh Jain.Redundancy Aware Data Aggregation for Pest Control in Coffee Plantation using Wireless Sensor Networks. Department of Computer Science Queen's University of Belfast,UK.

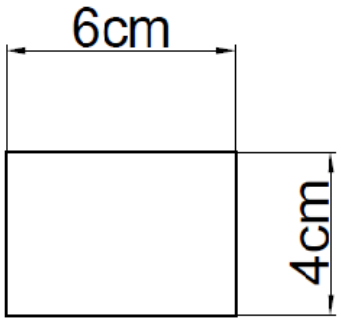
[53] Jing Li, Chong Shen. College of Information Science and Technology .Hainan, PR China. Energy Conservative Wireless Sensor Networks for Black Pepper Monitoring in Tropical Area.

APÉNDICES

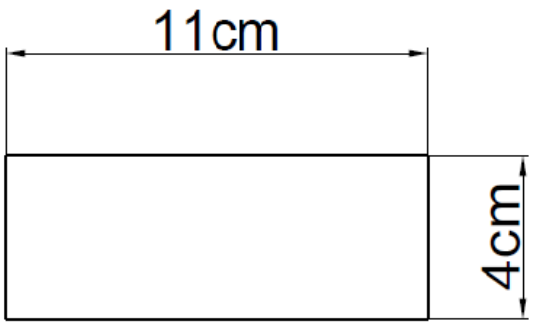
APÉNDICE A

DIMENSIONES DEL PROTECTOR PLÁSTICO PARA LOS DISPOSITIVOS

Vista Frontal del Protector Plástico



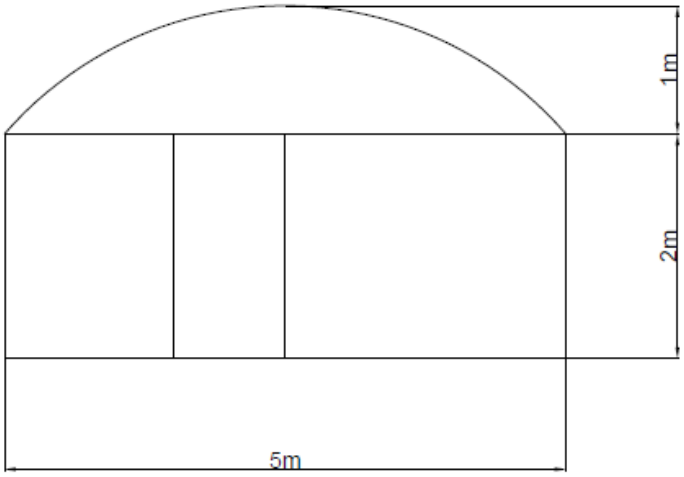
Vista lateral izquierda del Protector Plástico



