



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
INALÁMBRICO BASADO EN LA RED ZIGBEE PARA SENSAR
PARÁMETROS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LOS
LABORATORIOS DE AUTOMATIZACIÓN Y ANÁLISIS
VIBRACIONAL”.**

**NARVÁEZ GUACHI JAVIER ALEJANDRO
MÁRQUEZ ZURITA JEFFRY MAURICIO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS**

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

2017-01-25

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

NARVÁEZ GUACHI JAVIER ALEJANDRO

Titulado:

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INALÁMBRICO
BASADO EN LA RED ZIGBEE PARA SENSAR PARÁMETROS DE
TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LOS LABORATORIOS DE
AUTOMATIZACIÓN Y ANÁLISIS VIBRACIONAL”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo
DIRECTOR

Dr. Marco Antonio Haro Medina
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

2017-01-25

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

MÁRQUEZ ZURITA JEFFRY MAURICIO

Titulado:

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INALÁMBRICO
BASADO EN LA RED ZIGBEE PARA SENSAR PARÁMETROS DE
TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LOS LABORATORIOS DE
AUTOMATIZACIÓN Y ANÁLISIS VIBRACIONAL”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo
DIRECTOR

Dr. Marco Antonio Haro Medina
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: NARVÁEZ GUACHI JAVIER ALEJANDRO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INALÁMBRICO BASADO EN LA RED ZIGBEE PARA SENSAR PARÁMETROS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LOS LABORATORIOS DE AUTOMATIZACIÓN Y ANÁLISIS VIBRACIONAL”

Fecha de Examinación: 2017-12-08

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO PRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo DIRECTOR			
Dr. Marco Antonio Haro Medina ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MÁRQUEZ ZURITA JEFFRY MAURICIO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INALÁMBRICO BASADO EN LA RED ZIGBEE PARA SENSAR PARÁMETROS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LOS LABORATORIOS DE AUTOMATIZACIÓN Y ANÁLISIS VIBRACIONAL”

Fecha de Examinación: 2017-12-08

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO PRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo DIRECTOR			
Dr. Marco Antonio Haro Medina ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORIA

El presente trabajo de titulación que presentamos es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Narváez Guachi Javier Alejandro

Márquez Zurita Jeffry Mauricio

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Narváez Guachi Javier Alejandro y Márquez Zurita Jeffry Mauricio, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente Consultas y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Narváez Guachi Javier Alejandro

Márquez Zurita Jeffry Mauricio

DEDICATORIA

Este trabajo en primer lugar lo dedico a Dios y a mi Madre Santísima, por nunca haberme abandonado en las diferentes circunstancias en las cuales me sentía estancado.

A mi madre y hermana: Lic. Sonia Guachi y Alejandra Reyes, quienes siempre me apoyaron por más equivocaciones que haya cometido en todo este camino.

A mis segundos padres: Don Víctor Guachi y su Señora Esposa Rosa Toapanta, este logro profesional es para ellos que es fruto de su esfuerzo y trabajo más la confianza puesta en mí.

NARVÁEZ GUACHI JAVIER ALEJANDRO

Dedico este logro primero a Dios, por la sabiduría y fortaleza brindada durante este proceso para alcanzar mi nueva meta profesional.

A mis padres porque a pesar de tener varios tropiezos en el camino siempre se mantuvieron conmigo en los buenos y malos momentos.

A mis hermanos que siempre me apoyaron en todo para conseguir este objetivo, gracias a sus consejos y regaños que hicieron que me convierta en un hombre de bien y a mis abuelitos que desde donde estén me cuidan y guían.

MÁRQUEZ ZURITA JEFFRY MAURICIO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mi Madre Santísima, por cada segundo de vida más la fortaleza brindada para alcanzar esta meta, a mis padres y familia, en especial a mi tío: Willman Guachi por el apoyo moral y económico que siempre recibí de su parte.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento, por haberme brindado una segunda oportunidad de realizarme como profesional, también el permitirme ser parte de sus aulas en donde cada conocimiento servirá para dejar en alto el nombre de mi escuela en el servicio a la sociedad.

Un profundo agradecimiento al Ing. Pablo Montalvo, Dr. Marco Haro e Ing. Cristian Márquez por su apoyo y asesoramiento en este trabajo de titulación, ustedes que me brindaron su tiempo, su experiencia y la paciencia necesaria para alcanzar todos los objetivos de este trabajo.

NARVÁEZ GUACHI JAVIER ALEJANDRO

Agradezco principalmente a Dios por darme la vida y la fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el apoyo y confianza para ver culminada una meta más de mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por darme la instrucción necesaria para obtener una profesión, y ser un profesional que va a servir a la sociedad.

Agradezco al Ing. Pablo Montalvo, Dr. Marco Haro e Ing. Cristian Márquez por brindarme su amistad y asesoramiento en este trabajo de titulación, quienes con su conocimiento y experiencia me supieron apoyar para elaborar este trabajo.

MÁRQUEZ ZURITA JEFFRY MAURICIO

CONTENIDO

	PÁG.
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1. Introducción.	1
1.2. Antecedentes.	1
1.3. Justificación.	2
1.4. Objetivos.	3
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Introducción.	4
2.2. Estándar IEEE 802.15.4.	4
2.3. Estándar ZigBee.	5
2.4. ZigBee Alliance.	7
2.5. Protocolo de Comunicación de la Red Inalámbrica ZigBee.	7
2.5.1. <i>Relación entre ZigBee y el IEEE 802.15.4</i>	7
2.6. Topología.	9
2.7. Topologías de red.	9
2.7.1. <i>Topología en estrella</i>	9
2.7.2. <i>Topología de punto a punto</i>	10
2.7.3. <i>Topología jerárquica (árbol)</i>	11
2.7.4. <i>Topología de malla</i>	12
2.8. Tipos de nodos.	13
2.8.1. <i>Dispositivo de función completa (FFD-Full Function Device)</i>	13
2.8.2. <i>Dispositivo de funciones reducidas (RFD-Reduced Function Device)</i>	13
2.9. Tipos de dispositivos de la Red ZigBee.	14
2.9.1. <i>ZigBee Coordinador (ZigBee Coordinator, ZC)</i>	14
2.9.2. <i>ZigBee Repetidor (ZigBee Router, ZR)</i>	14
2.9.3. <i>ZigBee Final (ZigBee End-Device, ZED)</i>	14
2.10. Arquitectura de la red.	15
2.10.1. <i>Capa Física (PHY)</i>	16
2.10.2. <i>Subcapa (MAC)</i>	17
2.10.3. <i>La capa de red (NWK)</i>	21
2.10.4. <i>La capa de soporte de aplicación (APS)</i>	22
2.10.5. <i>La capa de aplicación (APL)</i>	23
2.10.6. <i>Resumen de las responsabilidades de la capa (APL)</i>	25
2.10.7. <i>Seguridad</i>	26

CAPÍTULO III

3.	DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS ZIGBEE.....	27
3.1.	Dispositivos.....	27
3.2.	Descripción de los Dispositivos.....	27
3.2.1.	<i>Dispositivo coordinador ZigBee XBee-PRO (Coordinador/Gateway) (ZC).</i>	27
3.2.2.	<i>Dispositivo ZigBee Router (ZR).</i>	33
3.2.3.	<i>Dispositivo ZigBee End Device (ZED).</i>	41
3.3.	Accesorios Complementarios de los dispositivos.....	43
3.3.1	<i>Software Utilizados.</i>	43
3.3.2.	<i>Batería</i>	44
3.3.3.	<i>USB.</i>	45
3.3.4.	<i>Tarjeta de memoria micro SD.</i>	46

CAPÍTULO IV

4.	IMPLEMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN UTILIZADA EN EL DESARROLLO INALAMBRICO DE LA RED ZIGBEE.....	48
4.1.	Montaje del Dispositivo Coordinador ZigBee (ZC).	48
4.2.	Montaje del Dispositivo Repetidor y Sensor.	49
4.3.	Ubicación y Topología.....	52
4.4.	Implementación en los Laboratorios.....	52
4.5.	Instalación del Software.....	53
4.6.	Configuración de los dispositivos ZigBee (ZC,ZR y ZED).....	53
4.7.	Programación para las tarjetas Waspnote	56
4.7.1.	<i>Código de Programación.</i>	57
4.8.	Visualización de los parámetros medidos.....	57
4.8.1.	<i>Visualización en la interfaz X-CTU.</i>	57
4.8.2	<i>Visualización en la interfaz LabView.</i>	58

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1.	Conclusiones.....	60
5.2.	Recomendaciones.....	61

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1 Asignación de canales.	16
Tabla 2-2 Bandas de frecuencias y velocidad de datos.....	17
Tabla 3-1 Dispositivos seleccionados para la Red ZigBee.....	27
Tabla 3-2 Accesorios utilizados para la Red ZigBee.....	27
Tabla 3-3 Especificaciones del módulo XBee PRO Series 2.....	31
Tabla 3-4 Especificaciones tarjeta Wasmote (Router).....	33
Tabla 3-5 Datos eléctricos tarjeta Wasmote (Router).....	34
Tabla 3-6 Lista de nombres de los pines analógicos.....	37
Tabla 3-7 Especificaciones tarjeta Wasmote Agriculture v3.0.....	40
Tabla 3-8 Datos eléctricos Wasmote Agriculture v3.0.....	40
Tabla 3-9 Características eléctricas del sensor multiparámetro.....	42
Tabla 3-10 Especificaciones del sensor multiparámetro.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2-1 Tecnologías inalámbricas.....	6
Figura 2-2 Logo ZigBee Alliance.....	7
Figura 2-3 Comparación de capas entre el modelo OSI y (802.15.4/ZigBee)	8
Figura 2-4 Topología en estrella.....	10
Figura 2-5 Topología punto a punto (Peer to Peer).	11
Figura 2-6 Topología tipo árbol.....	12
Figura 2-7 Topología de Malla (Mesh).	13
Figura 2-8 Identificación función de Dispositivos ZigBee - Topología de Árbol.....	15
Figura 2-9 Arquitectura de la Red ZigBee.	16
Figura 2-10 Interfaz de capa de red ZigBee con la (MAC) y (APL).....	21
Figura 3-1 Coordinador / Gateway/ Puerta de Enlace	28
Figura 3-2 XBee PRO Series 2	29
Figura 3-3 Antena de 2.4 MHz	30
Figura 3-4 Dimensiones del módulo XBee PRO Series 2 (Vista Frontal).	30
Figura 3-5 Dimensiones del módulo XBee PRO Series 2 (Vistas Laterales).....	30
Figura 3-6 Wasmote Gateway USB.	32
Figura 3-7 Funciones de Wasmote-Gateway/Luces Indicadores LED/Botones.	32
Figura 3-8 Estructura de la Parte Delantera de la Tarjeta Wasmote (Router).	34
Figura 3-9 Estructura de la parte posterior de la Tarjeta Wasmote (Router).....	35
Figura 3-10 Ubicación de los puertos de comunicación de la tarjeta Wasmote.....	35
Figura 3-11 Identificación de los Pines de conexión.	36
Figura 3-12 Pines de conexión del conector de comunicación Auxiliar (SPI-UART)..	36
Figura 3-13 Diagrama de bloques para las señales.....	37
Figura 3-14 Diagrama eléctrico de alimentación.....	38
Figura 3-15 Luces Led de la Wasmote.	38
Figura 3-16 Interruptor RTC.	39
Figura 3-17 Diagrama de conexión para sensores	41
Figura 3-18 Sensor multiparámetro medidor de variables.	43
Figura 3-19 Interfaz Software Wasmote Pro IDE v06	44
Figura 3-20 Puerto conector de batería.....	45

Figura 3-21 Conexión de la bacteria.....	45
Figura 3-22 Formas de conexión Mini USB.....	46
Figura 3-23 Puerto de conexión Mini USB.	46
Figura 3-24 Puerto de conexión de la tarjeta micro SD.....	47
Figura 4-1 Elementos a ser ensamblados.....	48
Figura 4-2 Montaje módulo XBee-PRO Serie2 en la placa Waspnote Gateway USB.	49
Figura 4-3 Montaje de la antena en el módulo XBee-PRO.	49
Figura 4-4 Elementos del Dispositivo Repetidor y Sensor.....	49
Figura 4-5 Colocación del XBee-PRO Serie 2 En la tarjeta Waspnote (Router).	50
Figura 4-6 Colocación de la Waspnote agricultura V3.0 en la Waspnote (Router). ...	50
Figura 4-7 Colocación del Sensor en la tarjeta Waspnote agricultura V3.0.....	50
Figura 4-8 Colocación y ajuste de la antena (2,4 GHz).....	51
Figura 4-9 Conexión de la Batería al Waspnote (Router).	51
Figura 4-10 Manipulación correcta con la batería.	51
Figura 4-11 Ubicación de laboratorios y topología de red.	52
Figura 4-12 Dispositivo sensor ubicado en el laboratorio de Automatización.....	53
Figura 4-13 Parámetros iniciales de software X-CTU.	53
Figura 4-14 Módulo de Configuración Software X-CTU.....	54
Figura 4-15 Configuración de las direcciones seriales.	54
Figura 4-16 Configuración de parámetros secundarios.	55
Figura 4-17 Configuraciones por defecto.	55
Figura 4-18 Configuraciones de seguridad.	56
Figura 4-19 Software de programación Waspnote PRO IDE.....	57
Figura 4-20 Visualización de los parámetros software X-CTU.	58
Figura 4-21 Visualización de los parámetros software LabVIEW.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ABREVIATURAS

BAUDS	Símbolos por segundo
dB_i	Decibelio
GHz	Gigahercio
KB	Kilobyte
Kbps	Kilobit por segundo
kW	Kilovatio
MHz	Megahercio
mW	Milivatio
W	Vatio

ACRÓNIMOS

ACK	Acknowledgement (Acuse de Recibo o Asentimiento)
AF	Application Framework (Marco de aplicación)
APL	Application Layer (Marco de Aplicación)
APS	Application Supports (Soporte de Aplicación)
APSD	Data Entity APS (Entidad de Datos de la Subcapa APS)
APSM	Management Entity APS (Entidad de Gestión)
CCA	Clear Channel Assessment (Evaluación Clara del Canal)
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance. Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Prevención de Colisiones.
CRC	Chequeo de Redundancia Cíclica
ED	Energy Detection Detección de Energía
FCS	Frame Check Sequence (Chequeo de Secuencia de Tramas)
FFD	Full Function Device (Dispositivo de Función Completa)
GTS	Guaranteed Time Slots (Ranuras de Tiempo Garantizadas)
LQI	Link Quality Indicator (Indicador de la Calidad del Enlace)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

LED	Diodo Emisor de Luz
LR-WPAN	Redes de Área Personal Inalámbricas de Baja Velocidad
MAC	Control de Acceso al Medio
MCPS	Common Part Sublayer MAC (Parte Común de la Subcapa MAC)
MLME	Layer Management Entity MAC (Entidad de Gestión de subcapa MAC.)
MLME-SAP	Layer Management Entity Service Access Point MAC (Servicio Inalámbrico de Entidad de Gestión de subcapa MAC.)
NWK	Network Layer (Capa de Red)
OEM	Original Equipment Manufacture (Fabricantes de Equipos Originales)
OSI	Open System Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos)
PAN	Personal Area Network (Red de Área personal)
PAN ID	Personal Area Network ID (Identificador de Red PAN)
PC	Computadora Personal
PDU	Unidad de Datos del Protocolo
PHY	Physical Layer (Capa Física)
PLME-SAP	Physical Layer Management Entity - Service Access Point (Punto de Administración de la Capa Física de Acceso al Servicio Entidad.)
PLME	Physical Layer Management Entity (Entidad de Gestión de Capa Física)
PPDU	Protocol Data Unit PHY (Unidad de Datos de Protocolo PHY)
PD-SAP	Data Service Access Point PHY (Punto de Acceso Servicio de Datos PHY.)
RFD	Reduced Function Device (Dispositivo de Función Reducida)
SAP	Service Access Point (Servicio Punto de Acceso)
SSCS	Service-Specific Convergence Sublayer (Específico del Servicio Subcapa de Convergencia)
SSP	Security Service Provider (Proveedor de Servicios de Seguridad)
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. (Transmisor- Receptor Asíncrono Universal.)
WPAN	Wireless Personal Area Network. (Red Inalámbrica de Área Personal)
ZDO	ZigBee Device Object (Objeto Dispositivo ZigBee)
ZDP	ZigBee Device Profile (Perfil del Dispositivo ZigBee)

LISTA DE ANEXOS

- A.** Comparación De Tecnologías Inalámbricas
- B.** Comparación De Ventajas Entre Las Principales Tecnologías Wireless
- C.** Comparación De Las Tres Principales Tecnologías Wireless
- D.** Código De Programación De La Tarjeta Waspote Router.
- E.** Diseño Y Programación En El Software Labview
- E-1.** *Interfaz Principal – Parámetros de Comunicación*
- E-2.** *Interfaz Secundaria – Visualización de parámetros (Sensor 1 y Sensor 2).*
- E-3.** *Diagrama de bloques (Parte 1).*
- E-4.** *Diagrama de bloques (Parte 2- continuación).*

RESUMEN

El estudio de redes de área personal inalámbricas (WPAN), es importante en la formación académica del Ingeniero de Mantenimiento, pues actualmente la mayoría de procesos de monitoreo y control industrial utilizan un sistema de redes cableadas y con alto consumo energético, es así como las nuevas tecnologías representan un papel importante en el desarrollo de sistemas económicos que cumplan el mismo fin, reduciendo sus costos; por esta razón se implementó un sistema inalámbrico basado en la red ZIGBEE para sensar ciertos parámetros en los laboratorios de Automatización y Análisis Vibracional de la Facultad de Mecánica; empezando por la selección de cada tarjeta, módulo y elemento que sea compatible con el protocolo de comunicación inalámbrico ZIGBEE; posteriormente se realizó el ensamblaje de los dispositivos coordinador, repetidor y final, el cual llevara el sensor de temperatura y humedad. Para lograr la comunicación entre dispositivos se desarrolló la configuración de acuerdo a la topología tipo árbol por medio del software X-CTU y la programación mediante del software WASPMOTE PRO-IDE, son aplicaciones libres de descarga proporcionadas por el fabricante. El proceso de monitoreo comenzará previa a la conexión del dispositivo coordinador USB a una PC en donde al ser inicializados los programas X-CTU y LABVIEW se visualizará los parámetros medidos por los dispositivos sensores ubicados en los laboratorios antes mencionados. Se recomienda implementar en futuros trabajos de titulación las restantes topologías de red como también el incremento de dispositivos y sensores para maximizar la eficiencia y eficacia del proceso de monitorización en los laboratorios restantes.

PALABRAS CLAVE: < REDES DE ÁREA PERSONAL INALÁMBRICA (WPAN)>, <ZIGBEE>, <PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN>, <WASPMOTE PRO-IDE>, <X-CTU (SOFTWARE)>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <SENSORES>, <DISPOSITIVO COORDINADOR>, <DISPOSITIVO REPETIDOR>, <DISPOSITIVO FINAL>.

ABSTRACT

The study of Wireless personal area network (WPAN), is quite important in the Maintenance Engineering formation, in fact, most of the monitoring and control processes use a wire net system, hence, new technologies play an important role into the economic development system, sharing the same goal; lowering prices. A new wireless system was implemented, based on the ZIGBEE net to detect certain features in the Automation and Vibrational analysis lab of the Mechanic faculty in order to select each card, module and element which fit with ZIGBEE wireless process. Coming up next, the assembly of coordinator, repeater and final devices shall carry the temperature and humidity sensors. To achieve the communication among devices, the X-CTU software was used to program the WASPMOTE PRO-IDE app. The monitoring process will begin by the connection of a USB coordinator device and a PC. By using the X-CTU and LABVIEW programs, the collected data will be viewed. To improve future certification works, the implementation of devices and sensors will maximize the efficiency and effectiveness of the monitoring process at labs.

KEYWORDS: WIRELESS PERSONAL AREA NETWORKS (WPAN), ZIGBEE; COMMUNICATION PROTOCOL, WASMOTE PRO-IDE, XCTU (SOFTWARE), LABVIEW (SOFTWARE), SENSORS, COORDINATOR DEVICE, REPEATER DEVICE, FINAL DEVICE.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Introducción.

El mantenimiento industrial es un área que permite el proceso de mantener funcionando con alto rendimiento los activos de una empresa, tema que lleva tomando mucho valor en los últimos años en el Ecuador. Es ahí donde las nuevas tecnologías de comunicación juegan un papel importante dentro de la industria con el fin de asegurar el mantenimiento de los activos gracias al monitoreo y control continuo de los diferentes parámetros que se pueden presentar y afectar el óptimo desarrollo de los equipos que son parte de un proceso industrial.

