

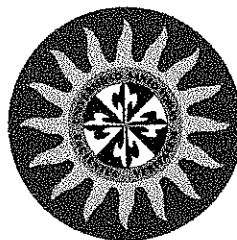
TIE
R37d
20/2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE
SENSORES PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE AGRICULTURA DE
PRECISIÓN



HELMAN JAVIER RISCANEVO POBLADOR
CÓDIGO: 2302020

0 9 4 4



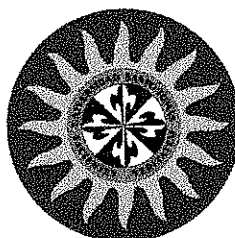
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2012

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE
SENSORES PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE AGRICULTURA DE
PRECISIÓN.**

HELMAN JAVIER RISCANEVO POBLADOR
CÓDIGO: 2302020

Trabajo de grado

Director
ING. FREDY SOSA QUINTERO



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2012

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 02 de Noviembre de 2012

Solamente el autor es responsable de la tesis
e ideas expuestas en el presente trabajo

DEDICATORIO

A Dios y mis padres por ser el apoyo fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como personal, por su incondicional apoyo través del tiempo.

A mi hija Valeria por ser una fuente que llena de orgullo y alegría mi vida, por que siempre la llevo en mi pensamiento y corazón como el ser más especial al realizar este nuevo logro.

A la Universidad en especial a los profesores e Ingenieros que me rodearon en el camino de ser cada vez una mejor persona a nivel personal e intelectual, y que nunca se rinde por formar a profesionales, forzando el futuro de nuestro país.

Mis hermanos, Vladimir y Henry, por estar conmigo apoyarme siempre y recibiendo consejos, los quiero mucho.

Todos aquellos familiares y amigos que me acompañaron en esta etapa de formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

A mis padres, Florencia Poblador y Jesus Maria Riscanevo R, que siempre me han dado su apoyo incondicional y a quienes debo este triunfo profesional, por todo su trabajo, dedicación darme una formación académica y personal. De ellos es este triunfo y para ellos es todo mi agradecimiento.

A mi hija que me llena de valor para seguir adelante, superarme y dándome esa gran compañía fue necesaria como fuente de inspiración para realizar este trabajo y nuevo logro en mi vida.

A mi amigo y compañero, que me enseñó a salir adelante para la culminación del trabajo y mi director de tesis, Ingeniero Fredy Sosa por su confianza, paciencia y apoyo en mi trabajo.

A todos...

GRACIAS

Tabla de Contenido

Lista de Figuras	10
Lista de Tablas	13
GLOSARIO	15
INTRODUCCIÓN	25
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	27
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	27
JUSTIFICACIÓN	29
OBJETIVOS	30
OBJETIVOS GENERALES	30
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
CAPÍTULO I	31
TEORÍA ZIGBEE	31
1.1 INTRODUCCIÓN	31
1.1.1 Historia	32
1.1.1 Definición	33
1.1.2 Estándar IEEE 802.15.4	34
1.1.3 Características	34
1.1.4 Ventajas	35
1.1.5 Desventajas	36
1.1.6 Zigbee Vs Bluetooth y IEEE 802.11 (WIFI)	37
1.1.7 Clase De Redes Inalámbricas De Corto Alcance	38
1.2 RELACIÓN ENTRE ZIGBEE Y ESTÁNDAR IEEE 802.15.4	40
1.2.1 Frecuencia De Operación Y Tasa De Datos	43
1.2.2 Compatibilidad	45
1.2.3 Tipo De Dispositivos	46
1.2.4 Función De Los Dispositivos	47
1.2.5 Topología De Red Zigbee	47
1.3 ZIGBEE y IEEE 802.15.4, COMUNICACIÓN BÁSICA	50
1.3.1 CSMA-CA	50
1.3.2 Beacon-Habilitado vs Beacon- No Habilitado	51
1.3.3 Métodos de transferencia de dato	52
1.3.4 Verificación De Datos	54
1.3.5 Direccionamiento	55
1.4 Asociación y Disociación	55
1.5 Enlace	56
1.6 Características De Auto-Funcionamiento y Formación de ZigBee	56

1.7	ZigBee y IEEE 802.15.4 Funciones de la capa de red	57
1.7.1	Capa PHY	57
1.7.2	Capa MAC	59
1.7.3	Estructura de la trama Beacon (Beacon Frame)	61
1.7.4	Estructura de la trama ACK (Acknowledgment Frame)	62
1.7.5	Estructura de la trama de Comandos MAC (MAC Command Frame)	62
1.8	La Capa NWK	63
1.9	La Capa APL	64
1.10	Seguridad	64
1.11	ZigBee Gateway	65
1.12	ZigBee Conformación	65
CAPITULO II		67
ELABORACIÓN DE PROTOTIPO ESCALA DE UN INVERNADERO		67
2.1	INTRODUCCIÓN	67
2.1.1	Ventajas	67
2.1.2	Desventajas	68
2.2	Aspectos Previos al Diseño	68
2.2.1	Clase de Invernaderos	68
2.2.2	Criterio y selección de Diseño	69
2.2.3	INVERNADERO DE CAPILLA	70
2.2.4	MATERIALES EMPLEADOS EN LAS ESTRUCTURAS	70
2.3	Descripción Invernadero	72
2.3.1	Ubicación Física	72
2.3.2	La orientación	72
2.3.3	Forma Física	72
2.4	Descripción de Variables	73
2.4.1	Temperatura	74
2.4.2	Dióxido de Carbono (CO ₂)	75
2.4.3	Humedad relativa (HR)	76
2.4.4	Transporte de Nutrientes y Agua	77
2.5	Sistema de control	77
➤	Esquema de Control	78
➤	Descripción	79
2.5.1	Elementos a controlar	80
CAPITULO III		82
Descripción de Módulos a Emplear y Funcionamiento		82
3.1	Introducción	82

3.2	Módulos Xbee	84
3.2.1	Módulos Xbee y Xbee Pro.....	85
3.2.2	Características.....	87
3.2.3	Aplicaciones	87
3.2.4	Funcionamiento de los módulos Xbee.....	89
3.2.5	Conexión Básica.....	90
3.2.6	Descripción Física	91
3.3	Programación de modulas Xbee y Modos de Operación.....	94
3.3.1	Características de Software.....	95
3.3.2	TIPOS DE DISPOSITIVOS ZIGBEE.....	100
3.3.3	CONCEPTOS DEL FIRMWARE	101
3.3.4	MODO API.....	103
3.4	Circuito de Control Actuadores.....	104
3.4.1	Circuitos de Potencia.....	105
3.4.2	Ventilación.....	107
3.4.3	Riego y Aplicación de Nutrientes.....	108
3.5	Sistema de Sensores	109
3.5.1	Sensor de Humedad.....	109
3.5.2	Sensor de Humedad Suelo.....	111
CAPITULO IV.....		114
MONTAJE Y RESULTADOS DE INVERNADERO		114
4.1	DIAGRAMA DE BLOQUE DE SISTEMA DE CONTROL	114
4.1.1	Variable controlada y variable manipulada.....	114
4.1.2	Acciones de Control.....	115
4.2	DIAGRAMA DE FLUJO	118
4.3	Diagrama Principal.....	120
4.4	PROGRAMACIÓN.....	122
4.5	INVERNADERO	130
4.5	MONTAJE DE MÓDULOS Y DISEÑO	133
4.6	RESULTADOS	134
CONCLUSIONES		135
BIBLIOGRAFÍA.....		136

Lista de Figuras

Figura No. 1.1	Comparación de estándar Zigbee, Bluetooth y IEEE 802.11b	39
Figura No. 1.2	Clase de redes inalámbricas de costo alcance	40
Figura No. 1.3	Protocolo de capas Red Inalámbrica Zigbee	42
Figura No. 1.4	Un protocolo de red puede estar basado en el estándar IEEE	43
Figura No. 1.5	Funciones de los Dispositivos IEEE 802.15.4 y Zigbee	48
Figura No. 1.6	Topología de Red Estrella	49
Figura No. 1.7	Topología de Red Malla	50
Figura No. 1.8	ZigBee Topología de árbol	51
Figura No. 1.9	Transmitir datos al Coordinador en IEEE 802.15.4: (a) Beacon Habilitado, y (b) Beacon no Habilitado	53
Figura No. 1.10	Transferencia de Datos de Coordinador a un Dispositivo: (a) Beacon Habilitado, y (b) Beacon no Habilitado	55
Figura No. 1.11	ZigBee estructura de los paquetes	59
Figura No. 1.12	Formato general de la trama MAC	61
Figura No. 1.13	Formato general de la trama Beacon	62
Figura No. 1.14	Formato general de la trama ACK	63
Figura No. 1.15	Formato General de la Trama MAC	64
Figura No. 2.1	Formas y Dimensiones del Invernadero	74
Figura No. 2.2	Formas y Dimensiones del Invernadero	74
Figura No. 2.3	Variables que afectan una planta	75
Figura No. 2.4	Esquema de Sistema de Controlar	79
Figura No. 2.5	Sistema de Controlar	80
Figura No. 3.1	Uso y Distribución de una Red ZigBee	87
Figura No. 3.2	Módulos Xbee y Xbee pro, diferentes presentaciones y tipos de antenas	87

Figura No 3.3	Redes MESH	90
Figura No 3.4	Zócalo demostrativo para módulo Xbee	90
Figura No 3.5	Conexiones mínimas requeridas para un módulo Xbee Pro	91
Figura No 3.6	Mechanical Drawings	93
Figura No 3.7	Diagrama de pines del módulo Xbee vista superior	95
Figura No 3.8	Venta principal programa X-CTU	96
Figura No 3.9	Mensaje de Ventana Test/Query para comprobar conectividad a módulo Xbee	97
Figura No 3.10	Pestaña Range Test de PROGRAMA x-ctu	98
Figura No 3.11	Pestaña Terminal de Programa X-CTU	99
Figura No 3.12	Ventana programa X-CTU para envío de tramas al módulo Xbee	100
Figura No 3.13	Pestaña Modem Configuración de programa X-CTU	101
Figura No 3.14	ZigBee Topología de árbol	102
Figura No 3.15	Configurados módulo Xbee por medio de comandos AT en la pestaña de Modem Configuración	103
Figura No 3.16	Estructura de la Trama para un comando API	105
Figura No 3.17	a) Par Darlington como inversor. b) circuito del ULN2803A	107
Figura No 3.18	Tarjeta El Relay Shield DF Robot	108
Figura No 3.19	Foto Ventilador	108
Figura No 3.20	Distribución Ventiladores	109
Figura No 3.21	Electroválvula	109
Figura No 3.22	Electrobomba	110
Figura No 3.23	Sensor de Humedad Relativa	111
Figura No 3.24	Conexión eléctrica Básica de Funcionamiento HIH – 4030	112
Figura No 3.25	Descripción física de Sensor de Humedad de Suelo	113

Figura No 4.1	Diagrama de Bloque Control Automático Lazo Cerrado	117
Figura No 4.2	Bloques de Controlador Encendido Apagado	118
Figura No 4.3	Diagrama a bloques de un controlador Encendido Apagado con Banda Muerta	119
Figura No 4.4	Diagrama a bloques de un controlador Encendido Apagado con Banda Muerta	121
Figura No 4.5	Pantallazo de la interface de control en etapa de desarrollo Con Visual Basic	130
Figura No 4.6	Descripción de las partes del panel de control	130
Figura No 4.7	Foto Invernadero	131
Figura No 4.8	Sistema de Riego	132
Figura No 4.9	Sistema De Ventilación	133
Figura No 4.10	Aspersores	133
Figura No 4.11	Motobomba y Esquema de Conexión	134
Figura No 4.12	Coordinador ZigBee Conectado a la PC	135
Figura No 4.13	Dispositivo Final ZigBee con los sensores	135
Figura No 4.14	Dispositivo Final ZigBee con Actuadores	136

Lista de Tablas

Tabla No. 1.1	IEEE 802.15.4 Tránsito de Datos y Frecuencia de Operación	44
Tabla No 2.1	Exigencia de Temperatura para distintas especies	76
Tabla No 3.1	Tabla Comparativa de Proveedores módulos ZigBee	85
Tabla No 3.2	Tabla de Características Xbee/Xbee Pro	92
Tabla No 3.3	Pines De Modulo Xbee	94
Tabla No 3.4	Especificaciones Eléctricas	95
Tabla No 3.5	Relación Voltaje de Salida – Humedad Relativa	112

ANEXOS

- I. LIBRO, ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani
- ii. Manual xbee serie 2

<http://www.digi.com/support>
- III. Hoja especificaciones sensor humedad HIH-4030
- IV. X-CTU Configuration & Test Utility Software, Junio 2008

<http://www.digi.com/support>

GLOSARIO

BLUETOOTH Se trata de una tecnología de red de área personal inalámbrica (WPAN) desarrollada por el *Bluetooth SpecialInterestGroup*. Bluetooth es un estándar abierto (IEEE 802.15) para transmisiones de corta distancia de voz digital y datos, que soporta aplicaciones punto a punto y punto a multipunto y trabaja en la banda sin licencia de 2.4 GHz. La señal alcanza una velocidad de 720 Kbps en un radio de hasta 100 metros y es capaz de atravesar paredes. Bluetooth utiliza la técnica de espectro ensanchado por salto de frecuencia, que cambia la frecuencia de la señal 1600 veces por segundo. En el caso de producirse interferencias con otros dispositivos, la transmisión no se detiene, sino que se ralentiza.

Algunas de las primeras aplicaciones de Bluetooth se han desarrollado para telefonía celular, por ejemplo, en sistemas "manos libres" que permiten la conectividad inalámbrica entre el terminal y un sistema audio integrado en un automóvil.

BPSK:(BinaryPhase-ShiftKeying) Consta de la modulación de desplazamiento de fase de 2 símbolos. También se la conoce como 2-PSK o PRK(PhaseReversalKeying).

CSMA-CA:CarrierSense, Multiple Access, CollisionAvoidance (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones) es un protocolo de control de redes de bajo nivel que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión. Cada equipo anuncia opcionalmente su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones entre los paquetes de datos (comúnmente en redes inalámbricas, ya que estas no cuentan con un modo práctico para transmitir y recibir simultáneamente). De esta forma, el resto de equipos de la red sabrán cuando hay colisiones y en lugar de transmitir la trama en cuanto el medio está libre, se espera un tiempo aleatorio adicional corto y solamente si, tras ese corto intervalo el medio sigue libre, se procede a la transmisión reduciendo la probabilidad de colisiones en el canal. CSMA/CA es utilizada en canales en los que por su naturaleza no se puede usar CSMA/CD. CSMA/CA se utiliza en 802.11 basada en redes inalámbricas.

Acknowledgment: O ACK. Es una señal de respuesta que indica que ciertos datos llegaron a destino sin errores. En cambio, cuando llegan con errores o no llegan, son llamados no acknowledgement o noack.

Densidad de potencia: Potencia por unidad de superficie normal a la dirección de propagación de la onda electromagnética. Suele expresarse en vatios por metro cuadrado (W/m^2).

DSSS: El espectro ensanchado por secuencia directa (*directsequence spread spectrum*), también conocido en comunicaciones móviles como DS-CDMA (acceso múltiple por división de código en secuencia directa), es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan. Tanto DSSS como FHSS están definidos por la IEEE en el estándar 802.11 para redes de área local inalámbricas WLAN. Este esquema de transmisión se emplea, con alguna variación, en sistemas CDMA asíncronos (como por ejemplo UMTS).

La traducción del inglés *spread spectrum* se hace con distintos adjetivos según las fuentes; pueden emplearse indistintamente espectro ensanchado, expandido, difuso o disperso para referirse en todos los casos al mismo concepto.

El espectro ensanchado por secuencia directa es una técnica de modulación que utiliza un código de pseudoruido para modular directamente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal.

FSC: El **FrameCheckSequence** es una trama recibida que tiene una "secuencia" de verificación de trama incorrecta, también conocido como error de CRC o de checksum, difiere de la transmisión original en al menos un bit. En una trama con error de FCS, es probable que la información del encabezado sea correcta, pero la checksum que calcula la estación receptora no concuerda con la checksum que adjunta la estación transmisora al extremo de la trama. Por lo tanto, se descarta la trama.

Una gran cantidad de errores FCS provenientes de una sola estación indican, por lo general, una NIC defectuosa o falla o corrupción en los controladores del software, o un cable defectuoso que conecta esa estación a la red. Si los errores FCS están asociados con muchas estaciones, por lo general, pueden rastrearse a la presencia de un cableado defectuoso, una versión defectuosa del controlador de la NIC, un puerto del hub defectuoso o a ruido inducido en el sistema de cables.

HomeRF: La idea de este estándar se basa en el Teléfono inalámbrico digital mejorado (Digital Enhanced Cordless Telephone, DECT) que es un equivalente al estándar de los teléfonos celulares GSM. Transporta voz y datos por separado, al contrario que protocolos como el WiFi que transporta la voz como una forma de datos. Los creadores de este estándar pretendían diseñar un aparato central en cada casa que conectara los teléfonos y además proporcionar un ancho de banda de datos entre las computadoras.

Las prestaciones de este sistema son:

- Modulación FSK (Frequency Shift Keying).
- Velocidad de datos variables de entre 800 Kbps y 1.6Mbps.
- Utiliza la banda de 2.4 Ghz.
- 75 canales de 1 Mhz para voz

IEEE: Corresponde a las siglas de (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en español **Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos**, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin ánimo de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros electricistas, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática, ingenieros en biomédica, ingenieros en telecomunicación e ingenieros en mecatrónica.

Su creación se remonta al año 1884, contando entre sus fundadores a personalidades de la talla de Thomas Alva Edison, Alexander Graham Bell y Franklin Leonard Pope. En 1963 adoptó el nombre de IEEE al fusionarse asociaciones como el AIEE (*American Institute of Electrical Engineers*) y el IRE (*Institute of Radio Engineers*).

A través de sus miembros, más de 380.000 voluntarios en 175 países, el IEEE es una autoridad líder y de máximo prestigio en las áreas técnicas derivadas de la eléctrica original: desde ingeniería computacional, tecnologías biomédica y aeroespacial, hasta las áreas de energía eléctrica, control, telecomunicaciones y electrónica de consumo, entre otras.

Según el mismo IEEE, su trabajo es promover la creatividad, el desarrollo y la integración, compartir y aplicar los avances en las tecnologías de la información, electrónica y ciencias en general para beneficio de la humanidad y de los mismos profesionales. Algunos de sus estándares son:

IEEE 802.11: Define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. Los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local y redes de área metropolitana.

IEEE 802.11b: Es una modificación de la Norma IEEE 802.11 que amplía la *tasa de transferencia* hasta los 11 Mbit/s usando la misma banda de 2.4 GHz. Estas especificaciones bajo el nombre comercial de Wi-Fi han sido implementadas en todo el mundo. La modificación se incorporó a la norma en la edición IEEE 802.11-2007.

Las 802.11 son un juego de Normas IEEE que gobiernan los métodos de transmisión para redes inalámbricas. Hoy se usan sus versiones 802.11a, 802.11b y 802.11g para proporcionar conectividad en los hogares, oficinas y establecimientos comerciales.

IEEE 802.15.4: Es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos. En 2007, la actual revisión del estándar se aprobó en 2006. El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el responsable de su desarrollo.

También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

ISM: (Industrial, Scientific and Medical) son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. En la actualidad estas bandas han sido popularizadas por su uso en comunicaciones WLAN (e.g. Wi-Fi) o WPAN (e.g. Bluetooth).

Las bandas **ISM** fueron definidas por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en el artículo 5 de las Regulaciones Radio (RR) concretamente puntos 5.138 y 5.150.

El uso de estas bandas de frecuencia está abierto a todo el mundo sin necesidad de licencia, respetando las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida. Este hecho fuerza a que este tipo de comunicaciones tengan cierta tolerancia frente a errores y que utilicen mecanismos de protección contra interferencias, como técnicas de ensanchado de espectro

LAN: (*local areanetwork*) es la interconexión de varias computadoras y periféricos. Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno de 200 metros, o con repetidores podría llegar a la distancia de un campo de 1 kilómetro. Su aplicación más extendida es la interconexión de computadoras personales y estaciones de trabajo en oficinas, fábricas, etc.

MAC: (**Media Access Control** o *control de acceso al medio*) es un identificador de 48 bits (6 bloques hexadecimales) que corresponde de forma única a una ethernet de red. Se conoce también como la dirección física en cuanto a identificar dispositivos de red. Es individual, cada dispositivo tiene su propia dirección MAC determinada y configurada por el IEEE (**los últimos 24 bits**) y el fabricante (**los primeros 24 bits**) utilizando el OUI. La mayoría de los protocolos que trabajan en la capa 2 del modelo OSI usan una de las tres numeraciones manejadas por el IEEE: **MAC-48, EUI-48, y EUI-64** las cuales han sido diseñadas para ser identificadores globalmente únicos. No todos los protocolos de comunicación usan direcciones MAC, y no todos los protocolos requieren identificadores globalmente únicos.

Mbps: Un **mega bit por segundo** es una unidad que se usa para cuantificar un caudal de datos equivalente a 1000 kilobits por segundo o 1000000 bits por segundo. No es apropiado referirse a esta magnitud como a una de velocidad, ya que la velocidad a la que se propagan los datos nada tiene que ver con el caudal o flujo que se transmite por un medio determinado: una señal de radio propaga la información siempre a la velocidad de la luz c (en un cable coaxial suele ser, aproximadamente, de $0,6 c$) con independencia de si transmite un flujo de 1 kbit/s o 1 Mbit/s. Por tanto, el tiempo necesario para recibir el primer bit desde que este se transmite de una sonda en Marte es una constante (varios minutos) que nada tiene que ver con el tiempo necesario para recibir un volumen determinado de datos una vez el primero ha alcanzado su destino: lo primero depende de la velocidad y lo segundo del flujo. Del mismo modo, no debe ser confundida la velocidad de un fluido (m/s) en un punto de un conducto con su caudal (m³/s).

Norma: En este texto se utilizara la palabra **norma** o normativa, para designar, en general, a todo tipo de documento emitido o abalado por un organismo oficial y calificado, en el que se incluya alguna forma de limitación de la exposición a CEM,

cualquiera que sea su motivación, ámbito de aplicación, estatus legal o criterio para establecer esos límites.

OSI: El **modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos** (OSI, Open System Interconnection) es el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización lanzado en 1984. Es decir, es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.



Figura No. G.1. Pila de modelo OSI

Fuente. Organización Internacional para la Estandarización.

O-QPSK: Desplazamiento de fase de 4 símbolos, desplazados entre sí 90° . Normalmente se usan como valores de salto de fase 45° , 135° , 225° , y 315° . Cada símbolo aporta 2 bits. Suele dividirse el flujo de cada bit que forman los símbolos como I y Q.

El diagrama de constelación muestra 4 símbolos equiespaciados. La asignación de bits a cada símbolo suele hacerse mediante el código Gray, que consiste en que entre dos símbolos adyacentes los símbolos solo se diferencian en 1 bit. Esto se escoge así para minimizar la tasa de bits erróneos.

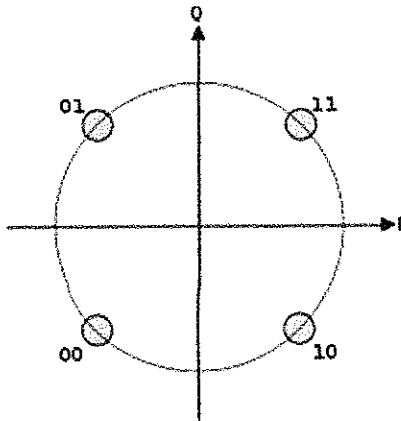


Diagrama de constelación para QPSK con código Gray.

La probabilidad de bit erróneo para QPSK es la misma que para BPSK:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad \text{Ecuación No. 1}$$

La probabilidad de bit erróneo.

La tasa de símbolos erróneos se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} P_s &= 1 - (1 - P_b)^2 \\ &= 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) - Q^2\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) \quad \text{Ecuación No. 2} \end{aligned}$$

La tasa de símbolos erróneos

El día 3 de septiembre de 1932, se inició en Madrid (España) la reunión conjunta de la XIII Conferencia de la Unión Telegráfica Internacional (UTI), creada en París el 17 de mayo de 1865, y la III de la Unión Radiotelegráfica Internacional (URI) y el día 9 de diciembre del mismo año, en virtud de los acuerdos alcanzados en dicha reunión, se firmó el Convenio por el que se creaba la *Unión Internacional de Telecomunicaciones* que en el futuro sustituiría a los dos organismos anteriores (UTI y URI). El nuevo nombre comenzó a utilizarse a partir de enero de 1934.

PHY: La capa física es la interfaz entre el MAC y el medio inalámbrico. Provee de tres niveles de funcionalidad: intercambiar tramas entre PHY y MAC, utilizar portador de señal (signalcarrier) y modulación de espectro ensanchado (spread

spectrum) para transmitir tramas a través del medio y proveer al MAC de un indicador de detección de portadora (*carriersenseindication*) para señalar actividad en el medio. El PHY está dividido en dos sub-capas, el PLCP (*PhysicalLayerConvergenceProcedure*) más cercano al MAC y el PMD (*Physical Medium DependentLayer*), que interacciona con el medio inalámbrico (WM en sus siglas en inglés).

Protocolo: Es un conjunto de reglas usadas por computadoras para comunicarse unas con otras a través de una red. Un protocolo es una convención o estándar que controla o permite la conexión, comunicación, y transferencia de datos entre dos puntos finales. En su forma más simple, un protocolo puede ser definido como las reglas que dominan la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación. Los protocolos pueden ser implementados por hardware, software, o una combinación de ambos. A su más bajo nivel, un protocolo define el comportamiento de una conexión de hardware.

Radiofrecuencias. RF: Frecuencias comprendidas entre 3 kHz a 300 MHz, Radiocomunicaciones en AM y FM.

REDES MESH Se trata de una arquitectura de red "en malla" que permite que cada receptor actúe simultáneamente como emisor. De esta forma, cada nuevo dispositivo que se añade a la red utiliza capacidad de ésta, pero también aporta recursos. Se trata por tanto de un modelo similar a la estructura de routers de Internet. Al no ser necesaria una comunicación directa con el punto de destino, se puede aumentar significativamente el número de dispositivos sin aumentar (de forma notoria) el nivel de interferencia. Como ejemplo de aplicación de esta arquitectura, se ha mencionado su utilización en los sistemas móviles de cuarta generación.

TÉCNICAS DE ESPECTRO ENSANCHADO Las técnicas de espectro ensanchado (del término inglés *spread-spectrum*) consisten en realizar una transformación reversible de la señal de forma que su energía quede dispersada a lo largo de una banda de frecuencias mayor que la que ocupaba originalmente. Esto hace que el ancho de banda utilizado en la transmisión sea mucho mayor que el necesario para una transmisión convencional pero, en cambio, la densidad de potencia emitida (potencia entre ancho de banda) es mucho menor. La codificación se realiza a partir de una señal pseudoaleatoria, que se caracteriza por tener una apariencia de ruido (también se le llama pseudoruido). La señal transmitida tendrá características pseudoaleatorias, y sólo se podrá remodular

(recuperar) si se es capaz de generar la misma señal de pseudoruido utilizada por el transmisor. Así, la señal de espectro ensanchado puede coexistir con otras señales de espectro ensanchado o incluso con señales de banda estrecha, ya que sólo aporta un pequeño incremento en la cantidad de ruido del sistema sin llegar a constituir una interferencia perjudicial, por lo que no impide el buen funcionamiento del resto de servicios.

Telefonía móvil: La telefonía móvil o celular actualmente emplea bandas entre 800 MHz a 1.800 MHz, con transmisión directa. Numerosos emisores-receptores son necesarios para conseguir mayor cobertura. Es un servicio de comunicación que se presta entre al menos un usuario de localización no determinada; móvil situado dentro de un área confinada con otros fijos o móviles.