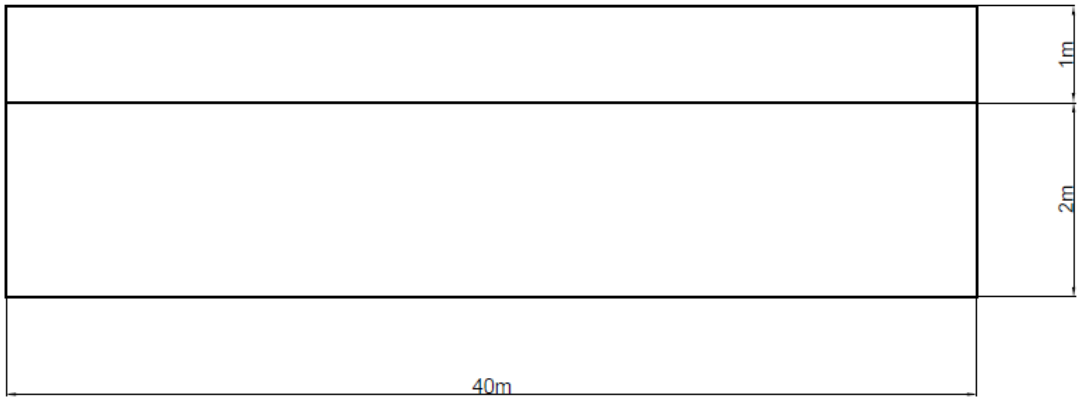
APÉNDICE B

DIMENCIONES DEL INVERNADERO

Vista Frontal del Invernadero



Vista lateral izquierda del Invernadero



APÉNDICE C

PROGRAMACIÓN RED DE SENSORES

```
import serial, time, datetime, sys
from xbee import ZigBee
import time
import struct
from math import *
import MySQLdb as mdb
def save_luz_reading (light):
   cur.execute("INSERT INTO Luz VALUES ( %s, %s )", (int(time.time()), light))
   con.commit()
def save_co_reading (co):
   cur.execute("INSERT INTO CO VALUES ( %s, %s )", (int(time.time()), PPM))
   con.commit()
def save_temp_reading (zonestr, temp, hum):
   cur.execute("INSERT INTO temperature_log VALUES ( %s, %s, %s, %s )",
(int(time.time()), zonestr,t,h))
   con.commit()
def hex(bindata):
   return ''.join('%02x' % ord(byte) for byte in bindata)
SERIALPORT = "/dev/ttyUSB0"
BAUDRATE = 9600
ROOM = "Room1"
add = '402c75bc' #direccion xbee sensor temperatura y humedad
add1 = '402c75bd' #direccion xbee sensor de luz
add2 = '402c75d2' #direccion xbee sensor CO
con=mdb.connect('localhost', 'root', 'root', 'temperature')
cur=con.cursor()
ser = serial.Serial(SERIALPORT, BAUDRATE)
xbee = ZigBee(ser,escaped=True)
print 'Iniciando Red de Sensores'
while True:
   try:
      response = xbee.wait_read_frame() #lee la trama zigbee
      sa = hex(response['source_addr_long'][4:])
       if sa==add:
       rf = hex(response['rf_data'])
       datalength=len(rf)
       # if datalength is compatible with two floats
       # then unpack the 4 byte chunks into floats
       if datalength==16:
                h=struct.unpack('f',response['rf_data'][0:4])[0]
                t=struct.unpack('f',response['rf_data'][4:])[0]
                print sa,' ',rf,' t=',t,'h=',h
       # if it is not two floats show me what I received
       else:
                print sa,' ',rf
         save_temp_reading(ROOM, t, h)
       if sa==add1:
         res = response["samples"]
         # print response
         r=res[0]
         ad1=r["adc-1"]
```

```
            adv1=(int(ad1)*1.200)/1023
            light=ad1
            print 'la iluminacion es:', ' ', light
            save_luz_reading(light)
          if sa==add2:
            res = response["samples"]
            r=res[0]
        ad1=r["adc-1"]
            adv1=(int(ad1)*1.200)/1023
     adv2=adv1*3.3/1.2
            Rs=(3.3-adv2)*(11000/adv2)
            Ro=3000
            RsRo=Rs/Ro
            ll=log(RsRo/22.07)
            PPM=exp(ll/(-0.667))
            print 'la Concentracion de CO  es:', ' ',PPM
            save_co_reading(PPM)
               #print ad1
          #save the tempature to the databse
          #save_temp_reading(ROOM, t, h)
    except KeyError:
       continue
    except KeyboardInterrupt:
       break

ser.close()
```