El sistema de conexión inalámbrica permite utilizar la comunicación entre dispositivos con ventajas tales como, tener menor consumo energético con una baja tasa de transmisión de datos a distancias relativamente cortas a diferencia de las redes de área local inalámbrica. Una tecnología que nos ayuda a conseguir esto es la red ZigBee que se basa en un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación, a través de sensores inalámbricos autónomos distribuidos de manera estratégica manteniendo una comunicación entre sí, recogiendo datos para controlar parámetros como, la temperatura, la humedad entre otros. Cuando los dispositivos que son parte de la red han terminado el proceso de transmisión y recepción de datos automáticamente se enlazan por medio de direcciones hacia el coordinador, trasladando la información de la red al usuario final y posteriormente visualizada por medio de la interfaz del software adecuado.

1.2. Antecedentes.

La Carrera de Ingeniería de Mantenimiento perteneciente a la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cuenta con varios Laboratorios entre los cuales encontramos los laboratorios de “Laboratorio de Automatización” y “Análisis Vibracional”. De los cuales el primero en mención data su origen en el año 2003; mientras

el segundo laboratorio se implementó en el 2015, pero los equipos que pertenecen a éste ya poseen varios años de uso. Desde el transcurso de su implementación no ha existido ningún sistema de monitoreo del ambiente laboral que lleve un registro de los diferentes parámetros a los que están expuestos los equipos de los laboratorios mencionados.

Dentro de las investigaciones realizadas en la Facultad de Mecánica no se registran proyectos de titulación que hagan referencia o basen su estudio en la tecnología de comunicación y protocolos inalámbricos mediante la red ZigBee, tecnología desarrollada en 1998 y aplicada para redes domóticas en la actualidad.

1.3. Justificación.

La razón de esta propuesta tecnológica es concebir un sistema de red inalámbrica basado en el protocolo de comunicación ZigBee con componentes electrónicos y sensor de alta capacidad operacional y energética siendo que no es necesaria la conexión al fluido eléctrico y el cableado entre sí. Estos dispositivos inalámbricos permitirán el monitoreo del ambiente laboral interno perteneciente a los laboratorios de “Automatización” y “Análisis Vibracional” mismos que nos darán un puente de comunicación o el enlace inalámbrico entre estos dos módulos, el coordinador o Waspote Gateway USB permitirá visualizar los datos en una computadora con la plataforma adecuada a través de una interfaz, datos adquiridos por medio de los sensores de manera sencilla para un monitoreo inalámbrico que se realice en la Facultad de Mecánica.

FARAHANI, Shahin, en su libro “ZigBee redes inalámbricas y tranceptores” – 2008, menciona que el estándar ZigBee está dirigido principalmente para aplicaciones que funcionan con baterías, de baja tasa de datos, de bajo costo y larga duración de la batería.

GISLASSON, Drew en su libro “ZigBee Wireless Networking” – 2008, detalla que el secreto del bajo consumo de energía en ZigBee se debe a que los microcontroladores pueden dormir y por ello tienen un bajo ciclo de trabajo, la red a menudo es bastante silenciosa ya que un sensor de temperatura puede informar una vez por hora a menos que la temperatura cambie repentinamente.

Estos sistemas que tendrán como propósito didáctico la simulación de un monitoreo inalámbrico con fines académicos que innovara acorde con la misión y visión propuesta por la CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO, y con los propósitos de investigación que plantea avanzar la E.S.P.O.CH, en el desarrollo intelectual de los estudiantes mejorando su preparación con alto nivel académico para entregar profesionales de calidad al país y éstos puedan ser el cambio que se busca en la industria.

1.4. Objetivos.

1.4.1. *Objetivo General.*

Desarrollar e implementar un sistema inalámbrico basado en la red ZigBee para sensar parámetros de temperatura y humedad en los Laboratorios de Automatización y Análisis Vibracional de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento.

1.4.2. *Objetivos Específicos.*

Conformar el montaje de los dispositivos ZigBee coordinador, router, end device con el sensor de multiparámetros para los laboratorios.

Configurar la dirección de enlace entre los dispositivos ZigBee coordinador, router, end device por medio de la plataforma X-CTU.

Programar en el software Wasmote PRO IDE la operación y tiempo de funcionamiento el sensor.

Implementar los dispositivos de la red ZigBee en los laboratorios de Automatización y Análisis Vibracional.

Visualizar los parámetros medidos por el sensor por medio de la interfaz LabVIEW.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción.

Este capítulo posee una recopilación de información importante para el desarrollo de nuestra propuesta tecnológica, donde se mencionarán aspectos referentes a la tecnología ZigBee, los estándares que la regulan entre ellos el estándar IEEE 802.15.4 y el estándar ZigBee, también se nombrará la estructura que conforma esta red partiendo de la arquitectura del protocolo de comunicación ZigBee para redes de área personal (WPAN), las cuales son la base teórica necesaria y requerida para la realización de nuestro trabajo de titulación.

2.2. Estándar IEEE 802.15.4.

Este estándar ha sido desarrollado por el comité de estándares IEEE 802 que fue lanzado inicialmente en el 2003, revisada y aprobados en el 2006 con el mismo título como “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN) - Especificaciones de Control de Acceso Medio (MAC) y Capa Física (PHY) Para Redes Inalámbricas de Área Personal de Baja Velocidad”; varios años después en el 2011 es lanzada bajo el nombre de “Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) - Redes de Área Personal Inalámbricas de Baja Velocidad”; y posteriormente en su versión más reciente desarrollada en el año 2015 titulada como: “IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks - Estándar IEEE para Redes Inalámbricas de Baja Velocidad”. Cabe mencionar que para el año 2009 se crea un estándar IEEE 802.15.5 “Topología de Malla para Capacidad de Redes de Área Personal Inalámbricas (WPAN)” complementario al Estándar IEEE 802.15.4. (2006). (IEEE STANDARDS ASSOCIATION, 2008)

Este estándar IEEE 802.15.4 en su versión 2006, define el protocolo y la interconexión de dispositivos diseñado para redes de área personal inalámbricas (WPAN) para una baja

velocidad de datos, caracterizada por el bajo consumo de energía y costo de red. Así mismo es utilizada para transmitir información a distancias relativamente cortas a diferencia de las redes de área local inalámbrica (WLAN) e incluso otro tipo de redes inalámbricas, implicando poca o ninguna infraestructura para sus conexiones. Características que permiten ser soluciones pequeñas y baratas con potencia eficiente, y con una gama alta de dispositivos para su implementación. Ver Anexo A. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

Este estándar define una capa de comunicación en el nivel 2 en el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI). Su objetivo principal es permitir la comunicación entre dos dispositivos. Fue creado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), cuya tarea principal es establecer estándares para que los desarrollos tecnológicos puedan contar con una plataforma común de reglas para establecerse. (GASCÓN, 2009)

2.3. Estándar ZigBee.

Este estándar define una capa de comunicación en el nivel 3 y superiores en el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI). Su objetivo principal es crear una topología de red para permitir que un número de dispositivos se comuniquen entre ellos y para establecer características de comunicación adicionales tales como autenticación, encriptación, asociación y en los servicios de aplicaciones de la capa superior. (GASCÓN, 2009)

Los dispositivos inalámbricos basados en ZigBee funcionan en 868 MHz, 915 MHz y 2,4 GHz bandas de frecuencia. La tasa de datos máxima es de 250 Kilobits por segundo (Kbps). ZigBee está dirigido principalmente para aplicaciones que funcionan con baterías, donde la baja tasa de datos, el bajo costo y la larga duración de la batería son los principales requisitos. En muchas aplicaciones ZigBee, el tiempo total que el dispositivo inalámbrico se dedica a cualquier tipo de actividad es muy limitado; el dispositivo pasa la mayor parte de su tiempo en un modo de ahorro de energía, también conocido como modo dormir. Como resultado, los dispositivos (ZigBee end device) son capaces de estar

operativos durante varios años antes de que sus baterías necesitan ser reemplazadas. (FARAHANI, 2008)

El estándar ZigBee ha adoptado el estándar IEEE 802.15.4-2003 como su capa física (PHY) y los protocolos de Control de Acceso Medio (MAC). Por lo tanto, un dispositivo ZigBee es compatible con el estándar IEEE 802.15.4 también. Este estándar ZigBee se ha desarrollado específicamente para hacer frente a la necesidad de una implementación de muy bajo costo de las redes inalámbricas de baja velocidad de datos con ultra bajo consumo de energía y esto es gracias a que el estándar ayuda a reducir el costo de implementación mediante la simplificación de los protocolos de comunicación y la reducción de la velocidad de datos. Y este estándar ZigBee es desarrollado por la ZigBee Alliance. (FARAHANI, 2008)

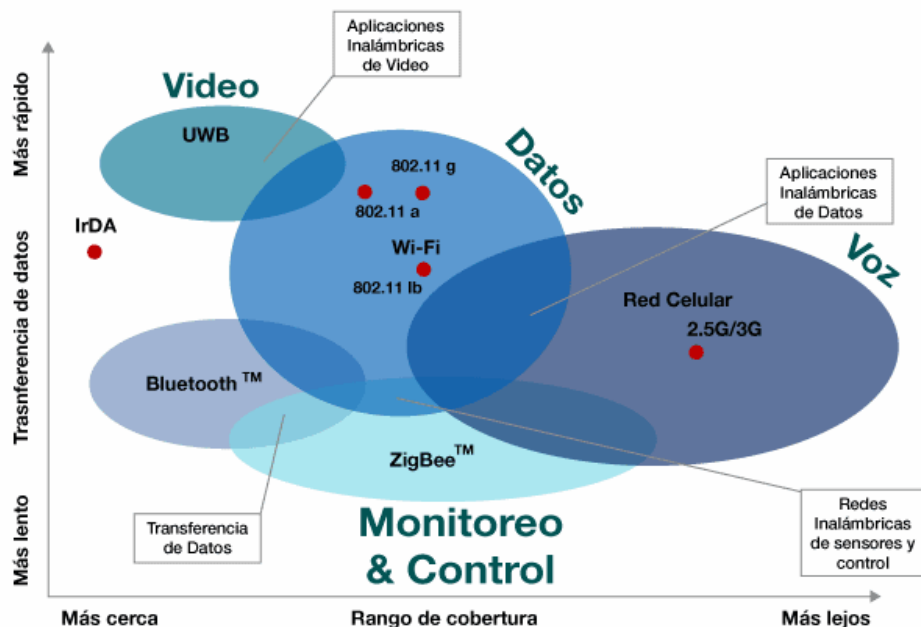


Figura 2-1 Tecnologías inalámbricas
Fuente: (GARCÍA, 2012)

Analizado el estándar ZigBee, se puede concluir que fue creado para aplicaciones que no requieren de una tasa de comunicación alta sino que utilizan el ancho de banda del canal de forma limitada y en algunos casos, solo en ciertos momentos, pues los dispositivos de la red permanecen inactivos la mayor parte del tiempo con la gran mayoría de los dispositivos en estado dormido hasta que envíen la información y activarse al detectar algo. Entonces si se toma en cuenta la clase de comunicaciones que se producen en una red de sensores o actuadores de un sistema domótico, se determina que muchas de estas

comunicaciones se realizan con pequeños paquetes de datos para enviar información de un sensor, o simplemente para controlar el estado de los sensores. Y estas destacadas ventajas de Zigbee para la aplicación en domótica se encuentran indicadas en los anexos, (Anexo A y Anexo B), en donde se realiza una comparación con otras tecnologías inalámbricas. (NARANJO, y otros, 2010)

2.4. ZigBee Alliance.

La Alianza ZigBee se formó en 1997 por ocho empresas promotoras para "habilitar productos confiables, rentables, de baja potencia, de monitoreo y control inalámbrico en red basado en un estándar global abierto. (GISLASON, 2008)

La ZigBee Alliance ha desarrollado un muy bajo costo, muy bajo consumo de poder, y bidireccional estándar de comunicación inalámbrica. Las soluciones que adoptan el estándar ZigBee se pueden incrustar en la electrónica de consumo, automatización de viviendas y edificios, controles industriales, periféricos de PC, aplicaciones de sensores médicos, juguetes y juegos. (ZIGBEE ALLIANCE, 2012)



Figura 2-2 Logo ZigBee Alliance
Fuente: (ZIGBEE ALLIANCE, 2014)

La ZigBee Alliance tiene cientos de empresas miembros, de la industria de semiconductores y desarrolladores de software a los fabricantes de equipos originales (OEM) y los instaladores. La ZigBee Alliance se formó en 2002 como una organización sin ánimo de lucro abierta a todos los que quieran unirse. (FARAHANI, 2008)

2.5. Protocolo de Comunicación de la Red Inalámbrica ZigBee.

2.5.1. Relación entre ZigBee y el IEEE 802.15.4. Una de las formas más comunes para establecer una red de comunicación (por cable o inalámbrica) es utilizar el concepto de

capas de redes. Cada capa es responsable de ciertas funciones en la red. Las capas normalmente pasan datos y comandos sólo para las capas directamente por encima y por debajo de ellas. (FARAHANI, 2008)

Las capas de protocolo ZigBee se basan en la interconexión de sistemas abiertos (OSI) modelo de referencia básico donde la división de un protocolo de red en capas tiene una serie de ventajas. Por ejemplo, si el protocolo cambia con el tiempo, es más fácil de sustituir o modificar la capa que se ve afectada por el cambio en lugar de sustituir todo el protocolo. Además, en el desarrollo de una aplicación, las capas inferiores del protocolo son independientes de la aplicación y se pueden obtener a partir de un tercero, por lo que todo lo que hay que hacer es hacer cambios en la capa de aplicación del protocolo. El software de aplicación de un protocolo es conocido como software de pila de protocolos. (FARAHANI, 2008)

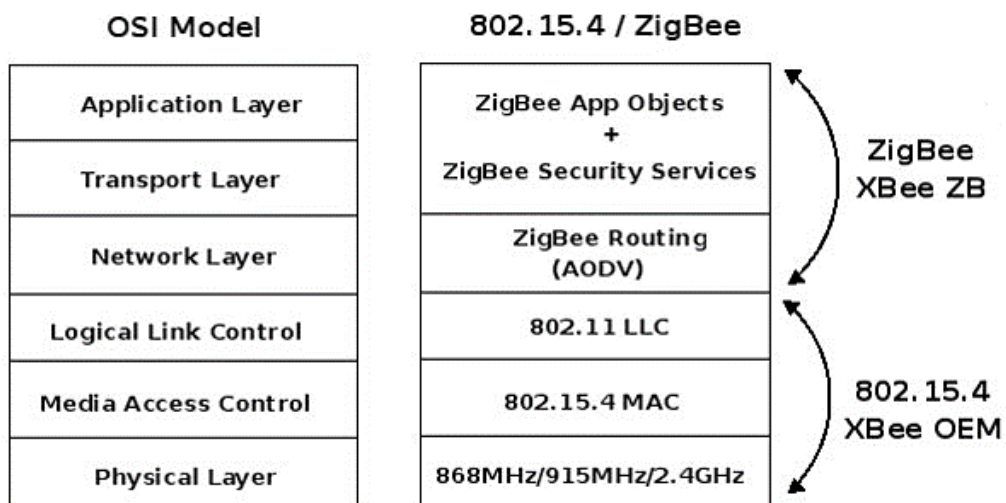


Figura 2-3 Comparación de capas entre el modelo OSI y (802.15.4/ZigBee)
Fuente: (GASCÓN, 2009)

Esta serie de capas son especificadas en los estándares ZigBee y IEEE 802.15.4, pero el protocolo de comunicación ZigBee, aunque se basa en el modelo (OSI) no se ajusta exactamente a las de 7 capas de dicho modelo, pero sí tiene algunos de los mismos elementos, incluidos la capa física (PHY), la capa de control de acceso al medio (MAC), capa de red (NWK) y las capas de soporte de aplicación (APS) y el objeto dispositivo ZigBee (ZDO). Dichas capas conforman la arquitectura de la red inalámbrica ZigBee y son el protocolo de comunicación de los dispositivos que conforman dicha red. (GISLASON, 2008)

2.6. Topología.

La capa de red ZigBee (NWK) admite topologías de estrella, árbol y malla. En una topología en estrella, la red está controlada por un único dispositivo llamado ZigBee coordinador. El coordinador de ZigBee es responsable de iniciar y mantener los dispositivos en la red. Todos los demás dispositivos, conocidos como dispositivos finales, directamente comunicarse con el coordinador de ZigBee. En topologías de malla y árbol, el coordinador de ZigBee es responsable de iniciar la red y elegir ciertos parámetros de red clave, pero la red puede extenderse mediante el uso de enrutadores ZigBee. En redes en árbol, los enrutadores mueven datos y controlan los mensajes a través de la red utilizando una estrategia de enrutamiento jerárquica. Las redes de árbol pueden emplean comunicación orientada a los Beacons como se describe en IEEE 802.15.4. Las redes de malla permiten la comunicación completa entre pares ZigBee, los enrutadores en redes de malla actualmente no emiten IEEE 802.15.4 para regular Beacons. Esta especificación describe solo redes Intra-PAN, es decir, redes en el cual las comunicaciones comienzan y terminan dentro de la misma red. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

2.7. Topologías de red.

Dependiendo de los requisitos de la aplicación, una (LR-WPAN) puede operar cualquiera las siguientes topologías:

2.7.1. Topología en estrella. En esta se establece la comunicación entre los dos dispositivos y un controlador central, llamado coordinador (PAN). Un dispositivo típicamente tiene alguna aplicación asociada y es el punto de inicio o el punto de terminación para comunicaciones de red. Un coordinador (PAN) también puede tener una aplicación específica, pero puede ser utilizado para iniciar, terminar, o comunicación ruta por la red. El coordinador (PAN) es el controlador principal de la (PAN). Todos los dispositivos que operan en una red de topología o bien deberán tener direcciones únicas de 64 bits. Esta dirección puede ser utilizado para la comunicación directa dentro del (PAN), o una dirección corta puede ser asignada por el coordinador (PAN) cuando los asociados de dispositivos y utilizar en su lugar. El coordinador del (PAN) a menudo puede ser conectado a la corriente, mientras que los dispositivos más probablemente funcionan

con batería. Las aplicaciones que se benefician de una topología en estrella incluyen la automatización del hogar, computadora personal (PC) periféricos, juguetes y juegos, y el cuidado de la salud personal. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

Después de que un dispositivo de función completa (FFD) se activa, se puede establecer su propia red y convertirse en el coordinador (PAN). Todas las redes en estrella funcionan de forma independiente de todas las otras redes en estrella actualmente en funcionamiento. Esto se logra mediante la elección de un identificador (PAN) que no se utiliza actualmente por cualquier otra red dentro de la esfera de radio de influencia. Una vez elegido el identificador (PAN), el coordinador (PAN) permite que otros dispositivos potencialmente ambos (FFD) y el dispositivo de función reducida (RFD) puedan unirse a su red. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

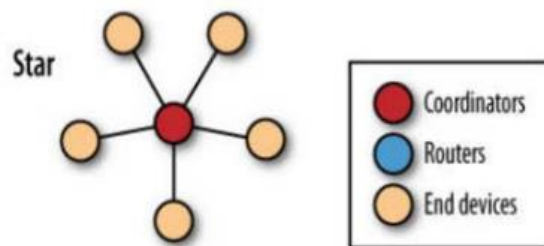


Figura 2-4 Topología en estrella.
Fuente: (ZARADNIK, 2014)

2.7.2. Topología de punto a punto. La topología de punto a punto (Peer to peer) también tiene un coordinador (PAN). Sin embargo, se diferencia de la topología en estrella en la que cualquier dispositivo, puede comunicarse con cualquier otro dispositivo siempre y cuando estén dentro del alcance de la otra. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

La topología punto a punto permite formaciones de red más complejas para ser implementados, tales como la topología de red de malla. Las aplicaciones como el control industrial y vigilancia, redes de sensores inalámbricos, de activos y de seguimiento de inventario, la agricultura inteligente, y la seguridad se beneficiarían de una topología de red de este tipo. Una red de punto a punto puede ser (ad hoc), auto organización y auto-curación. También puede permitir múltiples saltos para encaminar mensajes desde cualquier dispositivo a cualquier otro dispositivo en la red. Tales funciones pueden añadirse en la capa superior, pero no son parte de esta norma. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

Cada (PAN) independiente selecciona un identificador único. Este identificador (PAN) permite la comunicación entre dispositivos dentro de una red que utilice direcciones cortas y permite las transmisiones entre dispositivos a través de redes independientes. El mecanismo por el cual se eligen identificadores está fuera del alcance de esta norma. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