Los elementos básicos de este sistema son dos: el terminal o teléfono móvil y la estación base. Para los terminales la potencia varía entre 0.6 W a 2 W.

Transceiver: Dispositivo que recibe la potencia de un sistema mecánico, electromagnético o acústico y lo transmite a otro, generalmente en forma distinta. El micrófono y el altavoz son ejemplos de transductores. En comunicaciones (informática) es un transmisor/receptor de señales de radio frecuencia (RF), sirve para conectar aparatos por vía inalámbrica

AES (AdvancedEncryption Standard): Estándar avanzado de encriptación.

UIT: La Unión Internacional de Telecomunicaciones es el organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

WIFI: es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos habilitados con Wi-Fi, tales como: un ordenador personal, una consola de videojuegos, un smartphone o un reproductor de audio digital, pueden conectarse a Internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Dicho punto de acceso (o hotspot) tiene un alcance de unos 20 metros (65 pies) en interiores y al aire libre una distancia mayor. Pueden cubrir grandes áreas la superposición de múltiples puntos de acceso.

WLAN:(Wireless Local Area Network), es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes LAN cableadas o como extensión de éstas. Utiliza tecnología de radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. Las WLAN van

adquiriendo importancia en muchos campos, como almacenes o para manufactura, en los que se transmite la información en tiempo real a una terminal central. También son muy populares en los hogares para compartir el acceso a Internet entre varias computadoras.

WPAN: Una red inalámbrica de área personal (**WPAN**) incluye redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de algunas decenas de metros. Este tipo de red se usa generalmente para conectar dispositivos periféricos (por ejemplo, impresoras, teléfonos móviles y electrodomésticos) o un asistente personal digital (PDA) a un ordenador sin conexión por cables. También se pueden conectar de forma inalámbrica dos ordenadores cercanos. Se usan varios tipos de tecnología para las WPAN:

La tecnología principal WPAN es **Bluetooth**, lanzado por Ericsson en 1994. Ofrece una velocidad máxima de 1 Mbps con un alcance máximo de unos treinta metros. La tecnología Bluetooth, también conocida como *IEEE 802.15.1*, tiene la ventaja de tener un bajo consumo de energía, algo que resulta ideal para usarla en periféricos de pequeño tamaño.

ZIGBEE La tecnología ZigBee está basada en el estándar IEEE 802-15.4 (adoptado en 2003) de red de área personal inalámbrica (WPAN) y está principalmente impulsada por la ZigBee Alliance. La principal característica de ZigBee es que ha sido especialmente diseñada para utilizar una tecnología muy simple, con gran facilidad de uso y mínimo consumo de energía. Así, mientras otras tecnologías como Bluetooth han sido diseñadas para la comunicación entre dispositivos de gran volumen de datos (teléfonos, ordenadores portátiles...) ZigBee es especialmente idónea para numerosas aplicaciones como la monitorización de sensores o interruptores inalámbricos, caracterizados por manejar un bajo volumen de datos.

ZigBee Alliance: Alianza ZigBee entidad dedicada a promocionar esta tecnología (ZigBee) y garantizar la interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes mediante certificación.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el hombre se ha visto obligado a recolectar frutos de la naturaleza, después de que se hace sedentario empieza con la agricultura y luego con la propiedad privada requiere de espacios específicos para el cultivo, pero en los últimos años, estas necesidades han empezado a cambiar, producto de los cambios climáticos, y la disminución de los espacios cultivables, conllevando a buscar nuevos lugares donde se desarrolle la agricultura pero con fines específicos y controlados, a lo que se le suele llamar invernaderos.

La producción de alimentos en nuestra región es la base fundamental de nuestra economía, por lo que me lleva a enfatizar mi conocimiento académico adquirido en la universidad para buscar problemáticas y darle soluciones, teniendo en cuenta las nuevas tecnologías que tenemos en el presente, dando así un aporte a este sector agrícola fundamental en nuestra región.

Las últimas tecnologías nos han cambiado la forma de ver las cosas, como lo son las comunicaciones inalámbricas, la automatización y la instrumentación, estas tecnologías son tenidas en cuenta para el desarrollo del proyecto y que genere un beneficio para la región. La capacidad de poder sensar datos y comunicarlos a un centro de control es una de los grandes desarrollos alcanzados por la ingeniería electrónica en este nuevo siglo, logrando generar sistemas estandarizados como lo es zigbee.

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance. Es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. Está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus

baterías.

ZigBee es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para remplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. Fue creado para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo coste, un estándar para redes Wireless de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En este proyecto de investigación nos enfocaremos en el diseño e implementación de una red inalámbrica sensores para el monitoreo y control de agricultura de precisión.

La agricultura en nuestra región se está viendo seriamente afectado por la competencia de otras regiones que basados en las herramientas tecnológicas han sacado más beneficios de la agricultura.

La búsqueda de alternativas para la siembra de cultivos en nuestra región es muy pobre y se basan en técnicas antiguas o rudimentarias, en las cuales no se logra aprovechar al máximo el cultivo, llevando a una baja ganancias o en el peor caso llevando a pérdidas. Por lo cual es necesario la búsqueda de métodos de monitoreo y control para estos cultivos, pero resultan ser muy costosos y se encuentra fuera del alcance de una aplicación real.

Se considera que la aplicación de nuevas tecnologías como lo es los sensores inalámbricos "ZigBee" en el monitoreo y control de agricultura de precisión es una buena alternativa para la búsqueda de una aplicación real en este campo y así aportar beneficios a la región.

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El fomento de nuevas tecnologías en la agricultura de precisión como lo es la siembra de cultivos en invernaderos. Nos llevan a la búsqueda de una aplicación utilizando los recursos físicos e intelectuales que nos brinda la universidad, medios de investigación y también recursos propios.

El fomento de estas nuevas tecnologías en nuestra región más

específicamente en las áreas cercanas a Tunja, nos trae grandes beneficio para los cultivadores y los consumidores, como se ha visto en otras regiones que ya aplican estas tecnologías.

La implementación de una red de sensores inalámbricos "zigbee" en la agricultura de precisión más específicamente en un invernadero, para el monitoreo de variables como lo es temperatura y humedad, y así lograr una mayor eficiencia del cultivo a aplicar.

La aplicación de este proyecto es a corto plazo nos lleva una aplicación investigativa y experimental, lo cual nos basaremos en modelos a escala dejando aplicación abierta a un modelo real.

JUSTIFICACIÓN

La región de Boyacá se caracteriza por ser una región de alta producción agrícola siendo su primer región en su economía, gracias a la riqueza de sus tierras y variedad de climas. Pero sus bajas aplicaciones tecnológicas no permiten el aprovechar máximo de estas tierras. Las alternativas para mejorar la producción en los cultivos es el desarrollo de un sistema de monitoreo y control, aplicando los últimos avances tecnológicos como lo es los sensores inalámbricos "zigbee".

El desarrollo de los sensores inalámbricos "zigbee" es una nueva tecnología que está revolucionando los sistemas de monitoreo y control en diferentes áreas de aplicación, como lo es en la industria, medicina, "seguridad alarmas y monitoreo", entretenimiento entre otros como la agricultura que es el tema más importante a aplicar ya que nuestra región depende mucho de esta área y estaríamos haciendo un muy buen aporte.

La búsqueda de un nuevo conocimiento en el área del monitoreo y control que nos lleven a estar a la par en los últimos avances tecnológicos mundiales, es una de las prioridades para que este proyecto tenga una proyección a futuro y que la aplicación que se busca en la agricultura de nuestra región sea una herramienta de beneficio en futuras aplicaciones.

De esta forma se busca brindar alternativas al sector agroindustrial del departamento de Boyacá con la implementación de un prototipo de invernadero a un bajo costo, que en un futuro permitirá establecer estrategias de cultivos programados que le permitan a la región y al país entrar en proceso de exportación y de cultivos programados con una trazabilidad determinada, como lo exigen las diferentes entes de control de países desarrollados.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Diseñar e implementar un prototipo a escala de un invernadero con control de: temperatura, humedad y riego, el cual será monitoreado a través de una red de sensores ZigBee para agricultura de precisión en el área rural de Moniquira (Boyacá).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el desarrollo del estándar IEEE 802.15.4 en los últimos cinco años, para ser utilizado en una red de sensores orientados a la agricultura de precisión.
2. Conocer y Diseñar un prototipo de invernadero el cual determine las principales variables a controlar en un proceso de agricultura de precisión.
3. Diseñar e implementar una red de sensores a través de la tecnología ZigBee que permitan controlar las variables básicas de un invernadero para una región específica.
4. Diseñar e implementar el sistema de monitoreo y control que permita controlar la variables básicas del invernadero dependiendo del tipo de cultivo con una interface humano maquina sencilla.

CAPÍTULO I

TEORÍA ZIGBEE

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance¹. Es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. Está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal área Network, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

ZigBee es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. Fue creado para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo coste, un estándar para redes Wireless de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable².

1.1 INTRODUCCIÓN

Las tecnologías inalámbricas han adoptado con el paso del tiempo una manera más sencilla y cómoda de utilizar toda clase de dispositivos con el fin de mejorar el confort y las comunicaciones en general. Ésta investigación aborda la tecnología inalámbrica ZigBee, basada en el estándar 802.15.4 que por su poca introducción al mercado no es muy conocida a pesar de que no es muy reciente.

¹ZigBee Specification 053474r17, Jan. 2008; available from www.zigbee.org.

²J. S. Dagtas et al., "Multi-stage Real Time Health Monitoring via ZigBee in Smart Homes," Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW), pp. 782–786.

ZigBee comunica una serie de dispositivos haciendo que trabajen más eficiente entre sí. Es un transmisor y un receptor que usa baja potencia para trabajar y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Es ideal para conexiones con diversos tipos de topología, lo que a su vez lo hace más seguro, barato y que no haya ninguna dificultad a la hora de su construcción porque es muy sencilla.

Es la tecnología inalámbrica del futuro que no tiene competencia fuerte con las tecnologías existentes debido a que sus aplicaciones son de automatización de edificios, hogareñas e industriales, especialmente para aplicaciones con usos de sensores.

1.1.1 Historia.

El nombre "ZigBee" se deriva de los patrones erráticos comunicativos que hacen muchas abejas entre las flores durante la recogida de polen. Esto es evocador de las redes invisibles de las conexiones existentes en un entorno totalmente inalámbrico.

ZigBee se ha desarrollado para satisfacer la creciente demanda de capacidad de red inalámbrica entre varios dispositivos de baja potencia³. En la industria ZigBee se está utilizando para la próxima generación de fabricación automatizada, con pequeños transmisores en cada dispositivo, lo que permite la comunicación entre dispositivos a un ordenador central.

Para llevar a cabo este sistema, un grupo de trabajo llamado (ZigBee Alliance)⁴

³J. P. Lynch, "An overview of wireless structural health monitoring for civil structures," Phil. Trans. R. Soc. A, 2007, pp. 345–372.

⁴ZigBee Alliance, available at www.zigbee.org.

formado por varias industrias, sin ánimo de lucro, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, está desarrollando el estándar. La alianza de empresas está trabajando codo con codo con IEEE para asegurar una integración, completa y operativa. Esta alianza en la cuales destacan empresas como Invensys, Mitsubishi, Philips y Motorola trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de automatización hogareña (domótica), de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC y sensores médicos. Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth⁵.

Esta nueva aplicación, definida por la propia ZigBee Alliance como el nuevo estándar global para la automatización del hogar, permite que las aplicaciones domóticas desarrolladas por los fabricantes sean completamente inter operables entre sí, garantizando así al cliente final fiabilidad, control, seguridad y comodidad.

Además la ZigBee Alliance también deja disponible para su acceso la ZigBee Cluster Library, ofreciendo de este modo a los ingenieros y demás integradores, deseosos de trabajar bajo este estándar mundial idóneo para los servicios domóticos, bloques de construcción para aplicaciones con necesidades bajo el denominador común de la automatización residencial, reduciendo de este modo las labores de desarrollo y permitiendo implementaciones más precisas.

1.1.1 Definición.

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones para redes Wireless que requieran comunicaciones seguras y fiables con baja tasa

⁵DomoDesk Todo en Domótica - <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>

de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

1.1.2 Estándar IEEE 802.15.4.

IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate wireless personal area network, LR-WPAN). La actual revisión del estándar se aprobó en 2006. El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el responsable de su desarrollo.

También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

1.1.3 Características⁶

- ZigBee, también conocido como "HomeRF" es una tecnología inalámbrica con velocidad comprendidas entre 20 KB/s y 250 KB/s, esta velocidad de transmisión es ideal para dispositivos que manejan un bajo volumen de datos como lo es el monitoreo y control de variables.
- Los rangos de alcance son entre 10 y 100mts, este rango varia si es en interiores o exteriores.
- Puede usar las bandas libres ISM (Industrial, Scientific and Medical) y son usadas como su sigla en inglés lo dice para Industrial, científico y medico. Esta banda está en la frecuencia de 2.4Ghz a nivel mundial, 868 MHz para Europa y 915 MHz para Estados Unidos y resto de América.
- A pesar de compartir la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja

⁶ Tutorial Reports.com - <http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/zigbee-characterstics.php>

tasa de transmisión y a características propias del estándar IEEE 802.15.4.

- Capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino.
- Un sensor equipado con un transceiver ZigBee puede ser alimentado con dos baterías AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años, ya que su consumo de energía es muy bajo.
- La fabricación de un dispositivo ZigBee consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente, haciendo más fácil su montaje, aplicación y bajo costo. En la actualidad existen varias marcas que suministran esta tecnología.
- Diferentes tipos de topologías en red como Estrella, Punto a punto, Malla y árbol. Esto da varias opciones para las diferentes aplicaciones a utilizar en los diferentes campos.
- Estabilidad de red, un mejor soporte para redes grandes ofreciendo más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño. Lo cual hace que ZigBee abarque muchas aplicaciones en diferentes campos.

1.1.4 Ventajas

- Ideal para conexiones punto a punto y punto multipunto, esto nos permite aplicar diferentes topologías de red.
- Diseñad para el direccionamiento de información y actualización de dispositivos de red, para que nuevos dispositivos sean adicionados a la red y asignarles nombres y funciones.

- Opera en banda libre de ISM 2.4 GHz para conexiones inalámbricas, esta tecnología se puede utilizar sin necesidad de permisos o ley que lo impida.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos, dando una gran eficiencia en sus aplicaciones y sobresaliendo por encima de otras tecnologías.
- Alojamiento de 16 bit a 64 bit de direcciones extendidas, para crear grandes redes.
- Reduce tiempo de entrega en el envío y recepción de paquetes, en tiempo de pasar de estado de reposo a estado activo para transmitir en muy pequeño.
- Detección de energía.
- Bajo ciclo de trabajo esto proporciona una larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Hasta 65.000 nodos en la red, esto permite crear redes muy robustas, estables y eficientes.
- 128 bit AES (Advanced Encryption Standard) estándar avanzado de encriptación, provee conexiones seguras entre dispositivos, esto asegura un nivel muy alto de seguridad para aplicaciones que sea necesario.
- Son más baratos y de construcción más sencilla, y por ser una tecnología en crecimiento estos costos tiende a bajar aumentando su aplicación y sencillez.

1.1.5 Desventajas

- la tasa de transferencia es muy baja ya que fue diseñado para aplicaciones que maneja baja transmisión.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnológicas.

- Zigbee trabaja de manera que no sea compatible con Bluetooth en todos sus aspectos porque no llega a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos.
- Tiene menos cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN (Wireless Personal Area Network) Red Inalámbrica de Área Personal. En la actualidad se están creando dispositivos que tengan mayor cobertura y mejorando esta desventaja respecto a las otras tecnológicas.

1.1.6 Zigbee Vs Bluetooth y IEEE 802.11 (WIFI).

Al comparar el estándar de ZigBee con Bluetooth y WLAN IEEE 802.11 nos ayuda a entender cómo este se diferencia de los de más estándares existentes. Ver Figura No.1.1. Resume las características básicas de estos tres estándares.

IEEE 802.11 es una familia de estándares; seleccionamos IEEE 802.11b de los otros estándares, ya que opera en la banda de 2,4 GHz, que es común con Bluetooth y ZigBee. IEEE 802.11b tiene una alta velocidad de transmisión (hasta 11 Mbps), y una de sus aplicaciones típicas es proporcionar una conexión a Internet inalámbrica. Con un alcance entre 30 y 100 metros. Bluetooth, en cambio, tiene una tasa de datos más baja (menos de 3 Mbps) y su área de alcance en interior es normalmente de 2-10 metros. Una de las aplicaciones típicas de Bluetooth se encuentra en auriculares inalámbricos, donde Bluetooth proporciona los medios para la comunicación entre un teléfono móvil y un auricular de manos libres. ZigBee tiene la menor tasa de datos, complejidad de estos tres estándares y proporciona una vida más larga de la batería.

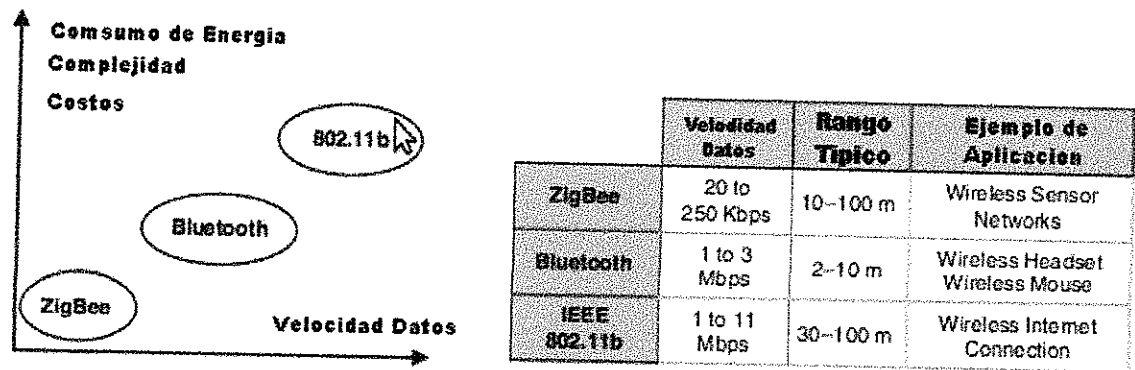


Figura 1.1 Comparación del estándar ZigBee, Bluetooth y IEEE 802.11b

Fuente: interpretada y Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transcribes, Shahin Farahani por el autor

ZigBee maneja baja velocidad de datos esto significa que no es la mejor opción para implementar una conexión a Internet inalámbrica o un auricular inalámbrico con una buena calidad, donde más de 1 Mbps se desea. Sin embargo, si el objetivo de la comunicación inalámbrica de transmitir y recibir comandos simples y/o recabar información de los sensores, como de temperatura o humedad, ZigBee proporciona el menor consumo de energía y la solución más rentable en comparación con Bluetooth y IEEE 802.11b.

1.1.7 Clase De Redes Inalámbricas De Corto Alcance.

Las redes inalámbricas de corto alcance se dividen en dos principales categorías:

- (WLAN) wireless local area networks- Red Inalámbrica de área local
- (WPAN) wireless personal area networks – Red inalámbrica de área personal.

WLAN es una sustitución o ampliación de redes de área local cableada (LAN), tales como Ethernet (IEEE 802.3). Un dispositivo WLAN puede ser integrado con una red LAN cableada, el dispositivo WLAN se convierte en parte de la red, la red trata el dispositivo móvil al igual que cualquier otro dispositivo con conexión de

cable dentro de la red⁷. El objetivo de una WLAN es maximizar el alcance y la velocidad de datos.

WPAN, en cambio, no se han desarrollado para sustituir a cualquier LAN cableada. WPAN se crean para proporcionar los medios para la comunicación inalámbrica de energía-eficiente en el campo de maniobra personal - personal operating space (POS) sin la necesidad de cualquier infraestructura. POS es la radio cobertura que rodea a un dispositivo inalámbrico y tiene un radio de 10 metros.

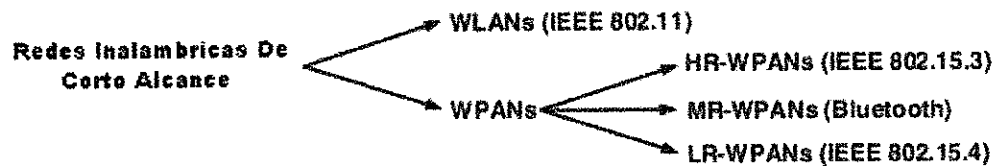


Figura 1.2 Clase de redes inalámbricas de corto alcance

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

WPAN se dividen en tres clases ver Figura No. 1.2: alta rango - high-rate (HR) WPAN, medio rango - (MR) WPAN, y baja rango (LR) WPAN⁸. Un ejemplo de un HR-WPAN es IEEE 802.15.3 con una velocidad de 11 a 55 Mbps⁹. Esta alta velocidad de datos ayuda en aplicaciones tales como transmisión inalámbrica de video en tiempo real desde una cámara de un circuito cerrado de TV. Bluetooth, con una velocidad de 1 a 3 Mbps, es un ejemplo de un MR-WLAN y puede ser utilizado en la transmisión de voz de alta calidad en auriculares inalámbrico. ZigBee, con una tasa máxima de datos de 250kbps, se clasifica como un LR-WPAN.

⁷J. Gutierrez, et al., "Low-Rate Wireless Personal Area Networks," IEEE Press, 2007.

⁸IEEE 802.15.3-2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).

⁹IEEE 802.15.3-2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).

1.2 RELACIÓN ENTRE ZIGBEE Y ESTÁNDAR IEEE 802.15.4

Una de las maneras más comunes para establecer una red de comunicación (por cable o inalámbrica) es utilizar el concepto de capas de red. Cada capa es responsable de ciertas funciones en la red. Las capas que normalmente pasan los datos y los comandos sólo a las capas directamente por encima y por debajo de ellos.

Las capas de protocolo de red inalámbrica ZigBee se muestran en la Figura No. 1.3. Las capas de protocolo ZigBee se basan en (OSI) Open System Interconnect - sistemas de conexión abiertos, Modelo de referencia básico¹⁰.

El protocolo de red dividido en capas tiene una serie de ventajas. Por ejemplo, si se cambios el protocolo con el tiempo, es más fácil de sustituir o modificar la capa que se ve afectado por el cambio en lugar de reemplazar todo el protocolo. Además, en el desarrollo de aplicaciones, las capas inferiores del protocolo son independientes de la demás y se puede obtener por aparte, por lo que hay que hacer es hacer los cambios en la capa de aplicación del protocolo. La implementación del software de un protocolo que se conoce como pila de protocolos de software.

¹⁰Open Systems Interconnection Basic Reference Model: The Basic Model, ISO/IEC 7498-1:1994.

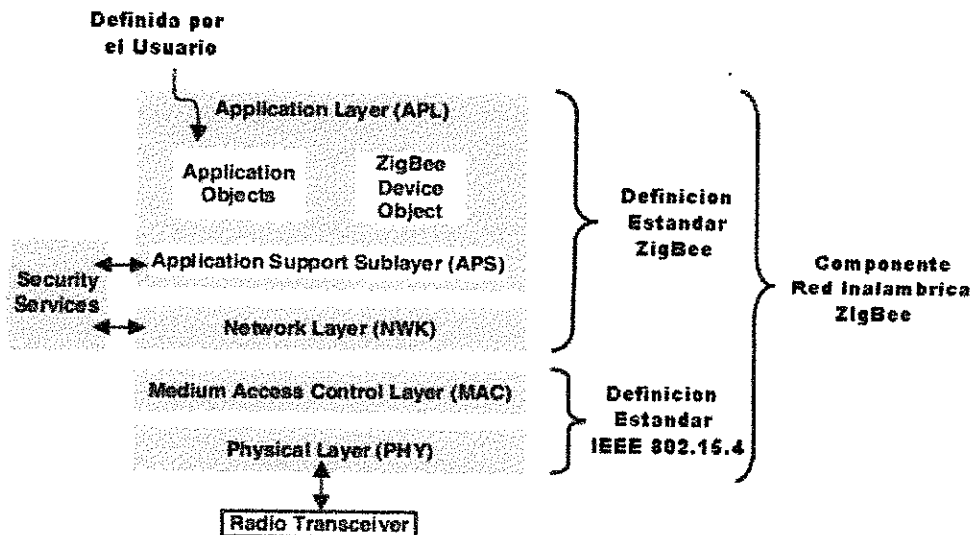


Figura No. 1.3: Protocolo de capas Red Inalámbrica Zigbee

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

Como se muestra en la Figura 1.3, la parte inferior dos capas de red son definidos por el estándar IEEE 802.15.4¹¹. Este estándar ha sido desarrollado por el IEEE 802 Comisión de Normas y fue lanzado inicialmente en 2003. IEEE 802.15.4 define las especificaciones para las capas PHY (**Physical layer protocol**) y MAC (siglas en inglés de Media Access Control o control de acceso al medio) de las redes inalámbricas, pero no especifica los requisitos para las capas de red más alto.

El estándar ZigBee sólo define la integración en redes, aplicaciones y niveles de seguridad del protocolo IEEE 802.15.4 y adopta PHY y MAC capas como parte del protocolo de red ZigBee. Por lo tanto, cualquier dispositivo compatible con ZigBee es conforme con IEEE 802.15.4 también.

IEEE 802.15.4 fue desarrollado independientemente de la norma ZigBee, y es posible construir redes inalámbricas de corto alcance basada únicamente en el estándar IEEE 802.15.4 y ZigBee no aplicar capas específicas. En este caso, los usuarios desarrollan sus propias redes / Protocolo de capa de aplicación en la parte superior de la IEEE 802.15.4 PHY y MAC (ver Figura 1.4). Estas redes

¹¹ IEEE 802 LAN/MAN standards committee, available at www.ieee802.org.

personalizadas / capas de aplicación son normalmente más sencillas que las capas de protocolo ZigBee y van dirigidos a aplicaciones específicas.

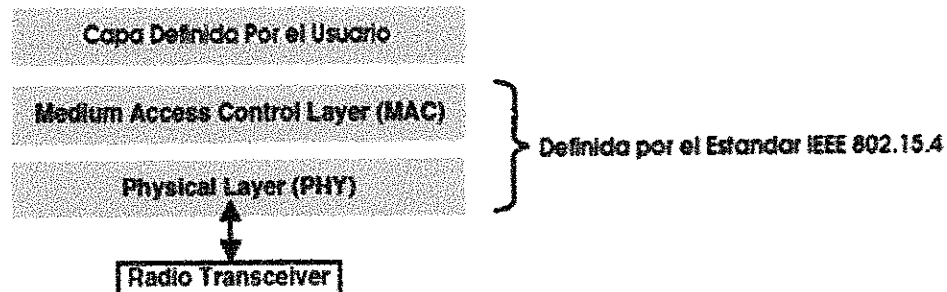


Figura No. 1.4: Un protocolo de red puede estar basado en el estándar IEEE 802.15.4 y no cumplen con el estándar ZigBee
Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

Una de las ventajas de las redes de propiedad personalizada / capas de aplicación es la huella más pequeña de tamaño de memoria necesaria para aplicar todo el protocolo, lo cual puede resultar en una reducción de los costos. Sin embargo, la aplicación del protocolo de ZigBee completo garantiza la interoperabilidad con soluciones de otros proveedores inalámbricos y fiabilidad adicionales debido a la capacidad de red de malla apoyadas este. La decisión de si aplicar o no la totalidad del protocolo ZigBee o simplemente IEEE 802.15.4 PHY y MAC capas depende de la aplicación y el plan a largo plazo para el producto.

Las características físicas de nivel de la red están determinadas por la especificación de la capa PHY, por lo tanto, los parámetros tales como las frecuencias de funcionamiento, velocidad de datos, los requisitos de sensibilidad del receptor, y tipos de dispositivos se especifican en el estándar IEEE 802.15.4.

