

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS CON
COMUNICACIÓN ZIGBEE PARA EL MONITOREO DE UNA ESTACIÓN
DIDÁCTICA**

**AUTOR:
JONATHAN DAVID ARGUERO TELLO**

**TUTOR:
GUSTAVO JAVIER CAIZA GUANOCHANGA**

Quito, febrero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jonathan David Arguero Tello, con documento de identificación N° 1723989206, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS CON COMUNICACIÓN ZIGBEE PARA EL MONITOREO DE UNA ESTACIÓN DIDÁCTICA” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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



.....
Jonathan David Arguero Tello

C.I:1723989206

Quito, febrero del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollada el Proyecto Técnico, “DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS CON COMUNICACIÓN ZIGBEE PARA EL MONITOREO DE UNA ESTACIÓN DIDÁCTICA” realizado por Jonathan David Arguero Tello, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2020



.....
Gustavo Javier Caiza Guanochanga

C.I.: 1721192191

DEDICATORIA

Este logro más la dedico a mis padres Miguel y Yolanda por todo el amor, paciencia y sacrificio que realizan día a día que me ha permitido llegar a cumplir un sueño más, por su apoyo incondicional que me han dado a lo largo de mi vida. A mis hermanos y cuñado por estar siempre a mi lado y apoyarme durante este proceso y durante mi vida.

Jonathan

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes y permitirme lograr mis metas.

Agradezco a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Politécnica Salesiana, por formar parte del proceso profesional y humana, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ingeniero Gustavo Caiza, MSc. Tutor de este Trabajo de Titulación por su colaboración durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y guía permitió el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO 1	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Redes Inalámbricas.....	5
2.1.1. Tipos de Redes Inalámbricas	6
2.1.2. WPAN (Wireless Personal Área Network)	6
2.1.3. WLAN (Wireless Local Área Network).....	7
2.1.4. WMAN (Wireless Metropolitan Network).....	7

2.1.5.	WWAN (Wireless Local Área Network).....	8
2.2.	WSN (Wireless Sensor Network).....	8
2.2.1.	Topologías de una Red WSN.....	10
2.2.2.	Ventajas y Desventajas de las Topologías WSN	11
2.3.	ZigBee	12
2.3.1.	Topologías de una red ZigBee	14
2.3.2.	Dispositivos ZigBee.....	14
2.3.3.	Funcionalidad de Operación Tecnología ZigBee	16
2.4.	Arquitectura ZigBee	16
2.5.	Seguridad ZigBee	18
2.5.1.	Seguridad	18
2.5.2.	Criptografía de claves simétricas	19
2.6.	Plataforma Servidor Web	19
CAPÍTULO 3		20
DISEÑO Y DESARROLLO.....		20
3.1.	Diseño de la Red ZigBee.....	20
3.2.	Selección de Componentes y/o Dispositivos.....	23
3.2.1.	Módulo XBee S2	23
3.2.2.	Módulo XBee Explorador USB	25
3.2.3.	Raspberry Pi 3B+.....	26
3.2.4.	Sensor Infrarrojo FC-51	26
3.2.5.	Sensor de Luz (LDR).....	27
3.2.6.	Sensor de Temperatura (LM35).....	28
3.3.	Configuración de Dispositivos	29
3.3.1.	Módulos XBee Coordinador y/o Dispositivo Final/Router	30