En una topología de punto a punto, cada dispositivo es capaz de comunicarse con cualquier otro dispositivo dentro de su esfera de radio de influencia. Un dispositivo está nominado como el coordinador de (PAN), por ejemplo, en virtud de ser el primer dispositivo para comunicarse en el canal. Otras estructuras de red se construyen fuera de la topología de igual a igual y es posible imponer restricciones topológicas en la formación de la red. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

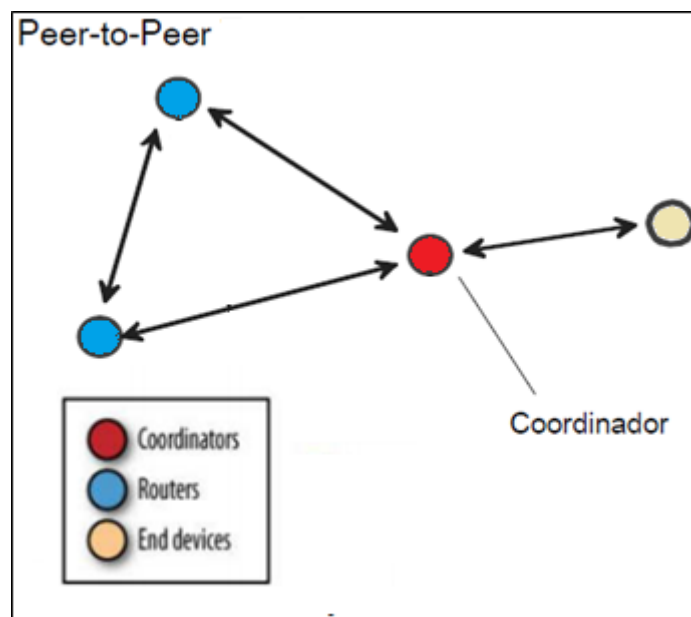


Figura 2-5 Topología punto a punto (Peer to Peer).
Fuente: (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

2.7.3. Topología jerárquica (árbol). Una red de árbol se conoce como topología jerárquica y parte de un ZigBee coordinador que actúa como raíz del árbol. Un ZigBee coordinador o enrutador puede actuar como dispositivo principal y aceptar asociación desde otros dispositivos en la red. Un dispositivo conectado a un dispositivo principal es conocido como dispositivo infantil. Los mensajes destinados a un niño se pueden enrutar a través de su padre. Un dispositivo ZigBee final puede actuar solo como un niño porque carece de la capacidad de enrutamiento. (FARAHANI, 2008)

La profundidad de la red se define como el número mínimo de saltos necesarios para que un marco se comunique con el ZigBee coordinador si solo se utilizan enlace padre/hijo. El estándar ZigBee ofrece un mecanismo para asignar direcciones a dispositivos en una red de árbol. Esto se conoce como la asignación predeterminada de direcciones distribuidas. Sin embargo, la aplicación de los desarrolladores puede usar su propio método de asignación de dirección. Cuando el ZigBee coordinador comienza a establecer la red, si el atributo en la capa (NWK) está configurado para VERDADERO el coordinador utilizará el esquema de direccionamiento distribuido predeterminado. El ZigBee coordinador proporciona a cada padre potencial un sub bloque de direcciones de red. El padre asignará estas direcciones a sus hijos. El ZigBee coordinador determina la cantidad máxima de niños permitidos para cada padre. Si el atributo en la capa (NWK) está establecido en FALSO, la capa (APL) proporcionará un definido por el usuario dirigiéndose a la capa (NWK). (FARAHANI, 2008)

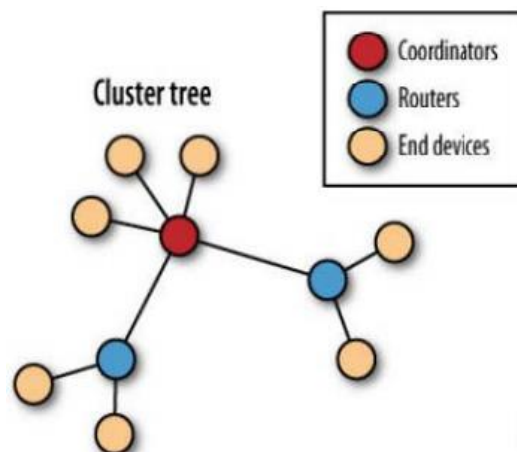


Figura 2-6 Topología tipo árbol.
Fuente: (ZARADNIK, 2014)

2.7.4. Topología de malla. En una topología de malla, en contraste con la topología de árbol, no hay jerarquía. Cualquier dispositivo en una topología de malla puede intentar contactar a cualquier otro dispositivo ya sea directamente o aprovechando los dispositivos con capacidad de enrutamiento para retransmitir el mensaje en nombre del originador del mensaje. En topología de malla, la ruta desde la fuente del dispositivo al destino se crea a pedido y se puede modificar si el entorno cambia. La capacidad de una red en malla para crear y modificar rutas dinámicamente aumenta la confiabilidad de las conexiones inalámbricas. Si, por alguna razón, el dispositivo fuente no puede comunicarse con el dispositivo de destino usando una ruta previamente establecida, en los dispositivos con

capacidad de enrutamiento en la red pueden cooperar para encontrar una ruta alternativa desde el dispositivo de origen al dispositivo de destino. (FARAHANI, 2008)

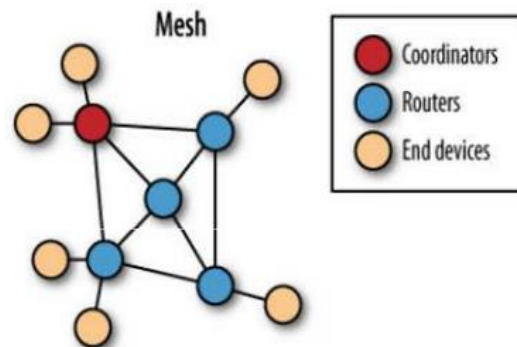


Figura 2-7 Topología de Malla (Mesh).
Fuente: (ZARADNIK, 2014).

2.8. Tipos de nodos.

Los dispositivos remotos pueden ser (FFDs) o (RFDs). El dispositivo central se denomina coordinador, y es un (FFD). Sólo puede haber un coordinador por red (PAN), el número máximo de dispositivos dependerá en la práctica del tráfico o de las capacidades del coordinador, ya que el standard sólo tiene como limitantes el campo de direccionamiento, que puede ser de 16-bits o de 64-bits, puede participar dos tipos de dispositivos en esta red y son dispositivos de función completa o de funciones reducidas. (CAPRILE, 2009)

2.8.1. Dispositivo de función completa (FFD-Full Function Device). El (FFD) puede funcionar de tres modos distintos ya sea como un coordinador de área personal (PAN), un coordinador o un dispositivo.

2.8.2. Dispositivo de funciones reducidas (RFD-Reduced Function Device). Un (RFD) está diseñado para aplicaciones extremadamente simples, tales como un interruptor de luz o un sensor infrarrojo pasivo ya que no tienen la necesidad de enviar grandes cantidades de datos, este dispositivo se puede implementar usando un mínimo de recursos y capacidad de memoria. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

En conclusión, según el estándar IEEE 802.15.4 (2006), para conformar un sistema necesita de mínimo dos dispositivos donde al menos uno de ellos sea un (FFD) para que opere como coordinador (PAN). En donde un dispositivo (FFD) puede comunicarse con

un (RFD) o con otros (FFDs), mientras que un (RFD) solo puede comunicarse con un solo (FFD) a la vez.

2.9. Tipos de dispositivos de la Red ZigBee

Existen tres tipos de dispositivos ZigBee y se definen según su rol en la red.

2.9.1. ZigBee Coordinador (ZigBee Coordinator, ZC). Son los únicos tipos de dispositivo ZigBee que puede formar una red, es el dispositivo más completo, tiene funciones como la de encargarse de controlar la red y las rutas que deben seguir los dispositivos para poder conectarse entre ellos, necesitan poseer una memoria y estar conectados a una PC. (GISLASON, 2008)

2.9.2. ZigBee Repetidor (ZigBee Router, ZR). Puede enrutar paquetes de datos, encontrar y unirse a la red correcta, perpetuas transmisiones a través de la red, participar en el enrutamiento, descubrir y mantener rutas, permitir que otros dispositivos se unan a la red es decir interconectar a los dispositivos separados en la topología de la red, y almacenamiento de paquetes. (GISLASON, 2008)

2.9.3. ZigBee Final (ZigBee End-Device, ZED). Están diseñados para ser de baja potencia, capaces de funcionar durante años con una de batería de litio; encontrar y unirse a la red correcta, es decir su funcionalidad es comunicarse con su nodo padre (ZC,ZR); ejecutar el sondeo al (ZC) para ver si les enviaron algún mensaje mientras estaba dormido; encontrar un (ZC) nuevo si se pierde el enlace al (ZC) anterior, significando que su nodo puede dormir la mayor parte del tiempo para conservar las baterías hasta cuando la solicitud llegue. (GISLASON, 2008)

ZigBee Cluster-Tree Topology

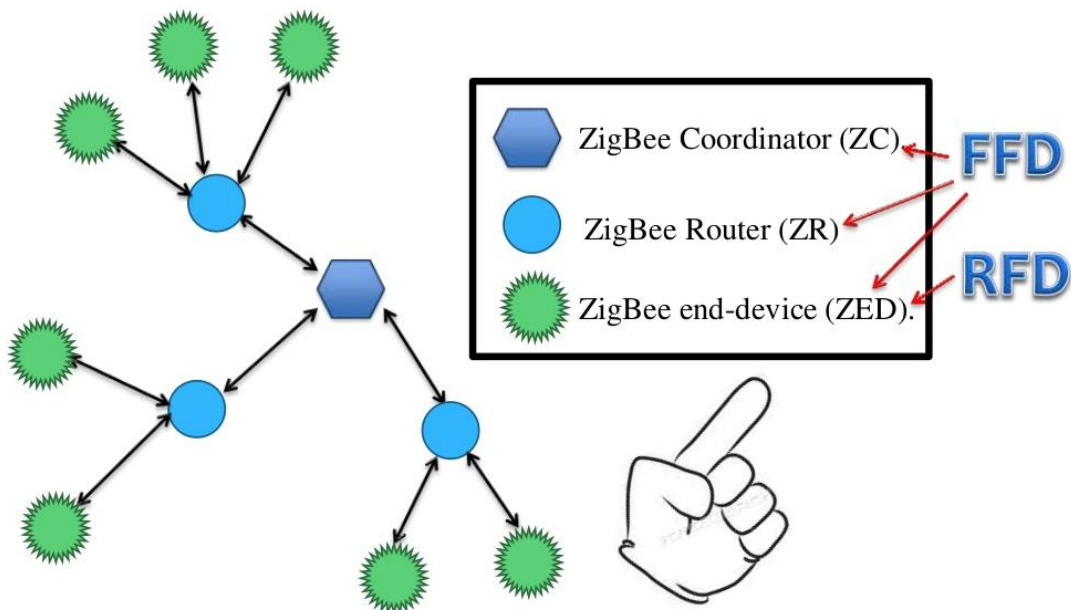


Figura 2-8 Identificación función de Dispositivos ZigBee - Topología de Árbol.
Fuente: (MASA DEH, 2015)

2.10. Arquitectura de la red.

La arquitectura de la red ZigBee se compone de un conjunto de bloques llamados capas. Cada capa realiza un conjunto específico de servicios para la capa superior. Una entidad de datos ofrece un servicio de transmisión de datos y una entidad de gestión proporciona todos los demás servicios. El estándar IEEE 802.15.4 define las dos capas inferiores: La capa física (PHY) y la capa de control de acceso al medio (MAC) e incluso se mencionan los componentes de la red de área personal inalámbrica (WPAN). (ZIGBEE ALLIANCE, 2012)

La ZigBee Alliance construye sobre este fundamento, proporcionando la capa (NWK) de la red y el marco para la capa de aplicación. El marco de capa de aplicación consiste en el soporte de aplicaciones sub-capas (APS) y los objetos de dispositivo ZigBee (ZDO). Objetos de aplicación definidos por el fabricante utilizan los (APS) marcos y de las acciones y servicios de seguridad con el (ZDO). (ZIGBEE ALLIANCE, 2012)

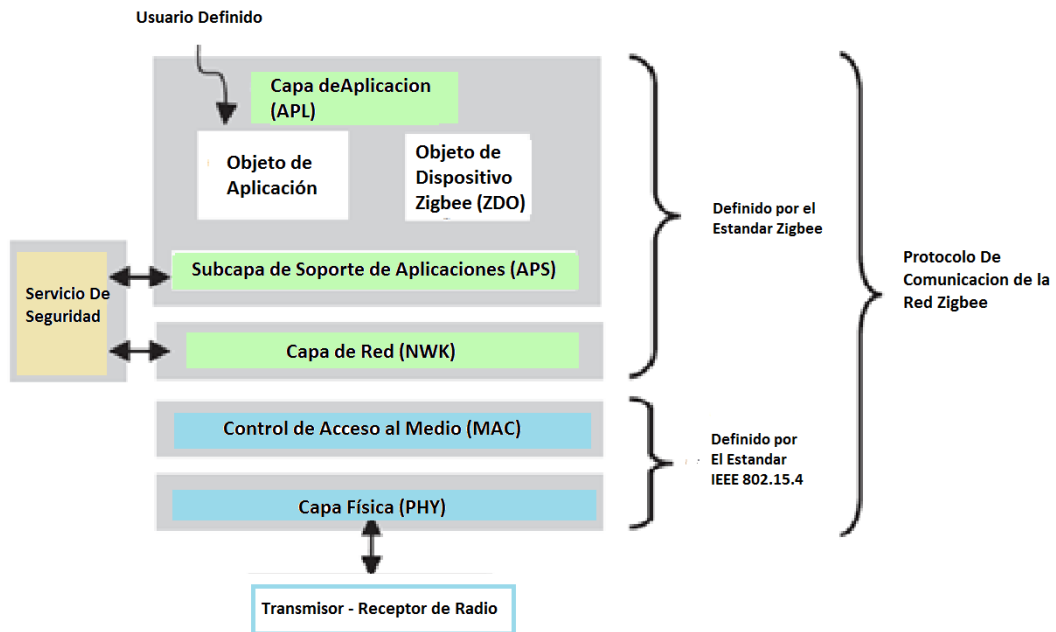


Figura 2-9 Arquitectura de la Red ZigBee.

Fuente: (FARAHANI, 2008)

2.10.1. Capa Física (PHY). La PHY proporciona dos servicios: el servicio de datos PHY y el servicio de gestión de (PHY) interfaz con la entidad de gestión de capa física (PLME) punto de acceso de servicio (SAP) (conocido como el PLME-SAP). El servicio de datos (PHY) permite la transmisión y recepción de unidades de datos de protocolo PHY (PPDU) a través del canal de radio físico. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

Tabla 2-1Asignación de canales.

Página de Canal	Numero de Canal	Descripción
0	0	868 MHz (BPSK)
	1-10	915 MHz (BPSK)
	11-26	2,4 GHz (O-QPSK)
1	0	868 MHz (ASK)
	1-10	915 MHz (ASK)
	11-26	Reservado
2	0	868 MHz (O-QPSK)
	1-10	915 MHz (O-QPSK)
	11-16	Reservado
3-31	Reservado	Reservado

Fuente: (FARAHANI, 2008)

La especificación de la capa inferior o nivel físico de 802.15.4 incluye las bandas de 868MHz, 915MHz, y 2.4GHz. A los fines prácticos, nos concentraremos solamente en esta última, dado que es la más utilizada y menos problemática desde el punto de vista del marco regulatorio, siendo liberada en la mayor parte del mundo, además de ser la que

mayor throughput provee. En la banda de 2,4 GHz, se especifican dieciséis canales (denominados 11 a 26) con una velocidad de modulación es de 62500 bauds (símbolos por segundo), donde cada símbolo corresponde a un grupo de cuatro bits, obteniéndose una velocidad de transmisión de 250 Kbps. (CAPRILE, 2009)

Tabla 2-2 Bandas de frecuencias y velocidad de datos.

PHY (MHZ)	Frecuencia de Banda (MHZ)	Parámetros de difusión		Parámetros de Datos		
		Velocidad de chip (kchip/s)	Modulación	Tasa de bits (Kb/s)	Velocidad de símbolo	símbolos
868/915	868–868.6	300	BPSK	20	20	Binario
	902–928	600	BPSK	40	40	Binario
868/915 (opcional)	868–868.6	400	ASK	250	12.5	20-bit
	902–928	1600	ASK	250	50	5-bit
868/915 (opcional)	868–868.6	400	O-QPSK	100	25	16-ary Orthogonal
	902–928	1000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal
2450	2400–2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

Fuente: (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

2.10.1.1. Requisitos generales y definiciones. La capa (PHY) es responsable de las siguientes tareas:

- La activación y desactivación del transceptor de radio.
- Detección de la energía (ED) en el canal actual.
- Indicador de la calidad del enlace (LQI) para los paquetes recibidos.
- Clear Channel Assessment (CCA) para la detección de portadora de acceso múltiple con prevención de colisiones (CSMA-CA)
- Selección de frecuencia de canal.
- La transmisión y recepción de datos. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

2.10.2. Subcapa (MAC). La (MAC) es la que se encarga de que la información llegue al otro extremo garantizando su integridad. La denominación 'otro extremo' no incluye routing sino la simple comunicación en un medio en el que ambos interlocutores tienen acceso, proveyendo servicios de retransmisión y detección de error (FCS) mediante chequeo de redundancia cíclica (CRC). La información se transmite en forma de tramas, las cuales poseen un encabezado (header) que transporta la información de control

(identificador de tipo de trama), direccionamiento y una cola (footer) que transporta la información de chequeo de errores (FCS). (CAPRILE, 2009)

La capa de control de acceso medio (MAC) proporciona la interfaz entre la capa (PHY) y la capa (NWK). La (MAC) es responsable de generar Beacons y sincronizar el dispositivo a los Beacons (en una red habilitada para beacon). La capa (MAC) también proporciona servicios de asociación y disociación. (FARAHANI, 2008)

La subcapa (MAC) proporciona dos servicios, a los que se accede a través de dos servicios punto de acceso (SAP):

- El servicio de datos (MAC), al que se accede a través de los datos de la subcapa de la parte común de (MAC) y (SAP).
- El servicio de gestión (MAC), al que se accede a través del servicio inalámbrico de entidad de gestión de subcapa MAC (MLME-SAP).

Estos dos servicios proporcionan la interfaz entre el específico del servicio subcapa de convergencia (SSCS) y el (PHY), a través del punto de acceso al servicio PHY (PD-SAP) y el punto de administración de la capa física de acceso al servicio entidad (PLME-SAP). Además de estas interfaces externas, también existe una interfaz implícita entre la entidad de gestión de subcapa MAC (MLME) y parte común de la subcapa MAC (MCPS) que permite a (MLME) utilizar el servicio de datos (MAC). (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

2.10.2.1. Especificación subcapa (MAC). La subcapa (MAC) se encarga de todos los accesos al canal físico de radio y es responsable de las siguientes tareas:

- La generación de Beacons de red si el dispositivo es un coordinador.
- La sincronización con la Beacon de la red.
- Apoyo a la asociación (PAN) y disociación.
- Seguridad del dispositivo de soporte.
- Emplear el mecanismo de acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones (CSMA-CA) para el acceso al canal.