Este capítulo cubre las capas del estándar IEEE 802.15.4 y ZigBee especificando en detalle.

1.2.1 Frecuencia De Operación Y Tasa De Datos.

Hay tres bandas de frecuencia que se utilizan en la última versión del estándar IEEE 802.15.4, que fue lanzado en septiembre de 2006:

- 868–868.6 MHz (868 MHz banda)
- 902–928 MHz (915 MHz banda)
- 2400–2483.5 MHz (2.4 GHz banda)

La banda de 868 MHz se utiliza en Europa para una serie de aplicaciones, incluidas las redes inalámbricas de corto alcance¹². Las otras dos bandas frecuencia (915 MHz y 2,4 GHz) hacen parte de aplicaciones industriales, científicos y médicos (ISM). La banda de 915 MHz de frecuencia se utiliza principalmente en Norteamérica, mientras que la banda de 2,4 GHz se utiliza a nivel mundial.

	Frequency (MHz)	Numero de Canal	Modulacion	Chip Rate (Kchip/s)	Bit Rate (Kb/s)	Symbol Rate (Ksymbol/s)	Spreading Method
	868-868.6	1	BPSK	300	20	20	Binary DSSS
	902-928	10	BPSK	600	40	40	Binary DSSS
Optional	868-868.6	1	ASK	400	250	12.5	20-bit PSSS
	902-928	10	ASK	1600	250	50	5-bit PSSS
Optional	868-868.6	1	O-QPSK	400	100	25	16-array orthogonal
	902-928	10	O-QPSK	1000	250	62.5	16-array orthogonal
	2400-2483.5	16	O-QPSK	2000	250	62.5	16-array orthogonal

Tabla No. 1.1: IEEE 802.15.4 Transferencia de Datos y Frecuencia de Operación
Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, ShahinFarahani

¹²European Radio communications Committee (ERC)/CEPT Report 98, available at www.learnZigBee.com.

Tabla No. 1.1 proporciona más detalles sobre los modos en que estas tres bandas de frecuencia se utilizan en el estándar IEEE 802.15.4. También las características del dispositivo emisor-receptor para ser compatible entre las bandas de 868 MHz y 915 MHz. Por lo tanto, estas dos bandas siempre están agrupados como las bandas de 868/915 MHz de frecuencia de operación.

IEEE 802.15.4 tiene dos especificaciones opcionales para las bandas de 868/915 MHz Que son el rendimiento de velocidades de datos (20 Kbps y 40 Kbps, respectivamente). La única manera de tener una tasa de datos mayor a 40 Kbps es utilizar la banda de 2,4 GHz de frecuencia, alcanzando los 250 Kbps velocidad.

Si un usuario decide poner en práctica los modos opcionales de operación, IEEE 802.15.4 requiere de ajustar el nivel de velocidad entre los dispositivos para el modo de funcionamiento en las bandas de 868/915 MHz Además, los dispositivos deben ser capaces de cambiar dinámicamente entre los modos básicos y opcionales de operación en bandas de 868/915 MHz

El transmisor-receptor de 2.4 GHz puede apoyar bandas de 868/915 MHz, pero no es requerido por la IEEE 802.15.4. Hay un solo canal en la banda de 868 MHz. La banda de 915 MHz con 10 canales (con exclusión de los canales opcional). El número total de canales en la banda de 2,4 GHz es de 16.

La banda de 2,4 GHz ISM es aceptada en todo el mundo y tiene la máxima velocidad de datos y el número de canales. Por estas razones, los dispositivos en desarrollo para la banda de 2,4 GHz es la opción más popular para muchos fabricantes. Sin embargo, IEEE 802.11b (WIFI) funciona en la misma banda y al operar en la misma banda puede ser un problema en algunas aplicaciones, por ejemplo interferencia y ruido. También, entre menor sea la banda de frecuencias, mejor alcance en distancia y esto también dependerá de las paredes y objetos. Por lo tanto, algunos usuarios pueden encontrar en la banda de 868/915 MHz una

mejor opción para sus aplicaciones.

Hay tres tipos de modulación en el estándar IEEE 802.15.4: (modulación por desplazamiento de fase binaria) (BPSK), (modulación por amplitud de desplazamiento) (ASK), y (offset de cuadratura Modulación por desplazamiento de fase) (O-QPSK). En BPSK y O-QPSK, los datos digitales se encuentran en la fase de la señal. En ASK, por el contrario, los datos digitales se encuentran en la amplitud de la señal.

Hay tres tipos de modulación en el estándar IEEE 802.15.4:

- BPSK: Binary phase shift keying - modulación por desplazamiento de fase binaria.
- BPSK: Amplitudeshiftkeying - modulación por amplitud de desplazamiento,
- O-QPSK Offset quadraturephaseshiftkeying - offset de cuadratura Modulación por desplazamiento de fase.

En BPSK y O-QPSK, los datos digitales se encuentran en la fase de la señal. En ASK, por el contrario, los datos digitales se encuentran en la amplitud de la señal.

Todos los métodos de comunicación inalámbrica en IEEE 802.15.4 (cuadro 1.1) se aproveche la técnicas de modulación (DSSS) Direct sequence spread spectrum - espectro ensanchado por secuencia directa o (EPSS) Parallel sequence spread spectrum - espectro ensanchado por secuencia paralela. DSSS y PSSS ayudar a mejorar el rendimiento de la transmisión en un entorno de múltiples¹³.

1.2.2 Compatibilidad.

ZigBee tiene una amplia gama de aplicaciones, por lo tanto, varios fabricantes

¹³H. Schwetlick, et al., "PSSS—Parallel Sequence Spread Spectrum: A Physical Layer for RF Communication," IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 2004, pp. 262–265.

ofrecen soluciones. Es importante que estos dispositivos basados sean capaces de interactuar unos con otros sin importar el origen de fabricación. En otras palabras, los dispositivos deben ser compatibles. La compatibilidad es una de las principales ventajas del protocolo ZigBee. Los dispositivos son compatibles aun cuando los mensajes están cifrados por razones de seguridad.

1.2.3 Tipo De Dispositivos.

Se define tres tipos distintos de dispositivos ZigBee según su papel en la red, estos dispositivos están clasificados según estructura que lo conforma y su funcionalidad.

- Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinartor, ZC): el tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, requiere memoria y capacidad de computación.
- Router ZigBee (ZigBee Router, ZED): interconecta dispositivos separados en la topología de red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de códigos de usuarios.
- Dispositivo Final (ZigBee End Device, ZED): posee las funciones necesarias para comunicarse con su nodo principal (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros. De esta forma, este tipo de nodos pueden estar en estado de reposo la mayoría de tiempo, aumentando la vida útil de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por lo tanto significativa mente más económico para su aplicación.

1.2.4 Función De Los Dispositivos.

Basándose en las funciones, podemos plantear una segunda clasificación:

Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): también conocido como nodo activo. Capaz de recibir mensajes en formato 801.15.4 gracias a la memoria adicional y la capacidad de procesar información, puede funcionar como coordinador o router Zigbee, o puede ser usado en dispositivos finales de red (ZED) que actúen como interface al usuario.

Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): también conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funciones limitadas con el objeto de conseguir un bajo costo y una gran simplicidad. Básicamente son sensores/actuadores de la red.

Un nodo ZigBee (tanto activo como pasivo) reduce su consumo gracias a que puede permanecer en estado de reposo la mayoría de tiempo, este es un estado en que el consumo de baterías es muy bajo.

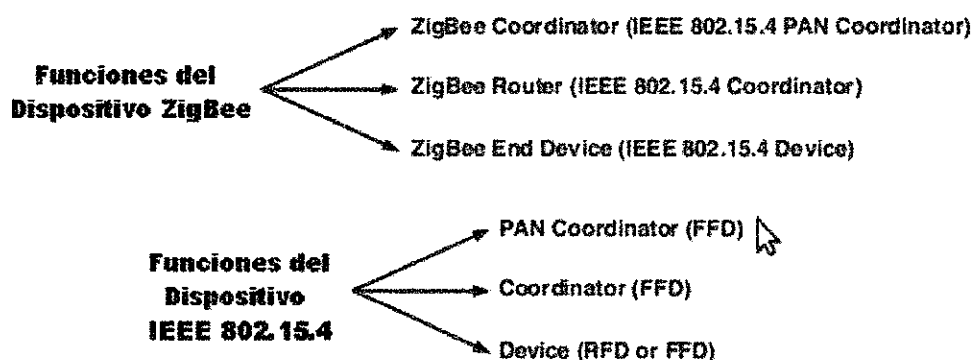


Figura No. 1.5: Funciones de los Dispositivos IEEE 802.15.4 y Zigbee

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

1.2.5 Topología De Red Zigbee.

La forma de la red es gestionada por la capa de red ZigBee. La red debe estar en una de las dos topologías de red especificada en IEEE 802.15.4: estrella y punto a

punto.

En la topología en estrella, que se muestra en la Figura No. 1.6, todos los dispositivos en la red sólo pueden comunicarse con el coordinador del PAN. Un escenario típico en una formación red en estrella es que un FFD, es programado para ser coordinador del PAN, se activa y empieza a establecer su red. Lo primero que este coordinador del PAN lo que hace es seleccionar un identificador único del PAN que no es utilizado por ninguna otra cadena en su esfera de radio de influencia, la región alrededor del dispositivo en el que la frecuencia de radio se pueden comunicar con éxito con otras radios. En otras palabras, garantiza que el identificador del PAN no sea utilizado por cualquier red cercana.

En una topología punto a punto (ver figura No 1.7), cada dispositivo puede comunicarse directamente con cualquier otro dispositivo, si estos se colocan lo suficientemente juntas para establecer un enlace de comunicación con éxito. Cualquier FFD en una red punto a punto puede desempeñar el papel del coordinador del PAN. Una manera de decidir que el dispositivo será el coordinador del PAN es escoger el dispositivo FFD primero que inicia la comunicación como el coordinador del PAN. En una red punto a punto, todos los dispositivos que participan en la transmisión de los mensajes se FFDsRFDs porque no son capaces de transmitir los mensajes. Sin embargo, un RFD puede ser parte de la red y comunicarse sólo con un dispositivo concreto (un coordinador o un router) en la red.

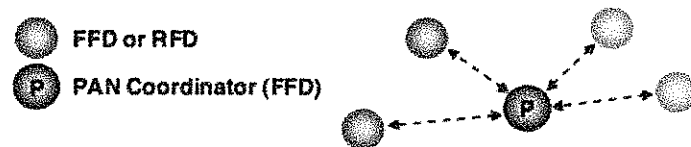


Figura No. 1.6: Topología de Red Estrella

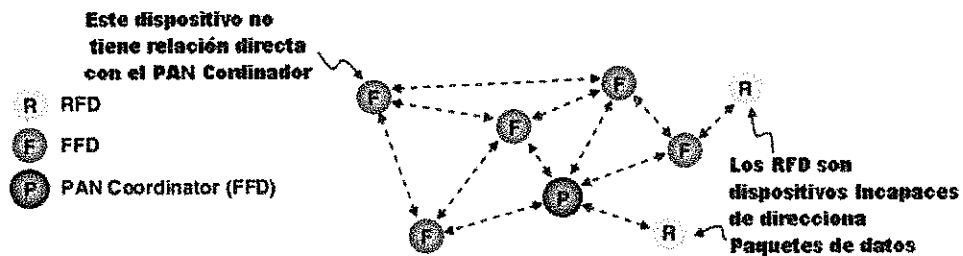


Figura No. 1.7: Topología de Red Malla

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

Una red Punto a Punto puede tomar diferentes formas mediante la definición de las restricciones a los dispositivos que pueden comunicarse entre sí. Si no hay ninguna restricción, la red Punto a Punto es conocida como una topología de malla. Otra forma de red Punto a Punto ZigBee soporta es una topología de árbol (ver Figura 1.7). En este caso, un coordinador de ZigBee (coordinador del PAN), establece la red inicial. Routers ZigBee forman las ramas y el relé de los mensajes. Los dispositivos ZigBee final actúan como hojas del árbol y no participar en el enrutamiento de mensajes. Routers ZigBee puede crecer la red más allá de la red inicial establecido por el coordinador ZigBee.

Figura No. 18 también muestra un ejemplo de cómo transmitir un mensaje puede ayudar a ampliar el alcance de la red e incluso dar la vuelta a barreras. Por ejemplo, un dispositivo necesita enviar un mensaje al dispositivo B, pero hay una barrera entre ellos que es difícil para la señal de penetrar. La topología del árbol ayuda a transmitiendo el mensaje alrededor de la barrera y llegar a B. Esto se refiere a veces como saltos múltiples debido a que un mensaje saltos de un nodo a otro hasta llegar a su destino.

Una red IEEE 802.15.4, independientemente de su topología, siempre se crea por un coordinador del PAN. El coordinador del PAN controla la red y desempeña las siguientes funciones mínimas:

- Asignar una dirección única (16-bit o 64-bit) a cada dispositivo en la red.

- Iniciar, terminar, y enrutar los mensajes en la red.
- Seleccione un identificador único del PAN a la red. Este identificador PAN permite que dispositivo dentro de una red que utilice el método de 16-bit abordar a corto y aún así ser capaces de comunicarse con otros dispositivos a través de redes independientes.

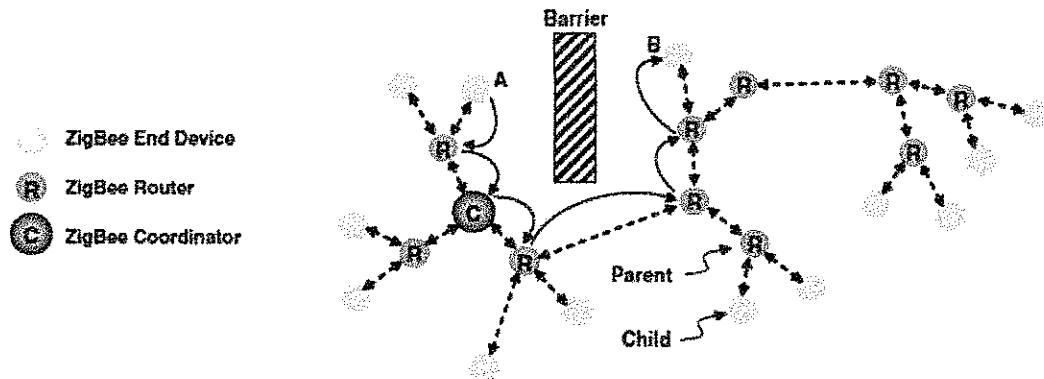


Figura No 1.8 Zigbee Topologia de árbol.

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

Sólo hay un coordinador del PAN en toda la red. Un coordinador del PAN pueda llegar a necesitar largos períodos activos, por lo que suele ser conectado a una red eléctrica en lugar de una batería. Todos los demás dispositivos pueden funcionar normalmente con baterías. La red más pequeña posible, incluye dos dispositivos: un coordinador del PAN y un dispositivo.

1.3 ZIGBEE y IEEE 802.15.4, COMUNICACIÓN BÁSICA

Esta sección revisa algunos conceptos básicos de comunicación como método de acceso múltiple, los métodos de transferencia de datos, y direccionamiento en IEEE 802.15.4 y ZigBee.

1.3.1 CSMA-CA.

IEEE 802.15.4 implementa un método simple para permitir que varios dispositivos

utilizar el mismo canal de frecuencia para su medio de comunicación. El mecanismo de acceso al canal utilizado es Carrier Sense Multiple Access con evitación de colisión (CSMA-CA). En CSMA-CA, en cualquier momento un dispositivo desea transmitir, en primer lugar, realiza una evaluación clara del canal (CCA) para asegurar que el canal no está en uso por cualquier otro dispositivo. Seguidamente, el dispositivo comienza a transmitir su propia señal. La decisión de declarar un canal libre o no puede basarse en la medición de la energía espectral en el canal de frecuencia de interés o el tipo de detección de la señal de ocupación.

Cuando un dispositivo planea transmitir una señal, primero entra en modo de recepción para detectar y estimar el nivel de energía de la señal en el canal deseado. Esto se conoce como sistema de energy-detection

Detección de energía (ED). En ED, el receptor no decodifica la señal, sólo mide el nivel de señal estimado. Si hay una señal que ya opere en la banda de interés, el receptor no determina si es o no una señal de IEEE 802.15.4.

Otra manera de declarar un canal de frecuencia libre u ocupado es carrier sense - detección de portadora (CS). En CS, en comparación con el ED, el tipo de la señal de ocupación se determina y, si esta señal es una señal de IEEE 802.15.4, a continuación, el dispositivo puede decidir examinar el canal ocupado, incluso si la energía de la señal está por debajo de una definida por algún usuario.

Si el canal no está claro, el dispositivo espera durante un período de tiempo aleatorio y lo intenta de nuevo. Escogiendo un canal al azar y vuelva a intentarlo se repiten hasta que el canal queda claro o el dispositivo alcanza su número máximo definido por el usuario de reintentos.

1.3.2 Beacon-Habilitado vs Beacon- No Habilitado.

Cuando el coordinador PAN selecciona el modo de beacon-habilitado, usa la

estructura de superframe para manejar la comunicación entre dispositivos. El formato de la superframe está definido por el coordinador PAN, y dicho formato se lo envía periódicamente dentro de una trama beacon al resto de dispositivos.

Cuando el coordinador PAN selecciona el modo de beacon-no habilitado los dispositivos simplemente pueden enviar sus datos mediante el mecanismo CSMA/CA no ranurado. En este tipo de modo no se utilizan superframes.

1.3.3 Métodos de transferencia de dato.

Hay tres tipos de transferencia de datos en IEEE 802.15.4:

- Transferencia de datos a un coordinador de un dispositivo
- Transferencia de datos de un coordinador a un dispositivo
- Transferencia de datos entre dos dispositivos

Los tres métodos pueden ser utilizados en una topología de punto a punto. En una topología en estrella, sólo los dos primeros se utilizan, porque no hay comunicación directa punto a punto.

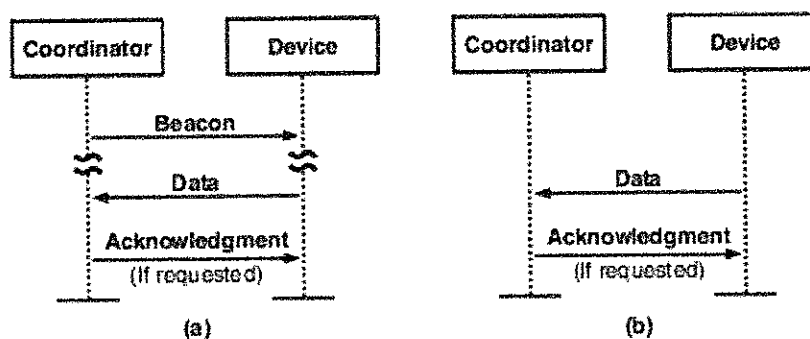


Figura No. 1.9: Transmitir datos al Coordinador en IEEE 802.15.4: (a) Beacon Habilitado, y (b) Beacon no Habilitado

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

➤ *Transferencia De Datos a un Coordinador.*

En una red de beacon-habilitado, cuando un dispositivo decide enviar los datos al coordinador, el dispositivo se sincroniza sobre una base regular y transmite los datos al coordinador mediante el método CSMA-CA (suponiendo que la transmisión no ocurre durante un guaranteed time slot - espacio de tiempo garantizado GTS). El coordinador podrá reconocer la recepción de la fecha, sólo si es solicitada por el transmisor de datos. (Este organigrama se muestra en la figura No. 1.9a).

(La figura No. 1.9b) muestra la secuencia de transferencia de datos en una red beacon- no habilitado. En este escenario, el dispositivo transmite los datos tan pronto como el canal está libre. La transmisión de un reconocimiento por parte del coordinador del PAN es opcional.

➤ *Transferencia De Datos De Un Coordinador.*

(La figura No. 1.10a) muestra los pasos de transmisión de datos para transferir datos de un coordinador a un dispositivo en una red de beacon habilitado. Si el coordinador tiene que transmitir los datos a un dispositivo en particular, indica, en su mensaje del beacon de un mensaje de datos se encuentra pendiente de ese dispositivo. El dispositivo envía un mensaje de solicitud de datos al coordinador lo que indica que está activo y listo para recibir los datos. El coordinador confirma la recepción de la solicitud de datos y envía los datos al dispositivo. El envío del (acknowledgment) por el dispositivo es opcional.

En una red beacon- no habilitado (Figura No. 1.10b), el coordinador tiene que esperar a que el dispositivo solicite los datos. Si el dispositivo solicita los datos, pero no hay datos pendientes en relación con ese dispositivo, el coordinador envía un mensaje de confirmación con un formato específico que indica que no hay datos pendientes para ese dispositivo. Por otra parte, el coordinador podrá enviar

un mensaje de datos con una carga útil (longitud cero).

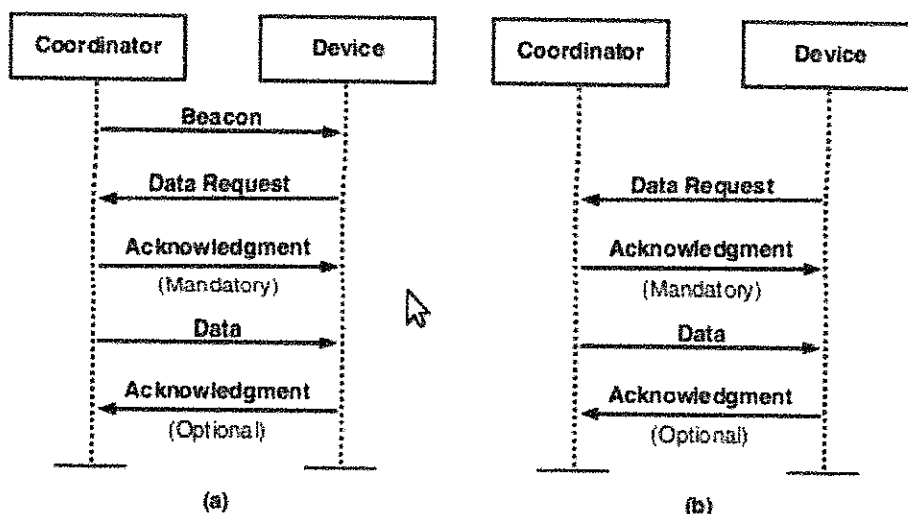


Figura No. 1.10: Transferencia de Datos de Coordinador a un Dispositivo: (a) Beacon Habilitado, y (b) Beacon no Habilitado

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

➤ *Transferencia De Datos Punto a Punto.*

En una topología de punto a punto, cada dispositivo puede comunicarse directamente con cualquier otro dispositivo. En muchas aplicaciones, los dispositivos dedicados de punto a punto las transmisiones y recepciones de datos están sincronizados.

1.3.4 Verificación De Datos.

Un paquete es un número de bits transmitidos, junto con un formato específico. El receptor tiene que tener un mecanismo para verificar si alguno de los bits recibidos se recupera de errores. IEEE 802.15.4 utiliza un marco de 16-bit de error de secuencia (FCS) en base a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) Cyclic Redundancy Check - comprobación de redundancia cíclica (CRC) para detectar posibles errores en el paquete de datos¹⁴.

¹⁴International Telecommunication Union, available at www.itu.int.

1.3.5 Direccionamiento

Cada dispositivo en una red tiene una dirección única. IEEE 802.15.4 utiliza dos métodos para abordar:

- 16-bit de direccionamiento corto
- 64-bit de direccionamiento extendido

Una red puede optar por utilizar cualquier direccionamiento de 16-bit o 64-bit. El direccionamiento corto permite la comunicación dentro de una sola red. Utilizar el servicio corto permite una reducción en la longitud de los mensajes y ahorra en espacio de memoria necesario que se asigna para almacenar las direcciones. La combinación de un identificador único del PAN y un direccionamiento cortos se puede utilizar para la comunicación entre redes independientes.

La aplicación de direccionamiento de 64-bits aumenta el número máximo de dispositivos en una red puede ser 264, o aproximadamente $1,8 \times 10^{19}$. Por lo tanto, una red inalámbrica IEEE 802.15.4 prácticamente no tiene límite en el número de dispositivos que pueden conectarse a la red.

La capa del protocolo ZigBee asigna una dirección en la red de 16-bit, además de la dirección IEEE. Una tabla de búsqueda simple se utiliza para asignar cada dirección IEEE de 64 bits a una dirección única en la red. La comunicación entra la red requieren el uso de la dirección.

1.4 Asociación y Disociación

Asociación y disociación son servicios prestados por el IEEE 802.15.4 que se puede utilizar para permitir que los dispositivos conectar o desconectarse de una red. Por ejemplo, cuando un dispositivo quiere unir a un PAN, envía una solicitud de asociación al coordinador. El coordinador puede aceptar o rechazar la solicitud de asociación. El dispositivo envía los datos o señal para desconectarse de la red al coordinador.

1.5 Enlace

El enlace es la tarea de crear vínculos lógicos entre las aplicaciones que están relacionadas. Por ejemplo, un dispositivo ZigBee conectado a una lámpara está lógicamente relacionado con otro dispositivo ZigBee conectado al interruptor que controla la lámpara. La información acerca de estos vínculos lógicos se almacena en una tabla de enlace.

1.6 Características De Auto-Funcionamiento y Formación de ZigBee

Como se explico es la sección 1.2, una red ZigBee comienza su formación en cuanto dispositivos se activan. En una red de malla, por ejemplo, el dispositivo FFD primera vez que inicia la comunicación puede establecerse como el coordinador, y otros dispositivos luego unirse a la red mediante el envío de peticiones de asociación. Debido a que no hay necesidad de supervisión adicional establecer una red, las redes ZigBee se consideran redes de auto-formada.

Por otra parte, cuando una red de malla está establecida, normalmente existe más de una forma de transmitir un mensaje de un dispositivo a otro. Naturalmente, la forma más optimizada se ha seleccionado para dirigir el mensaje. Sin embargo, si uno de los routers deja de funcionar debido al agotamiento de su batería o si un

obstáculo bloquea la ruta del mensaje, la red puede seleccionar una ruta alternativa. Este es un ejemplo de la característica de auto-Formación de las redes de malla ZigBee.

1.7 ZigBee y IEEE 802.15.4 Funciones de la capa de red

El objetivo de esta sección es brindar una visión general una visión general de las funciones de la capa de la red ZigBee y IEEE 802.15.4.enumerando las partes que las compone, su función dentro de la red y como de enlazan.

1.7.1 Capa PHY

En las redes inalámbricas de ZigBee (Figura No. 1.3), la capa más baja es el protocolo IEEE 802.15.4 capa física o PHY. Esta es la capa más próxima a los equipos, controla directamente y se comunica con el transmisor-receptor de dispositivo. La capa PHY es responsable de activar al dispositivo que transmite o recibe paquetes. La PHY también selecciona la frecuencia del canal y se asegura que el canal no esté en uso por ningún otro dispositivo de otra red.

➤ *Trama General de Paquetes PHY*

Los datos y los comandos se comunican entre varios dispositivos en forma de paquetes. La trama general de un paquete se muestra en la Figura No. 1.11. El paquete PHY consta de tres componentes: la Synchronization header-cabecera de sincronización (SHR), el PHY header-encabezado de PHY (PHR), y la PHY payload-carga útil PHY.