3.3.2. Raspberry Pi 3B+.....	34
3.4. Ubidots	35
3.5. Diseños de Circuitos de los módulos XBee	37
3.6. Diseño en la plataforma Ubidots.....	39
3.7. Construcción del Prototipo.....	40
CAPÍTULO 4.....	43
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	43
4.1. Pruebas de Comunicación entre Módulos XBee	43
4.2. Prueba de funcionamiento entre XBee y Raspberry Pi 3B+	44
4.3. Prueba del servidor Ubidots	45
4.4. Pruebas de Tiempo de Respuesta	47
CAPÍTULO 5	49
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diferentes tipos de tecnologías inalámbricas	6
Figura 2.2. Arquitectura de una Red WSN	9
Figura 2.3. Componentes de un nodo sensor	9
Figura 2.4. Topologías de una Red WSN	10
Figura 2.5. Aplicaciones de ZigBee	13
Figura 2.6. Topologías que soporta una red ZigBee	14
Figura 2.7. Capas ZigBee/ 802.15.4.....	17
Figura 3.1. Estructura de la red ZigBee	20
Figura 3.2. Estructura de Nodo Sensor	21
Figura 3.3. Estructura de Nodo Coordinador	22
Figura 3.4. Módulo XBee Serie2	23
Figura 3.5. Descripción de los pines del módulo XBee Serie2.....	25
Figura 3.6. Adaptador XBee Usb.....	25
Figura 3.7. Placa Raspberry Pi 3B+	26
Figura 3.8. Módulo sensor infrarrojo FC-51	27
Figura 3.9. Interfaz del Software X-CTU	29
Figura 3.10. Configuración del módulo XBee, modo coordinador.....	33
Figura 3.11. Configuración del módulo XBee, modo nodo1	33
Figura 3.12. Configuración del módulo XBee, modo nodo2.....	34
Figura 3.13. Configuración del módulo XBee, modo nodo3	34
Figura 3.14. Proceso de instalación del paquete XBee en Raspberry	35
Figura 3.15. Proceso de instalación del paquete Ubidots en Raspberry	35
Figura 3.16. Plataforma Ubidots	36
Figura 3.17. Panel de Control IoT.....	37
Figura 3.18. Esquema eléctrico del nodo XBee	38
Figura 3.19. Diseño de la PCB del nodo XBee.....	39
Figura 3.20. Interfaz en la plataforma Ubidots	40
Figura 3.21. Diseño del prototipo del módulo didáctico.....	41
Figura 3.22. Distribución de los respectivos nodos en la estación.....	41
Figura 3.23. Vista superior de la estación	42

Figura 4.1. Envió de paquetes por el Terminal43

Figura 4.2. Ventana del LXTerminal de la red44

Figura 4.3. Prototipo de los Nodos45

Figura 4.4. Interfaz Final de la plataforma Ubidots.....45

Figura 4.5. Valores obtenidos del sensor de luz de la base de datos del servidor.....46

Figura 4.6. Valores obtenidos del sensor de temperatura de la base de datos del servidor.
.....46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de Tecnologías Inalámbricas WPAN	7
Tabla 2.2. Ventajas y Desventajas de las Topologías en una Red WSN	12
Tabla 2.3. Descripción de la Pila ZigBee.....	17
Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del Módulo XBee Serie2	24
Tabla 3.2. Características técnicas del sensor infrarrojo FC-51.....	27
Tabla 3.3. Características técnicas del sensor de luz LDR	28
Tabla 3.4. Características técnicas del sensor de temperatura LM35	28
Tabla 3.5. Configuración de parámetros en los módulos XBee serie2	31
Tabla 4.1. Tiempo de respuesta en la transmisión de datos con los diferentes nodos, sin conexión con el servidor	47
Tabla 4.2. Tiempo de respuesta en la transmisión de datos con los diferentes nodos, con conexión con el servidor	48

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una red de sensores (WSN) con comunicación ZigBee para lo cual se estableció parámetros de diseño como la topología de la red y la configuración de comportamiento de los módulos ZigBee para la interacción de los diferentes elementos que integran la red propuesta, estos a su vez son monitoreados desde una plataforma Ubidots. La necesidad de mejorar el rendimiento de una red sensores inalámbricos encaminados a la evolución de nuevas tecnologías para diseños de proyectos IoT que requieren escalabilidad, seguridad y respuestas rápidas en la comunicación. La innovación se encuentra en manejar los dispositivos que conforman la red a través de aplicaciones tecnológicas que permiten procesar, monitorear la información obtenida, dando paso a una interconexión de diferentes dispositivos inalámbricamente. Los resultados obtenidos determinan un 100% de operabilidad de la red WSN propuesta en un entorno bajo fallos. Por otro lado, se comprobó el rendimiento de la red considerando la latencia de respuesta del comportamiento de los módulos empleando la comunicación con el servidor para la visualización del comportamiento de los nodos. Donde la red WSN está formada por nodo coordinador y tres nodos sensores, donde cada nodo sensor se conecta al nodo coordinador a una frecuencia de 2.4 GHz y este a su vez se conecta a la Raspberry para la recopilación y visualización de la información e interacción a través de plataforma Ubidots.