- Manejo y mantenimiento del mecanismo de ranuras de tiempo garantizadas (GTS).
- Proporcionar un enlace confiable entre dos entidades MAC pares. (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2006)

2.10.2.2. Acceso al medio (CSMA-CA). Dado que todas las comunicaciones tienen lugar en el mismo medio (el canal), y deben realizarse de a una por vez, debe definirse la forma de acceder a éste. En vez de arbitrar el acceso al medio como en muchos sistemas multipunto por cable mediante polling, 802.15.4 especifica un esquema de acceso similar al utilizado por Ethernet, en el cual se intenta minimizar las colisiones (intento de acceso simultáneo al mismo canal de comunicación por dos o más entidades) y maximizar la utilización del medio. (CAPRILE, 2009)

Dada la naturaleza del medio de comunicaciones, es probable que una estación pueda recibir transmisiones de otras dos que no se ven entre sí. El concepto de colisión queda entonces localizado y no siempre es probable preverlas antes de que ocurran. Cada estación considera que el medio está libre cuando la PHY no reporta ningún valor por encima de un umbral; entonces, si necesita transmitir información, puede hacerlo. Pero, antes de empezar a transmitir, no sabe si alguna otra va a empezar a hacerlo en el mismo momento. (CAPRILE, 2009)

2.10.2.3. Direccionamiento de (MAC). El direccionamiento en 802.15.4 es bastante amplio. En algunos casos es posible omitir la dirección si está implícita en el tipo de mensaje. En otros es posible utilizar una versión reducida para economizar espacio y minimizar overhead. Existe un espacio dentro del encabezado (header) de la trama que indica si ésta está utilizando direccionamiento extendido (extended addressing) o corto (short addressing), tanto para el origen como para el destino del mensaje; o si la información de direccionamiento se ha omitido. (CAPRILE, 2009)

2.10.2.4. Identificador de red (PAN ID). Existe un campo dentro de la trama que identifica en qué red se origina este mensaje, y otro que indica a qué red está destinado. A fin de evitar repetición, existe una bandera (flag) que identifica el tráfico de mensajes dentro de una misma red (intra-pan) y se utiliza sólo el (PAN ID) de destino. El tráfico de mensajes entre (PANs) no está reglamentado en el standard, siendo su utilización para

intercomunicación de protocolos más complejos que utilizan a éste como base. El (PAN ID) es único para cada red. (CAPRILE, 2009)

2.10.2.5. Broadcasts. Cuando la misma información es útil para muchos destinatarios, es posible realizar un broadcast, es decir, enviar un mensaje que puede ser recibido por todos los miembros de una (PAN). Un broadcast utiliza direccionamiento corto y la dirección de destino es OxFFFF. También es posible realizar un broadcast a todas las (PANs), colocando OxFFFF en el campo (PAN ID). (CAPRILE, 2009)

2.10.2.6. Tipos de tramas. Dentro de la trama, existe un campo denominado tipo de trama (*frame type*) que indica de qué tipo de trama se trata. Cada tipo en particular está destinado a cumplir una función específica. (CAPRILE, 2009)

Se hallan definidos los siguientes tipos de tramas:

- Datos
- Comandos
- Reconocimiento o acuse de recibo (ACK)
- Beacon

Las mismas son descriptas a continuación, luego del diagrama genérico de la estructura de trama.

Datos. Las tramas de datos son justamente aquéllas que transportan datos. es decir, la razón por la que justamente estamos estudiando todo esto. En otros protocolos se las denomina tramas de información o info frames. El diagrama siguiente muestra la estructura de una trama de datos. (CAPRILE, 2009)

Las tramas (ACK): Son cortas y generalmente se transmiten a la cola de una trama que solicita confirmación de recepción. No contienen información de direccionamiento, la asociación con la trama de la que se acusa recibo se mantiene por la cercanía temporal y un número de secuencia que ambas comparten. El envío de una trama (ACK) responde a

la solicitud de acuse de recibo realizada al setear el flag *ACK request* en el campo *Frame control* en una trama de datos o de comandos.

Beacon: La función de una trama *Beacon* es la de informar a otros dispositivos de la existencia del que la emite. Generalmente es utilizada por el coordinador de una red para permitir a otros dispositivos descubrirlo y asociarse a él. (CAPRILE, 2009)

2.10.3. La capa de red (NWK). La capa (NWK) interactúa entre el (MAC) y el (APL) y es responsable de gestionar la formación y el enrutamiento de la red. El enrutamiento es el proceso de selección del camino a través del cual el mensaje será retransmitido a su dispositivo de destino. El ZigBee coordinador y los enrutadores son responsables de descubrir y mantener las rutas en la red. Un dispositivo final ZigBee no puede realizar descubrimiento de ruta. El ZigBee coordinador o un enrutador realizará la detección de ruta en nombre del dispositivo final. La capa (NWK) de un coordinador de ZigBee es responsable de establecer una nueva red y seleccionando la topología de red (árbol, estrella o malla). El coordinador de ZigBee también asigna el (NWK) se dirige a los dispositivos en su red. (FARAHANI, 2008)

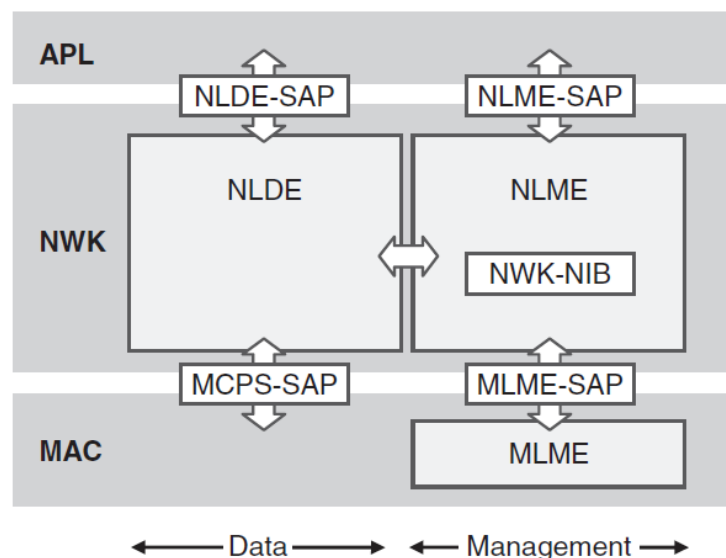


Figura 2-10 Interfaz de capa de red ZigBee con la (MAC) y (APL).

Fuente: (FARAHANI, 2008)

La capa (NWK) de un coordinador de ZigBee asigna una dirección de red de 16 bits a cada dispositivo en su red. El coordinador de ZigBee, que también es el coordinador de (PAN), asigna la dirección (MAC IEEE 802.15.4) si un nuevo dispositivo que se une a

su red necesita una dirección (MAC). La dirección de red debe ser la misma que la dirección corta (MAC IEEE 802.15.4) de 16 bits asignado al dispositivo. La capa (NWK) limita la distancia que un cuadro puede viajar en la red. La distancia se define como la cantidad de saltos. Se agrega un parámetro llamado radio a cada marco (NWK) para determinar el número máximo de saltos. (FARAHANI, 2008)

2.10.4. La capa de soporte de aplicación (APS). La Subcapa de Soporte de Aplicación, se encuentra sobre la capa de (NWK), y es la capa de ZigBee que entiende aplicaciones. El marco de (APS) por aire incluye puntos finales, clusters, identificación (ID) de perfil e incluso grupos. (FARAHANI, 2008)

El (APS) es responsable de las siguientes actividades:

- Filtrado de paquetes para puntos finales no registrados o perfiles que no coinciden.
- Generación de reconocimiento de extremo a extremo con reintentos.
- Mantener la tabla de enlace local.
- Mantenimiento de la tabla de grupos locales.
- Mantener el mapa de direcciones local. (FARAHANI, 2008)

El APS tiene la tarea de filtrar paquetes para puntos finales que no existen en el nodo y que no coinciden con los (ID) de perfil. El (APS) también filtra paquetes duplicados, que pueden suceder en una red que admite reintentos automáticos. (FARAHANI, 2008)

El trabajo del (APS) consiste en realizar reintentos automáticos, si el reconocimiento es soliconsulta por el emisor, al máximo de las posibilidades de transmisión exitosa e informar al remitente si el paquete fue entregado o no. El APS también mantiene una variedad de tablas de nivel de aplicación. El enlace tiene que ver con la conexión a un punto final en este nodo a uno o más puntos finales en otros nodos. Los grupos son todo sobre una colección arbitraria de aplicaciones que residen en un conjunto arbitrario de nodos en toda la red. El mapa de direcciones asocia una dirección (MAC) de 64 bits con un ZigBee de 16 bits NwkAddr. El (APS) y el marco de aplicación (AF) forman juntos la interfaz ZigBee utilizada por aplicaciones. Las capas inferiores no son llamadas directamente, pero son utilizadas por (APS) y (ZDO). (FARAHANI, 2008)

La aplicación de marco no tiene un *over the frame* propio, sino que es el conjunto de rutinas, que el proveedor de la pila ZigBee ha elegido para las aplicaciones para interactuar con ZigBee. Esto incluye cómo se implementan los puntos finales y cómo los datos soliConsultas, confirmados e indicados se implementan para ese proveedor en particular. En la subcapa APS se proporciona servicio de datos a los objetos de la aplicación y al (ZDO) a través de la entidad de datos de la subcapa APS (APSDE). La (APSDE) recibe los datos que necesita ser transmitido en la forma de una unidad de datos de protocolo (PDU) de (ZDO) o un objeto de aplicación. El (APSDE) agrega encabezados adecuados a la (PDU) para crear un (APSDE). El marco de datos, que se transmitirá por la capa (NWK). (FARAHANI, 2008)

2.10.5. La capa de aplicación (APL). La capa de aplicación (APL) es la capa de protocolo más alta en la red inalámbrica ZigBee y aloja los objetos de la aplicación. Los fabricantes desarrollan los objetos de la aplicación para personalizar un dispositivo para diversas aplicaciones. Los objetos de aplicación controlan y administran las capas de protocolo en un dispositivo ZigBee. Puede haber hasta 240 objetos de aplicación en un solo dispositivo. (FARAHANI, 2008)

La capa (APL) de ZigBee consta de tres secciones: La Subcapa de Soporte de Aplicación (APS), objetos dispositivos ZigBee (ZDO) y el marco de aplicación. La subcapa de soporte de aplicaciones (APS) proporciona una interfaz entre la capa de red (NWK) y la capa de aplicación (APL). La subcapa (APS), similar a todas las capas inferiores, admite dos tipos de servicios: datos y administración. El servicio de datos (APS) se proporciona por (APSDE) y se accede a través del punto de acceso de servicio (APSDE). Las capacidades de gestión son ofrecidas por la entidad de gestión APS (APSME) y se accede a través de (APSME-SAP). (FARAHANI, 2008)

2.10.5.1. El Marco de Aplicación. El estándar ZigBee ofrece la opción de usar perfiles de aplicación para desarrollar una solicitud. Un perfil de aplicación es un conjunto de acuerdos sobre aplicaciones específicas formatos de mensaje y acciones de procesamiento. El uso de un perfil de aplicación permite más interoperabilidad entre los productos desarrollados por diferentes proveedores para una solicitud. Si dos proveedores usan el mismo perfil de aplicación para desarrollar sus productos, el producto de un

proveedor podrá interactuar con productos fabricados por el otro vendedor como si ambos hubieran sido fabricados por el mismo proveedor. Los perfiles de la aplicación también se conocen como *ZigBee profiles*. (FARAHANI, 2008)

2.10.5.2. Los objetos del dispositivo ZigBee (ZDO). Los objetos del dispositivo ZigBee (ZDO) como una interfaz entre la subcapa (APS) y el marco de aplicación, los (ZDO) son responsables de inicializar el (APS), (NWK) y el proveedor de servicios de seguridad (SSP). Similar a los perfiles de aplicación definidos en el marco de aplicación, hay un perfil definido para (ZDO), que se conoce como ZigBee Device Profile (ZDP), o simplemente el perfil del dispositivo. El perfil del dispositivo contiene descripciones de dispositivos y clústeres, pero los grupos de perfiles de dispositivo no emplean atributos. (FARAHANI, 2008)

El (ZDO) en sí tiene atributos de configuración, pero estos atributos no están incluidos en el perfil del dispositivo otra diferencia entre el perfil del dispositivo y cualquier perfil de aplicación es que el perfil de la aplicación se crea para una aplicación específica, mientras que el perfil del dispositivo define las capacidades admitidas por todos los dispositivos ZigBee. El perfil del dispositivo tiene solo una descripción del dispositivo. Los clusters están divididos en dos grupos de obligatorios y opcionales. Los clusters obligatorios deben implementarse en cualquier dispositivo ZigBee. (FARAHANI, 2008)

El perfil del dispositivo proporciona soporte para el descubrimiento de dispositivos y servicios, así como el enlace administrativo. El descubrimiento de dispositivos es la capacidad de determinar la identidad de otros dispositivos en el PAN. En el descubrimiento de servicios, el dispositivo solicita que otro dispositivo en la red proporcione información detallada, como su identificador de perfil o sus descriptores ZigBee (por ejemplo, descriptor de nodo o descriptor simple). El dispositivo también puede solicitar la lista de entrada y clústeres de salida de otro dispositivo. Esta lista de clústeres se puede usar para unir dispositivos en el procedimiento vinculante. (FARAHANI, 2008)

2.10.5.3. La Subcapa (APS). La subcapa (APS) proporciona servicio de datos a los objetos de la aplicación y al dispositivo ZigBee Objetos a través de la Entidad de datos de la subcapa APS (APSDE). La (APSDE) recibe los datos que necesita ser transmitido en la forma de una Unidad de Datos de Protocolo (PDU) de (ZDO) o un objeto de aplicación. El (APSDE) agrega encabezados adecuados a la (PDU) para crear un (APSDE) marco de datos, que se transmitirá por la capa (NWK). La entidad de gestión de la subcapa APS (APSME) contiene primitivas para realizar tres tareas: gestión de enlace, gestión de la base de información de APS y grupo administración. (FARAHANI, 2008)

2.10.6. Resumen de las responsabilidades de la capa (APL). La capa de ZigBee (APL) consta de tres partes que son la subcapa de soporte de aplicaciones (APS), los objetos de dispositivo ZigBee (ZDO) y el marco de aplicación.

2.10.6.1. La subcapa de soporte de aplicaciones (APS). Proporciona una interfaz entre la capa de red (NWK) y la capa de aplicación (APL). Las siguientes son responsabilidades del (APS):

- Mantener tablas vinculantes.
- Reenviar mensajes entre dispositivos enlazados.
- Administrar direcciones de grupo.
- Asigne una dirección (IEEE) de 64 bits a una dirección de red de 16 bits, y viceversa.
- Apoyar el transporte de datos confiable.

2.10.6.2. El (ZDO). Es una aplicación que utiliza servicios de subcapa (NWK) y (APS) para implementar un dispositivo en una de las tres funciones de ZigBee: coordinador, enrutador o dispositivo de ZigBee final.

Las siguientes son responsabilidades del (ZDO):

- Definir el rol del dispositivo en la red.
- Descubre los dispositivos en la red y su aplicación. Inicia o responde a solicitudes vinculantes
- Realizar tareas relacionadas con la seguridad.

2.10.6.3. El marco de aplicación. En ZigBee es el entorno en el que se encuentran los objetos de aplicación alojado. (FARAHANI, 2008)

2.10.7. Seguridad. En una red inalámbrica, los mensajes transmitidos pueden ser recibidos por cualquier dispositivo cercano, incluyendo un intruso. Hay dos preocupaciones principales de seguridad en una red inalámbrica y estas son:

La primera es la confidencialidad de los datos. El dispositivo intruso puede obtener información confidencial simplemente escuchando los mensajes transmitidos. Encriptando los mensajes antes la transmisión resolverá el problema de confidencialidad. Un algoritmo de cifrado modifica un mensaje utilizando una cadena de bits conocida como *clave de seguridad*, y solo el destinatario previsto podrá recuperar el mensaje original. El estándar IEEE 802.15.4 admite el uso de Advanced Encryption Standard (AES), para encriptar sus mensajes salientes. (FARAHANI, 2008)

La segunda preocupación es que el dispositivo intruso puede modificar y reenviar uno de los anteriores mensajes incluso si los mensajes están encriptados. Incluyendo un código de integridad de mensaje. (FARAHANI, 2008)

CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS ZIGBEE.

3.1. Dispositivos.

Describiremos las características del diseño y parámetros técnicos que poseen los dispositivos para la implementación de la red ZigBee. Estos parámetros nos llevan a identificar los diferentes instrumentos que utilizaremos para establecer el protocolo de comunicación entre los dispositivos Wasmote Gateway USB, Wasmote Agriculture, para alcanzar que los sensores de temperatura y humedad ejerzan su función.

Tabla 3-1 Dispositivos seleccionados para la Red ZigBee.

Cantidad	Descripción
1	Wasmote Gateway (ZigBee XBee-PRO Serie 2) 5 dBi
2	Wasmote Agriculture V3.0
1	PC

Fuente: Autores

Tabla 3-2 Accesorios utilizados para la Red ZigBee

Cantidad	Descripción
2	Sensor de temperature
2	Sensor de humedad
2	Sensor de presión
3	Antenas de radio frecuencia 2.4 GHz.
2	Baterías de Li-Ion recargables de 6600 mA
3	Cables USB 3.0
2	Memorias SD 8GB
1	Vitela (retira baterías)

Fuente: Autores

3.2. Descripción de los Dispositivos.

3.2.1. Dispositivo coordinador ZigBee XBee-PRO (Coordinador/Gateway) (ZC). Este dispositivo trabajará como creador y receptor del paquete de datos transportados inalámbricamente mediante el protocolo de comunicación ZigBee, también permite recoger datos que fluyen a través de la red de sensores en un ordenador personal o dispositivo con un puerto USB estándar. Wasmote puerta de enlace actuará como un

“Puente de datos o punto de acceso” entre la red de sensores y el equipo de recepción. Este equipo receptor será responsable de almacenar y utilizar los datos recibidos en función de las necesidades específicas de la aplicación. (LIBELIUM, 2017)

El equipo receptor puede ser un PC con Linux, Windows o Mac OS, o cualquier dispositivo compatible con conectividad USB estándar. La puerta de enlace ofrece un conector macho USB, por lo que el dispositivo receptor debe tener un conector hembra USB. (LIBELIUM, 2017)

Una vez que la puerta de enlace está instalada correctamente, un puerto serie nuevo de comunicación conecta directamente al Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (UART) del módulo XBee que aparece en el equipo de recepción, lo que permite al XBee comunicarse directamente con el dispositivo, siendo capaz tanto de recibir paquetes de datos desde la red de sensores, así como modificar y / o consultar los parámetros de configuración de la XBee. (LIBELIUM, 2017)

Este dispositivo permite recoger datos que fluyen a través de la red de sensores en un ordenador personal o dispositivo con un puerto USB estándar. La Wasmote puerta de enlace actuará como un “Puente de datos o punto de acceso” entre la red de sensores y el equipo de recepción. Este equipo receptor será responsable de almacenar y utilizar los datos recibidos en función de las necesidades específicas de la aplicación. (LIBELIUM, 2017)



Figura 3-1 Coordinador / Gateway/ Puerta de Enlace

Fuente: Autores.

El estándar ZigBee se apoya en la capa de enlace IEEE 802.15.5, con la particularidad de que el modelo de ZigBee XBee-PRO limita el número de canales a 13. (LIBELIUM, 2017)

La ZigBee XBee-PRO módulos cumplen con la V2007 ZigBee-PRO estándar. Estos módulos añaden ciertas funcionalidades a los aportados por ZigBee. (LIBELIUM, 2017)

Los componentes que son parte del ZigBee XBee-PRO (Coordinador/Gateway) son:

- XBee-PRO versión 2
- Wasmote Gateway USB
- Antena (2.4 GHz)

3.2.1.1. Módulo XBee-PRO serie 2. Está basado en el estándar ZigBee / 802.15.4. Cuenta con firmware ZigBee para crear redes de malla ad-hoc. La serie XBee S2 realiza descubrimientos de rutas automáticas para crear una red de enrutadores de función completa y dispositivos de extremo de baja potencia. Serie XBee 1 y los módulos de la Serie 2 no se comunican entre sí. (DIGI INTERNACIONAL, 2007)



Figura 3-2 XBee PRO Series 2

Fuente: Autores.

Fueron diseñados para operar dentro del protocolo ZigBee y soportar las necesidades únicas de redes de sensores inalámbricos de bajo costo y bajo consumo. Los módulos requieren una potencia mínima y proporcionan una entrega confiable de datos entre dispositivos remotos y operan dentro de la banda de frecuencia 2.4 GHz. (DIGI INTERNACIONAL, 2007)



Figura 3-3 Antena de 2.4 MHz
Fuente: Autores.