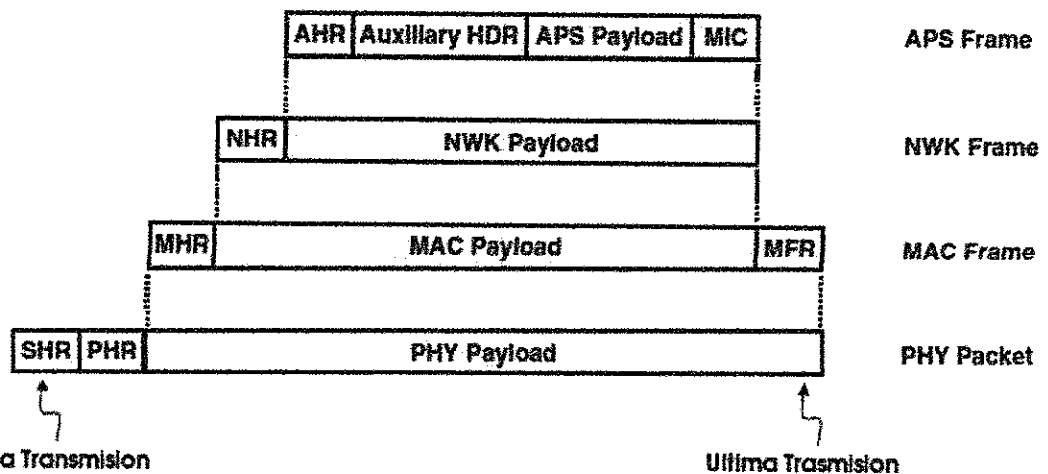


Figura No. 1.11 ZigBee estructura de los paquetes

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

El SHR permite al receptor para sincronizar y bloqueo en el flujo de bits. El PHR contiene longitud de estructura de información, y la Payload-carga útil PHY proporciona capas superiores e incluye datos o comandos para el dispositivo receptor.

La trama MAC, que se transmite a otros dispositivos como una carga útil PHY, tiene tres secciones. El MAC header-encabezado MAC (MHR) contiene información como el direccionamiento y la seguridad. La Payload-carga útil del MAC tiene un tamaño de longitud variable (incluyendo el cero de longitud) y contiene instrucciones o datos. El MAC footer-pie de página MAC (MFR) contiene un marco de 16-bit de error de secuencia (FCS) para la verificación de datos.

La trama NWK tiene dos partes: el header-encabezado NWK (NHR) y la Payload-carga útil NWK. El encabezado NWK tiene a nivel de red información de direccionamiento y control. La carga útil NWK es proporcionado por la subcapa APS. En la trama subcapa APS, el encabezado de APS (AHR) tiene el control de nivel de aplicación y el tratamiento de la información. El encabezado de la trama auxiliar (HDR auxiliar) contiene el mecanismo utilizado para añadir seguridad a la

estructura y las llaves de seguridad utilizadas. Estas claves de seguridad son compartidas entre los equipos correspondientes y contribuirá a liberar la información. El NWK y trama de MAC también puede tener encabezados auxiliares para mayor seguridad. La carga útil EPA contiene datos o comandos. La integridad del mensaje Código (CMI) es una característica de seguridad en el marco de APS que se utiliza para detectar cualquier cambio no autorizado en el contenido del mensaje.

1.7.2 Capa MAC

El Medium Access Control-control de acceso medio (MAC) proporciona la interfaz entre la capa PHY y la capa NWK. El MAC es responsable de generar y sincronizar los beacons para los dispositivos (en una red de beacon habilitado). La capa MAC también proporciona servicios de asociación y disociación.

➤ *Estructura De Las Tramas MAC*

El formato general de las tramas MAC se diseñó para ser muy flexible y que se ajustara a las necesidades de las diferentes aplicaciones con diversas topologías de red, al mismo tiempo que se mantenga un protocolo simple.

- Data Frame: usado para todas las transferencias de datos.
- Acknowledgment Frame: usado para confirmar la recepción exitosa de la trama.
- MAC Command Frame: usado para manejar todo el control de entidad MAC.
- Beacon Frame: usado por un Coordinador para transmitir beacons

➤ Estructura de la trama de Datos (Data Frame)

La estructura de la trama de datos es como lo muestra la Figura 2.16 a

continuación:

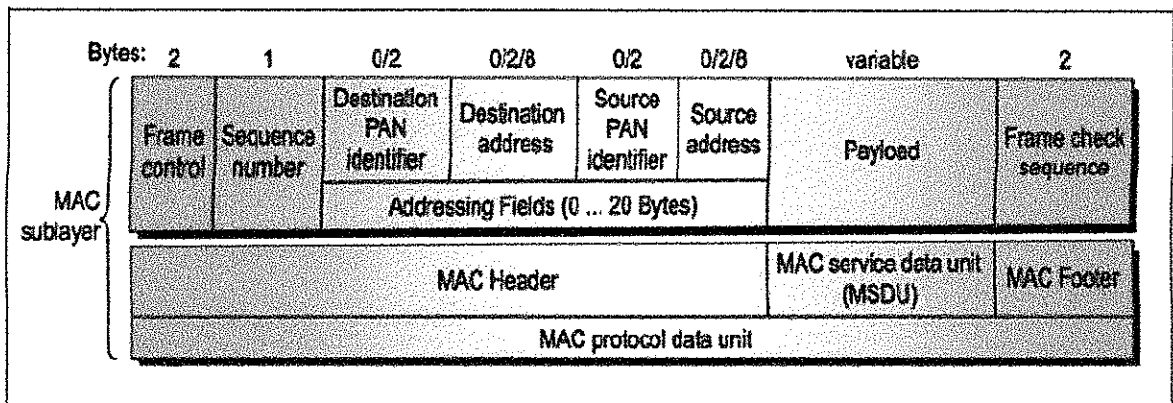


Figura No. 1.12 Formato general de la trama MAC

Fuente: SILICA, IEEE 802.15.4 y ZigBee

MAC Header

- **Frame Control:** Este campo contiene información que define el tipo de trama que se está transmitiendo.
- **Sequence Number:** Este campo especifica el identificador de secuencia único de cada trama. Una transmisión se considera exitosa solo cuando la trama ACK contiene la misma secuencia de números que la secuencia anterior transmitida.
- **Destination PAN Identifier:** Especifica el identificador único de la PAN a la que va dirigida la trama.
- **Destination Address:** Especifica la dirección del dispositivo a la que va dirigida la trama.
- **Source PAN Identifier:** Es el identificador único de la PAN que origina la trama.
- **Sources Address:** Especifica la dirección del dispositivo que origina la trama.

MAC Service Data Unit

Payload: Es de longitud variable; y contiene información según el tipo de trama. Además solo las tramas de datos y beacon contienen información proveniente de las capas superiores.

MAC Footer

FCS (Frame Check Sequence): es una trama recibida que tiene una "secuencia" de verificación de trama incorrecta, también conocido como error de CRC (Cyclic Redundancy Check) comprobación de redundancia cíclica.

1.7.3 Estructura de la trama Beacon (Beacon Frame)

La estructura de la trama de beacon es como lo muestra la Figura No. 1.13 a continuación:

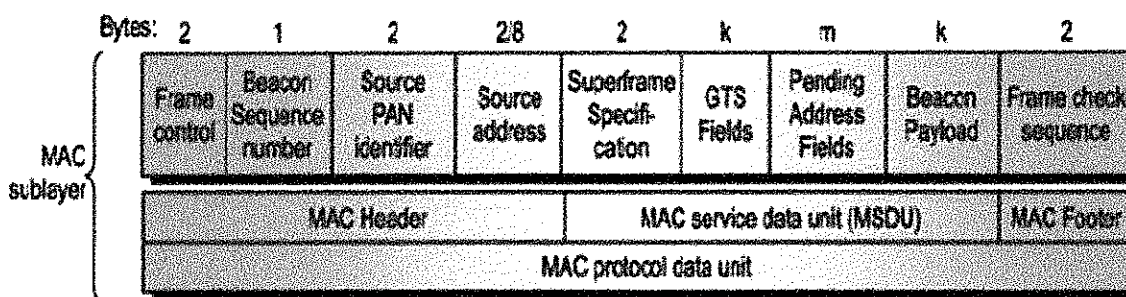


Figura No. 1.13 Formato general de la trama Beacon

Fuente: SILICA, IEEE 802.15.4 y ZigBee

El MAC Header y el MAC Footer son los mismos presentados en el formato general de la trama.

➤ MAC Service Data Unit

- Superframe Specification: Este campo especifica parámetros de la superframe.

- **GTS Fields:** Contiene información acerca de los GTSs asignados por el coordinador.
- **Pending Address:** Contiene información acerca de los dispositivos que tienen datos pendientes en el coordinador.
- **Beacon Payload:** Contiene información proveniente de las capas superiores.

1.7.4 Estructura de la trama ACK (Acknowledgment Frame)

En el campo Sequence Number se tiene el valor del número de secuencia de la trama que ha sido recibida por el dispositivo. Su estructura se muestra en la Figura No. 1.14

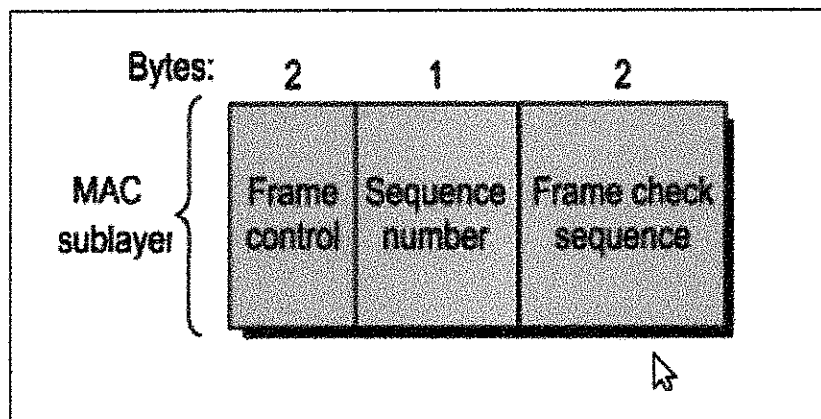


Figura No. 1.14 general de la trama ACK1
Fuente: SILICA, IEEE 802.15.4 y ZigBee

1.7.5 Estructura de la trama de Comandos MAC (MAC Command Frame)

La trama de Comandos MAC es un mecanismo para el control y configuración de los dispositivos.

Permite que un coordinador pueda configurar a los dispositivos individualmente sin

importar lo grande que sea la red. Su estructura se muestra en la Figura No. 1.15.

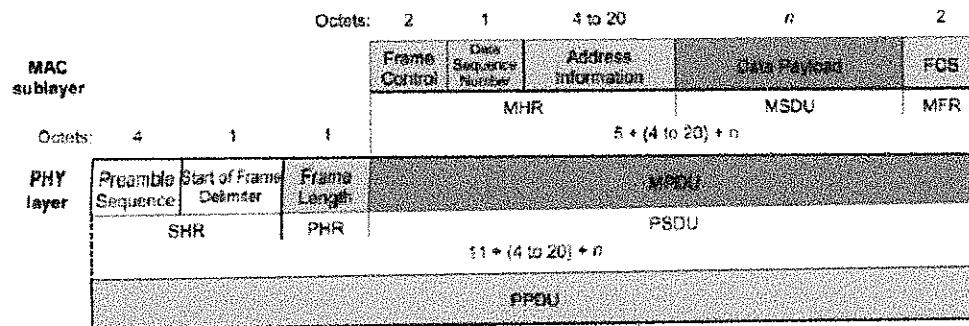


Figura No. 1.15 Formato general de la trama MAC

Fuente: SILICA, IEEE 802.15.4 y ZigBee

- **Command Type:** Este campo indica el tipo de comando que se ha generado.
- **Command Payload:** Este campo contiene información referente al comando generado.

Independiente del tipo de trama MAC que se envíe, esta trama no debe exceder los 127 Bytes de longitud.

1.8 La Capa NWK

Las interfaces de capa NWK están entre MAC y APL y es responsable de gestionar la formación de red y enrutamiento. El enrutamiento es el proceso de selección de la ruta a través del cual el mensaje será transmitido a su dispositivo de destino. El coordinador ZigBee y routers son los encargados de descubrir y mantener las rutas en la red. Un dispositivo ZigBee final no se puede realizar un descubrimiento de ruta. El coordinador ZigBee o un router llevará a cabo un descubrimiento de ruta en nombre del dispositivo final. La capa NWK de un coordinador ZigBee es responsable de establecer una nueva red, con la selección de la topología de red (árbol, estrella o malla). El coordinador ZigBee también

asigna las direcciones NWK a los dispositivos de la red.

1.9 La Capa APL

La aplicación capa (APL) es la capa más alta del protocolo en la red inalámbrica ZigBee y alberga los objetos de aplicación. Fabricantes desarrollar los objetos de aplicación para personalizar un dispositivo para varias aplicaciones. Solicitud de objetos de control y gestión de las capas de protocolo en un dispositivo ZigBee. No puede haber hasta 240 objetos de aplicación en un único dispositivo.

El estándar ZigBee ofrece la opción de utilizar perfiles de aplicación en el desarrollo de una aplicación. Un perfil de aplicación es un conjunto de acuerdos sobre el formato de los mensajes específicos de la aplicación y las acciones de transformación. El uso de un perfil de aplicación permite una mayor interoperabilidad entre los productos desarrollados por diferentes proveedores para una aplicación específica. Si dos vendedores de utilizar el perfil de la misma aplicación para desarrollar sus productos, el producto de un único proveedor será capaz de interactuar con los productos fabricados por el proveedor de otros como si ambos fueron fabricados por el mismo vendedor

1.10 Seguridad

En una red inalámbrica, los mensajes transmitidos pueden ser recibidos por cualquier dispositivo cercano, incluyendo a un intruso. Hay dos alertas principales de seguridad en una red inalámbrica. El primero de ellos es la confidencialidad de datos. El dispositivo intruso puede obtener información confidencial con sólo escuchar los mensajes transmitidos. Cifrar los mensajes antes de la transmisión va a resolver el problema de la confidencialidad. Un algoritmo de cifrado modifica un mensaje con una cadena de bits conocida como la clave de seguridad, y sólo el

destinatario podrá recuperar el mensaje original. El estándar IEEE 802.15.4 soporta el uso de Advanced Encryption Standard (AES)¹⁵ para cifrar sus mensajes salientes.

La segunda preocupación es que el dispositivo intruso puede modificar y volver a enviar uno de los mensajes anteriores, incluso si los mensajes están encriptados. Por ejemplo un código de integridad del mensaje (MIC) con cada fotograma de salida permitirá a los beneficiarios para saber si el mensaje ha sido modificado en tránsito. Este proceso se conoce como autenticación de datos.

1.11 ZigBee Gateway

Una puerta de enlace ZigBee proporciona la interfaz entre una red ZigBee y otra red con un estándar diferente. Por ejemplo, si la red inalámbrica ZigBee se utiliza para recolectar información del paciente a nivel local dentro de una habitación, la información que tenga que ser transmitido a través de Internet a una central receptora. En este caso, la puerta de enlace ZigBee implementa el protocolo ZigBee y el protocolo de Internet para poder traducir los paquetes de ZigBee para dar formato de paquetes de Internet protocolo, y viceversa.

1.12 ZigBee Conformación

Una de las características fundamentales de la norma ZigBee es su capacidad de red de malla. En una red de malla grande distribuido, un mensaje que se transmite de un dispositivo a otro hasta llegar a su destino lejano. Del mismo modo, cuando un grupo de abejas de miel, distribuidos en un gran campo, quiere comunicar un mensaje a todos el camino de regreso a su colmena, que utilizan la retransmisión

¹⁵Advanced Encryption Standard (AES), Federal Information Processing Standards Publication 197, U.S. Department of Commerce/N.I.S.T., Springfield, Virginia, Nov. 26, 2001. Available at <http://csrc.nist.gov/>.

de mensajes. Cada abeja ejecuta una danza en zigzag específicas, que se repite por la abeja siguiente que es ligeramente más cerca de la colmena. Este proceso se repite hasta que el mensaje llegue a la colmena. El nombre ZigBee fue seleccionado como una metáfora para los dispositivos de la manera en la red de buscar e interactuar unos con otros¹⁶.

¹⁶J. Adams, et al., "Busy as a Bee," IEEE Spectrum, Oct. 2006, available at <http://spectrum.ieee.org>.

CAPITULO II

ELABORACIÓN DE PROTOTIPO ESCALA DE UN INVERNADERO

2.1 INTRODUCCIÓN.

Desde la antigüedad el hombre se ha visto obligado a recolectar frutos de la naturaleza, después de que se hace sedentario empieza con la agricultura y luego con la propiedad privada requiere de espacios específicos para el cultivo, pero en los últimos años, estas necesidades han empezado a cambiar, producto de los cambios climáticos, y la disminución de los espacios cultivables, conllevando a buscar nuevos lugares donde se desarrolle la agricultura pero con fines específicos y controlados, a lo que se le suele llamar invernaderos.

Un invernadero es una estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual se cuenta con un microclima artificial que favorece el cultivo de plantas, sin importar el clima exterior. Los distintos *tipos de invernaderos* atienden a determinadas características de los elementos constructivos, y su elección depende de una serie de factores técnicos:

2.1.1 Ventajas

- Anticipación en los frutos.
- Aumento de la calidad y del rendimiento.
- Producción fuera de época.
- Ahorro de agua y fertilizantes.

- Mejora del control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.
- Anticipación en los frutos.
- Aumento de la calidad y del rendimiento.
- Producción fuera de época.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora del control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.

2.1.2 Desventajas

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación.
- Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos

2.2 Aspectos Previos al Diseño

2.2.1 Clase de Invernaderos

Los invernaderos se pueden clasificar de distintas formas, según sus determinadas características de sus elementos constructivos (por su perfil externo, según su fijación o movilidad, por el material de cubierta, según el material de la estructura, etc.).

La elección de un tipo de invernadero está en función de una serie de factores o aspectos técnicos:

- Tipo de suelo. Se deben elegir suelos con buen drenaje y de alta calidad aunque con los sistemas modernos de riego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales.
- Topografía. Son preferibles lugares con pequeña pendiente orientados de norte a sur.
- Vientos. Se tomarán en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- Exigencias bioclimáticas de la especie a cultivar.
- Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero
- Disponibilidad de mano de obra (factor humano).
- Imperativos económicos locales (mercado y comercialización).

Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

- Planos o tipo parral.
- Tipo raspa y amagado.
- Asimétricos.
- Capilla (a dos aguas, a un agua)
- Doble capilla
- Tipo túnel o semicilíndrico.
- De cristal o tipo Venlo.

2.2.2 Criterio y selección de Diseño

El invernadero de capilla es el que vamos utilizar en la aplicación ya que sus factores y aspectos técnicos cumplen muy bien con la funcionalidad que necesitamos. Además se cuenta con un espacio en el municipio de Moniquira

donde se desarrollara el prototipo, razones que implican la determinación de un tamaño y condiciones que se especificaran durante el desarrollo de este ítem.

2.2.3 INVERNADERO DE CAPILLA.

Los invernaderos de capilla simple tienen el techo formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.

Este tipo de invernadero se utiliza bastante, destacando las siguientes ventajas:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
- Permite la unión de varias naves.
- Lo ancho que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros y la altura está comprendida entre 3,25 y 4 metros.
- la inclinación de techo tiene que ser mayor a 25° para que no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua lluvia.
- La ventilación es por ventanas frontales y laterales.

2.2.4 MATERIALES EMPLEADOS EN LAS ESTRUCTURAS.

La estructura del invernadero está constituida por, vigas, correas, etc., que

soportan la cubierta plástica, el viento, la lluvia, la nieve, los aparatos que se instalan, sobrecargas de entutorado de plantas, de instalaciones de riego, etc. Deben limitarse a un mínimo el sombreo y la libertad de movimiento interno.

Las estructuras de los invernaderos deben reunir las condiciones siguientes:

- Deben ser ligeras y resistentes.
- De material económico y de fácil conservación.
- Susceptibles de poder ser ampliadas.
- Que ocupen poca superficie.
- Adaptables y modificables a los materiales de cubierta.

La estructura del invernadero es uno de los elementos constructivos que mejor se debe estudiar, desde el punto de vista de la solidez y de la economía, a la hora de definirse por un determinado tipo de invernadero.

Los materiales más utilizados en la construcción de las estructuras de los invernaderos son madera, hierro, aluminio, alambre, galvanizado y hormigón armado.

Es difícil encontrar un tipo de estructura que utilice solamente una clase de material ya que lo común es emplear distintos materiales.

En las estructuras de los invernaderos que se construyen en la actualidad se combinan los materiales siguientes: madera y alambre; madera, hierro y alambre; hierro y madera; hierro, alambre y madera; hormigón y madera; hormigón y hierro; hormigón, hierro, alambre y madera.

2.3 Descripción Invernadero

2.3.1 Ubicación Física

Para elegir el lugar donde construir un invernadero debemos tener en cuenta:

- Exposición al sol
- Vientos predominantes, debemos lograr la exposición mínima.
- Suelo con profundidad efectiva apta para producción de plantas.
- Área libre de anegamientos (inundaciones) estacionales.
- Accesibilidad vehicular.
- Cercanía a fuente de agua y energía eléctrica.

2.3.2 La orientación

Uno de los factores que más incide en la producción de cualquier especie vegetal es la luz, por lo que debemos procurar que ésta llegue lo mejor posible al invernadero. La orientación del mismo hará que los rayos solares penetren en mayor o menor grado. La orientación más conveniente es ESTE – OESTE, o sea que el lado más largo del invernadero mire hacia el NORTE

2.3.3 Forma Física

Consideramos la construcción de una nave de estructura de madera de 10 metros de ancho y 4,5 metros de largo, con cubierta de polietileno.

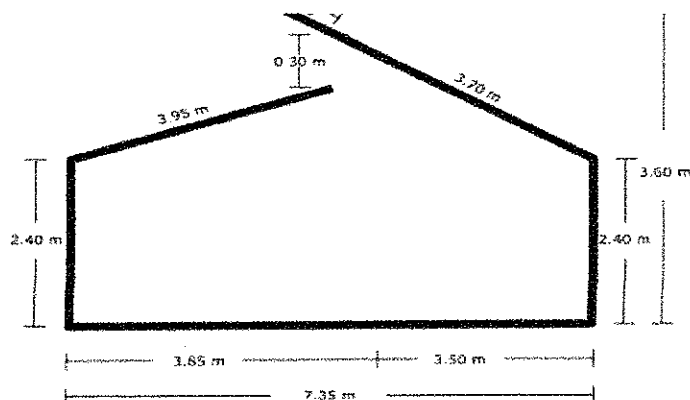


Figura No. 2.1 Forma y dimensiones del invernadero
Fuente: Autor

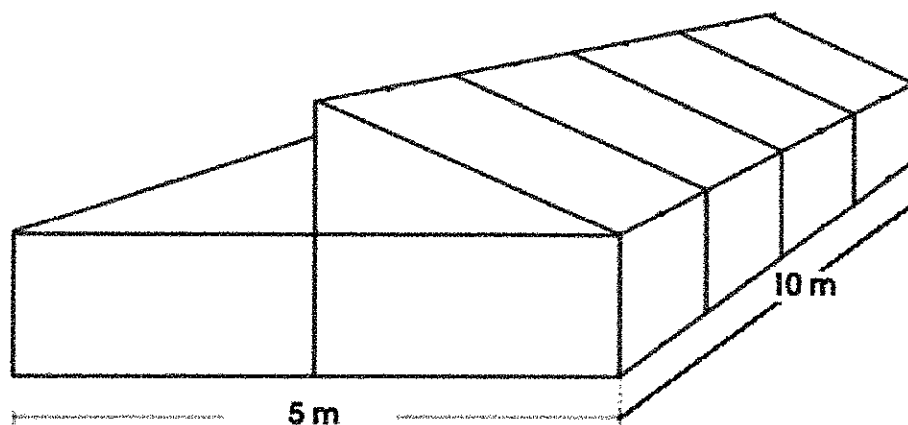


Figura No. 2.2 Forma y dimensiones del invernadero
Fuente: Autor

Para que la base del invernadero esté bien medida, lo primero es cuadrar el terreno. Esta operación es muy importante ya que da más resistencia a la estructura y facilita la colocación de la cubierta

2.4 Descripción de Variables

Para realizar el estudio y diseño de los actuadores hay que tener en cuenta la planta a sembrar con su entorno para su desarrollo para alcanzar el crecimiento y rendimiento máximo en la Figura No.2.3 se muestra las variables que afectan una planta.

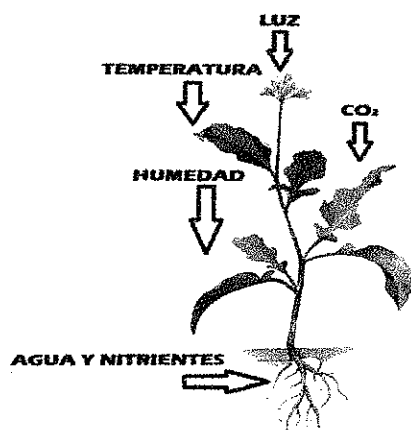


Figura No. 2.3 Variables que afectan una planta
Fuente: Autor

Entorno óptimo de la planta = entorno óptimo de invernaderos

- Temperatura
- Dióxido de Carbono CO_2
- Humedad Relativa
- Transporte de Nutrientes y Agua

2.4.1 Temperatura.¹⁷

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10 y 20° C.

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores objetivos a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

- Temperatura mínima letal. Aquella por debajo de la cual se producen daños

¹⁷ http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm

en la planta.

- Temperaturas máximas y mínimas biológicas. Indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperaturas nocturnas y diurnas. Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

	TOMATE	PIMIENTO	BERENJENA	PEPINO	MELÓN	SANDÍA
Tª mínima letal	0-2	(-1)	0	(-1)	0-1	0
Tª mínima biológica	10-12	10-12	10-12	10-12	13-15	11-13
Tª óptima	13-16	16-18	17-22	18-18	18-21	17-20
Tª máxima biológica	21-27	23-27	22-27	20-25	25-30	23-28
Tª máxima letal	33-38	33-35	43-53	31-35	33-37	33-37

Tabla No. 2.1: Exigencia de temperatura para distintas especies

Fuente: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm

2.4.2 Dióxido de Carbono (CO₂)¹⁸

El dióxido de carbono de la atmósfera es la materia prima imprescindible de la función clorofílica de las plantas. El enriquecimiento de la ambiente del invernadero con dióxido de carbono, es muy interesante en muchos cultivos, tanto en hortalizas como en flores.

La concentración normal de CO₂ en la atmósfera es del 0,03%. Este índice debe aumentarse a límites de 0,1-0,2%, cuando los demás factores de la producción vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas. Las concentraciones superiores al 0,3% resultan tóxicas para los cultivos.

En los invernaderos que no se aplique anhídrido carbónico, la concentración de este gas es muy variable a lo largo del día. Alcanza el máximo de la concentración al final de la noche y el mínimo a las horas de máxima luz que coinciden con el mediodía. En un invernadero cerrado por la noche, antes de que se inicie la

¹⁸ http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm

ventilación por la mañana, la concentración de CO₂ puede llegar a límites mínimos de 0,005-0,01%, que los vegetales no pueden tomarlo y la fotosíntesis es nula. En el caso que el invernadero esté cerrado durante todo el día, en épocas demasiado frías, esa concentración mínima sigue disminuyendo y los vegetales se encuentran en situación de extrema necesidad en CO₂ para poder realizar la fotosíntesis.

Los niveles aconsejados de CO₂ dependen de la especie o variedad cultivada, de la radiación solar, de la ventilación, de la temperatura y de la humedad. El óptimo de asimilación está entre los 18 y 23° C de temperatura, descendiendo por encima de los 23-24° C. Respecto a la luminosidad y humedad, cada especie vegetal tiene un óptimo distinto.

El efecto que produce la fertilización con CO₂ sobre los cultivos hortícolas, es el de aumento de la precocidad de aproximadamente un 20% y aumento de los rendimientos en un 25-30%, mejora la calidad del cultivo así como la de su cosecha.

2.4.3 Humedad relativa (HR).¹⁹

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta.

Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: al tomate, al pimiento y berenjena les gusta una HR sobre el 50-60%; al melón, entre el 60-70%; al calabacín, entre el 65-80% y al pepino entre el 70-90%.

¹⁹ http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm

La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, y tiene riesgo de deshidratarse.