Palabras Claves: “Red de sensores (WSN)”, “ZigBee”, “XBee”, “Plataforma Ubidots”

ABSTRACT

The main aim of this work is to design a sensors' network (WSN) with Zig Bee communication, which allowed to design parameters such us: the topology of the network and the setting of Zig Bee modules for the interaction of different elements which include proposal network that are being monitored by a Ubidots Platform. The need to improve the wireless sensors' network performance aimed at the evolution of new technologies for IoT Project designs which require information technology, safety and fast solutions in the communication. The innovation makes it easier to manage the devices which form part of the network through the technology applications that allow to process, monitor the obtained information, and clear the way for an interconnection of different wireless devices. The findings determine a hundred percent of effectiveness in the WSN network proposed in case of possible mistakes. On the other hand, the network performance was checked, considering the latency of response in the environment of the modules using communication as a tool for the nodes' performance display, where the WSN is formed for a coordinator node and three sensor nodes. So, every sensor is connected to the coordinator node to a frequency of 2.4 GHz and this, in turn, is connected to a Rasberry to collect, display the information and interact through the Ubidots platform.

Keywords: Sensors' network (WSN), ZigBee, XBee, Ubidots Platform

INTRODUCCIÓN

Con la revolución del Internet, hoy en día la interacción entre los diferentes dispositivos IoT se ha convertido en un pilar fundamental en la automatización no solo para las empresas sino se ha incorporado en los hogares. Los diseños de proyectos IoT manejan gran cantidad de dispositivos inalámbricos algunos de ellos de pequeños recursos (consumo de energía, potencia de radiofrecuencia, costos, seguridad), y pueden ser manejadas a través de aplicaciones tecnológicas que permiten procesar, monitorear la información obtenida de las condiciones físicas o del ambiente, dando paso a una interconexión de diferentes dispositivos inalámbricamente sin la necesidad de la mediación humana. Además, esto involucra un avance en la Industria 4.0 con un enfoque en IoT donde este tipo de redes emplean sensores y actuadores autónomos e inteligentes (Castillo Gallo, 2018). Lo que con lleva a la investigación de la implementación de protocolos que sean capaces de interconectar diversos dispositivos inalámbricos como: ZigBee, Bluetooth, WiFi para un futuro trabajar en una red interoperable.

En el mercado existen diferentes dispositivos inalámbricos ofreciendo muchas prestaciones que las diferencian como: costos, alcance, potencia y consumo de energía. Por lo tanto, se propone implementar una red de sensores inalámbrica con comunicación ZigBee formado por cuatro nodos XBee S2: un nodo coordinador y tres nodos sensores, donde cada nodo sensor se conecta al nodo coordinador a una frecuencia de 2.4 GHz y este a su vez se conecta a la Raspberry para la recopilación y visualización de la información e interacción a través de plataforma Ubidots.

En capítulo II se describe las características: de las redes WSN, el protocolo ZigBee. En el III capítulo se determina el diseño y desarrollo de la red de sensores inalámbrica donde se describe la selección de los componentes y configuración de los mismos. En el capítulo IV se analiza el correcto funcionamiento de la red WSN implementada en el módulo didáctico. Finalmente, en el capítulo V se presentan las conclusiones del trabajo realizado y recomendaciones para futuros proyectos enfocados a IoT.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

La cuarta revolución industrial propone la consolidación en un mundo digitalizado, para mejorar las condiciones sociales, económicas, comerciales de empresas y Estados. A partir de la utilización de nuevas tecnologías como: internet de las cosas, inteligencia artificial, Big Data, impresión de productos en 3D. La tendencia de hoy en día es la interconexión de dispositivos autónomos formando una red de sensores inalámbricos cuyo propósito es de monitorear condiciones físicas o ambientales. Este tipo de redes se basan en dispositivos de bajo coste y bajo consumo de energía que son capaces de obtener información de su entorno, procesar localmente, y comunicar a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación.

A nivel mundial las empresas están combinando ciertos factores como: la conectividad avanzada, automatización, cloud computing, sensores, procesos informatizados, algoritmos inteligentes, IoT que están llevando estos conceptos a la investigación y desarrollo de la industria 4.0 para transformar sus negocios (PWC, 2016).

El gobierno ecuatoriano ha establecido pilares fundamentales para cumplir el objetivo de entrar al mundo de la Revolución Industria 4.0, por otra parte, hay un mínimo o escaso proceso de desarrollo e investigación en esta línea de investigación (Siemens, 2019).