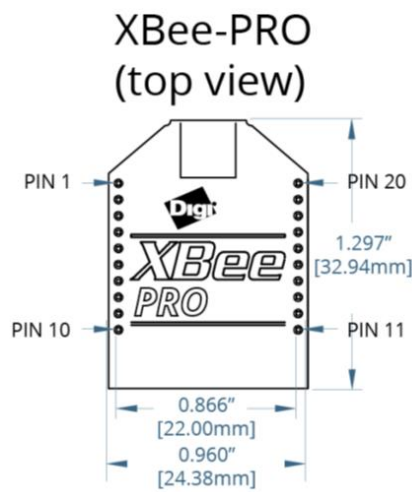


Figura 3-4 Dimensiones del módulo XBee PRO Series 2 (Vista Frontal).
Fuente: (DIGI INTERNATIONAL, 2017)

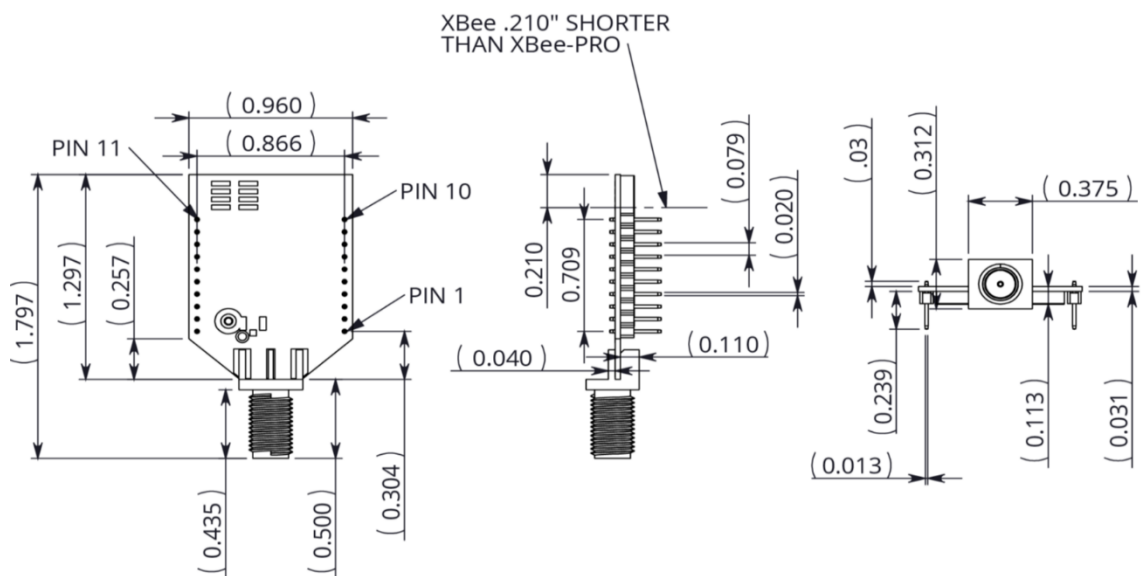


Figura 3-5 Dimensiones del módulo XBee PRO Series 2 (Vistas Laterales).
Fuente: (DIGI INTERNATIONAL, 2017)

Tabla 3-3 Especificaciones del módulo XBee PRO Series 2.

Especificaciones del módulo XBee PRO Series 2	
Transmisión de salida de potencia	50 mW (+17 dBm) 10 mW (+10 dBm) - variante internacional
Tasa de datos de RF	250,000 b/s(250 kbp/s)
Rendimiento de datos	hasta 35000 b / s
Velocidad de datos de la interfaz serial (seleccionable por software)	1200 b / s - 1 Mb / s (también admite velocidades de baudios no estándar)
Sensibilidad del receptor	-102 dBm
Requerimientos de energía	
Voltaje de suministro	3.0 - 3.4 V
Corriente de funcionamiento (transmitir, potencia máxima de salida)	295 mA (3.3 V) 170 mA (3.3 V) - variante internacional
Corriente de funcionamiento (recibir)	45 mA (3.3 V)
Corriente inactiva (receptor apagado)	15 mA
Corriente de apagado	3.5 uA typical 25°C
General	
Banda de frecuencia de funcionamiento	ISM 2.4 GHz
Dimensiones	0.960 x 1.297 (2.438 cm x 3.294 cm)
Temperatura de funcionamiento	-40 to 85° C (industrial)
Opciones de antena	Antena de látigo integrada, antena de PCB integrada, conector RPSMA o UFL
Interfaz de E / S (I/O)	3.3 V CMOS UART (no tolerante a 5 V), DIO, ADC
Redes y seguridad	
Topologías de red admitidas	Punto a punto, punto a multipunto, punto a punto y malla
Número de canales	14 canales de secuencia directa
Canales	11 a 24
Opciones de direccionamiento	ID y direcciones PAN, ID de clúster y puntos finales (opcional)

Fuente: (DIGI INTERNATIONAL, 2017)

3.2.1.2. Waspnote Gateway USB. Este dispositivo le permite recopilar datos que fluyen a través de una red de sensores Waspnote a una PC u otro dispositivo con un puerto USB estándar. Waspnote Gateway actuará como un puente de datos o punto de acceso entre la red del sensor y el equipo receptor que será responsable de almacenar y utilizar los datos recibidos según las necesidades específicas de la aplicación.

El equipo puede ser una PC con Linux, Windows o Mac OS, o cualquier dispositivo que actúe como receptor compatible con conectividad USB estándar. La puerta de enlace ofrece un conector de enchufe USB, por lo que el dispositivo receptor debe tener un receptáculo USB. (LIBELIUM, 2017)



Figura 3-6 Wasmote Gateway USB.

Fuente: Autores

Una vez que la puerta de enlace se ha instalado correctamente, aparece un nuevo puerto serie de comunicación que conecta directamente con el (UART) del módulo XBee en el equipo receptor. Esto permitirá que el XBee se comunique directamente con el dispositivo, pudiendo tanto recibir paquetes de datos de la red del sensor como modificar y / o consultar los parámetros de configuración del XBee. Otra función importante que vale la pena destacar es la posibilidad de actualizar o cambiar el firmware del módulo XBee. El Wasmote Gateway se envía con el módulo XBee y la antena como se muestra. Esta versión incluye el módulo XBee PRO S2 - RF 2.4GHz con conector RP-SMA y una antena de 5dBi. (LIBELIUM, 2017)

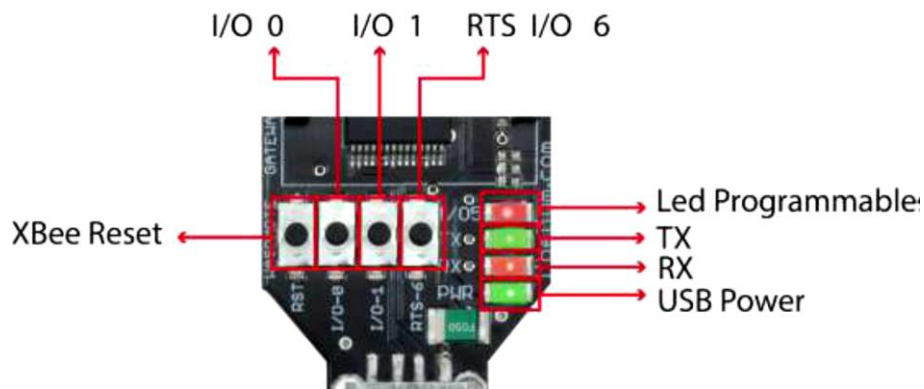


Figura 3-7 Funciones de Wasmote-Gateway/Luces Indicadores LED/Botones.

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

Diodo emisor de luz (LED). Cuatro indicadores LED se incluyen en la puerta de enlace:

- Alimentación USB LED: indica que la placa se alimenta a través del puerto USB
- RX LED: indica que la tarjeta está recibiendo datos desde el puerto USB
- TX LED: Indica que la tarjeta está enviando datos al puerto USB
- I/O 5 LED configurable: asociado

El LED configurable conectado a I/O 5 pin del XBee se puede configurar ya sea como la salida digital del XBee o como indicador de la asociación a la red de sensores de la XBee.

Botones:

- RESET: permite que el módulo XBee se restablezca
- I / O - 0: pulsador conectado a pin I / O del XBee 0
- I / O - 1: botón conectado al pin I / O de la XBee 1
- RTS - I / O - 6: pulsador conectado al pin de I / O del XBee 6

Todos los botones de conexión de cada una de sus líneas de datos correspondientes con GND con cuando se presiona. Ninguno de ellos tiene la resistencia de pull-up por lo que puede ser necesario activar cualquiera de las resistencias pull-up internas de la XBee dependiendo del uso requerido.

3.2.2. Dispositivo ZigBee Router (ZR). Este dispositivo cumple funciones como enrutar paquetes de datos, encontrar y unirse a la red "correcta", descubrir y mantener rutas, permitir que otros dispositivos se unan a la red, almacenamiento y transmisión de paquetes de datos.

Está conformado por:

- Módulo ZigBee Pro S2
- Wasmote(Router)
- Wasmote agricultura V3.0

3.2.2.1. Descripción de la Tarjeta Wasmote (Router). La tarjeta Wasmote posee las siguientes características:

Tabla 3-4 Especificaciones tarjeta Wasmote (Router).

Especificaciones Tarjeta Wasmote (Router)	
Microcontrolador:	atmega1281
Frecuencia:	2.4 GHz
SRAM:	8 kB
EEPROM:	4 kB
DESTELLO:	128 Kb
Tarjeta SD:	8 GB
Peso:	20 g
Dimensiones	73,5 x 51 x 13 mm
Rango de temperatura:	- 10 °C, 65 °C

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

Tabla 3-5 Datos eléctricos tarjeta Wasmote (Router).

Datos eléctricos Tarjeta Wasmote(Router)	
Valores operativos:	
Voltaje mínimo de la batería operacional	3,3 V
Voltaje máximo de la batería operativa	4,2 V
Tensión de carga USB	5 V
Tensión de carga del panel solar	6 - 12 V
Corriente de carga de la batería desde USB	480 mA (max)
Corriente de carga de la batería desde panel solar	330 mA (max)
Valores máximos absolutos:	
Tensión en cualquier pin	-0.5 V + 3.8 V
Corriente máxima de cualquier pin E / S digital	40 mA
Tensión de alimentación USB	7 V
Tensión de alimentación del panel solar	18 V
Voltaje de la batería cargada	4.2 V

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

En la Figura 3-8 se muestra la vista superior de la Tarjeta Wasmote con sus componentes principales.

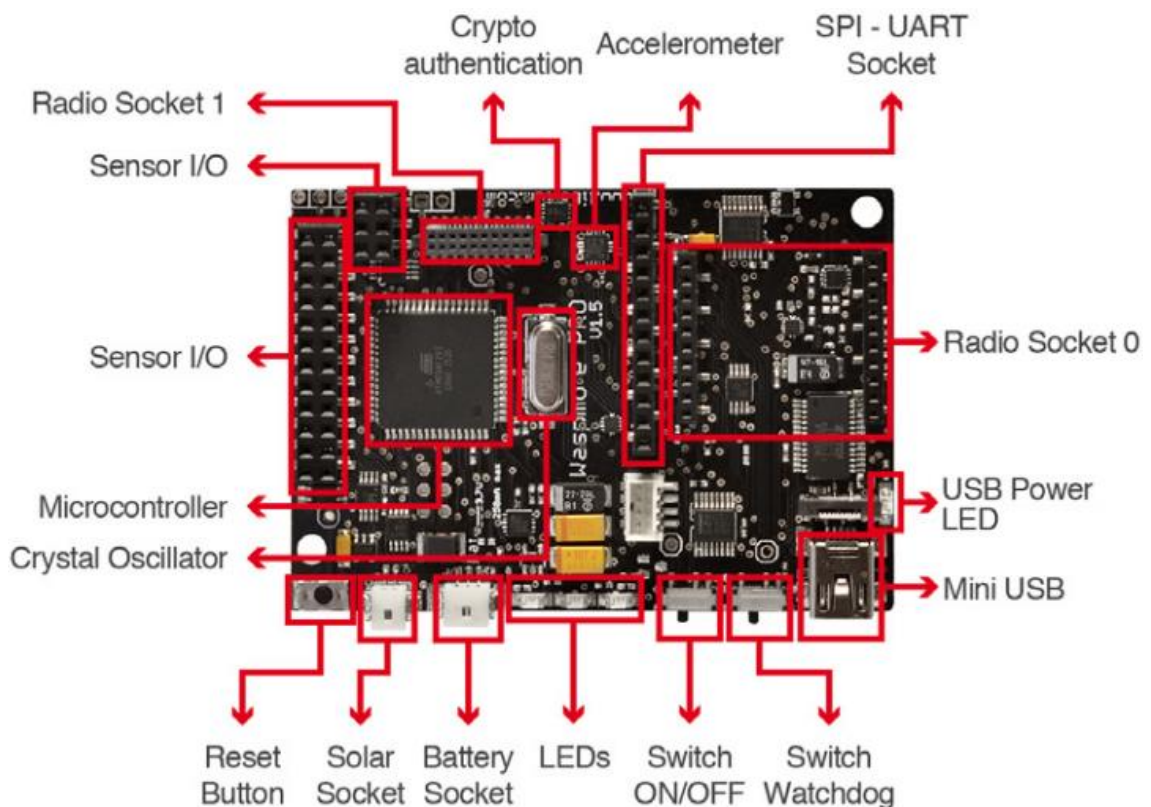


Figura 3-8 Estructura de la Parte Delantera de la Tarjeta Wasmote (Router).

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

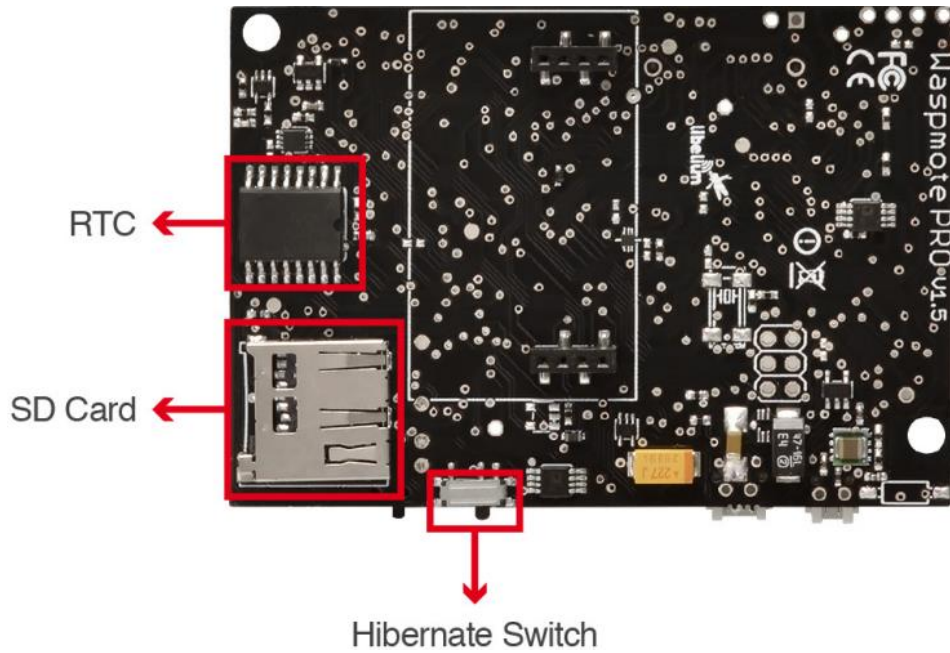


Figura 3-9 Estructura de la parte posterior de la Tarjeta Waspote (Router).
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

Waspote puede comunicarse con otros dispositivos externos a través de las diferentes entradas y salidas llamados también puertos.

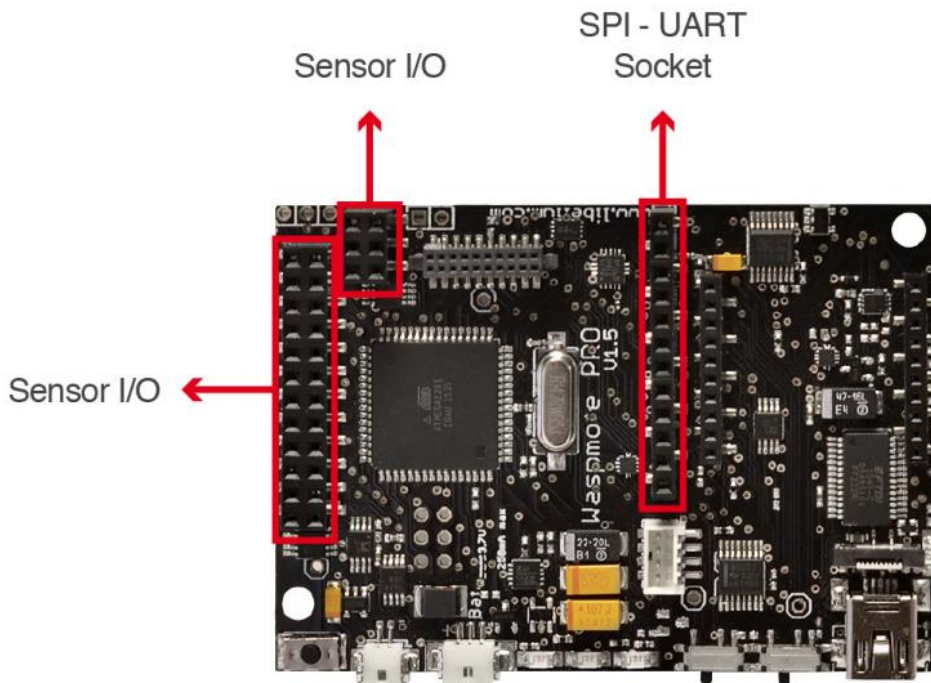


Figura 3-10 Ubicación de los puertos de comunicación de la tarjeta Waspote.
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.2.2.2. Designación entradas y salidas de los puertos de la tarjeta Wasp mote.

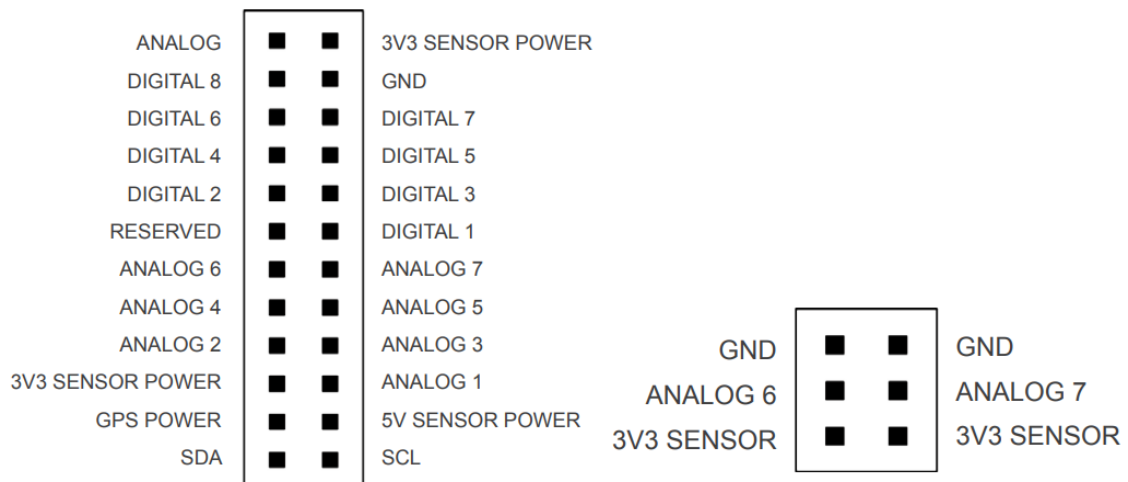


Figura 3-11 Identificación de los Pines de conexión.

Fuente: (LIBELIUM, 2017)



Figura 3-12 Pines de conexión del conector de comunicación Auxiliar (SPI-UART)

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.2.2.3. Pines analógicos. La Tarjeta Wasp mote tiene 7 entradas analógicas accesibles en el conector del sensor. Cada entrada está conectada directamente al microcontrolador. El microcontrolador utiliza una aproximación sucesiva de 10-bits de analógica a digital. (LIBELIUM, 2017)

El valor de tensión de referencia para las entradas es 0 V. El valor máximo de tensión de entrada es 3.3 V que corresponde con el voltaje de la energía general del microcontrolador. Para obtener valores de entrada, la función de *analogRead* (entrada analógica) se utiliza, parámetro de entrada de la función será el nombre de la entrada para ser leído “ANALOGO 1, ANALOGO 2”. El valor obtenido de esta función será un

número entero entre 0 y 1023, 0 corresponde a 0 V y 1023 a 3,3 V. Los pines de entrada analógica también se pueden utilizar como pines de entrada / salida digital. Si estas patillas van a ser utilizados como los digitales, en la lista de correspondencia para los nombres de los pines se debe tener en cuenta lo siguiente: pin analógico y pin digital. (LIBELIUM, 2017)

Tabla 3-6 Lista de nombres de los pines analógicos.

Nombre de los pines	
Pin analógico	Pin Digital
Análogo 1	14
Análogo 2	15
Análogo 3	16
Análogo 4	17
Análogo 5	18
Análogo 6	19
Análogo 7	20

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.2.2.4. Pines digitales. Wasmote tiene pines digitales que se pueden configurar como entrada o salida dependiendo de las necesidades de la aplicación. Los valores de tensión correspondientes a los diferentes valores digitales son valor “BAJO” igual a 0 V para la lógica 0 y valor “ALTO” a 3,3 V para la lógica 1.