Para que la HR se encuentre lo más cerca posible del óptimo el agricultor debe ayudarse del higrómetro. El exceso puede reducirse mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo. La falta puede corregirse con riegos, llenando canalillas o balsetas de agua, utilizando aspersores de agua en el ambiente, ventilado y sombreado. La ventilación cenital en invernaderos con anchura superior a 40 m es muy recomendable, tanto para el control de la temperatura como de la HR.

2.4.4 Transporte de Nutrientes y Agua

Parte del suelo se encuentra constituido por raíces de las plantas y restos de organismos vegetales en descomposición. Sobre el suelo se desarrolla el manto vegetal, que a su vez protege al suelo de la erosión.

Para su nutrición, las plantas verdes toman, a través de sus raíces, los minerales disueltos en el agua del suelo, y a través de sus hojas obtienen dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera. Estos componentes son transformados en alimentos para la planta, gracias al proceso de fotosíntesis, en el que interviene la clorofila presente en las hojas.

2.5 Sistema de control

El control de proceso está basado en manejar de forma adecuada todos aquellos sistemas instalados en el invernadero: sistema de ventilación, riego, suministro de

nutrientes y calefacción que es opcional, para mantener los niveles adecuados de temperatura, humedad relativa, suministro de nutrientes, agua, nivel de CO₂, y así conseguir la mejor respuesta del cultivo y por tanto, mejoras en el rendimiento, calidad del producto y calidad del cultivo.

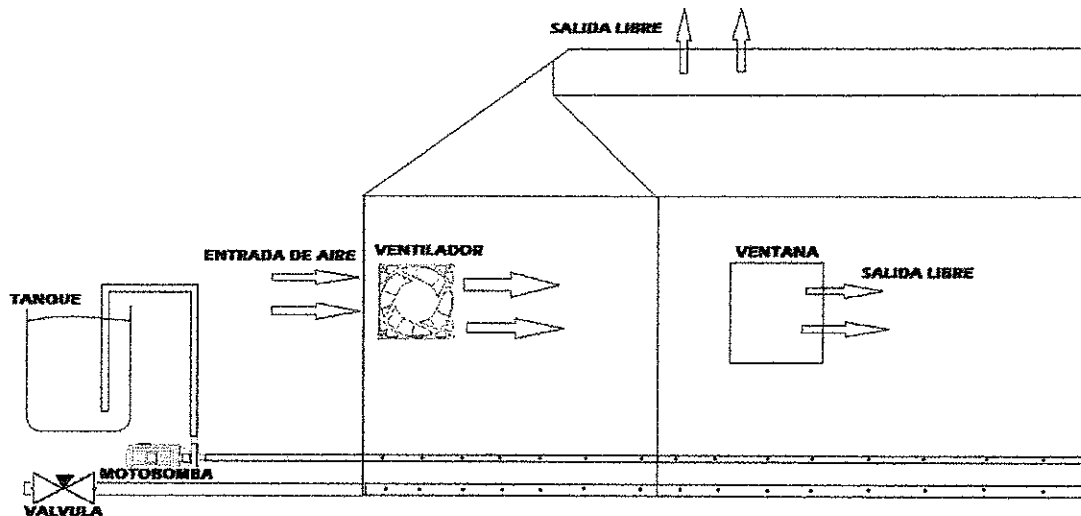


Figura No. 2.4 Esquema de Sistema de Controlar
Fuente: Autor

➤ Esquema de Control

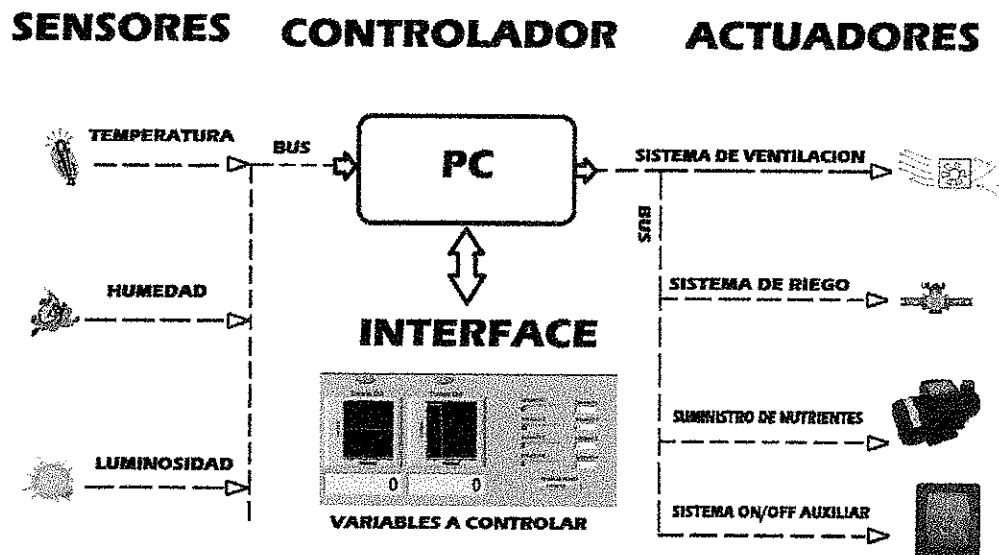


Figura No. 2.5 Sistema de Controlar
Fuente: Autor

➤ Descripción

El sistema de control está compuesto de cuatro partes que son:

- Sensores
- Controlador o control
- Actuadores
- Interface

Los sensores son los encargados de recibir variables de del medio físico donde se encuentran en este caso tenemos temperatura, humedad y luminosidad estas variables son transformadas por los sensores en señales eléctricas las cuales son tratadas para sus procesamiento y aplicación fin.

Los controladores o control es la parte en se recibe la información de los sensores y se procesa la información para controlar la aplicación a implementar y obtener los resultados esperados.

La interface es la parte que el usuario u operador visualiza los resultados del proceso a controlar llevando un monitoreo constante y haciendo cambios a proceso si es necesario.

Los actuadores son los encargados de hacer cambios, correcciones, y aplicaciones al proceso si es necesarios para su optimo funcinamieto.es este caso los actuadores que utilizar son sistema de ventilación, sistema de riego y suministro de nutrientes estos están basados en ventiladores, electroválvulas y electrobombas las cuales actúan en base a los datos recolectados por los sensores de las variables de medio ambiente y el sistema de control.

2.5.1 Elementos a controlar

➤ *Ventilación*

La ventilación es un aspecto básico a tener en cuenta para el manejo de ambientes controlados. Esto se debe a que no sólo es el método más económico de refrigerar un invernadero sino que regula también la humedad del aire y favorece la renovación de dióxido de carbono.

- Tipo de Ventilación

Ventilación natural: este sistema consta de ventanas o aperturas que se puedan abrir y cerrar para permitir la circulación de viento de exterior al interior del invernadero y viceversa

Ventilación forzada: este sistema consta de mecanismos electromecánicos para empujar el aire de exterior de invernadero a interior y viceversa, se pueden utilizar ventiladores o turbinas dependiendo la cantidad de ventilación necesaria.

➤ *Suministro de nutrientes*

Antes de instalar este sistema se debe tener claro cuál será la fuente de agua, es decir, río, canal, vertiente, embalse, noria o pozo profundo. Eso determinará el sistema de filtros.

El riego automático es un método moderno que funciona a través de un programador eléctrico. Permite programar la frecuencia y el tiempo de riego por sectores de acuerdo a la necesidad del cultivo. El equipo envía una señal eléctrica a la válvula solenoide correspondiente, para que inicie o termine el riego.

➤ *Calefacción OPCIONAL*

El calor cedido por la calefacción puede ser aportado al invernadero básicamente por convección o por conducción. Por convección al calentar el aire del invernadero y por conducción se localiza la distribución del calor a nivel del cultivo.

El sistema más sencillo para emplear es el Generadores de aire caliente.

CAPITULO III

Descripción de Módulos a Emplear y Funcionamiento

3.1 Introducción

ZigBee es el lenguaje inalámbrico global que conecta dispositivos totalmente distintos para que funcionen juntos y mejoren la vida de los usuarios. ZigBee Alliance es una asociación sin ánimo de lucro de más de 300 empresas que trabajan en el desarrollo de la tecnología inalámbrica ZigBee. Esta alianza promueve la adopción mundial de ZigBee como la norma líder de control y detección mediante la conexión a redes inalámbricas para su utilización en los campos de la electrónica de consumo, la energía, la sanidad, el hogar, comercial e industrial.

Para el desarrollo de una aplicación ZigBee hay que empezar a aclarar dudas y preguntas para buscar la mejor opción para su desarrollo.

- Importancia de ZigBee en el desarrollo.
- Herramientas necesitas
- Qué tipo de aplicación aremos
- Tiempo de aplicación
- Presupuesto

ZigBee fue diseñado para transmitir y recibir datos de baja potencia para

optimiza la vida útil de las baterías, pero la tasa de datos de transmisión es baja con respecto a otras tecnologías inalámbricas.

Para implementar una aplicación ZigBee, debemos elegir un proveedor que cumpla con las características que necesitamos en nuestra aplicación, software para el desarrollo junto con un chip, la frecuencia de operación, el microcontrolador para su aplicación, su documentación y costos. Hay varios proveedores en la actualidad de dispositivos ZigBee y cada uno ha invertido muchos años en su desarrollo, hay que buscar un paquete completo para un buen desarrollo en ZigBee.

El uso de un módulo ya desarrollado por un proveedor tiene muchas ventajas, una de ellas es un ciclo de desarrollo más corto en la aplicación, el diseño de RF ya está desarrollado por lo cual no necesita ser un experto en este tema, estos módulos ya están aprobados para su aplicación lo cual no necesita licencia y Permiso requeridos.

Las ventajas de utilizar un módulo ya desarrollado con respecto a un chip es en su bajo costo por unidad de producto, un diseño de un módulo implica más espacio físico e impone más restricciones en el diseño industrial del producto.

ZigBee puede ser implementada en varias bandas de RF. Aquellos que operan en la banda de 2.4 GHz. son los más comunes ya que esta es la banda libre que se utiliza en todo el mundo. Por otra parte para el proceso de desarrollo asegúrese que el módulo tenga ejemplos de prueba y herramientas para desarrollar su aplicación.

Por último para buscar una buena aplicación de ZigBee hay que buscar un buen proveedor y con este trabajar juntos para definir, diseñar, probar y preparar su aplicación final para una buena implementación con los resultados esperados.

Modulo	MaxStream	Telegate	DLP (digi)	Sumit	Robinson
Chip	Fabricante: Freescale Transmisor: MC13183 Microcontrolador: MC9300G70	Fabricante: Emulex - ETX11: E4G420 - ETX12: E4G420 * Chip de todo en uno, transmisor y microcontrolador	Fabricante: Freescale Transmisor: MC13183 Microcontrolador: MC9300G70	Solución ZigBee en chip (en lugar de módulo)	Fabricante: Chipcon CC2420 * Chip de todo en uno, transmisor y microcontrolador
Alcance en espacios interiores	Hasta 100 m (XBee-PRO)	Hasta 10 m (ETX11) Hasta 10 m (ETX12)	Hasta 100m	Hasta 400 m (CC2420)	Hasta 120 m
Alcance en espacios exteriores	Hasta 1000 m (XBee-PRO)	Hasta 200 m	30 m	Hasta 4 km (CC2420)	18 m
Consumo: TX	42 mA (XBee) 270 mA (XBee-PRO)	± 55.3 mA	37 mA	< 45 mA (CC2420) < 120 mA (MC13183)	20 mA
Consumo: RX	42 mA (XBee) 31 mA (XBee-PRO)	± 55.3 mA	< 3 µA	< 45 mA (CC2420) < 45 mA (MC13183)	< 1 µA
Consumo: Standby	< 15 µA	< 1 µA	< 3 µA	< 3 µA	< 1 µA
Interfaz de comunicación	SPI (Serial Peripheral Interface)	SPI (Serial Peripheral Interface)	SPI (Serial Peripheral Interface)	SPI (Serial Peripheral Interface)	SPI (Serial Peripheral Interface)
Dimensiones (cm)	2.45 x 2.78 (XBee) 2.45 x 3.29 (XBee-PRO)	3.77 x 2.04	Artesa integrada	1.8 x 3.5 (CC2420) 1.8 x 4.0 (MC13183)	1.99 x 4.38
Antena	Conector UFL, antena chip o antena de alfiler	Antena integrada, conector UFL o alfiler con 500 pF	Antena integrada	Antena integrada, conector SMA o conector UFL	Antena integrada
Disponibilidad de kit	- XBee Starter Kit - XBee-PRO Starter Kit - XBee Professional Developer Kit * Placa de desarrollo con interfaz RS232 o USB	- Telegate ETX100VAP - Telegate ETX100DMA * Placa de desarrollo con interfaz RS232	- DLP-RF15BNS - DLP-RF15RELAY - DLP-RF15PROTO No	ZigBee 2420 Evaluation Kit	- FIC0242 Development Kit (Módulo Telegate) * Placa de desarrollo con interfaz RS232
Certificación ZigBee	Conformidad con la ZigBee Alliance	No	Conformidad con la ZigBee Alliance	Conformidad con la ZigBee Alliance	Conformidad con la ZigBee Alliance
Integración	Conformidad con otros estándares ZigBee compatibles	No es compatible con otros estándares ZigBee	Conformidad con otros estándares ZigBee compatibles	Conformidad con otros estándares ZigBee compatibles	Conformidad con otros estándares ZigBee compatibles

Tabla No. 3.1: Tabla comparativa de proveedores módulos ZigBee

Fuente: interpretada y Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani por el autor

Analizando la tabla No.3.1 comparativas se puede observar que los productos ZigBee de MaxStream son la mejor opción frente a otros módulos de la competencia. Cuentan con unas dimensiones reducidas, una fácil integración en entornos ZigBee ya desplegados, diferentes tipos de antenas según las necesidades del usuario final, un consumo aceptable, una buena disponibilidad y variedad de kits de desarrollo, y la característica más relevante es la concesión del certificado ZigBee.

Además, cabe destacar que existe bastante información, resultando ser un factor importante al momento de elegir un módulo ZigBee, ya que una buena documentación permitir que el desarrollo del proyecto avance de forma continuada y fluida en el transcurso del tiempo

3.2 Módulos Xbee

Digi International empresa líder mundial en el desarrollo para facilita los sistemas inalámbricos M2M (comunicación Maquina a Maquina) al fabricar productos y soluciones fiables para conectar y administrar de forma segura dispositivos electrónicos locales o remotos a través de la red o por Internet. Digi ofrece los máximos niveles de rendimiento, flexibilidad, calidad, y comercializa sus

productos por medio de una red mundial de distribuidores, integradores de sistemas y fabricantes de equipos originales (OEM).

Entre sus aplicaciones se encuentra los módulos de RF ZigBee Xbee OEM que recibe la homologación de la Zigbee Alliance de alta calidad siendo uno de los mejores productos calificados por este y están homologados para ambientes industriales.

Los Módulos XBee, implementados en sensores inalámbricos de larga duración que funcionan con batería para una fácil integración en aplicaciones de conexión sencilla a la red o redes ZigBee. La tecnología ZigBee permite la conexión económica y de bajo consumo de dispositivos a redes de malla inalámbrica auto configurables y autor-reparables. Gracias a los sensores XBee compactos, los clientes pueden obtener fácilmente datos en tiempo real de múltiples nodos en una red ZigBee y son perfectos para aplicaciones de domótica, seguridad, administración de energía, administración de alimentos, control de cargas y vehículos, etc.

Los módulos XBee, son la mitad de pequeños que una tarjeta de crédito, llevan una batería de larga duración y son fáciles de instalar, haciendo de estos fáciles aplicaciones en menor tiempo y espacio físico.

3.2.1 Módulos Xbee y Xbee Pro

El uso del protocolo ZigBee va desde remplazar un cable por una comunicación serial inalámbrico, hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto, multipunto, o redes complejas de sensores. Una conexión típica se muestra en la figura 3.1, donde se observa que cada módulo Xbee posee algún tipo de sensor, el cual entrega los datos para ser enviados a través de la red a un Centro que administre la información.

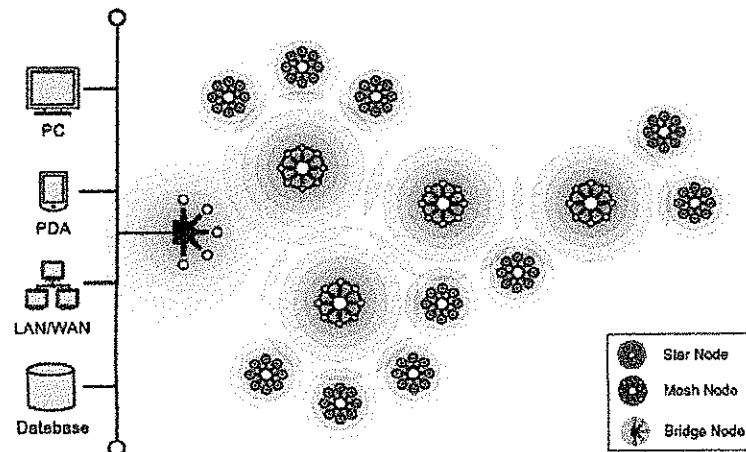


Figura 3.1. Uso y distribución de una red ZigBee

Fuente: <http://www.albedo.biz/products/010/>

Los módulos XBee/XBee-PRO ZNet 2.5 OEM (Ver Figura 3.2) fueron diseñados para operar dentro del protocolo ZigBee soportando las necesidades particulares de las redes de sensores de bajo costo y consumo, con un bajo consumo de energía y a la vez permitiendo el transporte confiable de datos entre dispositivos remotos. El módulo opera dentro de la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) utilizando una frecuencia de 2.4 Ghz.

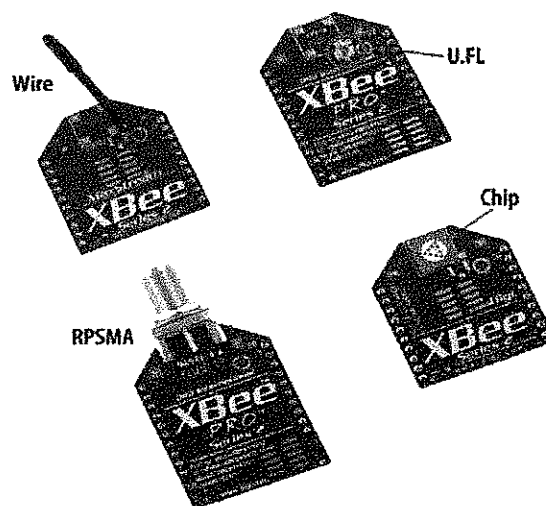


Figura 3.2 Módulos Xbee y Xbee pro, diferentes presentaciones y tipos de antenas

Fuente: manual de Xbee

3.2.2 Características

Relación de Precio por Rendimiento, Debido a las innovaciones incluidas en el diseño de los XBee-PRO se obtuvieron beneficios en la calidad final del producto del rango de 2 á 3 veces sobre los módulos de la competencia. Esto ha permitido que los usuarios de las versiones OEM y los integradores puedan cubrir mayores extensiones de campo usando pocos dispositivos. Adicionalmente, los Módulos XBee son fáciles de usar y, de allí que, el costo del desarrollo de un sistema de datos se reduzca enormemente.

Baja Potencia de Consumo, Los Módulos XBee utilizan poca potencia (45 mA de corriente de Transmisión para el XBee, 270 mA para el Xbee-PRO). Adicionalmente el consumo en tiempo de reposo, están disponibles, permitiendo corrientes muy bajas que alcanzan valores inferiores a 10 iA.

Sensibilidad de Recepción, Los Módulos Xbee reciben señales que otros no pueden; por eso en que el modulo permite el alcances más grandes y confiabilidad en los enlaces inalámbricos. Por cada 6 dBm ganados en la potencia de Transmisión o en la Sensibilidad de Recepción, los OEM e Integradores pueden doblar el alcance de un enlace inalámbrico. Los Módulos XBee superan a otros de más alto costo, debido en gran parte a que, el incremento de alcance obtenido es logrado con una sensibilidad superior del Receptor.

3.2.3 Aplicaciones

- Sistemas de Seguridad y Controles de Iluminación
- Automatización de Casas (DOMÓTICA)
- Aparatos domésticos y Alarmas de Incendio/CO2
- Monitorización de sistemas remotos
- Colección de datos de un sensor en sistemas incorporados

Cada módulo Zigbee, al igual que ocurre con las direcciones MAC de los

dispositivos Ethernet, tiene una dirección única. En el caso de los módulos ZigBee cada uno de ellos tiene una dirección única de 64bits que viene grabada de fábrica. Por otro lado, la red Zigbee, utiliza para sus algoritmos de ruteo direcciones de 16 bits. Cada vez que un dispositivo se asocia a una red Zigbee, el Coordinador al cual se asocia le asigna una dirección única en toda la red de 16bits. Por eso el número máximo teórico de elementos que puede haber en una red Zigbee es de $2^{16} = 65535$, que es el número máximo de direcciones de red que se pueden asignar.

Estos módulos Xbee, pueden ser ajustados para usarse en redes de configuración punto a-punto, punto-a-multipunto o peer-to-peer. Un ejemplo se muestra en la Figura 3.3, donde se muestra una conexión multipunto, con un coordinador, conectado a varios nodos. Digi tiene 2 series de módulos disponibles. Los módulos Xbee y Xbee-pro Serie 2 que utilizaremos en nuestra aplicación permite hacer redes mesh. La diferencia entre los módulos Xbee y Xbee-Pro es el mayor alcance que tiene este último que en algunos casos dobla la distancia de transmisión.

La posible de crear redes más complejas, como las llamadas MESH. Estas permiten acceder a un punto remoto, utilizando módulos intermedios para llegar como routers. Además los módulos automáticamente generaran la red entre ellos, sin intervención humana alguna, permitiendo la reparación de la red en caso de que algún nodo falle. Al mismo tiempo la red por sí sola resuelve la mejor ruta para un determinado paquete.

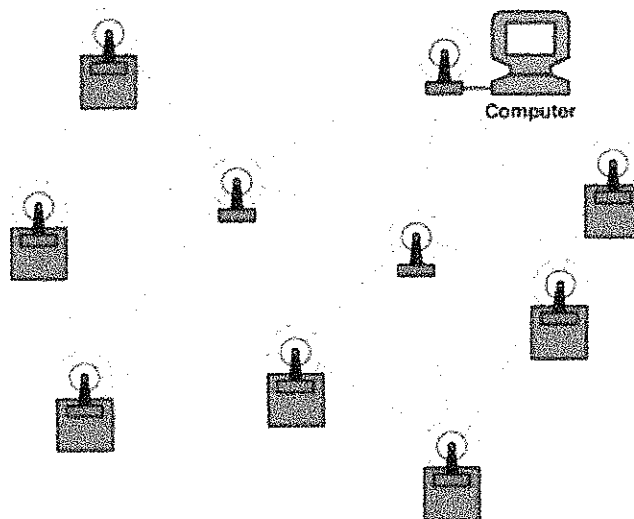


Figura 3.3. REDES MESH

Fuente: Tomada de internet <http://blog.espol.edu.ec/wirelez/?p=469>

3.2.4 Funcionamiento de los módulos Xbee

Los módulos XBee fueron diseñados para ser montados en un zócalo, sin necesidad de soldadura como se indica en la figura 3.4. Para ello disponen dos filas de 10 pines separadas entre ellas por 22 mm. La separación entre pines es de 2mm.

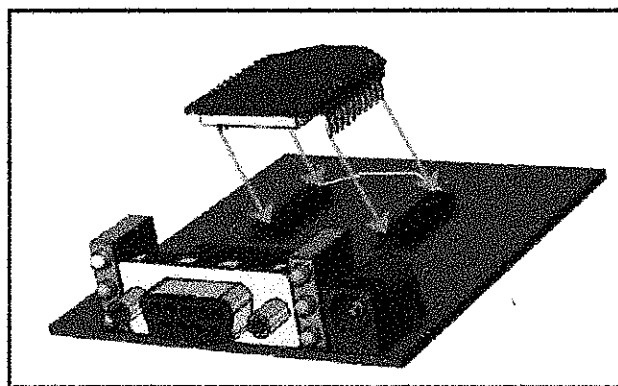


Figura 3.4. Zócalo demostrativo para módulo Xbee

Fuente Manual de Xbee

3.2.5 Conexión Básica

El módulo requiere una alimentación desde 2.8 a 3.4 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) (TXD y RXD) para comunicarse con un microcontrolador, o directamente aun puerto serial utilizando algún conversor adecuado para los niveles de voltaje, como se muestra en la figura 3.5.