Entre los desafíos para la adopción de la Industria 4.0 está la estandarización de los protocolos para IoT (Internet Of Things) destacando los protocolos ZigBee como Bluetooth. Sin embargo, el protocolo ZigBee presenta un mejor rendimiento en aplicaciones de control y red de sensores ya que trabajan con paquetes de datos de tamaño pequeño, bajo consumo de energía y baja tasa de envío proporcionando una comunicación segura (Xavier, 2018).

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, nos encontramos en un mundo industrializado y digitalizado, donde la nueva generación del mercado industrial necesita mejoras con el propósito de tener mayor rentabilidad, flexibilidad, compatibilidad y desempeño. Con los antecedentes antes mencionados, y para lograr ser parte de la nueva revolución industrial se requiere un procesamiento y adquisición de datos autónomos de una red de sensores considerando que las nuevas tecnologías sean adaptables y compatibles con los equipos y/o sistemas existentes (Castillo Gallo, 2018).

Para lograr alcanzar un procesamiento y adquisición de datos autónomos se involucran dos aspectos: el tipo de tecnología para dotar a elementos como sensores o actuadores en un medio de comunicación inalámbrica y los protocolos de comunicación (Isde, 2019).

El proyecto, se encuentra enmarcado en el área de investigación de red de sensores inalámbrico (WSN- Wireless Sensor Network), enfocado en una estación didáctica que carece de un sistema inalámbrico de sensores y actuadores, lo que conlleva que los equipos y los procesos de la estación queden obsoletos para coexistir con una nueva generación industrial como es la Industria 4.0.

1.2. Justificación

En la actualidad el sector industrial mundial busca incrementar la eficiencia de los diferentes procesos de producción a un 4,1% al año y reducir los costos operacionales en un 3,6% por año según (PWC, 2016). Integrando digitalización, automatización, conexión a la nube de los diferentes procesos de producción, es decir implementar una fábrica inteligente enfocado a la industria 4.0 con WSN. Por lo cual se requiere monitorear los datos de los sensores, actuadores para mejorar la planificación integrada de la planta, realizar mantenimientos predictivos (PWC, 2016), optimizando el tiempo de reparación, como control de procesos y toma de decisiones en tiempo real (Carmen Ynzunza, 2017).

La tendencia en la Industria 4.0 es la inserción de redes inalámbricas, permitiendo tanto a clientes como fabricantes aprovechar nuevos conceptos tecnológicos como: IoT, Cloud Computing, digitalización, automatización, comunicaciones inalámbricas, etc. Con esto, la implementación de la Industria 4.0 ofrece productos y servicios nuevos o mejorados, reducción de costos de producción, aumento de producción, intercambio de datos autónomos entre sistema y máquina (Claas Digmayer, 2018).

Para lograr la optimización y automatizado del manejo de datos se involucran aspectos como: protocolos de comunicación, protocolos de transporte, arquitectura, planificación del sistema y servicio integral al operario.

Siendo el protocolo Zigbee el candidato idóneo para ser empleado en las WSN por sus características. Este protocolo es empleado en aplicaciones de domótica ya que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de las baterías, ofrece: capacidades de control y monitoreo que sean confiables, bajo consumo energético, bajo costo, que funcione vía radio y de modo bidireccional, todo basado en un estándar público global que permita a cualquier fabricante crear productos que sean compatibles entre ellos (ZigBee Alliance, 2018).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar una red de sensores inalámbricos con comunicación ZigBee para el monitoreo de una estación didáctica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información de papers, documentos de proyectos existentes sobre la red de sensores inalámbricos para la selección de las características y topologías.

- Diseñar una red de sensores inalámbricas para el monitoreo de una estación didáctica utilizando el protocolo ZigBee.

- Implementar una red de sensores inalámbricas para el monitoreo de una estación didáctica.

- Crear una interfaz de usuario para el monitoreo de las variables de una estación didáctica en tiempo real.

- Analizar el funcionamiento de los nodos mediante pruebas de conectividad para la validación del sistema de producción modular implementado

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se describirá características, topologías, arquitectura y uso de la tecnología ZigBee considerados en el diseño de la red de sensores inalámbricas. Además de cómo influye en la nueva generación, evolución y revolución de la Industria 4.0, finalmente dando paso al monitoreo de la red de sensores y actuadores.