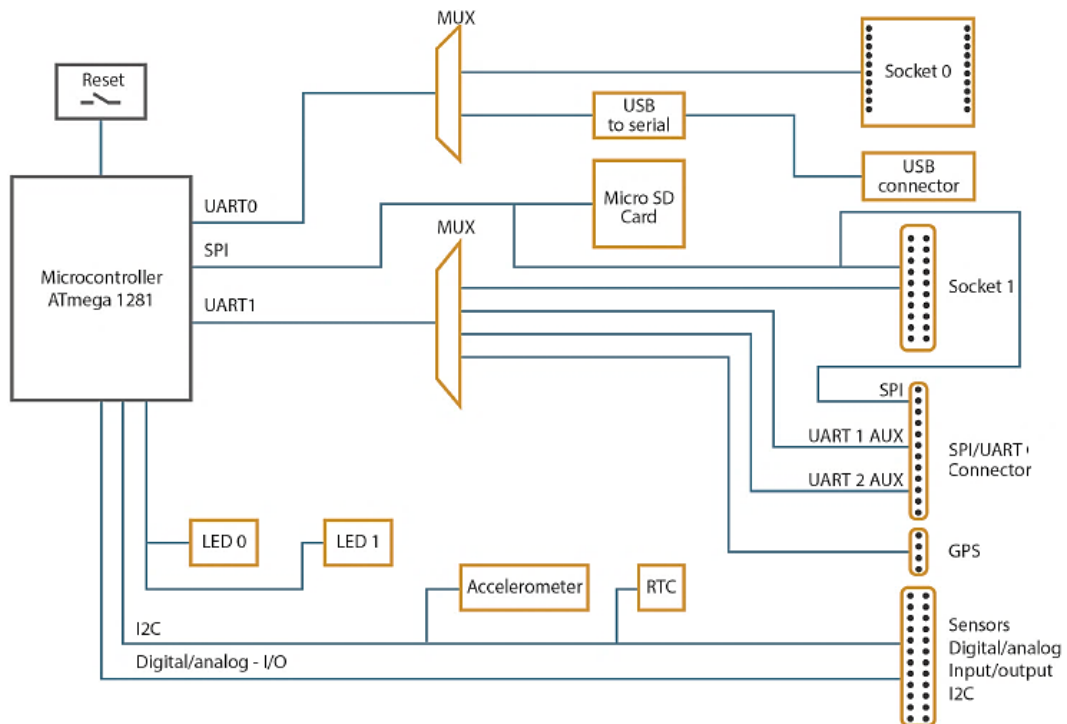


Figura 3-13 Diagrama de bloques para las señales.

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

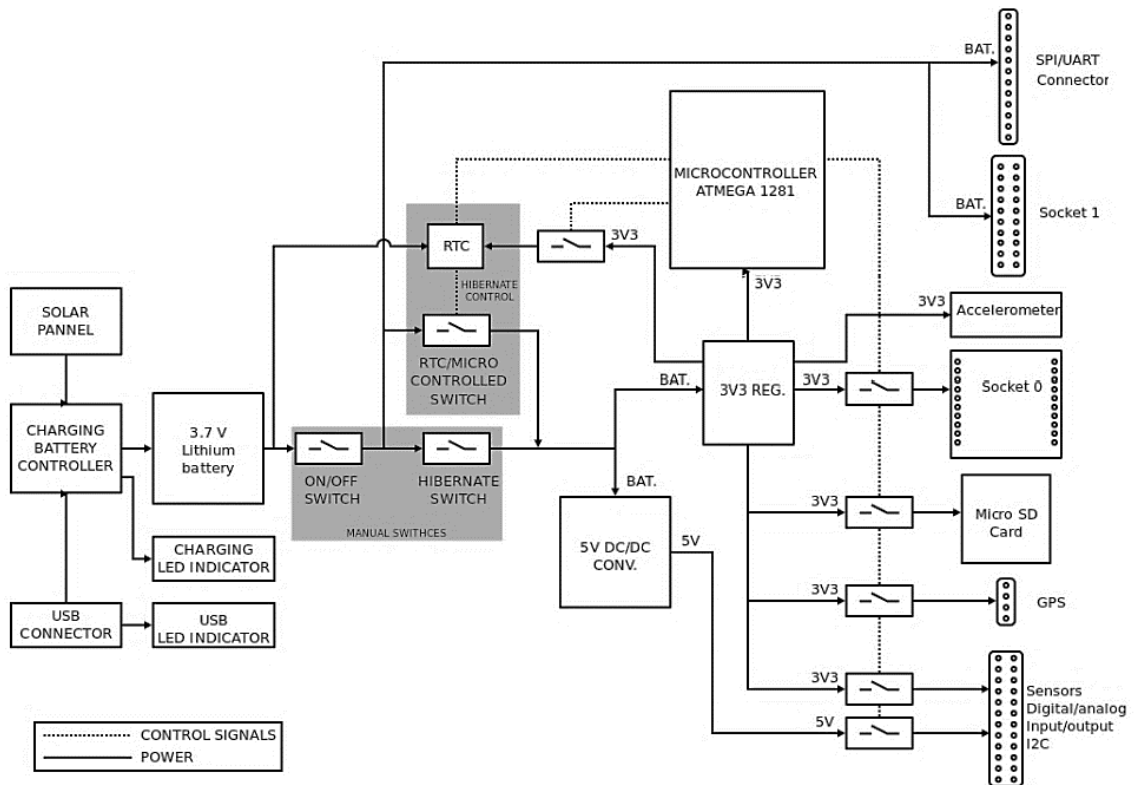


Figura 3-14 Diagrama eléctrico de alimentación
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.2.2.5. Diodo emisor de luz (LED). El Waspote dispone de 4 Led que se describen a continuación.

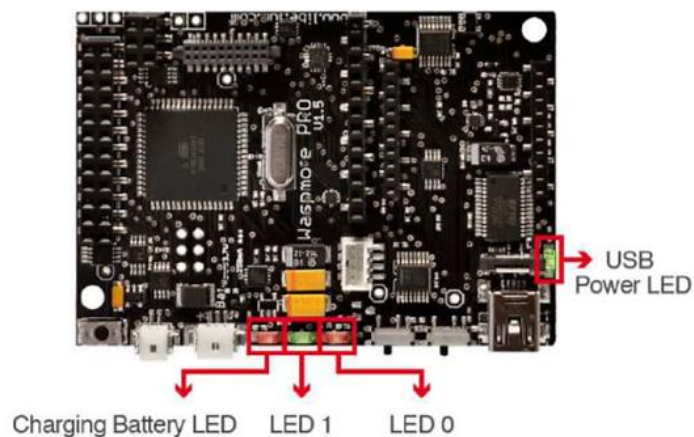


Figura 3-15 Luces Led de la Waspote.
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

Indicador de carga LED de la batería: Un LED rojo indica que hay una batería conectada en Waspote que está siendo cargada. La carga se puede realizar a través de un cable mini-USB o por medio de un panel solar conectado a Waspote. Una vez que

la batería está completamente cargada, el LED se apaga automáticamente. (LIBELIUM, 2017)

LED 0 (LED programable): Un LED verde está conectado al microcontrolador. Es totalmente programable por el usuario desde el código de programa. Además, el LED 0 indica cuando Waspnote restablece, parpadeando cada vez que una reposición de la placa se lleva a cabo. (LIBELIUM, 2017)

LED 1 (LED programable): Un LED rojo está conectado al microcontrolador. Es totalmente programable por el usuario desde el código de programa. (LIBELIUM, 2017)

Indicador LED de alimentación USB: Un LED verde que indica cuando Waspnote se conecta a un puerto USB compatible, ya sea para cargar la batería o programación. Cuando el LED está encendido, indica que el cable USB está conectado correctamente. Cuando se quita el cable USB, el LED se apagará automáticamente. (LIBELIUM, 2017)

3.2.2.6. RTC Watchdog para el reseteo de la Waspnote. Una de las alarmas de la RTC (Alarma 2) está conectado a un circuito de reposición de vigilancia que es capaz de restablecer el microcontrolador de Waspnote cuando se genera la alarma. Esta vigilancia se ha implementado para resetear Waspnote si se queda atascado. Ese reajuste periódico evita un comportamiento errático. La función de vigilancia requiere el interruptor de vigilancia física para ser puesto en posición de “activar”. (LIBELIUM, 2017)

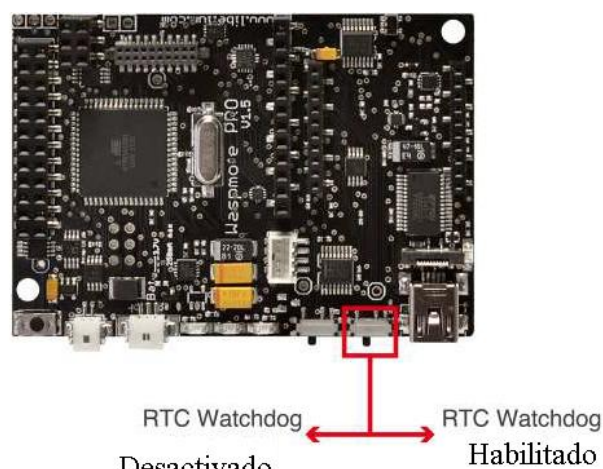


Figura 3-16 Interruptor RTC.

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.2.2.7. Waspnote Agriculture v3.0. La placa Waspnote Agriculture v3.0 permite monitorear múltiples parámetros ambientales que involucran un amplio rango de aplicaciones, desde el desarrollo de análisis hasta la observación del clima. Para esto, se ha proporcionado con sensores de temperatura y humedad del aire y del suelo, luminosidad, radiación solar (PAR y UV), velocidad del viento y dirección, lluvia, presión atmosférica, humedad de la hoja, distancia y diámetro de la fruta o el tronco (dendrómetro). Se pueden conectar hasta 15 sensores. Con el objetivo de extender la durabilidad del dispositivo después del despliegue, la placa está dotada de un sistema de interruptores de estado sólido que facilita una regulación precisa de su potencia, prolongando la vida de la batería. (LIBELIUM, 2017)

Descripción de la Tarjeta Waspnote Agriculture v3.0. La tarjeta Waspnote posee las siguientes características:

Tabla 3-7 Especificaciones tarjeta Waspnote Agriculture v3.0

Especificaciones Tarjeta Waspnote Agriculture v3.0	
Peso	20 g
Dimensiones	73.5 x 51 x 1.3 mm
Rango de Temperatura	[-20°C, 65 °C]

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

Tabla 3-8 Datos eléctricos Waspnote Agriculture v3.0

Datos eléctricos Waspnote Agriculture v3.0	
Voltajes de alimentación de la placa	3,3 V y 5 V
Voltajes de potencia del sensor	3,3 V y 5 V
Corriente admitida máxima (continua)	200mA
Corriente admitida máxima (pico)	400 mA

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.2.2.8. Paquete de sensores que soporta la tarjeta agricultura v3.0. A continuación muestran los sensores en el Tablero de Agricultura v3.0 (versión "Estándar" o "Normal") y los agregados en la versión Pro.

Sensores en el Tablero de Agricultura v3.0 (versión "Estándar" o "Normal").

- Sensor de temperatura, humedad y presión atmosférica BME280.
- Sensor de humedad del suelo.
- Sensor de humedad de la hoja LWS.

- Estación Meteorológica WS-3000 (Anemómetro, Veleta y Pluviómetro)
- Sensor de temperatura del suelo DS18B20
- Sensor de distancia (MB7040 o MB7070).
- Sensor de luminosidad TSL2561.

Sensores agregados en la versión PRO (incluye electrónica avanzada para integrar sensores especiales).

- Sensor de radiación solar SQ-110.
- Sensor de radiación ultravioleta SU-100.
- Dendrómetros DC3, DD-S y DF.
- Sensor de temperatura del suelo Pt-1000

Libelium Comunicaciones Distribuidas SL (2007) indica que todos estos sensores antes mencionados son compatibles con la tarjeta Waspote Agriculture v3.0, pero estos no vienen incluidos y se puede encontrar los mismos en los catálogos del proveedor.

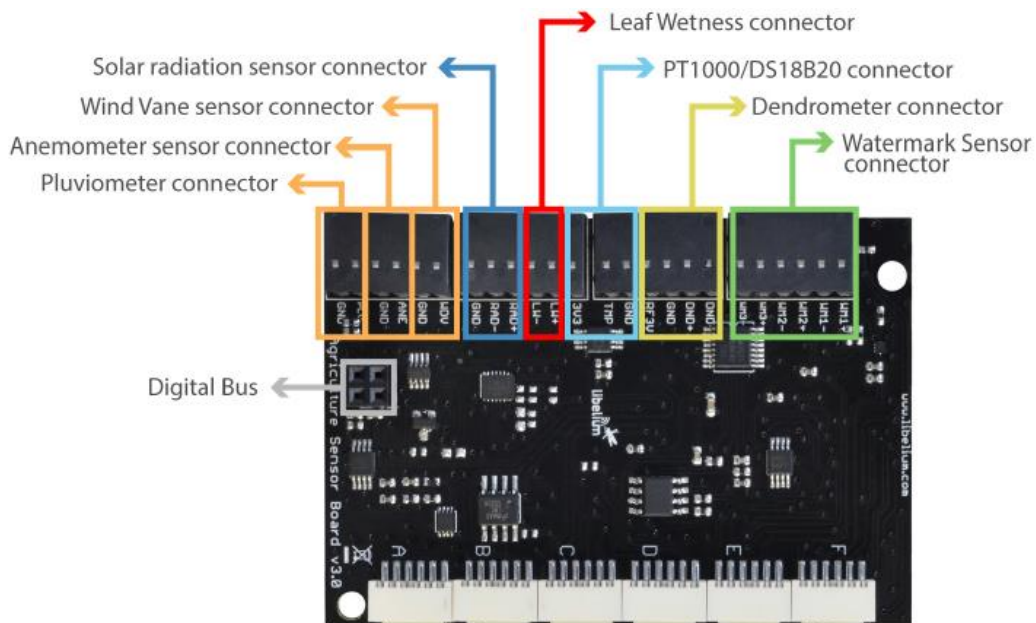


Figura 3-17 Diagrama de conexión para sensores
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.2.3. Dispositivo ZigBee End Device (ZED). Es el dispositivo final de la red ZigBee capaz de operar durante varios años gracias a que su baja potencia permite el uso de

baterías de litio, y este dispositivo está formado por un módulo XBee Proo S2, Waspnote V3.0 Agriculture, Waspnote y un sensor multiparámetro.

3.2.3.1. Especificaciones del sensor multiparámetro. Mide parámetros de temperatura, humedad y presión.

Tabla 3-9 Características eléctricas del sensor multiparámetro.

Características eléctricas del sensor multiparámetro	
Tensión de alimentación:	3,3 V
Corriente de reposo típica:	0,1 uA
Máximo de corriente de reposo	0,3 uA

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

Tabla 3-10 Especificaciones del sensor multiparámetro.

Especificaciones del sensor multiparámetro	
Sensor de temperatura:	
Rango operacional:	-40 ~ +85 °C
Rango de precisión completo:	0 ~ +65 °C
Precisión:	± 1 °C (rango 0 °C ~ +65 °C)
Tiempo de respuesta:	1.65 segundos (63% de respuesta de +30 a +125 °C).
Consumo típico:	medición de 1 µA
Sensor de humedad	
Rango de medición:	0 ~ 100% de humedad relativa (para temperaturas <0 °C y > 60 °C)
Exactitud:	<± 3% RH (a 25 °C, rango 20 ~ 80%)
Histéresis:	± 1% de HR
Temperatura de funcionamiento:	-40 ~ +85 °C
Tiempo de respuesta (63% del paso 90% a 0% o 0% a 90%):	1 segundo
Consumo típico:	medición de 1.8 µA
Consumo máximo:	medición de 2,8 µA
Sensor de presión:	
Rango de medición:	30 ~ 110 kPa
Rango de temperatura operacional:	-40 ~ +85 °C
Rango de temperatura de precisión total:	0 ~ +65 °C
Precisión absoluta:	± 0.1 kPa (0 ~ 65 °C)
Consumo típico:	medición de 2.8 µA
Consumo máximo:	medición de 4.2 µA

Fuente: (LIBELIUM, 2017)



Punto de Referencia

Figura 3-18 Sensor multiparámetro medidor de variables.

Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.3. Accesorios y Complementos de los dispositivos.

3.3.1 Software Utilizados.

El software utilizado para la programación de los sensores es:

- Wasmote Pro IDE v06

EL software utilizado para la configuración de la red es:

- XCTU

Los softwares de Visualización son:

- LabVIEW 2016

3.3.1.1. Software X-CTU. Los fabricantes de los módulos XBee, mediante el software de DIGI hace posible configurar de manera sencilla los módulos RF además que brinda actualizaciones de firmware que son necesarias para cada nodo utilizado (Coordinador, Router, Nodo final con sensor). (DIGI International, 2017)

Ventajas del software X-CTU.

- XCTU es una aplicación gratuita y multiplataforma compatible con Windows, MacOS y Linux
- Vista de red gráfica para configuración de red inalámbrica simple y arquitectura
- API Frame Builder es una herramienta de desarrollo simple para construir rápidamente marcos de XBee API

- Visor de notas de versión de firmware permite a los usuarios explorar y leer notas de la versión de firmware.

3.3.1.2. Wasmote Pro IDE v06. El Software Wasmote Pro IDE se encuentra disponible en la página web de la Compañía Libelium y es el kit de desarrollo de software de las tarjetas Wasmote. Se usa para escribir y cargar código en las Wasmote. También puede monitorear la salida en serie y usarse en la depuración. (LIBELIUM, 2017)

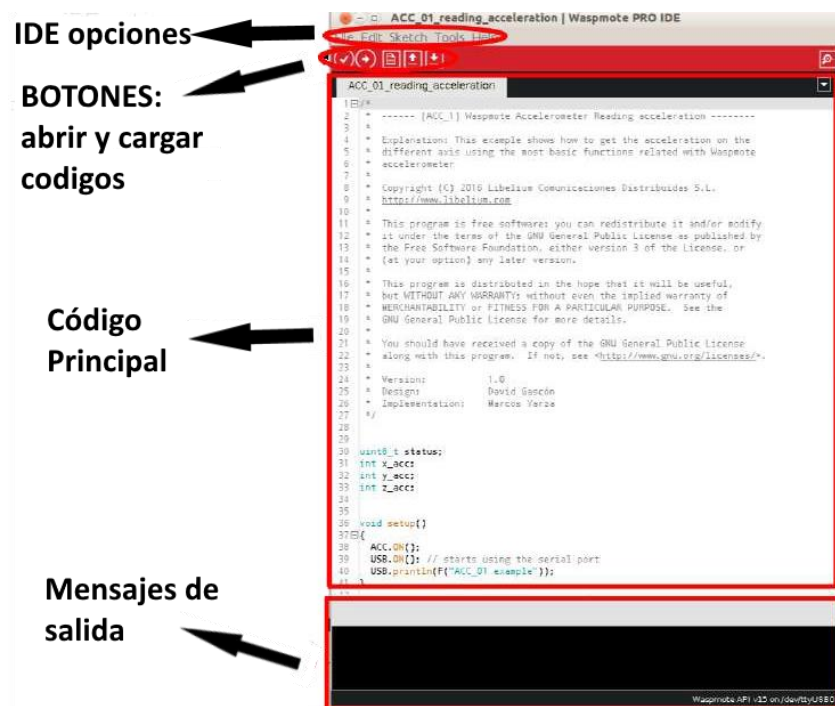


Figura 3-19 Interfaz Software Wasmote Pro IDE v06
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.3.2. Batería. La batería para la Wasmote posee las siguientes características: 6600 mA · h, batería recargable de iones de litio (Li-Ion), con 3,7 V de tensión nominal. La Wasmote tiene un circuito de control y seguridad que hace que la corriente de carga de la batería sea siempre adecuada. (LIBELIUM, 2017)

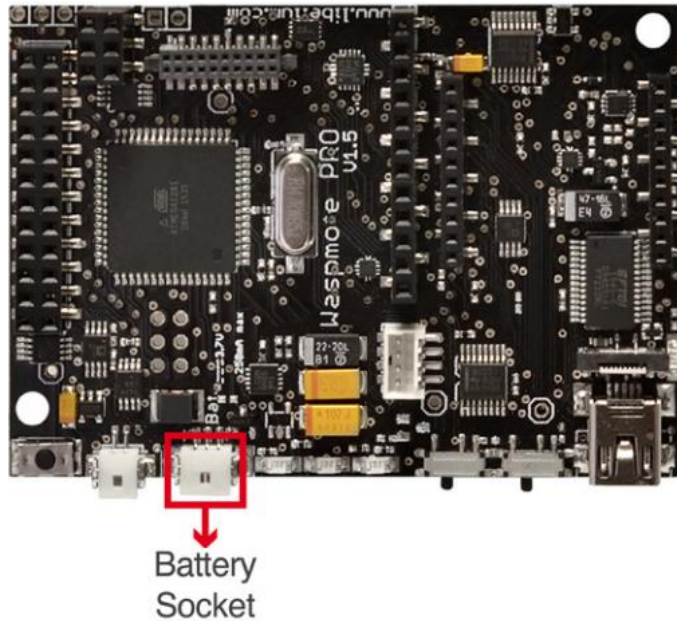


Figura 3-20 Puerto conector de batería.
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.3.2.1. Conexión de la Batería. En la Figura 3-21 se muestra el conector en el que la batería tiene que ser conectada. La posición del conector de la batería es única, por lo que siempre estará debidamente conectada. (LIBELIUM, 2017)