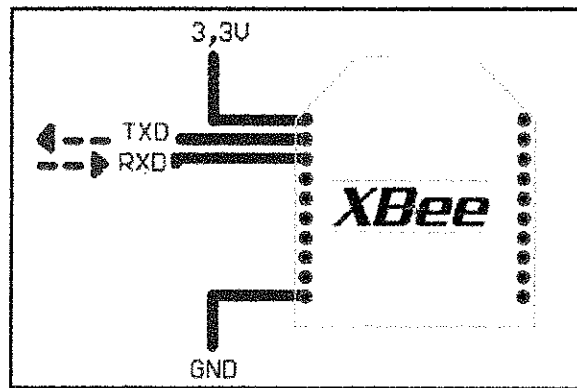


Figura 3.5. Conexiones mínimas requeridas para un módulo Xbee
Fuente: Manual de Xbee

3.2.6 Descripción Física

A continuación describiremos la forma física del módulo Xbee con sus diferentes características

- *Tabla de Especificaciones*

	XBee	XBee-PRO
Alcance en espacios interiores	Hasta 30 m	Hasta 100 m
Alcance en espacios exteriores	Hasta 100 m	Hasta 1,2 km
Potencia de salida en transmisión	1 mW (0 dBm)	60 mW (18dBm), 100 mW EIRP
Velocidad de datos	250 kbps	250 kbps
Sensibilidad del receptor	-92 dBm (1% PER)	-100 dBm (1% PER)
Voltaje de alimentación	2,8 – 3,4 V	2,8 – 3,4 V
Corriente de transmisión	45 mA @ 3,3 V	270 mA @ 3,3 V
Corriente de recepción	50 mA @ 3,3 V	55 mA @ 3,3 V
Corriente power-down	< 10 μ A	< 10 μ A
Frecuencia	ISM 2,4 GHz	ISM 2,4 GHz
Dimensiones	2,438 cm x 2,761 cm	2,438 cm x 3,294 cm
Temperatura de operación	-40 a 85 °C	-40 a 85 °C
Tipos de antenas	Conector U.FL, antena chip, o antena de látigo.	Conector U.FL, antena chip, o antena de látigo.
Topologías permitidas en la red	Punto a punto, punto a multipunto, igual a igual y mesh	Punto a punto, punto a multipunto, igual a igual y mesh
Número de canales	16 canales DSSS	16 canales DSSS

Tabla 3.2. Tabla de Características Xbee/Xbee Pro
Fuente: Manual de Xbee

Mechanical Drawings

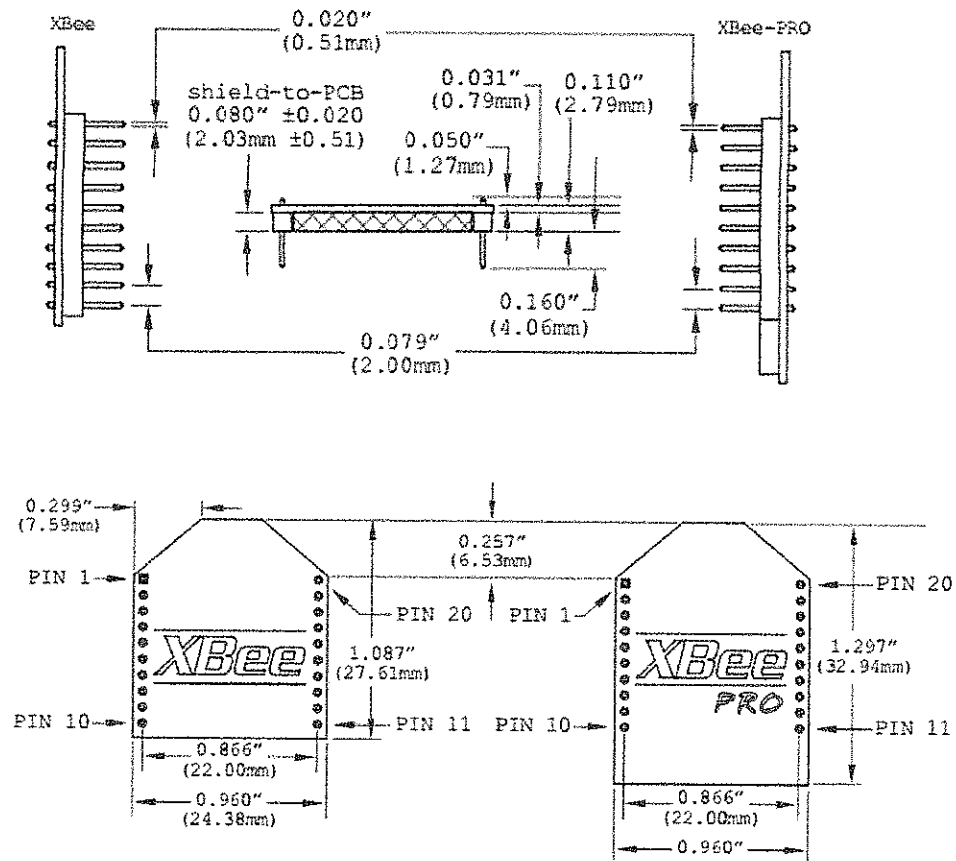


Figura 3.6. Mechanical Drawings
Fuente: Manual Xbee

- Descripción de Pines

Pin #	Nombre	Dirección	Descripción
1	VCC	-	Alimentación
2	DOUT	Salida	Salida UART
3	DIN/	Entrada	Entrada UART
4	DIO12	E/S	Digital E/S 12
5		Entrada	Modulo de reinicio
6	PWM0/RSSI/DIO10	E/S	PWM Salida 0/ Indicador de la intensidad de señal recibida / Digital E/S
7	DIO11	E/S	Digital E/S 11
8	Reservado	-	No conectar
9	/SLEEP_RQ/DIO8	E/S	Pin Sleep Control Line o Digital E/S 8
10	GND	-	Tierra
11	DIO4	E/S	Digital E/S 4
12	/DIO7	E/S	Control de flujo Clear-to-Send o Digital E/S 7.CTS, si se encuentra habilitado este es una salida.
13	ON/	Salida	Indicador del estado del modulo o Digital E/S 9
14	VREF	Entrada	No se utiliza en este módulo. Por compatibilidad con otros módulos XBee, se recomienda conectar este pin a un voltaje de referencia, si el muestreo analógico se desea. De lo contrario, conectarse a GND
15	Asociado/DIO5	E/S	Indicador asociado . Digital E/S 5
16	/DIO6	E/S	Control de flujo Request-to-Sent, Digital E/S 6.RTS, si se encuentra habilitado este es una entrada.
17	AD3/DIO3	E/S	Entrada analógica 3 o Digital E/S 3
18	AD2/DIO2	E/S	Entrada analógica 2 o Digital E/S 2
19	AD1/DIO1	E/S	Entrada analógica 1 o Digital E/S 1
20	AD0/DIO0/Botón/ Botón puesto en servicio	E/S	Entrada analógica 0, Digital E/S 0 o Botón de puesto en servicio.

Tabla 3. 3. Pines del módulo Xbee

Fuente: Manual Xbee

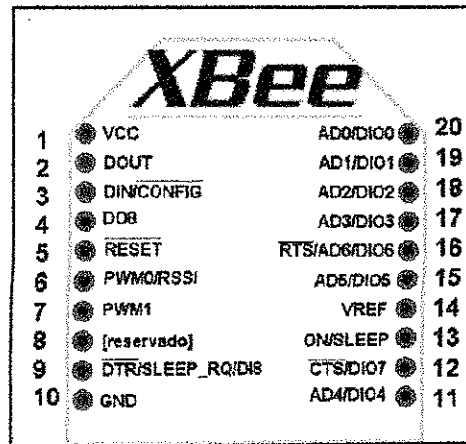


Figura 3.7. Diagrama de pines del módulo Xbee, vista superior
Fuente: Manual de Xbee.

- Características Eléctricas

Supply Voltage	2.1 - 3.6 V	3.0 - 3.4 V	2.7 - 3.6 V
Operating Current (Transmit, max output power)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	295mA (@3.3 V) 170mA (@3.3 V) international variant	205mA, up to 220 mA with programmable variant (@3.3 V) 117mA, up to 132 mA with programmable variant (@3.3 V), international variant
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	45 mA (@3.3 V)	47 mA, up to 62 mA with programmable variant (@3.3 V)
Idle Current (Receiver off)	15mA	15mA	15mA
Power-down Current	< 1 μ A @ 25°C	3.5 μ A typical @ 25°C	3.5 μ A typical @ 25°C

Tabla 3.4. Especificaciones eléctricas
Fuente: Manual Xbee

3.3 Programación de modulas Xbee y Modos de Operación.

Veremos la configuración y prueba de los productos X-Bee. Con el se pretende explicar brevemente las características del software y la configuración de los dispositivos en modo de comandos AT, la opción de comandos API será explicada brevemente pero no se entrara en profundidad.

La aplicación X-CTU es una aplicación basada en Windows, hecha para interactuar con los productos que contienen archivos con firmware encontrados en los productos RF de la empresa Digi que es la el proveedor de los módulos Xbee.

El software puede ser descargado de la página del fabricante, una vez hecho esto procedemos a una instalación sencilla.

3.3.1 Características de Software

Una vez instalado el programa X-CTU nos encontraremos con cuatro pestañas que nos permitirán manipular fácilmente nuestro modulo X-Bee ver figura 3.8.

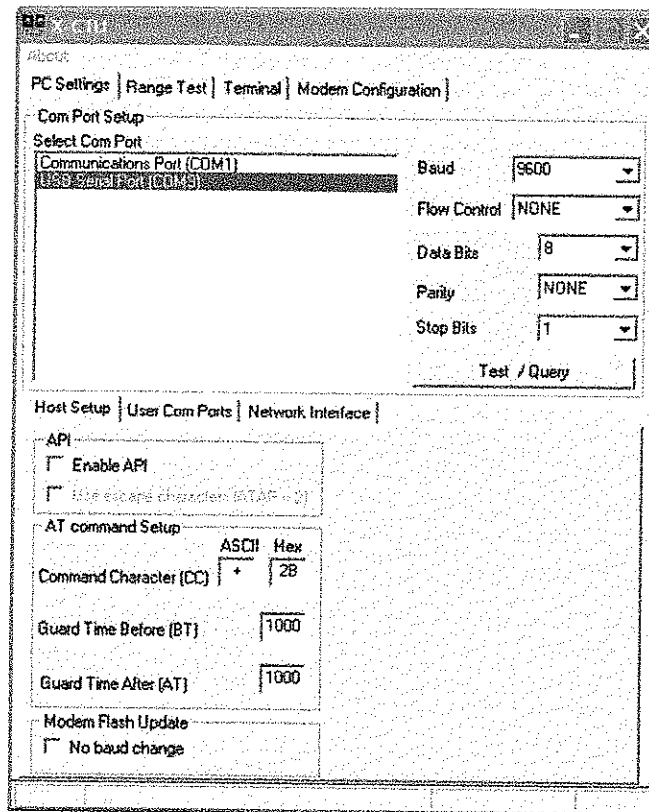


Figura 3.8. Venta principal programa X-CTU
Fuente: Autor

- PC Settings

Esta pestaña permite seleccionar al usuario el puerto de comunicaciones serial deseado y la configuración de este.

Aquí configuramos el puerto serial seleccionado y establecemos los parámetros de la comunicación como son:

- Baud Rate: la velocidad a la cual nos vamos a comunicar.

- Flow Control: Si queremos establecer un control de flujo ya sea por Hardware, por software o ninguno.
- Parity: Si queremos poner un bit de paridad.
- Stop Bit: si queremos un bit de parada.

Una vez configurado podemos probar la configuración con el botón "Test/Query", y si verificar si es correcta, se recibe un mensaje similar a la de la figura 3.9.

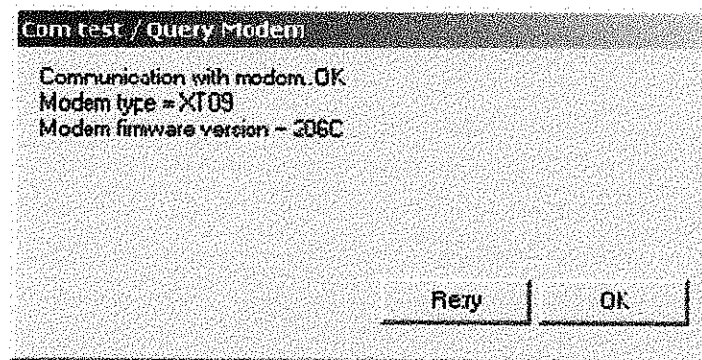


Figura 3.9. Mensaje en ventana Test/Query para comprobar conectividad a modulo Xbee
Fuente: Autor

- *Configuración del Host.*

La configuración del host le permite al usuario configurar como el programa X-CTU interactúa con el firmware de los módulos de RF. Esto incluye determinar en qué modo se desea trabajar, si en modo de comandos AT o modo de comandos API.

API mode: seleccione esta opción si tiene un módulo configurado en modo API, o si desea empezar a configurar un módulo con esta opción.

Podremos agregar un puerto de comunicaciones pero solo es de uso temporal una vez cerrado el programa este desaparecerá.

- *Range Test.*

Esta pestaña permite verificar el rango del radio enlace enviando un paquete de datos especificado por el usuario y verificando la respuesta del paquete mismo con el tiempo especificado.

Por defecto el tamaño del paquete de datos enviado es de 32 bytes. Este tamaño del paquete de datos puede ser cambiado al igual que lo que se envía.

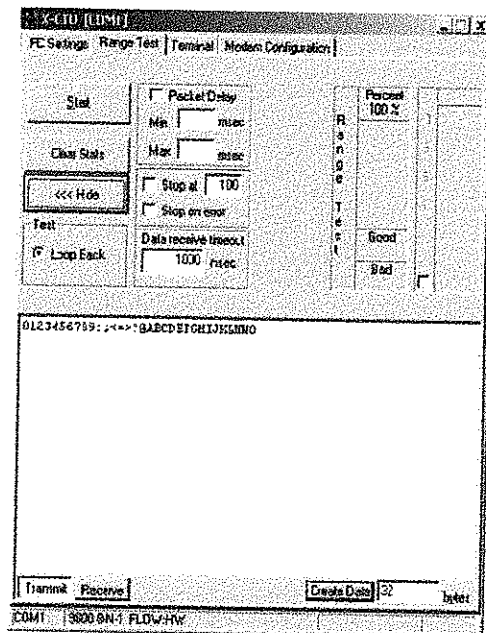


Figura 3.10. Pestaña Range Test de programa X-CTU
Fuente: Autor

Para cambiar el tamaño del paquete lo podemos hacer en el campo al lado del botón "Create Data", para cambiar la información enviada, lo podemos hacer en la ventana en la ventana de transmisión.

En esta pestaña (figura 3.10) también podremos cambiar el retraso de los paquetes y el "timeout" para la recepción, lo cual le permite al usuario simular un amplio rango de escenarios.

Al habilitar la opción del RSSI (Received Signal Strength Indicator), nos permite ver con cuanto nivel de señal nos llega el paquete.

Otro detalle importante es que si en la pestaña de "PC Settings" habilitamos la función de comandos API, podremos probar también estos parámetros en la pestaña de "Range Test". Para realizar una prueba en este modo debemos haber configurado previamente otro dispositivo en modo API.

- *TERMINAL.*

La pestaña terminal tiene tres funciones básicas:

Un simulador de una terminal, similar al "hyperterminal" de Windows.

Habilitar el envío y recepción de paquetes de datos predefinidos. (Assemble Packet)

Habilitar el envío y recepción de datos en formatos hexadecimal o ASCII. (Show/Hide Hex)

La porción en blanco de la pestaña terminal es donde habilitamos los comandos de comunicación y donde además leeremos los datos recibidos por el modulo. El texto en azul es lo que se copia y se envía al módulo de RF, el texto en rojo son los datos que nos envía el modulo por el puerto serial.

La opción de "Assemble Packet" permite al usuario ensamblar un paquete de datos en formato ASCII o HEX.

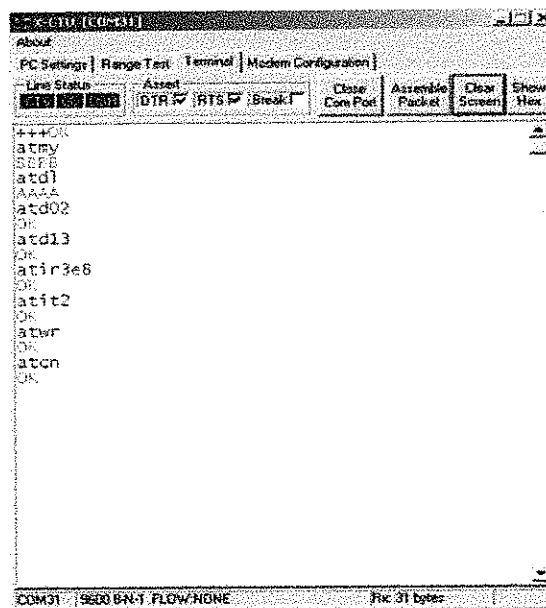


Figura 3.11. Pestaña Terminal de programa X-CTU
Fuente: Autor

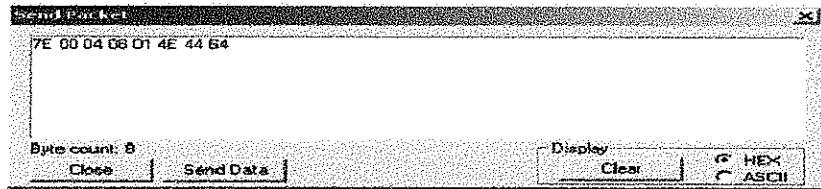


Figura 3.12. Ventana programa X-CTU para envío de tramas al módulo Xbee
Fuente: Autor

Esto hace que no se envíen inmediatamente los valores al módulo a medida que se van escribiendo, sino que primero creamos todo el paquete y luego lo enviamos, también es muy útil cuando estamos trabajando con el modulo en modo API.

- *MODEM CONFIGURATION.*

La pestaña de configuración tiene cuatro funciones básicas:

1. Proveer una interfaz gráfica del usuario con el Firmware.
2. Leer y escribir el firmware al microcontrolador del módulo.
3. Descargar archivos actualizados del firmware para los módulos.
4. Grabar o cargar un perfil al módulo XBee.

Podremos leer el firmware que tiene el modulo, presionando el botón "Read" una vez tengamos conectado el modulo. Si no se lee intente habilitar el modo API en la pestaña "PC settings" y luego intente "leer" nuevamente el firmware.

Una vez leídos los parámetros del firmware estos serán mostrados en tres diferentes colores.

Negro: De solo lectura, no configurables.

Verde: Valores por defecto.

Azul: Valores puestos por el usuario.

Antes de cambiar cualquier valor del firmware lo mejor es actualizarlo con el botón "Download new versions", lo podremos hacer desde la web o desde un archivo previamente descargado. Una vez actualizado el firmware si podemos hacer los cambios deseados (ver figura 3.12)

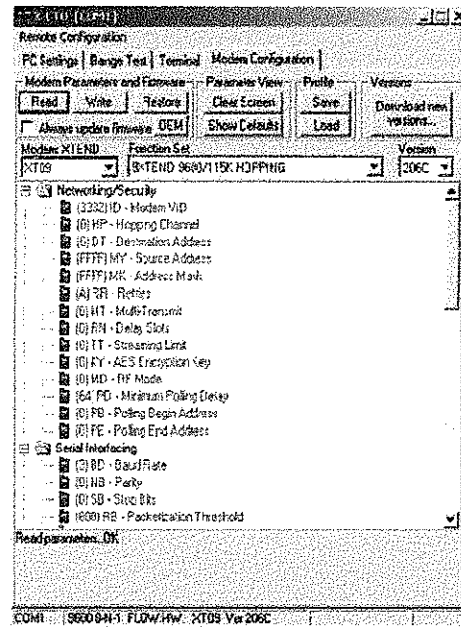


Figura 3.13 Pestaña Modem Configuración de programa X-CTU
Fuente: Autor

Una vez analizado el software para configurar pasaremos a analizar otros conceptos propios de los módulos XBee Zigbee de Digi.

3.3.2 TIPOS DE DISPOSITIVOS ZIGBEE.

El estándar de Zigbee define tres tipos de dispositivos.

➤ *Zigbee Coordinator:*

- Encargado de establecer el canal y el PAN-ID (Personal Area Network Identifier).
- Puede permitir a los router y a los end devices unirse a la red.
- Puede asistir en el enrutamiento de datos.
- No configurarse en modo de reposo.
- Puede Almacenar datos de los hijos que están dormidos.

➤ *Zigbee Router:*

- Este debe unirse a una PAN antes de empezar a transmitir, enrutar o recibir datos.
- Después de unirse a la PAN (coordinados de red) permite que otros routers y end devices se unan a la red.
- Puede asistir en el enrutamiento de paquetes.
- Puede almacenar datos de otros dispositivos dormidos o hijos.

➤ *Zigbee end device*

- Debe unirse a una PAN antes de empezar a transmitir datos.
- No puede dejar que otros dispositivos se unan a la red.
- Puede enviar y recibir datos a través de sus padres.
- Puede entrar en modo Sleep para ahorro de energía.

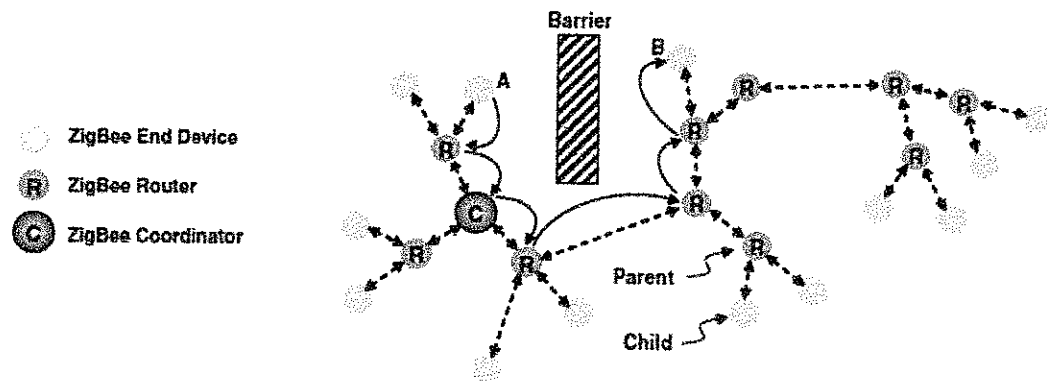


Figura No 3.14 Zigbee Topología de árbol.

Fuente: Traducida de ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Shahin Farahani

3.3.3 CONCEPTOS DEL FIRMWARE

PAN ID: el identificador de la red de área personal ya sea con una dirección de 16 o 64 bits. Este identificador es común a todos los dispositivos de la red.

CHANNEL: El estándar IEEE 802.15.4 establece 16 canales de operación para los módulos Zigbee. Xbee soporta todos los 16 canales mientras que XBee Pro tan solo soporta 14 de los 16 canales.

SC: Scan Channel establece la lista de canales a escanear.

SD: Scan duration. Establece el tiempo de duración de escaneo del canal El tiempo de escaneo es medido por as: $(\# \text{ Channels to Scan}) * (2 ^ \wedge \text{SD}) * 15.36\text{ms}$

NJ: Node Join time. Establece el tiempo que un coordinador o un router se puede unir a una red. 0xFF permite que siempre se unan.

SH: Serial Number High.

SL: Serial Number Low. Establece los 32 bits altos y bajos de la única dirección de 64 bits.

NI: Node identifier: Este establece un nombre al dispositivo en caracteres ASCII imprimibles, y puede ser utilizado para enviar datos.

Todos estos son comandos AT y pueden ser configurados tanto en la pestaña de Modem Configuration o a través de enviar comandos AT por el terminal. Para entrar en el modo configuración con comandos AT a través del terminal enviamos la secuencia de tres caracteres "+++"

Y esperamos la confirmación del módulo "OK". Para enviar comandos AT.

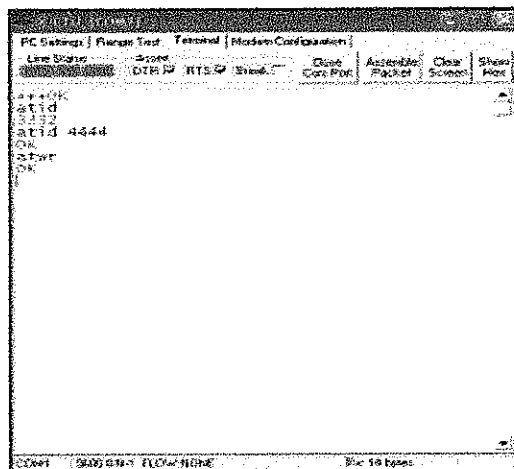


Figura No 3.15 configurados modulo Xbee por medio de comandos AT en la pestaña de Modem Configuración.

Fuente: Autor

3.3.4 MODO API

Este modo es más complejo, pero permite el uso de frames con cabeceras que aseguran la transmisión de los datos, al estilo TCP. Extiende el nivel en el cual la aplicación del cliente, puede interactuar con las capacidades de red del módulo.

Cuando el módulo Xbee se encuentra en este modo, toda la información que entra y sale, es empaquetada en frames, que definen operaciones y eventos dentro del módulo.

Así, un frame de Transmisión de Información (información recibida por el pin 3 o DIN) incluye:

- Frame de información RF transmitida.
- Frame de comandos (equivalente a comandos AT).

Mientras que un Frame de Recepción de Información incluye:

- Frame de información RF recibida.
- Comando de respuesta.
- Notificaciones de eventos como Reset, _ ODEM_ do, Disassociate, etc.

Esta API, provee alternativas para la configuración del módulo y ruteo de la información en la capa de aplicación del cliente. Un cliente puede enviar información al módulo Xbee. Estos datos serán contenidos en un frame cuya cabecera tendrá información útil referente al módulo.

Esta información además se podrá configurar, esto es, en vez de estar usando el modo de comandos para modificar las direcciones, la API lo realiza automáticamente. El módulo así enviará paquetes de datos contenidos en frames a otros módulos de destino, con información a sus respectivas aplicaciones, conteniendo paquetes de estado, así como el origen, RSSI (potencia de la señal de recepción) e información de la carga útil de los paquetes recibidos.

Entre las opciones que permite la API, se tienen:

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

Esta conexión, agrega información extra a los paquetes de datos RF. Ya no son enviados de forma transparente, sino que cada paquete de datos, son almacenados dentro de un frame, con una estructura definida que permite una forma más robusta para enviar datos. Esto permite entre otras cosas determinar el origen de algún paquete recibido dentro de la red. Cuando la configuración API está activada, cada paquete RF que se envía o recibe se encapsula en un frame de datos UART. Para esto se utiliza el comando API. El frame se observa en la siguiente figura No. 3.14.

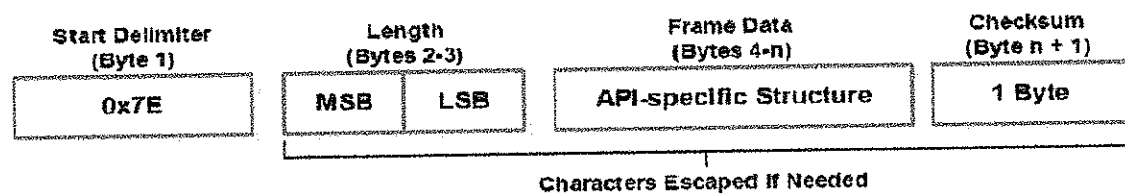


Figura No 3.16 Estructura de la trama para un comando API
Fuente: Manual Xbee Serie 2

3.4 Circuito de Control Actuadores

Está compuesto por un dispositivo final XBee que está configurado por salidas digitales y por medio de estas se activas los circuitos de potencia.

De las 20 pines del módulo XBEE, ocho corresponde a entradas o salidas digitales (configurable por comandos de módem). Esto tiene la ventaja de que el XBee puede controlar o sensar directamente sin necesidad de un microcontrolador externo. En este proyecto se aprovechó esta característica para activar actuadores con salida de tipo digital. Al sistema XBee para el control de invernadero se le asignan cuatro salidas digitales con niveles TTL (lógica transistor a transistor), por lo cual es necesario realizarle una etapa de

acondicionamiento entre los niveles TTL a los que maneja el XBee.

3.4.1 Circuitos de Potencia

Los niveles lógicos del módulo XBee son 3.3V para un 1 lógico y 0V para 0 lógico, que difieren en el 1 para TTL (que es de 5V). Por tal motivo es necesario implementar una etapa que adapte ambos niveles. Para realizarla se utilizó la configuración de un transistor Darlington como inversor, ya que tiene la ventaja de poseer una ganancia de corriente muy grande ($b > 1000$),

En la figura 3.16 (a) se muestra la forma de realizar un inversor con el par Darlington. Cuando el voltaje de la resistencia de base (IN) es positivo, provoca que la salida del colector se sature, haciendo que el voltaje de salida sea 0V. Cuando el voltaje en IN es 0V, el transistor se pone en corte, haciendo que el voltaje en Out sea igual a Vcc. Para acondicionar de TTL a 3.3V los niveles lógicos, se pone $V_{cc}=3.3V$, pero si se quiere acondicionar de 3.3V a TTL $V_{cc}=5V$.

Como son varias las señales que se necesitan adaptar (cuatro señales salida), se necesitarían varios transistores discretos, lo cual ocuparía mucha área en el circuito impreso. Una alternativa para solucionar este problema, es utilizar un circuito integrado con ocho pares Darlington independientes. El circuito es el modelo ULN2803A de la firma STMicroelectronics*. Los ocho arreglos Darlington que contiene permiten manejar, individualmente, una corriente de hasta 500 mA. En la figura 3.16 (b) se muestra el arreglo de un par Darlington que contiene dicho circuito integrado. Por tal motivo se pone en corte o saturación con poca corriente.

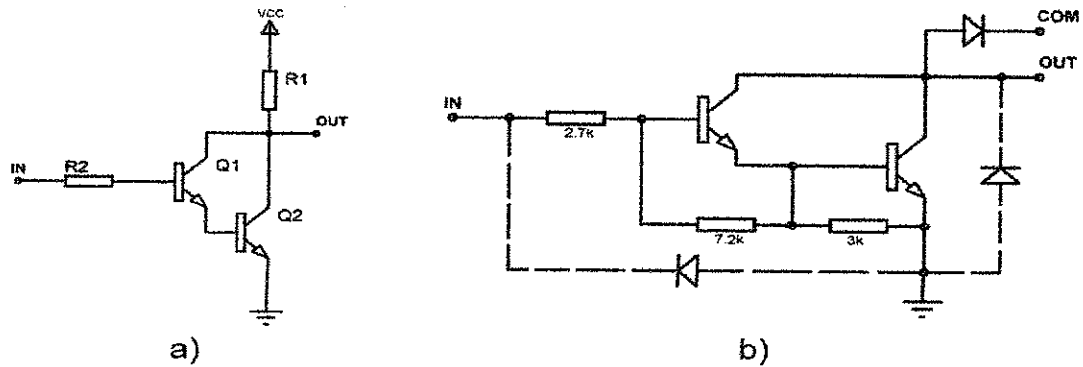


Figura 3.17 a) Par Darlington como inversor. B) Esquemático del ULN2803A.