2.1. Redes Inalámbricas

Hoy en día las aplicaciones tecnológicas no solo se han desarrollado en la industria sino se ha incorporado en los hogares. Las mismas que permiten procesar, monitorear la información obtenida de las condiciones físicas o del ambiente, dando paso a una interconexión de diferentes dispositivos inalámbricamente sin la necesidad de la mediación humana. Además, esto involucra un avance en la Industria 4.0 con un enfoque en IoT donde este tipo de redes emplean sensores y actuadores autónomos e inteligentes (Castillo Gallo, 2018).

La red inalámbrica es una red configurada sin cableado donde los dispositivos son conectados mediante radiofrecuencia. Siendo en la actualidad una red muy usada por su fácil configuración y versatilidad. La tecnología inalámbrica dependiendo del tipo de red y el área al que pertenezca usa diferentes bandas de frecuencia con sus respectivos protocolos, estándares y normas para garantizar la velocidad, calidad y seguridad en los procesos. Independientemente del tipo de dispositivos o topología de diseño, estos estándares se clasifican de acuerdo con el alcance y velocidad como se observa en la Figura 2.1 (Sanmartin Salazar & Álvarez Moreira, 2018).

Figura 0.1. Diferentes tipos de tecnologías inalámbricas

	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Estándares	Bluetooth	802.11a/b/g/n	802.16 MMDS, LMDS/7	GSM, 2.5-3G HSDPA-HSUPA
Velocidad	< 24 Mbps	2 - 110+ Mbps	22+ Mbps	<14 Mbps
Alcance	Corto	Medio	Medio-largo	Largo
Aplicaciones	Peer-To-Peer Igual a Igual	Redes privadas de empresas	Fijo, el bucle de abonado final	PDA, teléfonos móviles y acceso celular

Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Mheducation, 2019)

2.1.1. Tipos de Redes Inalámbricas

Dicho lo anteriormente las redes inalámbricas se dividen en diferentes clases, dependiendo del tipo del trabajo o necesidad a cumplir, tales como:

2.1.2. WPAN (Wireless Personal Área Network)

Red Inalámbrica de Área Personal, se trata de una red con cobertura sumamente pequeña de corto alcance por lo que necesariamente su ubicación se encuentra cercana al punto de acceso, convirtiéndose en una red personal, esta red abarca varias tecnologías, tales como se especifica en la Tabla 2.1.

Tabla 0.1. Características de Tecnologías Inalámbricas WPAN

	Bluetooth	ZigBee	IrDa	DECT
Estándar	802.15.1	802.15.4	-	-
Banda	2.4 GHz	2.4 GHz, 868Mhz, 915Mhz	125 KHz, 13,56 MHz, 433-860-960 MHz. y 2,45 GHz.	1880 - 1900 MHz
Rango	10-30m	10-75m	0.1-5m	300m
Velocidad	1-3Mbps	25-250Kpbs	9600 bits-4Mbps	32Kbits
Potencia	100mW	30mW	-	100 - 250 mW
Topología Red	Ad Hoc, punto a punto	Mesh, Ad Hoc, Star	Punto a multipunto	-

Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Bibing.us.es, 2019)

2.1.3. WLAN (Wireless Local Área Network)

Red inalámbrica de área local, brinda una cobertura hasta 100 metros empleada en: el hogar, oficinas, locales, centros educativos, etc. Convirtiéndose en un método de comunicación más flexible, escalable, menos costoso y de fácil instalación. Aumentando la eficiencia y el acceso a cada dispositivo que se comunican por ondas de radio, utilizando como WIFI (Wireless-Fidelity) la tecnología más conocida y usada para este tipo de red inalámbrica sea para el hogar o empresarial (Tecnología & Informatica, 2019).

2.1.4. WMAN (Wireless Metropolitan Network)

Este tipo de redes permiten comunicación inalámbrica dentro de un área metropolitana con cobertura de kilómetros la cual da acceso a la transmisión de datos entre edificios sea dentro de un campus o la ciudad en sí, para lograr esto es por medio de ondas de radio o luz infrarroja. Para la trasmisión se usa la tecnología WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ya

que posee una velocidad alta de transferencia (20-70 Mbps) con alcance de 50 km el uso de esta tecnología es sobre todo para dar acceso a internet a lugares de difícil acceso (Cerro, 2015).