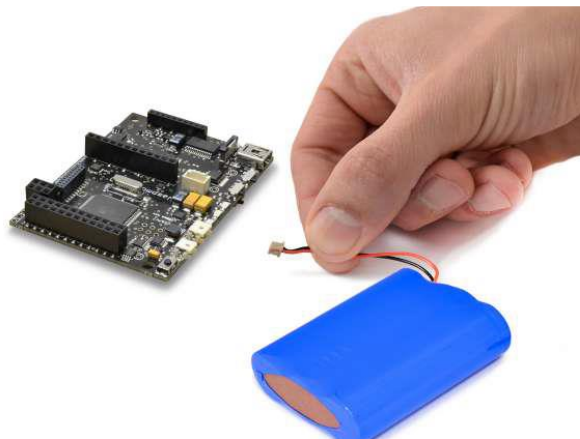


Figura 3-21 Conexión de la bacteria
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.3.3. USB. Las fuentes de alimentación USB de Waspote son las siguientes:

- USB para conexión a PC
- USB a 220 V conexión
- USB para conexión de conector del vehículo

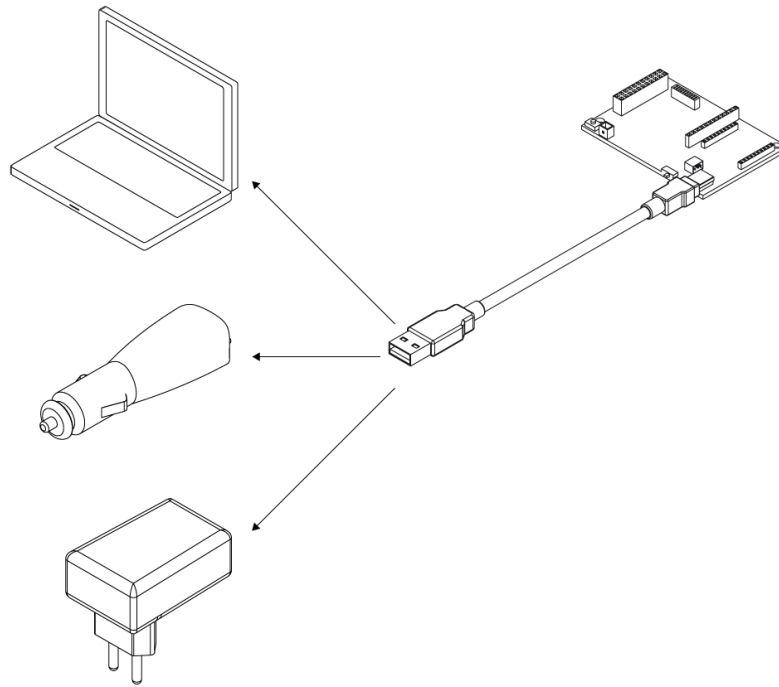


Figura 3-22 Formas de conexión Mini USB.
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

La tensión de carga a través del USB tiene que ser de 5 V. La corriente de carga a través del USB máxima es de 480 mA. El mini conector USB debe ser estándar modelo mini USB. (LIBELIUM, 2017)

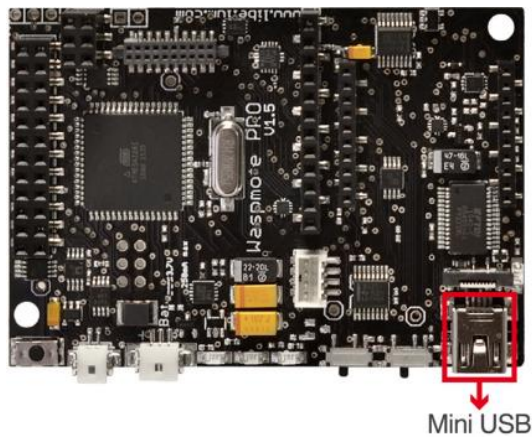


Figura 3-23 Puerto de conexión Mini USB.
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

3.3.4. Tarjeta de memoria micro SD. Waspote tiene soporte de almacenamiento externo, con tarjetas SD (Secure Digital). Estas tarjetas micro SD se utilizan específicamente para reducir espacio en la placa al mínimo. Waspote utiliza el FAT16 sistema de archivos y puede soportar tarjetas de hasta 2 GB. La información que almacena

Wasmote en los archivos de la SD se puede acceder desde diferentes sistemas operativos como Linux, Windows o Mac OS. La tarjeta SD es alimentado a través de un pin digital desde el microcontrolador. No es por tanto necesario utilizar un interruptor para cortar la alimentación. Para hacerse una idea de la capacidad de información que se puede almacenar en una tarjeta de **2 GB**, simplemente se divide su tamaño por 100 bytes que es aproximadamente el tamaño medio que ocupa un marco de sensor en Wasmote obteniendo un total de 20 millones de mediciones.

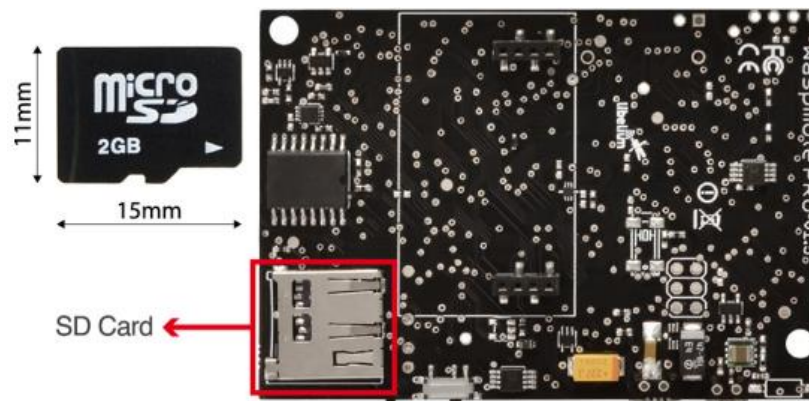


Figura 3-24 Puerto de conexión de la tarjeta micro SD.
Fuente: (LIBELIUM, 2017)

CAPÍTULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN UTILIZADA EN EL DESARROLLO INALÁMBRICO DE LA RED ZIGBEE.

Para la implementación del sistema de Red ZigBee para sensar y transmitir parámetros de temperatura, humedad y presión, se empezará realizando el montaje de los dispositivos ZigBee Coordinador (ZC), ZigBee Repetidor (ZR), ZigBee Final (ZED) con sus respectivos elementos y ubicación correspondiente en los Laboratorios de Automatización y Análisis Vibracional para luego concluir con la respectiva programación de los dispositivos mencionados.

4.1. Montaje del Dispositivo Coordinador ZigBee (ZC).

Para el montaje del dispositivo coordinador de la red ZigBee procedemos a realizar los siguientes pasos.

- En la tarjeta Wasp mote Gateway USB se adhiere el módulo de comunicación XBee-PRO Serie 2 por medio de la unión de sus pines de conexión.
- Finalmente, el Dispositivo coordinador queda listo al colocar y ajustar la antena (2,4GHz) en el módulo XBee-PRO Serie 2 y posicionamos la misma en sentido vertical.



Figura 4-1 Elementos a ser ensamblados.

Fuente: Autores



Figura 4-2 Montaje módulo XBee-PRO Serie2 en la placa Waspote Gateway USB.
Fuente: Autores



Figura 4-3 Montaje de la antena en el módulo XBee-PRO.
Fuente: Autores

4.2. Montaje del Dispositivo Repetidor y Sensor.

Para el montaje del dispositivo repetidor (ZR) de la red ZigBee procedemos a realizar los siguientes pasos.

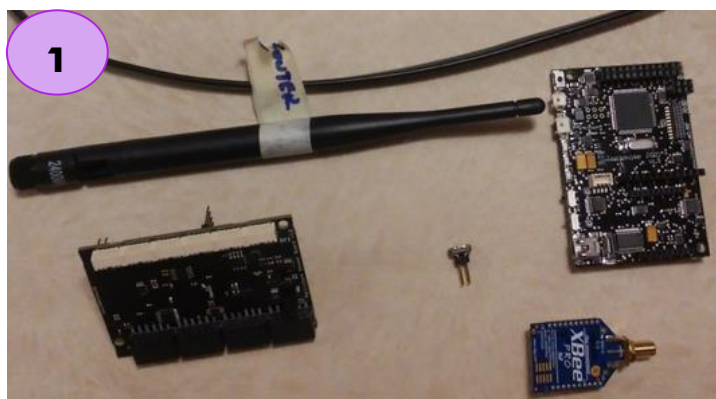


Figura 4-4 Elementos del Dispositivo Repetidor y Sensor.
Fuente: Autores

- En la tarjeta Waspote (Router) se adhiere el módulo de comunicación XBee-PRO Serie 2 por medio de la unión de sus pines de conexión.



Figura 4-5 Colocación del XBee-PRO Serie 2 En la tarjeta Wasmote (Router).
Fuente: Autores

- Después añadimos la Wasmote agricultura V3.0 en la Wasmote (Router) mediante la conexión de sus pines analógicos.

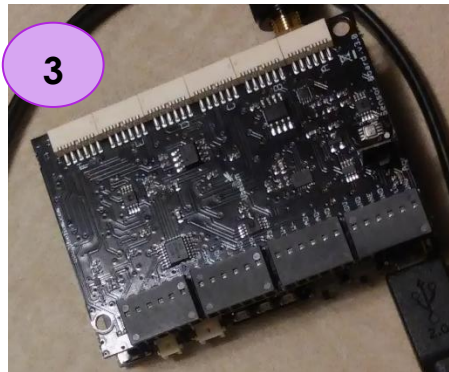


Figura 4-6 Colocación de la Wasmote agricultura V3.0 en la Wasmote (Router).
Fuente: Autores

- Por consiguiente, ubicamos el sensor de acuerdo al punto referencial en la tarjeta Wasmote agricultura V3.0.

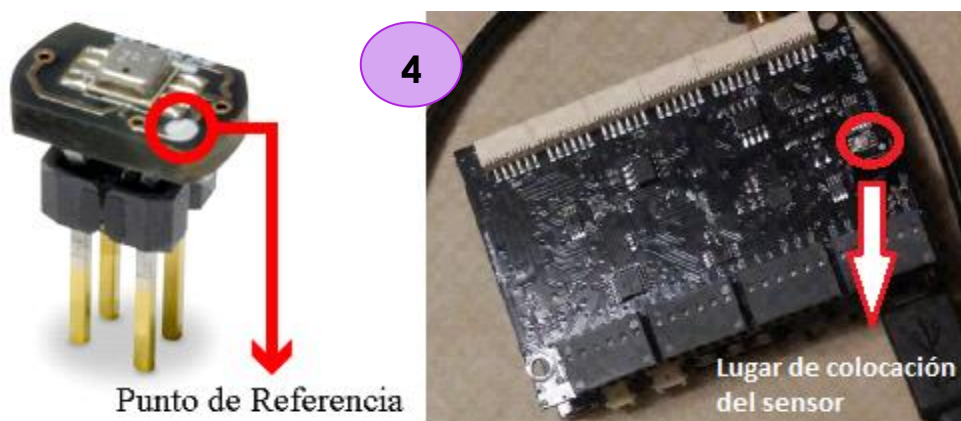


Figura 4-7 Colocación del Sensor en la tarjeta Wasmote agricultura V3.0.
Fuente: Autores

- Como siguiente paso ubicamos y ajustamos la antena (2,4 GHz) en el módulo XBee-PRO Serie 2, y la posicionamos en sentido vertical.

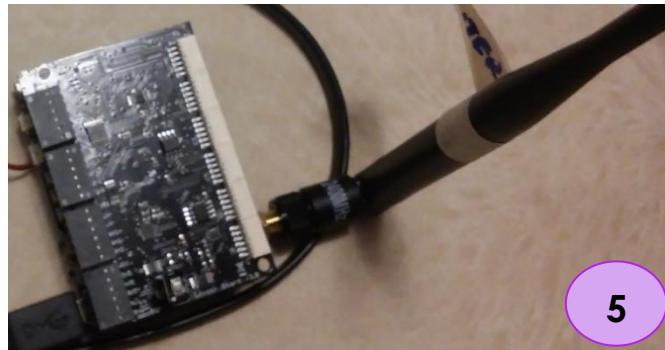


Figura 4-8 Colocación y ajuste de la antena (2,4 GHz).
Fuente: Autores

- El dispositivo repetidor y sensor queda listo para trabajar al ubicar finalmente la batería en el Wasmote(Router) como se muestra a continuación:

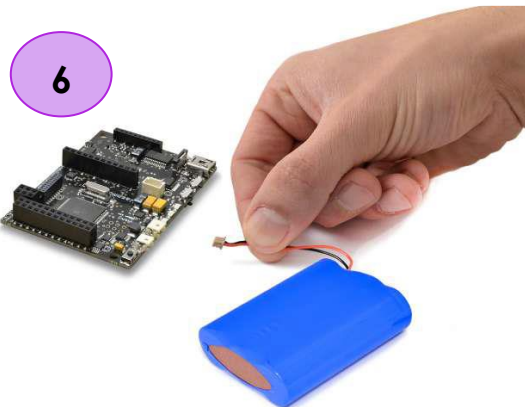


Figura 4-9 Conexión de la Batería al Wasmote (Router).
Fuente: Autores



Figura 4-10 Manipulación correcta con la batería.
Fuente: Autores

4.3. Ubicación y Topología.

El entorno donde se ubican los laboratorios de Automatización y análisis Vibracional, se encuentra en la misma institución educativa universitaria superior haciendo que la instalación de los dispositivos tengamos en cuenta la línea de vista para el correcto funcionamiento de la red y que si se presentan interferencias podría darnos fallos en las lecturas.

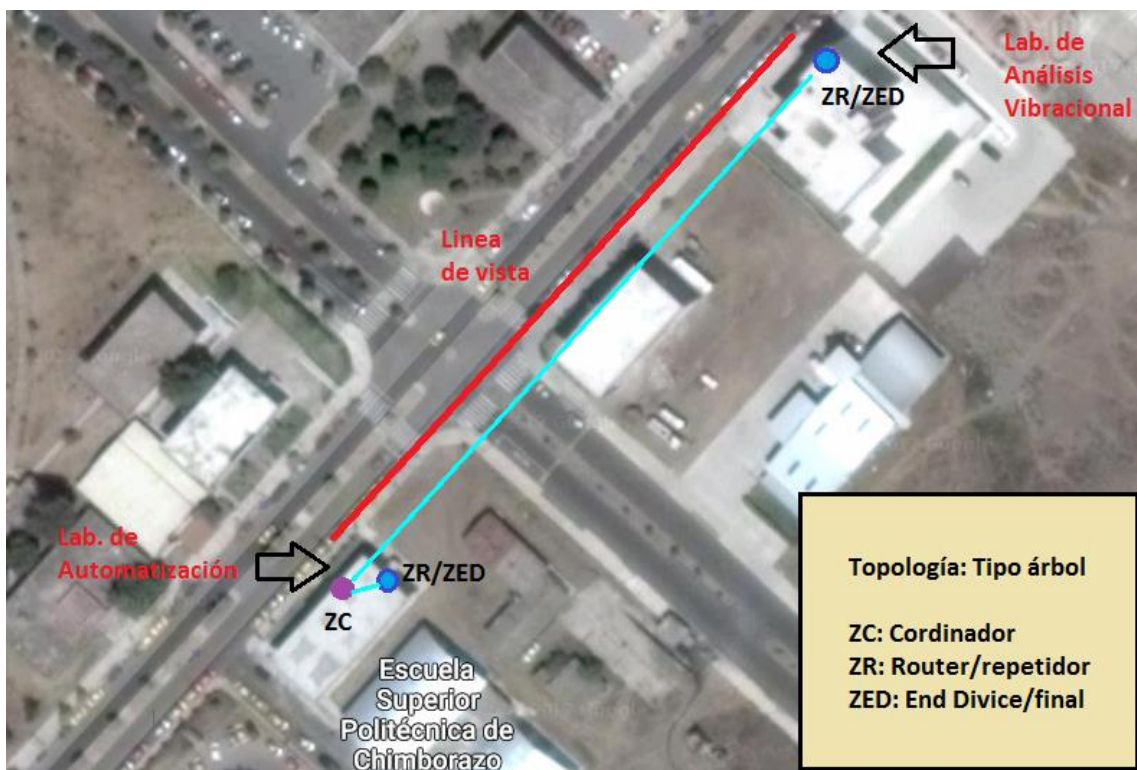


Figura 4-11 Ubicación de laboratorios y topología de red.

Fuente: Autores

4.4. Implementación en los Laboratorios.

En el Laboratorio de Automatización se procederá a ubicar el dispositivo coordinador conectándolo a una PC, donde después de su respectiva configuración y programación este se comunicará con dos dispositivos finales. El primero ubicado en el mismo laboratorio para sensar los parámetros de temperatura, humedad y presión. Y el segundo dispositivo ubicado en el Laboratorio de análisis Vibracional en la Facultad de Mecánica, para realizar la misma aplicación.



Figura 4-12 Dispositivo sensor ubicado en el laboratorio de Automatización.
Fuente: Autores

4.5. Instalación del Software.

El software a utilizar es conocido como X-CTU, programa que se un software libre gratuito que se encuentra disponible en la pagina web de DIGI International, que es el proveedor de los dispositivos utilizados para la red ZigBee. Esta aplicación fue instalada en una PC con Plataforma windows,

4.6. Configuración de los dispositivos ZigBee (ZC,ZR y ZED):

- Procedemos a instalar el software X-CTU en la version actual de la Pc, y luego procedemos a la conexión del coordinador en primer lugar y mas tarde se realiza la misma configuración para el router, para poder configurar con los valores ue observamos a continuacion:

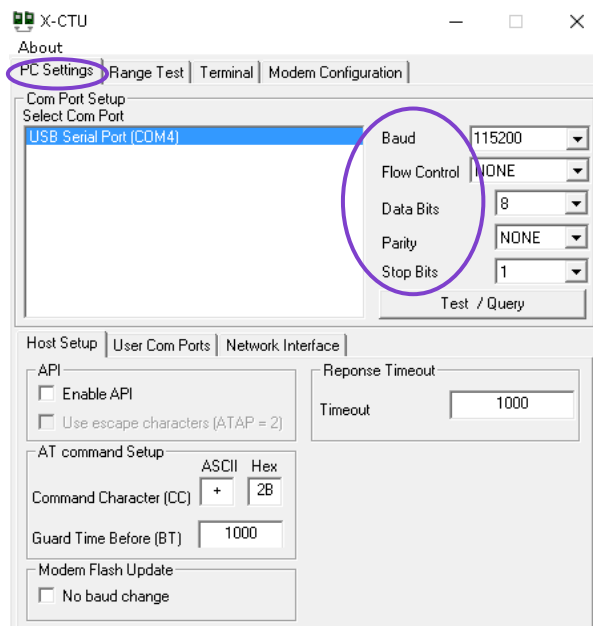


Figura 4-13 Parámetros iniciales de software X-CTU.
Fuente: Autores

- Luego pasamos a la pestaña (modem configuración) el cual nos abrirá la siguiente pantalla para proceder a leer en el equipo los parámetros de fábrica del coordinador o del router dependiendo el caso.

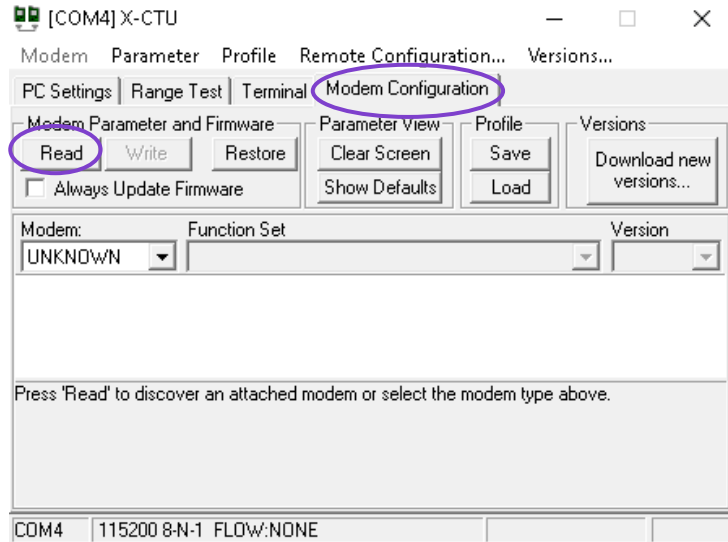


Figura 4-14 Módulo de Configuración Software X-CTU.