Fuente. Manual ULN2803A

Para la implementación de la etapa de potencia de adopto un tarjeta que posee los elementos antes mencionados y cumple con la requerimientos para el del proyecto su referencia es Relay shield DFROBOT.

- **El Relay Shield DFRobot** es capaz de controlar 4 relés. La potencia máxima de conmutación es de 90W DC o AC 360VA. Es posible controlarlo a través de señales digitales y una alimentación de 9V externo. Con el zócalo para la aplicación de un módulo XBee2, para su posterior control inalámbrico y montaje de una red ZigBee. Esto hace que sea una solución ideal para la automatización y control.

Características:

- Hasta 4 relés con foto- circuito acoplado.
- Contacto nominal 3A 120V AC / 24V DC
- Max Switching Voltage AC 240V / 60V DC
- Max Corriente de conmutación 5A
- Max Power Switching 360VA AC / DC 90W
- Vida útil eléctrica (Min) 100.000 Operaciones.
- Vida útil mecánica (Min) 10.000.000 Operaciones.
- Estándar de seguridad (relé) UL cUL TUV CQC
- Tensión de bobina de trabajo 9VDC
- Peso 165g
- Temperatura de trabajo -30 °C a +85 °C
- Temperatura de trabajo 40% - 85%

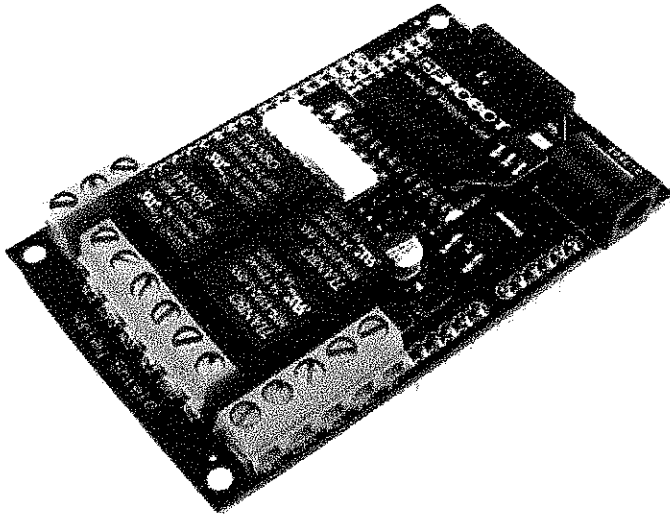


Figura 3.18 Tarjeta EI Relay Shield DFRobot

Fuente. Manual EI Relay Shield DFRobot

3.4.2 Ventilación

Está compuesto por ventiladores de tipo extractor que son de fácil uso, económicos, fáciles de conseguir y durabilidad. Los cuales están distribuidos uniformemente en el invernadero para cuando se active genera una ventilación forzada en todo el invernadero.

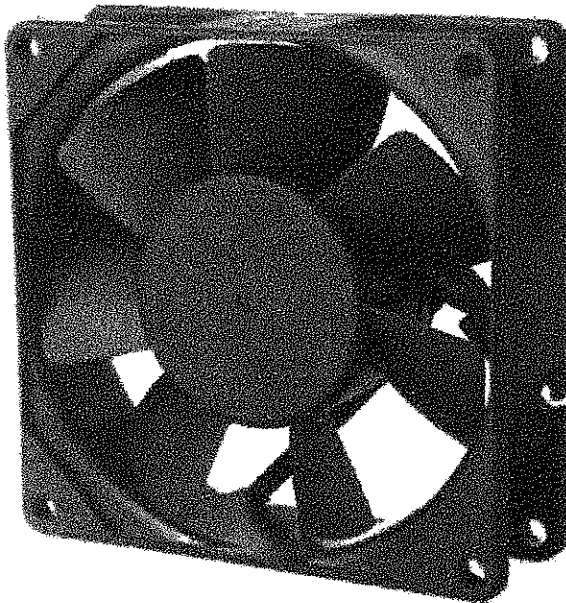


Figura 3.19 foto ventilador

Fuente autor

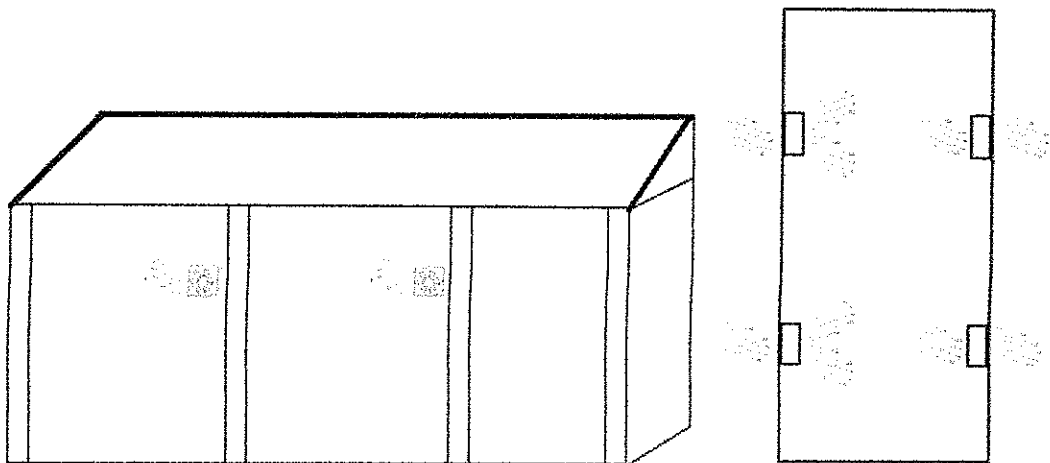


Figura 3.20 distribución ventiladores
Fuente autor

3.4.3 Riego y Aplicación de Nutrientes

El sistema de riego y nutrientes se encarga de suministrar agua y líquido con nutrientes de forma controlada según el requerimiento de cultivo.

- Riego: este controlado por una electroválvula (ver Figura 3.xx) diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal. Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Por medio de un circuito de potencia se le aplica la corriente eléctrica para activar el riego para el cultivo, en base al control y lo requerido por el cultivo.

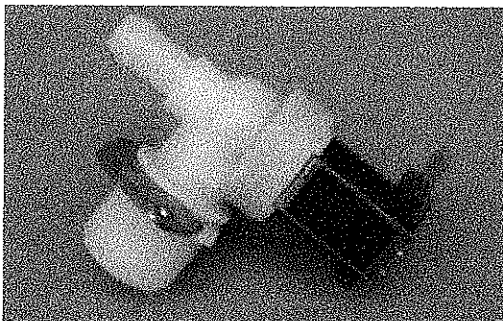


Figura 3.21 Electroválvula
Fuente Autor

- Aplicación de Nutriente: lo compone un recipiente de tamaño grande según el tamaño del cultivo el cual se mezcla nutrientes y abonos líquidos, este se aplica con una electrobomba (ver Figura 3.xx) de manera controlada según el cultivo.



Figura 3.22 electrobomba
Fuente Autor

3.5 Sistema de Sensores

Están compuestos por varios sensores que son dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformaría en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, humedad, pH. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Todas estas variables son adquiridas para su posterior control del sistema en este caso el invernadero.

3.5.1 Sensor de Humedad

El sensor a utilizar es de referencia HIH-4030 DE LA empresa Honeywell el cual esta al alcance el la parte comercial y de presupuesto. Ya que revisando su características se adapta muy bien a la aplicación a implementar.

Este sensor de Humedad ya viene con su tarjeta adaptadora, por lo cual es muy fácil usarlo en un proyecto ya sea protoboard o circuito impreso sin necesidad de componentes adicionales ver Figura 3.xx.

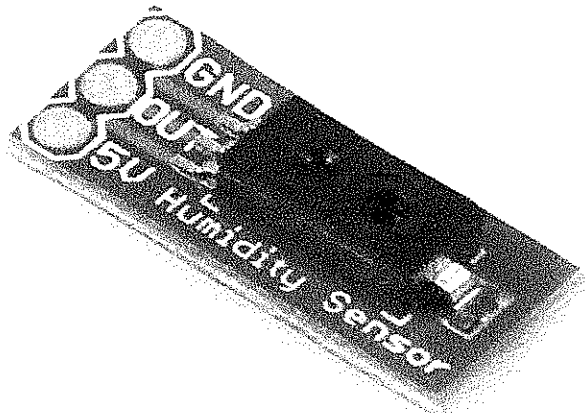


Figura 3.23 Sensor de Humedad Relativa

Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/9569>

El sensor de humedad HIH-4030 mide humedad relativa, (%RH) y la entrega en una salida de voltaje analógico. Puedes conectar la salida del sensor directamente a un microcontrolador con Convertidor analógico digital que en este caso lo conectaremos al modulo Xbee ya que cuenta con varia entrada análogas y gracias a que el voltaje que entrega es casi lineal, es muy fácil de procesar dentro del modulo Xbee que en este caso será lo dispositivos ZigBee finales.

El voltaje aplicado en sus pines no debe ser menor a 4 ni mayor a 5.8V, el voltaje óptimo de funcionamiento es de 5V. El sensor consumirá típicamente solo 200uA.

Principales características

- Salida a analógica casi lineal.
- Alimentación de 4 a 5.8VCD
- Se tiene acceso a todos los pines del sensor desde la tarjeta.
- Tamaño: 0.75 x 0.30 " (19.05 x 7.62 mm).

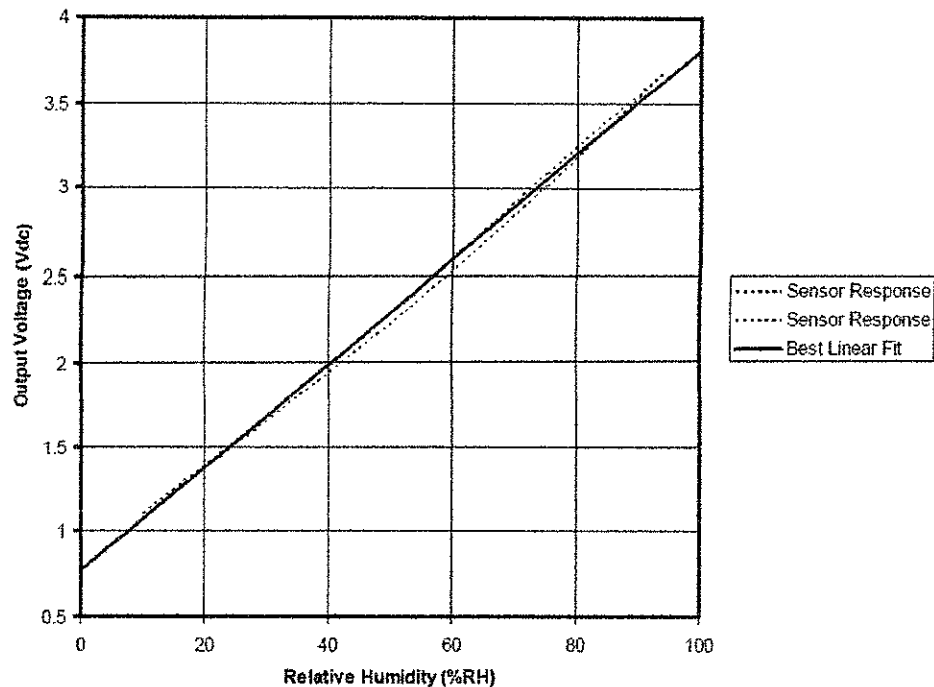


Tabla 3.5 Relacion Voltaje de Salida – Humedad Relativa
Fuente: Manual HIH-4030

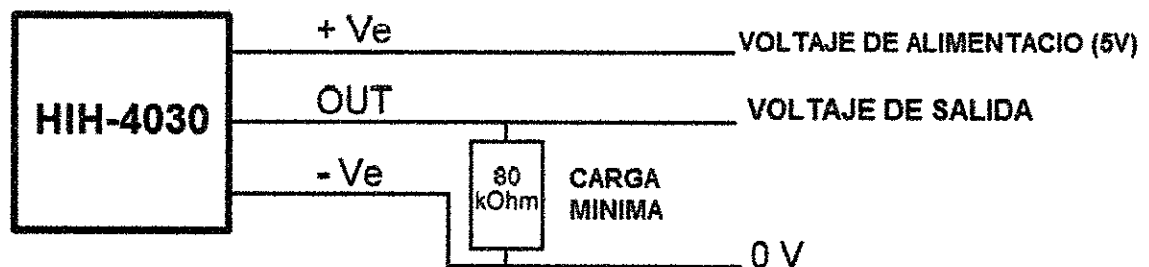


Figura 3.24 Conexión eléctrica Básica de Funcionamiento HIH-4030
Fuente: Manual HIH-4030

3.5.3 Sensor de Humedad Suelo

Este sensor de humedad puede leer la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea. Es un sensor de baja tecnología, pero es ideal para el seguimiento en un sistema de riego. Se trata de una herramienta indispensable para el control.

Este sensor utiliza las dos sondas para pasar corriente a través del suelo, y luego se lee la resistencia para obtener el nivel de humedad. Más agua hace que

el suelo conduzca la electricidad con mayor facilidad (menos resistencia), mientras que el suelo seco es un mal conductor de la electricidad (más resistencia).

Es muy útil para monitorear la humedad del suelo en el invernadero.

Especificación

Fuente de alimentación: 3,3 V o 5 V

Señal de salida de voltaje: 0 ~ 4.2v

Corriente: 35mA

Definición Pin:

1-Salida analógica.

2 GND.

3-Power.

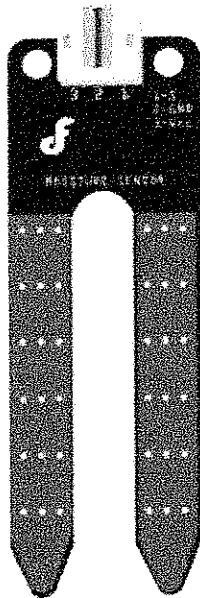


Figura 3.25 Descripción Física de Sensor de Humedad de Suelo
Fuente Manual de Sensor

Tamaño: 60x20x5mm.

Rango de valores:

0 ~ 300: suelo seco.

300 ~ 700: suelo húmedo.

700 ~ 950: en el agua.

CAPITULO IV

MONTAJE Y RESULTADOS DE INVERNADERO

4.1 DIAGRAMA DE BLOQUE DE SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas controlados han estado evolucionando de forma acelerada en los últimos días y hoy en día pasan desapercibidos para mucha gente pues presentan pocos o ningún problema, las técnicas de control se han mejorado a través de los años, sin embargo es muy importante conocer la teoría básica de control.

El control automático desempeña una función vital en el avance de la ingeniería y la ciencia, ya que el control automático se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por lo cuál la teoría de control es un tema de interés para muchos científicos e ingenieros que desean dar nuevas ideas para obtener un desempeño óptimo de los sistemas dinámicos y disminuir tareas manuales o repetitivas.

Las definiciones básicas de los sistemas de control son el punto de partida para comprender el estudio. Estas definiciones surgieron usando como base las ideas del autor Katsuhiko Ogata en su libro Ingeniería de Control Moderna.

4.1.1 Variable controlada y variable manipulada.

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. El objetivo del control es medir el valor de la variable controlada del sistema para aplicar correcciones a través de la variable manipulada para obtener un valor deseado.

Planta. La planta normalmente es un conjunto de partes que trabajan juntas con el objetivo de realizar una operación en particular. Se le llama planta a cualquier

sistema físico que se desea controlar.

Proceso. El proceso es cualquier operación que va a ser controlada. Sistema. Un sistema es un conjunto de componentes que se interrelacionan y trabajan juntos para realizar un objetivo determinado.

Perturbación. Una perturbación es una señal que normalmente afecta a la variable controlada del sistema. Las perturbaciones pueden ser internas cuando surgen dentro del sistema, o externas porque se produce fuera del sistema y actúan como otra entrada.

Control realimentado. El control realimentado es un sistema que mantiene una comparación entre la entrada de referencia y la salida deseada, el resultado de la comparación es utilizado para controlar.

Sistema de control en lazo cerrado. Los sistemas de control en lazo cerrado alimentan al controlador la señal de error de actuación que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control de lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema; es por eso que el término control de lazo realimentado y de lazo cerrado se usan indistintamente.

Sistemas de control en lazo abierto. En estos sistemas la salida no afecta la acción de control. Es decir que en este tipo de control no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Por lo tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; lo que obliga a que la precisión del sistema sea dependiente de la calibración del mismo.

4.1.2 Acciones de Control.

La forma en la cual el controlador automático produce la señal de control se llama acción de control. Los controladores automáticos comparan el valor real de la salida de la planta con la entrada de referencia, lo cual determina la desviación con la que el controlador debe producir una señal de control que reduzca la desviación.

En Figura 4.1. El diagrama de bloques muestra un sistema de control automático general formado por un controlador, un actuador, una planta y un sensor. El

controlador detecta la señal de error, el controlador amplifica la señal y la envía al actuador que produce la entrada a la planta; la salida de la planta es medida por un sensor que transforma la señal y la envía al controlador para que pueda ser comparada con la señal de referencia.

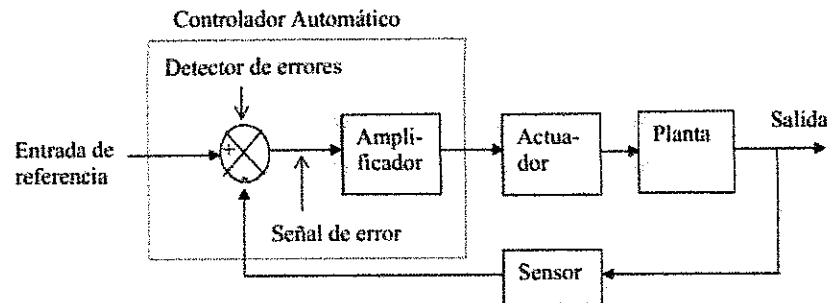


Figura 4.1. Diagrama de Bloque Control Automático lazo Cerrado
Fuente: Libros de Control Katsuhiko Ogata

4.1.3 Acción de Control Encendido-Apagado.

La acción de control Encendido-Apagado es también muy conocida por su nombre en inglés On-Off. Para esta acción de control el elemento de actuación sólo tiene dos posiciones fijas que en la mayoría de los casos son apagado y encendido. Este control es relativamente simple y económico, por lo cual su uso es muy extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos.

Si tenemos una señal de salida del controlador $u(t)$ y una señal de error $e(t)$, en el control de dos posiciones, la señal $u(t)$ permanece en un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa. De este modo,

$$u(t) = U_1, \text{ para } e(t) > 0$$

$$u(t) = U_2, \text{ para } e(t) < 0$$

En donde U_1 y U_2 son constantes. Por lo general, el valor mínimo de U_2 es cero o menos U_1 .

La siguiente figura 4.2 muestra el diagrama de bloques de un controlador Encendido Apagado.

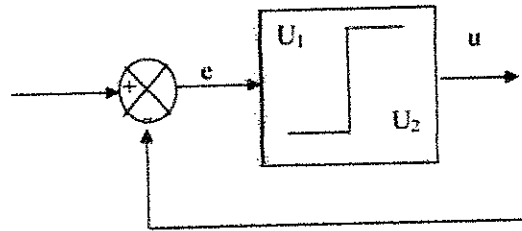


Figura 4.2. Bloques de un controlador Encendido-Apagado.
Fuente: Libros de Control Katsuhiko Ogata

4.1.4 Acción de Control Encendido-Apagado con Banda Muerta.

La brecha diferencial o banda muerta es el rango en el que debe moverse la señal de error antes de que ocurra la conmutación. La banda provoca que la salida del controlador $u(t)$ conserve su valor presente hasta que la señal de error se haya desplazado ligeramente más allá de cero.

La banda muerta en el control Encendido-Apagado es usada con frecuencia para evitar una operación demasiado frecuente del mecanismo de encendido y apagado.

Para una acción de control Encendido-Apagado con Banda Muerta la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = U_1, \text{ para } e(t) + B/2 > 0$$

$$u(t) = U_2, \text{ para } e(t) - B/2 < 0$$

Donde B es la brecha diferencial.

La magnitud de la banda muerta debe determinarse a partir de consideraciones tales como la precisión requerida y la vida del componente, ya que la reducción de la banda diferencial aumenta la cantidad de conmutaciones de encendido y apagado por minuto y reduce la vida útil del componente.

La siguiente figura 4.3 muestra el diagrama a bloques de un controlador Encendido-Apagado con Banda Muerta.

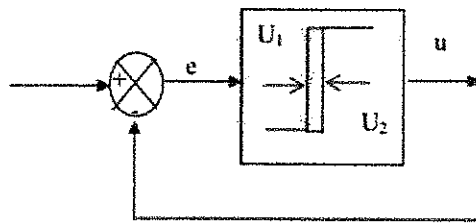


Figura 4.3. Diagrama a bloques de un controlador Encendido Apagado con Banda Muerta.
Fuente: Libros de Control Katsuhiko Ogata

4.2 DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo es la representación gráfica del algoritmo o proceso. Se utiliza en disciplinas como la programación, la economía, los procesos industriales y la psicología cognitiva. Estos diagramas utilizan símbolos con significados bien definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de fin de proceso.

4.2.1 Características

Un diagrama de flujo siempre tiene un único punto de inicio y un único punto de término. Además, todo camino de ejecución debe permitir llegar desde el inicio hasta el término.

Las siguientes son acciones previas a la realización del diagrama de flujo:

- Identificar las ideas principales a ser incluidas en el diagrama de flujo. Deben estar presentes el dueño o responsable del proceso, los dueños o responsables del proceso anterior y posterior y de otros procesos interrelacionados, otras partes interesadas.
- Definir qué se espera obtener del diagrama de flujo.
- Identificar quién lo empleará y cómo.
- Establecer el nivel de detalle requerido.
- Determinar los límites del proceso a describir.

Los pasos a seguir para construir el diagrama de flujo son:

- Establecer el alcance del proceso a describir. De esta manera quedará fijado el comienzo y el final del diagrama. Frecuentemente el comienzo es la salida del proceso previo y el final la entrada al proceso siguiente.
- Identificar y listar las principales actividades/subprocesos que están incluidos en el proceso a describir y su orden cronológico.
- Si el nivel de detalle definido incluye actividades menores, listarlas también.
- Identificar y listar los puntos de decisión.
- Construir el diagrama respetando la secuencia cronológica y asignando los correspondientes símbolos.
- Asignar un título al diagrama y verificar que esté completo y describa con exactitud el proceso elegido.

4.2.2 Ventajas del diagrama de Flujo

- Favorecen la comprensión del proceso al mostrarlo como un dibujo. El cerebro humano reconoce muy fácilmente los dibujos. Un buen diagrama de flujo remplace varias páginas de texto.
- Permiten identificar los problemas y las oportunidades de mejora del proceso. Se identifican los pasos, los flujos de los re-procesos, los conflictos de autoridad, las responsabilidades, los cuellos de botella, y los puntos de decisión.
- Muestran las interfaces cliente-proveedor y las transacciones que en ellas se realizan, facilitando a los empleados el análisis de las mismas.
- Son una excelente herramienta para capacitar a los nuevos empleados y también a los que desarrollan la tarea, cuando se realizan mejoras en el proceso.
- Al igual que el pseudocódigo, el diagrama de flujo con fines de análisis de algoritmos de programación puede ser ejecutado en un ordenador, con un IDE como Free DFD.

4.3 Diagrama Principal

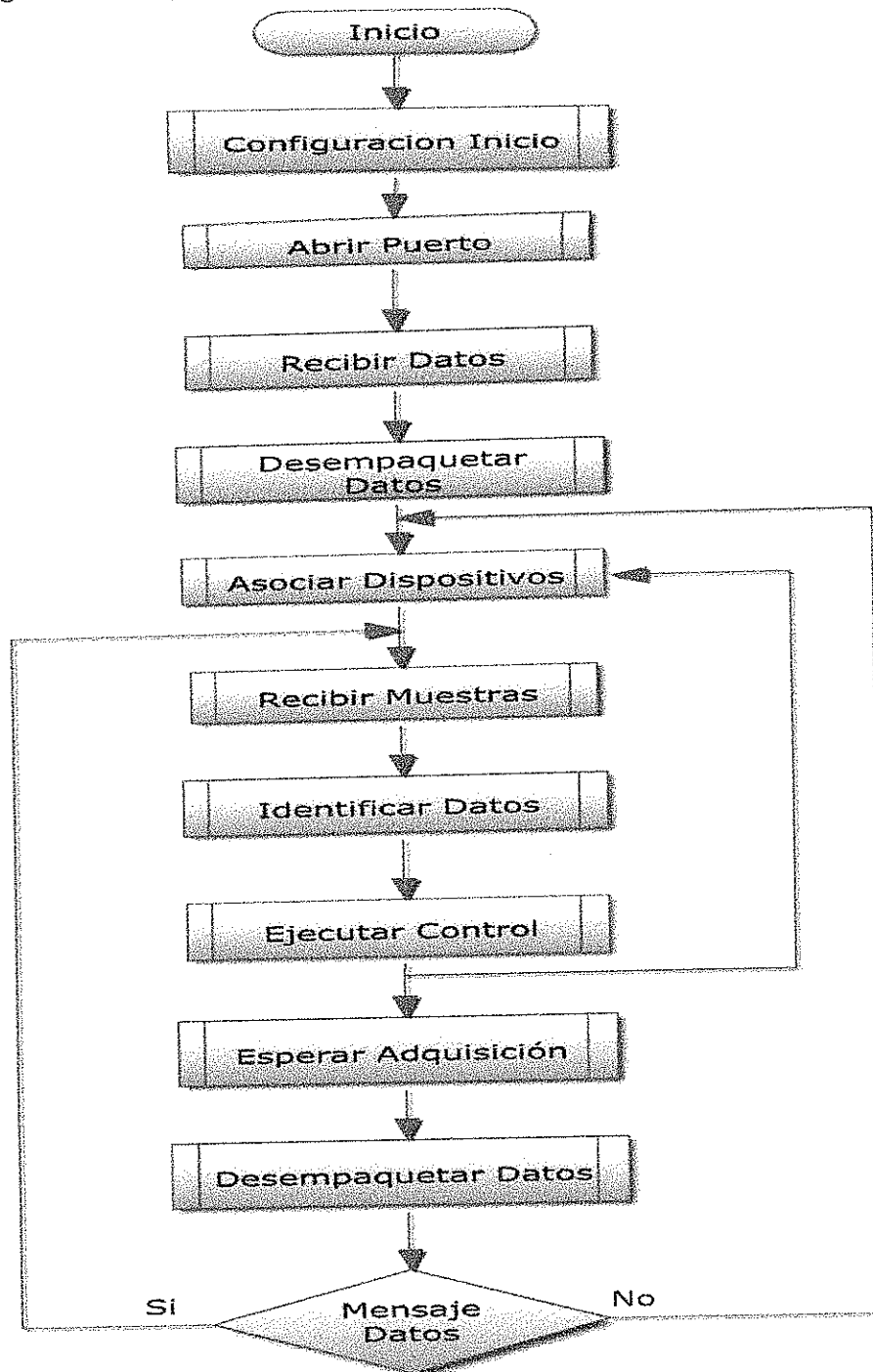


Figura 4.4. Diagrama a bloques
Fuente: autor

5.3 Descripción de bloques del Diagrama de Flujo

En esta parte describiremos cada bloque del diagrama de flujo su función que cumple en el programa y su desarrollo.

Configuración Inicial

En esta parte del programa se configuran las variables puertos y registros a utilizar en todo el programa, como lo es el puerto serial para la adquisición de datos configurando el número de puertos, su velocidad y otros. También las variables que se asigna a los dispositivos como son N1, N2 y N3, registros para la recepción y transmisión de datos y también registro de variables para su posterior control.