2.1.5. WWAN (Wireless Local Área Network)

También conocidas como área global o WGAM, este tipo de red permite cubrir un área geográfica relativamente grande, la transmisión de datos lo realiza usando la tecnología de red celular como WiMAX, UMTS, GPRS, EDGE, CDMA2000, GSM, CDPD, Mobitex, HSPA y 3G (Universidad Tecnológica de Perú, 2015).

2.2. WSN (Wireless Sensor Network)

Las Redes Inalámbricas de Sensores, es una red de nodos que detectan datos de manera cooperativa y pueden controlar el medio ambiente en función de diferentes condiciones, permitiendo interacción entre dispositivos informáticos, sensores y actuadores, personas y alrededores medio ambiente (Farooq, 2019).

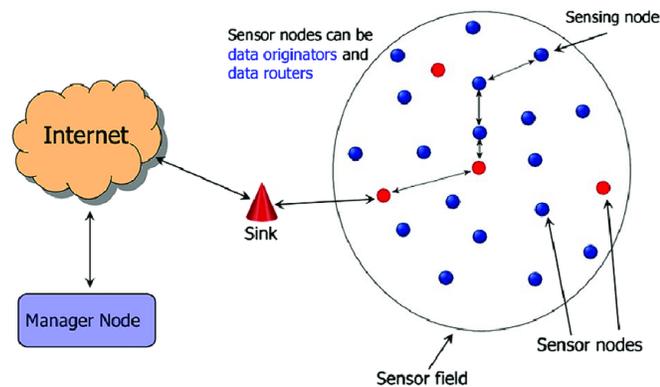
WSN son redes heterogéneas que incorporan sensores y actuadores que trabajan con distintos protocolos de comunicación enfocados principalmente en el envío y recepción de datos inalámbricos a los respectivos nodos. Cada nodo tiene un procesamiento muy bajo, limitados por la capacidad de almacenamiento y transmisión, con estas características este tipo de redes son empleado para aplicaciones comerciales y militares (Farooq, 2019).

En tal sentido, esta red trabaja sin supervisión, son redes auto configurables e inteligentes donde realizan procesos autocontrol como: agregación, diagnóstico y recuperación de la red ante fallos (Hoyo, Valencia-Palomo, Galaz Bustamante, & Sugich Miranda, 2014).

Una red WSN está formado por una cantidad ilimitada de nodos dependiendo de la aplicación y cada nodo está organizado por una serie dispositivos como se observa en la

Figura 2.2. Dentro de la red WSN los nodos pueden constituirse jerárquicamente como: nodo sensor, nodo router y un nodo coordinador. Con el propósito de intercambiar datos de procesamiento, monitoreo de ciertas variables (temperatura, lúmenes, valores de sensores y actuadores) y los estados de los dispositivos en tiempo real.

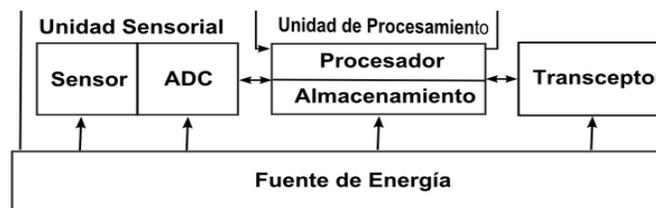
Figura 0.2. Arquitectura de una Red WSN



Fuente: (Mihoubi, Rahmoun, Lorenz, & Lasla, 2017)

El nodo de la red WSN cuenta con cuatro partes fundamentales: la unidad de detección, la unidad de procesamiento, un transceptor y una fuente de alimentación como se observa en la Figura 2.3. La unidad de detección su función principal es capturar y recolectar la información de una señal digital o análoga producida por una alteración en una condición física. La unidad de procesamiento maneja, procesa los datos y controla las tareas establecidas en si permite la comunicación entre nodos. La unidad del transceptor es la de realizar la conexión inalámbrica del dispositivo en la red por medio de la radiofrecuencia. Por último, la unidad de alimentación es mantener con energía el nodo sensor (Bravo & Belduma, 2017).