Fuente: Autores

- Una vez leído o detectado el dispositivo, debe aparecer la siguiente pantalla donde se pondrá tal cual las direcciones que se encuentran en color azul dentro del programa y se especifica como tal en la pantalla.

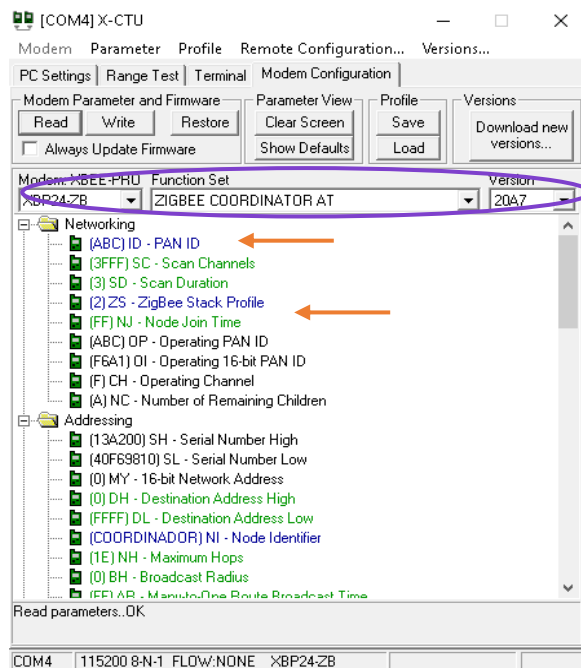


Figura 4-15 Configuración de las direcciones seriales.

Fuente: Autores

- Luego se asigna un nombre como coordinador que se muestra en la siguiente imagen que aparecerá en color azul.

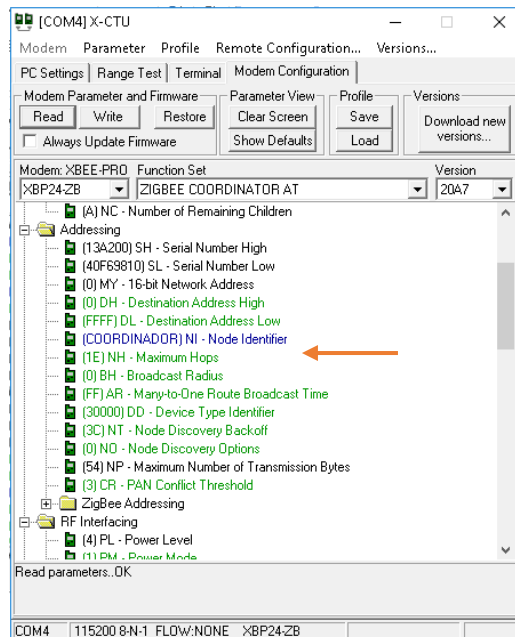


Figura 4-16 Configuración de parámetros secundarios.
Fuente: Autores

- Las últimas configuraciones deben coincidir con la imagen mostrada a continuación.

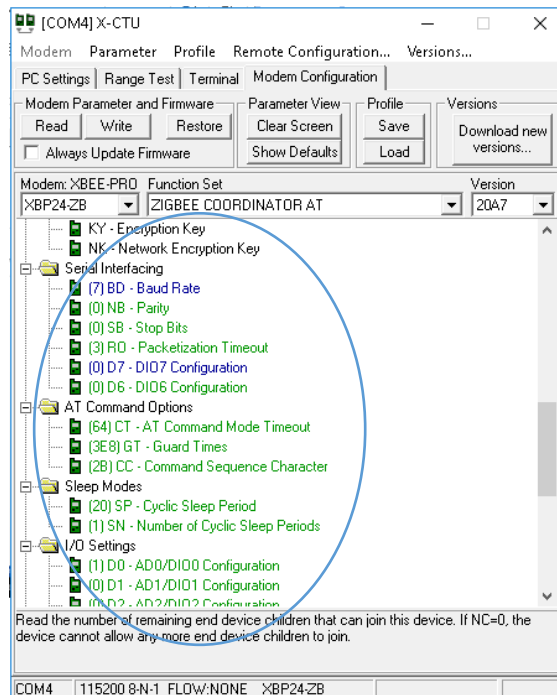


Figura 4-17 Configuraciones por defecto.
Fuente: Autores

- Finalmente las configuraciones de seguridad no vamos a cambiar simplemente quedara como viene de fabrica.

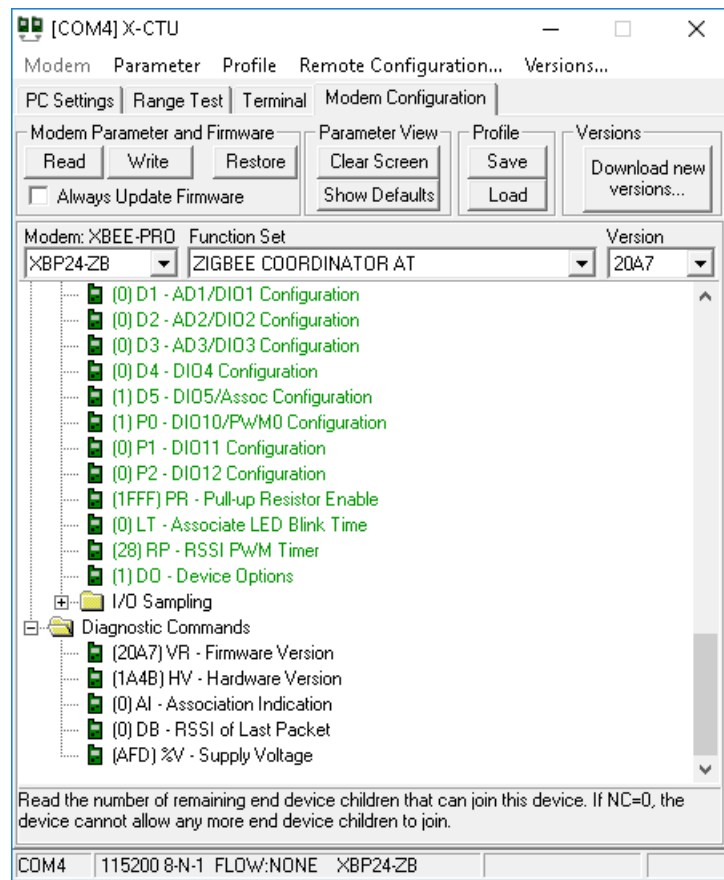


Figura 4-18 Configuraciones de seguridad.

Fuente: Autores

4.7. Programación para las tarjetas Waspnote

Se procede a programar los tres sensores con parámetros de tiempo en un rango determinado y con lenguaje específico para que las lecturas sean visualizadas.



```
red3 | Waspnote Waspnote PRO IDE
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
red3
//Programa de conexin de Router con Coordinador dentro de la red con una PAN ID: ABC
//que transmite los datos recolectados desde la tarjeta Agricultura V3.0 conectada al router
//hacia el coordinador en una gateway conectada a un pc
#include <WaspSensorAgr_v30.h>
#include <WaspFrame.h>
#include <WaspXBeeZB.h>
// cada vriable sera utilizada por la tarjeta de agricultura para las variables del clima
float temp; // Stores the temperature in 2C
float humd; // Stores the realitve humidity in %RH
float pres; // Stores the pressure in Pa
// Direccion MAC destino, en este caso es del Coordinador
char RX_ADDRESS[] = "0013A20040F69810";
// Identificador del Modo virtual
char NODE_ID[] = "Modo Router";
//declaracion de variable error
uint8_t error;
uint8_t error2;

void setup()
{
// 0. Inicializar el puerto USB para depurar
USB.ON();
USB.println(F("Ejemplo de recibir paquetes")); // anadido para receptor paquetes
USB.println(F("Tarjeta Router"));
Agriculture.ON();
//Carga el identificador del nodo de maximo 16 Bits
frame.setID(NODE_ID);
//Carga un modo FRAME
```

Figura 4-19 Software de programación Waspnote PRO IDE.
Fuente: Autores

4.7.1. Código de Programación. Programación de Router (ZR). La siguiente programación se realizó en lenguaje C++, en donde se programó la conexión entre el dispositivo ZR con el ZC dentro de la red con una PAN ID, que transmite los datos recolectados por la tarjeta Waspnote Agriculture V3.0 que se encuentra conectada al router, las variables que fueron programadas fueron las de temperatura, humedad y presión. Los datos son enviados al dispositivo ZC que se encuentra conectado a una PC, como se muestra en el ANEXO D.

4.8. Visualización de los parámetros medidos.

4.8.1. Visualización en la interfaz X-CTU. Las mediciones realizadas por los sensores se muestran en la siguiente codificación del R_1 como se indica en la (Figura 4-20.), el

software X-CTU realiza la decodificación del paquete de datos y en su interfaz ya observamos los valores correspondientes.

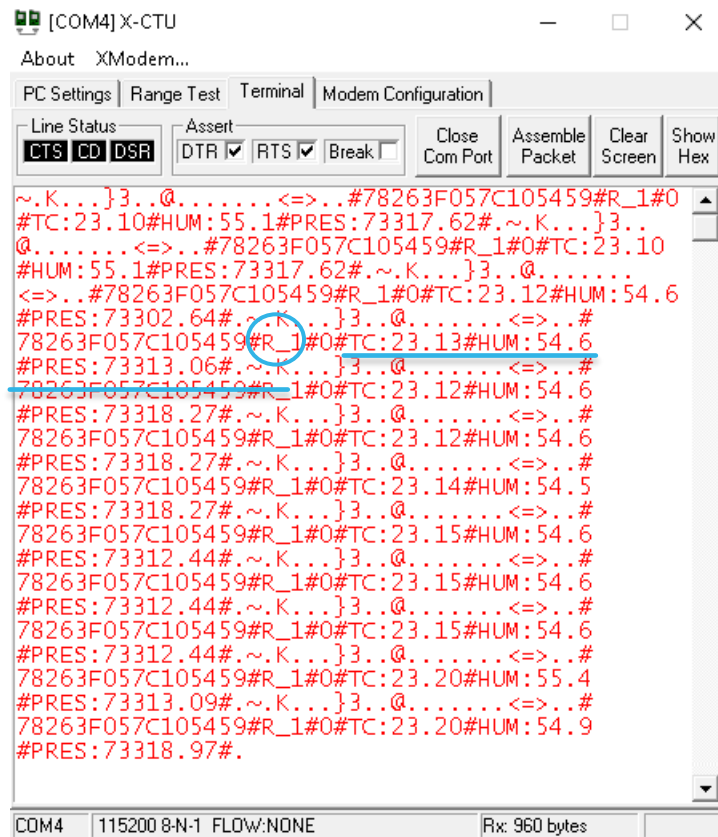


Figura 4-20 Visualización de los parámetros software X-CTU.
Fuente: Autores

4.8.2 Visualización en la interfaz LabView. Al realizar la configuración del puerto donde es conectada la Gateway USB por medio del módulo NIVISA (Anexo E-1 y Anexo E-3), es posible realizar la programación en el diagrama de bloques, cuando al llegar el paquete de 80 bits se selecciona un contador que tome 3 bits del mismo (Anexo E-4). Al configurar al contador este tomara únicamente lo que se le ha pedido para mostrarnos, es decir es te contador preguntara si los bits tomados son verdaderos o falsos; si es verdadero pertenece al nodo R_1 y si es falso pertenecerá al R_2, entonces por lo consiguiente los datos se mostraran en el visualizador, donde se procedió a diseñar la interfaz de los parámetros de temperatura, humedad y presión como se indica en la (figura 4-21).

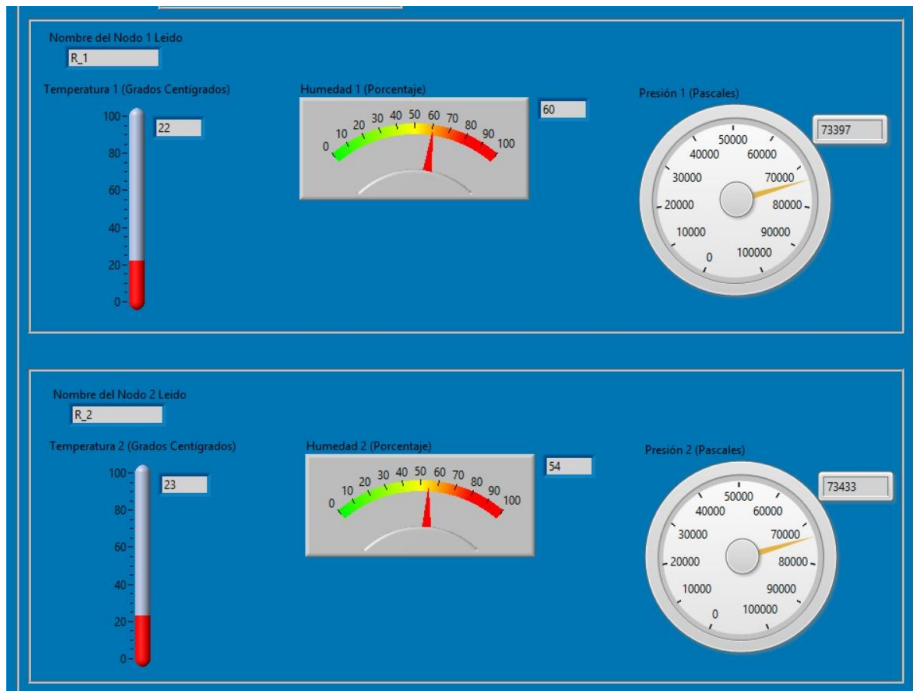


Figura 4-21 Visualización de los parámetros software LabVIEW.
Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Se logró configurar la dirección de enlace entre dispositivos ZigBee coordinador, Router y end device utilizando las diferentes direcciones que logran comunicar un dispositivo con otro localizando cada módulo en diferentes ubicaciones mediante la confirmación realizada en la plataforma X-CTU que es un Software libre gratuito.

Se ensablo los diferentes dispositivos de la red ZigBee para su respectiva función, tomando en cuenta las recomendaciones y cuidados del fabricante, siendo que no afecte las lecturas que se presentan al instante de la toma y transmisión de datos por parte de los dispositivos, partiendo de la adecuada instalación física del módulo de comunicación XBee Pro S2 que es el principal elemento comunicador de nuestra red, y finalmente implementados en los laboratorios de Automatización y Análisis Vibracional.

Se programó las tarjetas Waspnote mediante el software libre gratuito del mismo nombre utilizando el lenguaje de programación C++, reconociendo cada parámetro a medir y posteriormente cargadas a los dispositivos ZR y ZED cumpliendo el planteamiento de la propuesta tecnológica que es la comunicación ZigBee.

Después de haberse desarrollado la comunicación inalámbrica, mediante el ensamblaje, configuración y programación de los dispositivos ZigBee, como un avance a la propuesta tecnológica se realizado mediante la interfaz de LabVIEW la visualización de los parámetros medidos.

5.2. Recomendaciones.

Implementar en futuros trabajos de titulación las restantes topologías de red como son, estrella, punto a punto y malla para los cuales nuestros dispositivos son compatibles con los estándares que la regulan.

Ampliar el número de dispositivos y sensores en nuestro proyecto de titulación como complemento, para continuar las líneas de monitoreo de los laboratorios restantes pertenecientes a la Facultad de Mecánica.

Realizar el análisis estadístico respectivo para los datos que la red ZigBee estará adquiriendo y guardando en el almacenamiento de cada tarjeta, comparando la veracidad de los resultados con los datos obtenidos por el sensor

Desarrollar el sistema de seguridad que el protocolo ZigBee posee dentro de su arquitectura de fabricación, si se desea realizar a encriptación de datos para evitar las alteraciones en las lecturas o robo de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- CAPRILE, Sergio R.** *EQUISBÍ. Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee* [En línea]. 1^{ra} ed. Buenos Aires: Gran Aldea Editores - GAE, 2009. pp. 77-88. [Consulta: 06 de Octubre de 2017]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=xTXv5AhOhMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- DIGI INTERNACIONAL.** *XBee™ Series 2 OEM RF Modules - Farnell*. [En línea] 2007. pp. 5-8. [Consulta: 25 de Noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.farnell.com/datasheets/27606.pdf>.
- DIGI INTERNACIONAL.** *XBee™ ZigBee®/802.15.4 Modules - Robotshop*. [En línea] 2007. pp. 1,2. [Consulta: 25 de Noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.robotshop.com/media/files/pdf/xbee-zigbee-wireless-module.pdf>.
- DIGI INTERNATIONAL.** *XCTU Next Generation Configuration Platform for XBee/RF Solutions - DIGI*. [En línea] 2017. [Consulta: 06 de Junio de 2017]. Disponible en: <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>.
- DIGI INTERNATIONAL.** *ZigBee RF Modules User Guide - DIGI*. [En línea] 2017. pp. 10-14. [Consulta: 25 de Noviembre de 2017]. Disponible en: <https://www.digi.com/resources/documentatio n/digidocs/PDFs/90000976.pdf>.
- FARAHANI, Shahin.** *ZigBee Wireless Networks and Transceivers* [En línea]. Burlington : Elsevier Ltd., 2008. pp. 1-122. [Consulta: 12 de Octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.chiaraburatti.org/uploads/teaching/ZigBee-Libro.pdf>
- GARCÍA, Christian.** *Zigbee, Comunicación para Dispositivos - Tecnologías inalámbricas*. [En línea] 2012. [Consulta: 25 de Mayo de 2017]. Disponible en: <https://sg.com.mx/content/view/310>.
- GASCÓN, David.** *802.15.4 vs ZigBee - Libellium*. [En línea] 2009. [Consulta: 05 de Junio de 2017.] Disponible en: <http://www.libellium.com/802-15-4-vs-zigbee/>.
- GISLASON, Drew.** *Zigbee Wireless Networking*. 1^{ra} ed. Burlington: Elsevier., 2008. pp. 14-42. [Consulta: 27 de Octubre de 2017]. Disponible en: <https://www.waveshare.com/w/upload/4/4b/Zigbee-Wireless-Networking.pdf>
- IEEE COMPUTER SOCIETY.** *STD. IEEE 802.15.4*. [En línea] 2006. [Consulta: 21 de Septiembre de 2017]. Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006.pdf>.

IEEE STANDARDS ASSOCIATION. *STD. IEEE 802.15.* [En línea] 2008. pp. 1-100 [Consulta: 15 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://web.archive.org/web/20080304085457/http://standards.ieee.org:80/getieee802/802.15.html>.

LIBELIUM. *Waspnote Technical Guide.* [En línea] 2017. [Consulta: 20 de Mayo de 2017]. Disponible en: http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspnote_technical_guide.pdf.

MASA DEH, Raja. *Enhancement and performance evaluation of a multicast routing mechanism in zig bee cluster tree wireless sensor network.* [En línea] 2015. [Consulta: 25 de Noviembre de 2017]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/rajamohd2/enhancement-and-performance-evaluation-of-a-multicast-routing-mechanism-in-zig-bee-cluster-tree-wireless-sensor-network>.

MONTAÑA, Rogelio. *Redes Inalámbricas 802.11.* [En línea] 2014. pp. 3 [Consulta: 21 de Abril de 2017]. Disponible en: <http://player.slideplayer.es/download/1/106329/Dg5VLs42upOhawnhgFkCRA/1512405289/106329.ppt>.

NARANJO, Mercedes Cristina, & CHILQUINGA, Diego Marcelo. *Zigbee para la implementación de una sala de conferencias Inteligente en la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.* [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica. Riobamba, Ecuador. 2010. pp. 81,82. [Consulta: 28 de Julio de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/378/1/38T00187.pdf>.

ZARADNIK, Ignacio J. *Módulos XBEE de Digi International - Electrocomponentes S.A.* [En línea] 2014. pp. 30. [Consulta: 23 de Agosto de 2017]. Disponible en: http://www.electrocomponentes.com/educacion/download/SASE_2014_DIGI_Tutorial_Modulos_XBEE.pdf.

ZIGBEE ALLIANCE. *Logo Corporativo.* [En línea] 2014. [Consulta: 15 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://www.zigbee.org/tag/utility-industry/>.

ZIGBEE ALLIANCE. *Zigbee Specification.* [En línea] 2012. pp. 1-100. [Consulta: 24 de Agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.zigbee.org/wp-content/uploads/2014/11/docs-05-3474-20-0csg-zigbee-specification.pdf>.