Abrir Puerto

Se le da la orden para abrir el puerto asignado asignándole un numero como por ejemplo COM1, o diferente y se espera respuesta de puerto para recibir y transmitir datos.

Desempaquetar Datos

Ya teniendo los datos recibidos y almacenados procedemos a interpretarlos en esta parte tenemos que tener en cuenta las tramas de datos del protocolo ZigBee, el cual tiene una estructura a seguir y nos otorgara los datos para para seguir con el programa.

Asociación de Dispositivos

En esta parte del programa por medio que nos otorgo el bloque anterior de desempaquetar los datos y por medio de un análisis de la trama teniendo en cuenta los comandos AT de ZigBee, identificamos los dispositivos que componen la red y le asignamos una variable o nombre y estos son visualizados en la interface grafica al usuario.

Recibir Muestras

Ya teniendo identificado los dispositivos que componen la red ZigBee, entramos a identificar los datos de los dispositivos finales que son los que poseen los sensores para hacer una medición de las variables a medir como es temperatura, humedad y otros, para luego controlar.

Identificar Datos

En esta parte según las variables asignadas al valor de estas como lo es temperatura, humedad y otros, para empezar hacer una base de datos para luego controlar, ser identificados y visualizados en la interface grafica al usuario de programa.

Ejecutar Control.

Teniendo el dato de los sensores y sus parables, ejecutamos la rutina de control que es la encargada de compara los datos de los sensores con los datos de referencia a controlar y por medio de esta se encarga de hacer una el control activando los actuadores para poder conseguir la respuesta que queremos en el sistema.

Esperar Adquisición

Espera otra vez el muestreo de datos para seguir con el monitoreo y control del sistema, si generamos y aseguramos que es un sistema de control de lazo cerrado.

4.4 PROGRAMACIÓN

La herramienta utilizada para la parte desarrollo de la aplicación y la parte de programación fue Visual Basic, el cual cumple con los requisitos que necesitábamos y estaba al alcance de mis conocimientos y experiencias en programación.

4.4.1 Visual Basic

Visual Basic es un lenguaje de programación dirigido por eventos, desarrollado por el alemán Alan Cooper para Microsoft. Este lenguaje de programación es un dialecto de BASIC, con importantes agregados. Su primera versión fue presentada en 1991, con la intención de simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas y, en cierta medida, también la programación misma.

La última versión fue la 6, liberada en 1998, para la que Microsoft extendió el soporte de este lenguaje hasta marzo de 2008.

En 2001 Microsoft propuso abandonar el desarrollo basado en la API Win32 y pasar a un framework o marco común de librerías, independiente de la versión del sistema operativo, .NET Framework, a través de Visual Basic .NET (y otros lenguajes como C Sharp (C#) de fácil transición de código entre ellos); fue el sucesor de Visual Basic 6.

Si bien Visual Basic es de propósito general, también permite el desarrollo de aplicaciones de bases de datos usando Data Access Objects, Remote Data Objects, o ActiveX Data Objects.

Visual Basic (Visual Studio) contiene un entorno de desarrollo integrado o IDE que incluye un editor de textos para edición del código, un depurador, un compilador (y enlazador) y un constructor de interfaz gráfica o GUI.

Características

El compilador de Visual Basic x.0 genera código que requiere librerías de enlace dinámico DLL para que funcione, en algunos casos llamada MSVBVMxy.DLL (acrónimo de "MicroSoft Visual Basic Virtual Machine x.y", donde x.y es la versión) y en otros VBRUNXXX.DLL ("Visual Basic Runtime X.XX"). Estas DLL proveen las funciones implementadas en el lenguaje, conteniendo rutinas en código ejecutable que son cargadas bajo demanda. Además existe un gran número de bibliotecas DLL, que facilitan el acceso a la mayoría de las funciones del sistema operativo y también la integración con otras aplicaciones.

En el IDE de Visual Basic se puede ejecutar el programa en desarrollo, "al vuelo" o en el modo intérprete (en realidad pseudo-compila el programa muy rápidamente y luego lo ejecuta), y también se permite la generación del programa en código ejecutable (exe). Tal programa generado en disco puede luego ser ejecutado fuera del ambiente de programación (incluso en modo stand alone, dependiendo de los requisitos de DLL's), aunque será necesario que las librerías DLL requeridas se encuentren instaladas en el sistema para su apropiada ejecución.

Visual Basic provee soporte para empaquetado y distribución, es decir, permite

generar un módulo instalador que contiene el programa ejecutable y las bibliotecas DLL necesarias para él. Con ese módulo la aplicación generada se distribuye y puede ser instalada en cualquier equipo (con sistema compatible).

Así como bibliotecas DLL, hay numerosas aplicaciones de terceros que disponen de variadas funciones y mejoras para Visual Basic, incluyendo también para empaquetado y distribución.

Entorno de Desarrollo

Existe un único entorno de desarrollo para Visual Basic, desarrollado por Microsoft: Microsoft Visual Basic x.0 para versiones desde la 1.0 hasta la 6.0, (con las diferencias entre las versiones desde la 1.0 (MS-DOS/Windows 3.1) hasta la 3.0 (16 bits, Windows 3.1/95) y las de la 4.0 (16/32 bits, Windows 3.1/95/NT) hasta la 6.0 (32 bits, Windows 9x/Me/NT/2000/XP/2003 server).

Su entorno de desarrollo es muy similar al de otros lenguajes e IDE's.

Se compone principalmente de una barra de herramientas y menús, que se pueden personalizar con prácticamente la totalidad de los comandos del IDE, a necesidad.

El espacio de trabajo incluye y muestra todas las ventanas del proyecto, las vistas del código de los módulos y objetos, y los controles con los que se compondrán las ventanas de la aplicación. Por defecto se dispone los siguientes controles:

- (PictureBox) Caja de Imágenes
- (Label) Etiqueta
- (TextBox) Caja de texto

- (Frame) Marco
- (CommandButton) Botón de comando
- (CheckBox) Casilla de verificación
- (OptionButton) Botón de opción
- (ComboBox) Lista desplegable
- (ListBox) Lista
- (HScrollBar) Barra de desplazamiento horizontal
- (VScrollBar) Barra de desplazamiento vertical
- (Timer) Temporizador
- (DriveListBox) Lista de unidades de disco
- (DirListBox) Lista de directorios
- (FileListBox) Lista de archivos
- (Shape) Figura
- (Line) Línea
- (Image) Imagen
- (Data) Conexión a origen de datos
- (OLE) Contenedor de documentos embebidos compatibles con Object Linking and Embedding

Se pueden agregar todo tipo de controles de terceros, y hay una gran cantidad de

ellos que se proveen con la instalación de Visual Basic 6.0, vienen embebidos dentro de archivos de extensión OCX.

El panel lateral derecho contiene dos vistas principales:

El Explorador de Proyectos, que muestra todos los elementos que componen el proyecto o grupos de proyectos (formularios, interfaz de controles, módulos de código, módulos de clase, etc.)

El Panel de propiedades, donde se muestran todos los atributos de los controles de los formularios o la información de módulos clase y formularios, entre muchos otros.

La Ventana inmediato, por defecto se encuentra en la parte inferior, aunque puede no estar visible; utilizar Ctrl+G para mostrar la ventana. Esta ventana resulta una herramienta muy útil a la hora de depurar el programa o incluso de realizar pruebas rápidas, ya que permite imprimir mensajes de texto desde el código y ejecutar sentencias y comandos simples (solo sentencias que se puedan representar, en una sola línea). Por ejemplo, desde código de la propia aplicación, se puede consultar el valor de una variable o llamar a un método declarado en el módulo que se está depurando. También se puede ejecutar código "al vuelo", por ejemplo probando sentencias como:

`?2+2`

Al ejecutarlo devolvería el resultado de la operación. Se puede usar variables del código de la aplicación, o sentencias de código como:

`Msgbox "Prueba de cuadro de mensaje de error.", vbCritical, "Titulo del mensaje"`

A la hora de depuración puede ser útil para consultar un código de error:
`?Err.Number`

Ventajas

- Posee una curva de aprendizaje muy rápida.
- Integra el diseño e implementación de formularios de Windows.
- Permite usar con facilidad la plataforma de los sistemas Windows, dado que tiene acceso prácticamente total a la API de Windows, incluidas librerías actuales.
- Es uno de los lenguajes de uso más extendido, por lo que resulta fácil encontrar información, documentación y fuentes para los proyectos.
- Fácilmente extensible mediante librerías DLL y componentes ActiveX de otros lenguajes.
- Posibilita añadir soporte para ejecución de scripts, VBScript o JScript, en las aplicaciones mediante Microsoft Script Control.
- Tiene acceso a la API multimedia de DirectX (versiones 7 y 8). También está disponible, de forma no oficial, un componente para trabajar con OpenGL 1.1.7
- Existe una versión, VBA, integrada en las aplicaciones de Microsoft Office, tanto Windows como Mac, que permite programar macros para extender y automatizar funcionalidades en documentos, hojas de cálculo, bases de datos (access).
- Si bien permite desarrollar grandes y complejas aplicaciones, también provee un entorno adecuado para realizar pequeños prototipos rápidos.

Inconvenientes

Las críticas hechas en las ediciones de Visual Basic anteriores a VB.NET son variadas, 8 se citan entre ellas:

- Problema de versionado asociado con varias librerías runtime DLL, conocido como DLL Hell

- Pobre soporte para programación orientada a objetos
- Incapacidad para crear aplicaciones multihilo, sin tener que recurrir a llamadas de la API de Windows.
- Dependencia de complejas y frágiles entradas de registro COM10
- La capacidad de utilizar controles en un solo formulario es muy limitada en comparación a otras herramientas. DLL Hell DB, Libro Programando en Visual Basic, 2002

4.4.2 *INTERFACE GRAFICA*

La interfaz gráfica de usuario, conocida también como GUI (del inglés graphical user interface) es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz. Su principal uso, consiste en proporcionar un entorno visual sencillo para permitir la comunicación con el sistema operativo de una máquina o computador.

Panel de Control

El panel de programa para el control del invernadero está diseñado para que el usuario de forma intuitiva y con poco conocimiento de control logre fácilmente ubicarse en un entorno para asumir la lectura e variables de los sensores y el control de todo el entorno que lo rodea.

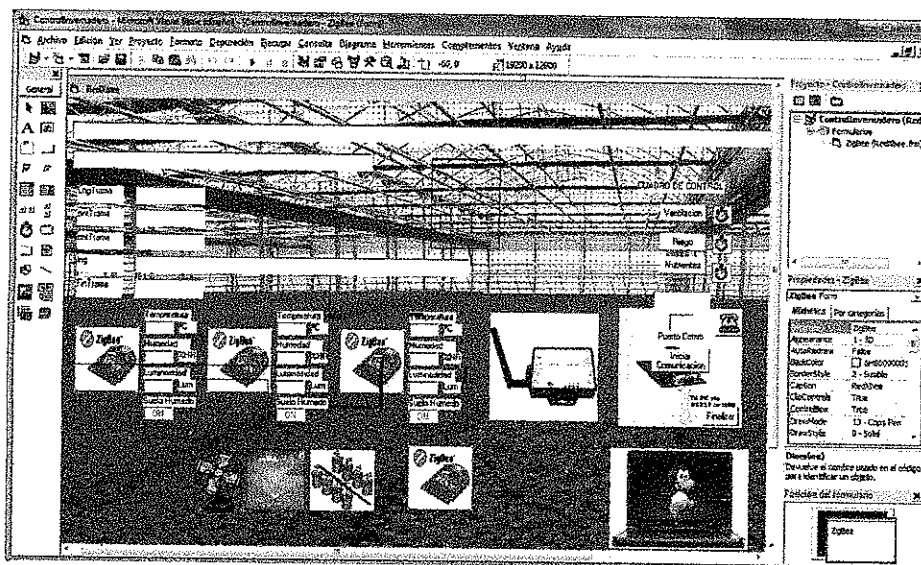


Figura 4.5. Pantallazo e la interface e control en etapa de desarrollo con Visual Basic
Fuente: Autor

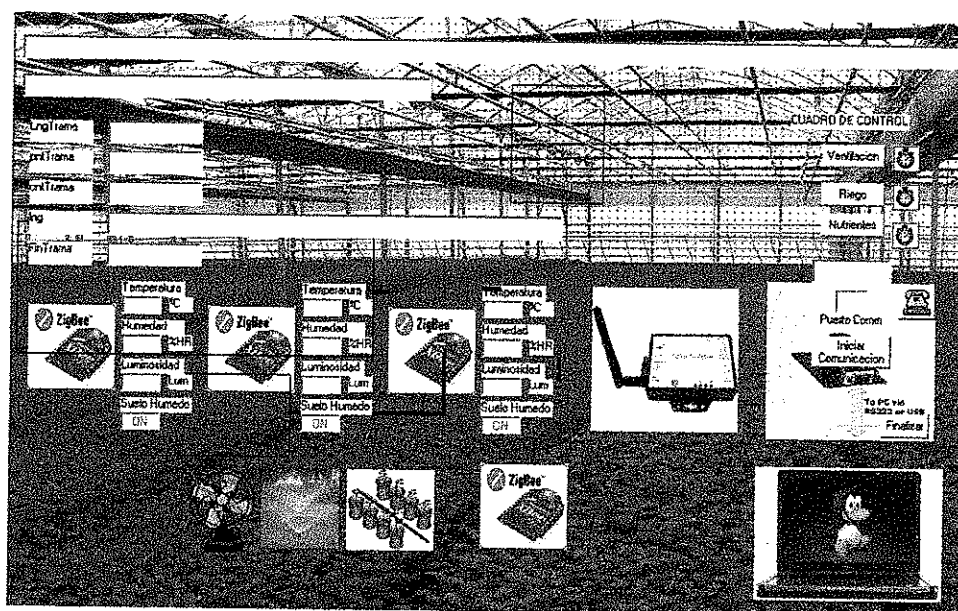


Figura 4.6. Descripción de las partes del panel de control
Fuente: Autor

4.5 INVERNADERO

La construcción del invernadero fue desarrollado por medio de investigación teniendo en cuenta la parte teórica y practica de los principales constructores de invernaderos la región, de departamento de Boyacá específicamente en el area de Moniquita done fue ubicado y construido este invernadero.

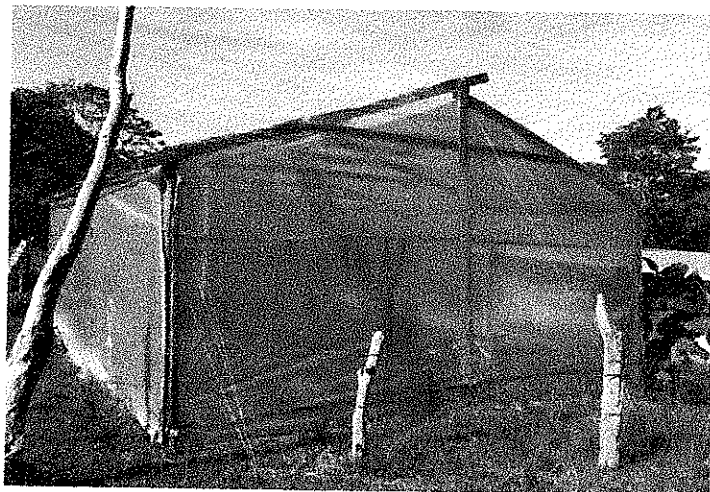


Figura 4.7. Foto de Invernadero
Fuente: Autor

4.5.1 *Sistema de riego*

El sistema de riego lo compone una electrovalvula y un sistema de goteo el cual esta conformado por una cinta para riego especialmente diseñana para estos fines y que a nivel de presupusto y comercializacion se incuentra al alcance.

Este sistema esta distribuido unifirmemente por todo el invernadero pare generar un riego uniforme.

El sistema de goteo permite el ahorro e agua y mayor eficiencia para el suministro de agua en el area especifica e la planta.

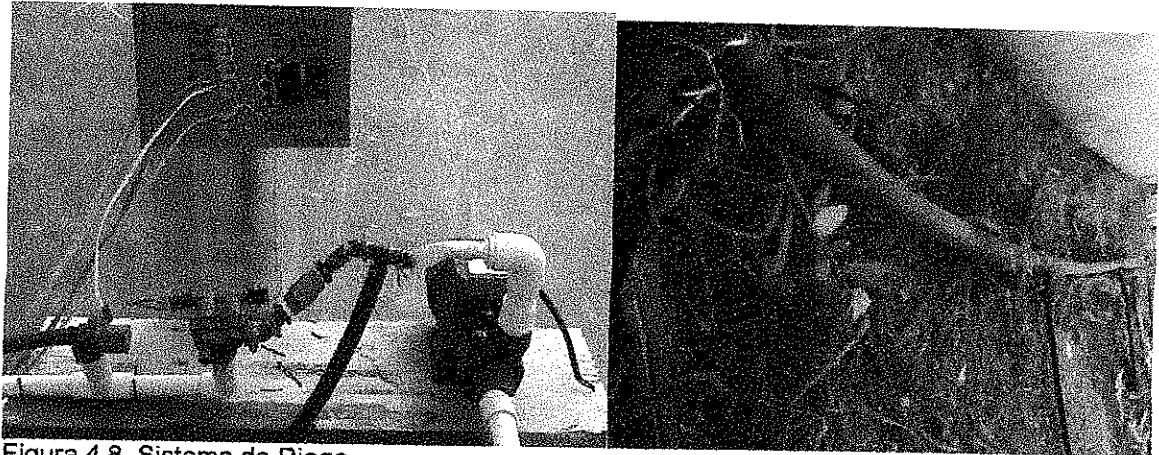


Figura 4.8. Sistema de Riego

Fuente: Autor

4.5.2 Ventilación

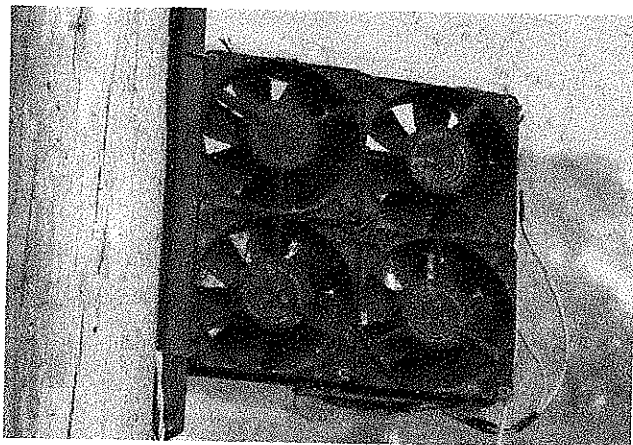


Figura 4.9. Sistema ventilación

Fuente: Autor

4.5.3 Aspersores

Este sistema lo conforman varios aspersores instalados de uniformemente por todo el invernadero y esta controlado por una electroválvula para ser activado cuando lo requiera el sistema de control. Estos aspersores simulan la lluvia dentro del invernadero para que la planta adsorban el agua por medio de las hoja, otro punto que se puede controlar con esto es la humedad.

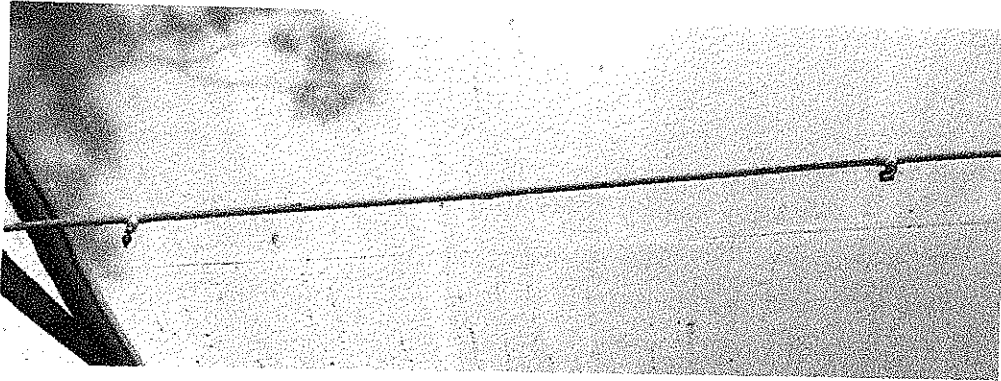


Figura 4.10. Aspersores
Fuente: Autor

4.5.4 Aplicación de nutrientes

Este lo compone una motobomba y utiliza el mismo sistema de riego para la aplicación de los nutrientes, en la figura No. 4.7 se ve la motobomba que se uso con su respectiva entrada, salida y esquema de conexión.

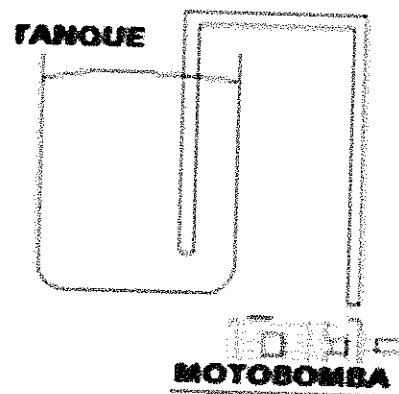
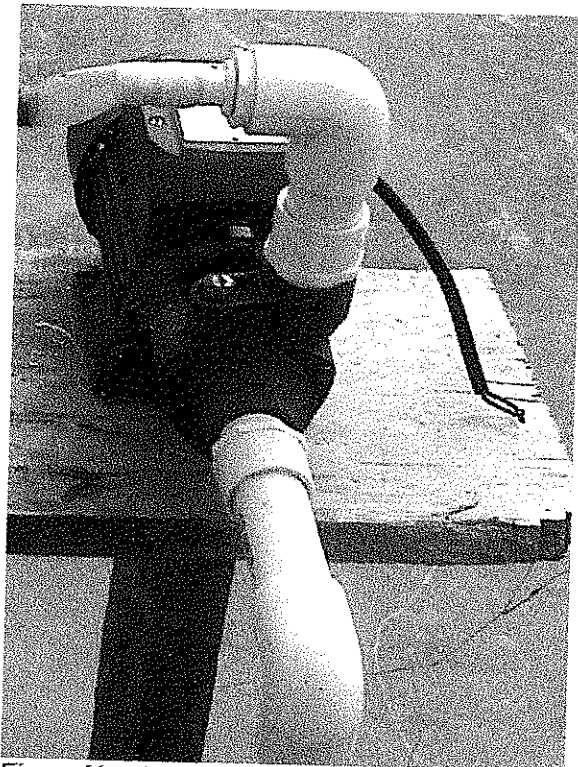


Figura No. 4.11. Motobomba y esquema de conexión
Fuente: Autor

4.5 MONTAJE DE MÓDULOS Y DISEÑO

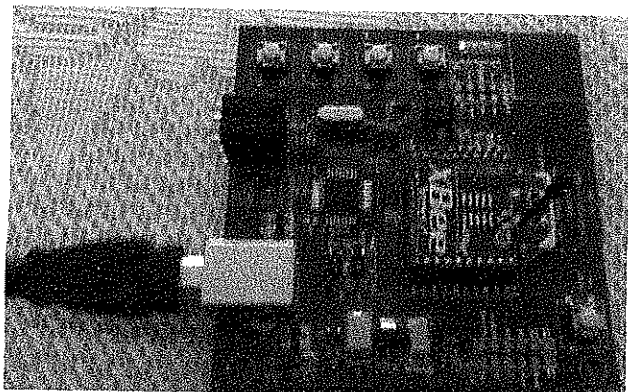


Figura 4.12. Coordinador ZigBee Conectado a la PC
Fuente: Autor

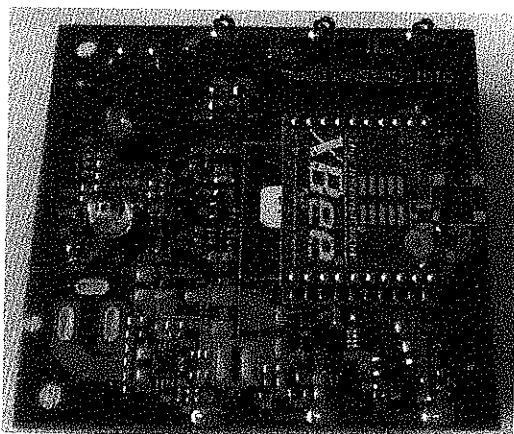


Figura 4.13. Dispositivo Final ZigBee con los sensores
Fuente: Autor

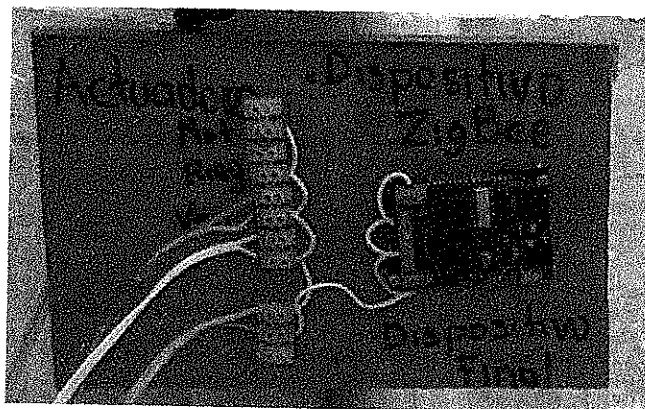


Figura 4.14. Dispositivo Final ZigBee con Actuadores
Fuente: Autor

4.6 RESULTADOS

4.5.1 *Datos esperados*

Conformación de la red Zigbee y sus diferentes dispositivos, para la implementación de monitoreo y control de una invernadero y sus diferentes variables.

Manejo de las herramientas de desarrollo de los módulos XBee para el desarrollo de una aplicación.

Búsqueda de sensores para la implementación a los módulos Xbee para el monitoreo de temperatura, humedad y humedad del suelo. Arrojándonos datos para su posterior calibración en la etapa de control.

Se Diseñar e implementar el sistema de monitoreo y control que permita controlar la variables básicas del invernadero dependiendo del tipo de cultivo con una interface humano maquina sencilla.

4.5.2 *Inconvenientes*

La busca de información. Fue uno de los aspectos que tuvimos limitaciones ya que la información de esta tecnología es escasa y hay pocas aplicaciones implementadas para tomar una referencia.

Presupuesto ya que los módulos y sensores son costosos y se necesito varios de ellos

Comercialización de los dispositivos, los cuales se encontraban en el mercado y se hacia difícil su compra

CONCLUSIONES

Por medio de los conocimientos adquiridos en la universidad y la investigación se logro buscar unas alternativas para la siembra de cultivos en nuestra región y dar soluciones diferentes a las técnicas antiguas o rudimentarias que se aplican, en las cuales no se logra aprovechar al máximo el cultivo. Implementando un sistema de monitoreo y control para estos cultivos.

Se implementación de una red de sensores inalámbricos "zigbee" en la agricultura de precisión más específicamente en un invernadero, para el monitoreo de variables como lo es temperatura y humedad, dejando un avance teórico practico para la aplicación en la región de nuevas tecnologías.

La búsqueda de un nuevo conocimiento en el área del monitoreo y control que nos llevo a conocer nuevas tecnologías como es ZigBee a estar a la par en los últimos avances tecnológicos mundiales, es una de las prioridades para que este proyecto tenga una proyección a futuro y que la aplicación que se busca en la agricultura de nuestra región sea una herramienta de beneficio en futuras aplicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ZigBee Specification 053474r17, Junio. 2008; available from www.zigbee.org.

ZigBee Alliance, available at www.zigbee.org.

DomoDesk Todo en Domótica, Febrero 2011;
<http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>

Open Systems Interconnection Basic Reference Model: The Basic Model, ISO/IEC 7498-1:1994.

Shahin Farahani, 2008 ZigBee Wireless Networks and Transceivers,

Katsuhiko Ogata, 1998 Tercera Edición, Ingeniería de Control Moderna: Pearson