Figura 0.3. Componentes de un nodo sensor



Fuente: (Jesus, 2014)

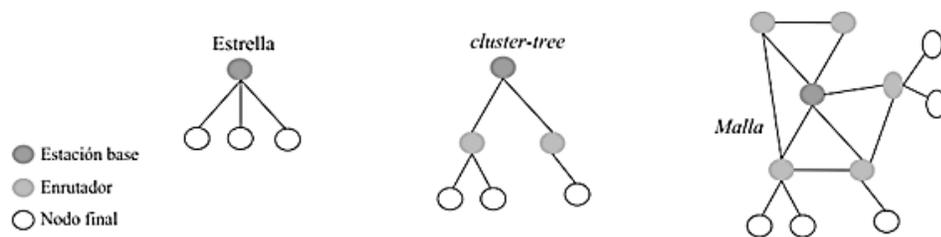
Este tipo de redes tiene como ventaja que posee un punto en la cual la información es recolectada siendo esta la puerta de enlace o nodo sumidero, esta garantiza una comunicación con cada uno de sus nodos vecinos sin importar el tipo de topología en la que se encuentre operando la red (Betancur & González, 2018).

Hoy, el empleo de WSN para el sector industrial se puede adaptar fácilmente con el uso de varios protocolos de comunicación, estándares y tecnologías (WiFi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.4)), ya que ciertas tecnologías emplean módulos de radiofrecuencia facilitando la comunicación en distintas áreas, trabajando en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) (Bejarano Gusqui, 2017; Cruz, 2017).

2.2.1. Topologías de una Red WSN

La distribución de cada uno de los nodos, el tipo de topología y arquitectura de la red depende de la aplicación y servicio a implementar. El diseño y la elección de la topología involucra la conexión física y lógica, la distancia de transmisión, tasa de datos, el consumo de energía y recuperación ante fallos, etc. Tomando en cuenta estas características, existen algunas topologías como se observa en la Figura 2.4 tales como:

Figura 0.4. Topologías de una Red WSN



Fuente: (Romero, Piña, & Goire, 2008)

- **Estrella:** Este tipo de topología es la más simple o estándar, por su configuración ya que solo posee un solo nodo coordinador quien recibe y envía los datos hacia sus nodos vecinos. Por lo tanto, todos los nodos restantes solo se comunican con el nodo coordinador de manera directa, manteniendo el consumo de energía bajo, posibilidad de fallo completo al mínimo por el

motivo que un error en un nodo no afecta a toda la red con el inconveniente que se pierda información por la misma causa (Romero, Piña, & Goire, 2008).

- **Malla:** Es una técnica de multitrayecto lo que implica que cada nodo se comunica entre sí, de esta manera los datos se transfieren por varios caminos, con esto se reduce la posibilidad de que exista algún tipo de problema. En el caso de que falle algún nodo, este se autoconfigurará para encontrar otro camino alternativo y llegar al destino. Con esto también involucra el aumento en el consumo de energía por el hecho que cada nodo se convierte en nodo enrutador y realiza el proceso de enrutamiento en caso de fallos, además aumenta la latencia al tener que realizar más saltos al transmitir los datos (Bravo & Belduma, 2017).
- **Cluster-tree:** Es la combinación de las otras dos topologías mencionadas anteriormente, es ideal cuando la construcción de los nodos involucra su propia fuente de alimentación. De esta manera la construcción de esta topología se realiza por clusters. Es decir, se realiza grupos de N nodos con su respectivo enrutador y esta forma un cluster, mientras que los enrutadores de cada grupo se comunican entre sí y con el nodo coordinador. Así mismo el consumo de energía varía solo en los nodos enrutadores, mientras que en el cluster el consumo es bajo. Así la tolerancia a fallos es intermedia, con esto se cubre un área más amplia (Romero, Piña, & Goire, 2008).

2.2.2. Ventajas y Desventajas de las Topologías WSN

En la Tabla 2.2 se determina las ventajas y desventajas que presenta cada topología mencionada, con el propósito de mejorar el criterio al momento de crear y diseñar una red WSN.