APENDICE D

PROGRAMACIÓN DE SERVIDOR WEB

```
from flask import Flask, Response, g, render_template
import mysql.connector
import json
import time

app = Flask(__name__)
app.config.update(
   DEBUG=True,
   PROPAGATE_EXCEPTIONS=True
)
DATABASE = '../temperature.db'
def connect_db():
   return mysql.connector.connect(user='root', password='root',
database='temperature')
def get_db():
   db = getattr(g, '_database', None)
   if db is None:
      db = g._database = connect_db()
   return db
def get_current_temp():
   cur = get_db().cursor()
   cur.execute("select * from temperature_log order by timestamp desc limit 1")
   rows = cur.fetchall()
   for row in rows:
       timestamp = row[0] - (60*60*6)
  temp = row[2]
   return temp
def get_current_hum():
   cur = get_db().cursor()
   cur.execute("select * from temperature_log order by timestamp desc limit 1")
    rows = cur.fetchall()
    for row in rows:
      timestamp = row[0] - (60*60*6)
      hum = row[3]
      return hum
def get_current_co():

   cur = get_db().cursor()
   cur.execute("select * from CO order by timestamp desc limit 1")
      rows = cur.fetchall()
      for row in rows:
      timestamp = row[0] - (60*60*6)
      co = row[1]
      return co
def get_current_luz():
   cur = get_db().cursor()
   cur.execute("select * from Luz order by timestamp desc limit 1")
      rows = cur.fetchall()
      for row in rows:
      timestamp = row[0] - (60*60*6)
      luz = row[1]
```

```
    if luz>=0 and luz<=300:
        luza="Baja"
    if luz>300 and luz<=600:
        luza="Media"
    if luz>600:
        luza="Alta"
    return luza
@app.teardown_appcontext
def close_connection(exception):
    db = getattr(g, '_database', None)
    if db is not None:
        db.close()
@app.route('/', methods=['GET'])
def get_index():
        return render_template('index.html', current_temp = get_current_temp(), current_hum = get_current_hum(), current_luz = get_current_luz(), current_co = get_current_co())
@app.route('/get_temps', methods=['GET'])
def get_temp_json():
        return_array = []
        time_range = int(time.time()) - (60*60*24.0)
        cur = get_db().cursor()
        cur.execute("SELECT * FROM temperature_log WHERE timestamp> %s",(time_range, ))

        rows = cur.fetchall()
        for row in rows:
          timestamp = row[0] - (60*60*6)
        temp = row[2]
          return_array.append({'x': timestamp, 'y': temp})
        response = Response(json.dumps(return_array))
        return response
@app.route('/get_hum', methods=['GET'])
def get_hum_json():
    return_array = []
    time_range = int(time.time()) - (60*60*24.0)
    cur = get_db().cursor()
    cur.execute("SELECT * FROM temperature_log WHERE timestamp> %s",(time_range, ))
    rows = cur.fetchall()
    for row in rows:
          timestamp = row[0] - (60*60*6)
          hum = row[3]
          return_array.append({'x': timestamp, 'y': hum})
    response = Response(json.dumps(return_array))
    return response
@app.route('/get_luz', methods=['GET'])
def get_luz_json():
        return_array = []
    time_range = int(time.time()) - (60*60*24.0)
    cur = get_db().cursor()
    cur.execute("SELECT * FROM Luz WHERE timestamp> %s",(time_range, ))
    rows = cur.fetchall()
    for row in rows:
        timestamp = row[0] - (60*60*6)
        luz = row[1]
```

```
        return_array.append({'x': timestamp, 'y': luz})
    response = Response(json.dumps(return_array))
    return response
@app.route('/get_co', methods=['GET'])
def get_co_json():
     return_array = []
    time_range = int(time.time()) - (60*60*24.0)
    cur = get_db().cursor()
    cur.execute("SELECT * FROM CO WHERE timestamp> %s",(time_range, ))
    rows = cur.fetchall()
    for row in rows:
        timestamp = row[0] - (60*60*6)
        co = row[1]
        return_array.append({'x': timestamp, 'y': co})
    response = Response(json.dumps(return_array))
    return response
if __name__ == "__main__":
    app.run(host='0.0.0.0', port=81, debug=True)
```