Tabla 0.2. Ventajas y Desventajas de las Topologías en una Red WSN

Topología	Estrella	Malla	Cluster-tree
Ventajas / Desventajas	Fácil instalación y agregación de equipos.	Comunicación descentralizada, sistema de múltiples saltos.	Mayor escalabilidad.
	Facilidad en detección de fallos.	Mínima posibilidad en la interrupción en la comunicación.	Combina todas las ventajas de las topologías descritas.
	Fallo en el nodo central, la red deja de funcionar.	Al fallar un nodo, este no afecta la comunicación a los demás nodos existentes.	La fiabilidad es menor a causa del procesamiento que realiza para enrutar.
	Sistema centralizado, un solo salto.	Mayor fiabilidad, con mayor consumo de energía.	Optimización del consumo de energía.
	Alto costo en la implementación de la red.	Alto costo en recursos al momento de implementar la red.	Sistema descentralizado.
	Mayor fiabilidad, menor escalabilidad.	La latencia de la red aumenta.	

Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Saigua & Villafuerte, 2013).

2.3. ZigBee

La compañía ZigBee Alliance genera estándares, protocolos para dispositivos inalámbricos de baja potencia, baja velocidad de transmisión, menor costo y mínimo consumo de energía. Lo que implica que estos dispositivos son mayormente usados en el campo de casas inteligentes, sistemas de automatización, medicina, etc. Siendo ideal para una red WPAN bajo el estándar IEEE 802.15.4 con el propósito de reemplazar y dar soluciones a los sensores y actuadores convencionales dando paso a la industria 4.0. Este

estándar incluye una transferencia de datos segura, bajo costo, menor consumo de potencia, fiable, confiable y dispositivos pequeños al momento de satisfacer las necesidades de los clientes (Edgar, 2012).

La tecnología ZigBee está inspirada en el comportamiento del panal de abejas por su colaboración y trabajo en equipo con el objetivo de realizar tareas más complejas, con esto se complementa algunas de las características de este estándar que son (Carrasco, 2019):

- Área de comunicación entre 10-70 metros
- Velocidad de transferencia 40-250 kbps
- Banda de trabajo 2.4 – 2.483 GHz
- Direccionamiento de 16-64 bits
- Latencia <15ms
- Puede formar una red de hasta 255 nodos
- Escalabilidad en la red
- Trabaja en la banda ISM (bandas de radio industriales, científicas y médicas)

Al trabajar con el estándar 802.15.4 este concreta con las capas PHY (Física) y MAC (Control de acceso al medio), frecuencia, ancho de banda y técnicas de modulación, convirtiéndose en un estándar de comunicación de alto nivel en las redes inalámbricas en las cuales involucra el manejo del radio digital de poco consumo y dispositivos que manipulan en el rango de (868-915-2.4) GHz (Carrasco, 2019).

Figura 0.5. Aplicaciones de ZigBee

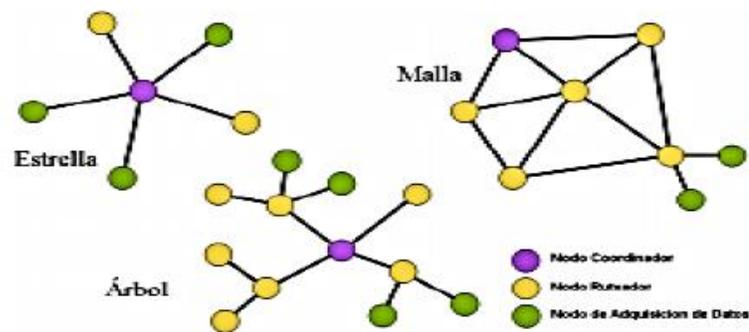


Fuente: (Lawson, 2014)

2.3.1. Topologías de una red ZigBee

En una red ZigBee puede estar formada de 255 nodos conectados, donde algunos dispositivos se encuentran en modo sleep, cuyo propósito es de reducir el consumo de energía. Las configuraciones más usadas son: estrella, malla y cluster-tree como se indica en la Figura 2.6, las cuales permiten una comunicación de un solo y múltiples saltos, entre sí. Una red de malla se la usa con un propósito general, de bajo costo y autoorganizada.

Figura 0.6. Topologías que soporta una red ZigBee



Fuente: (Sanmartin Salazar & Álvarez Moreira, 2018)

2.3.2. Dispositivos ZigBee

En una red Zigbee, existen tres tipos de elementos que se clasifica de acuerdo con su función:

a) **Coordinador (ZC):** Es el encargado de configurar, administrar, dirigir y mantener la comunicación de la red. Entre sus características están (Carrasco, 2019):

- Inicializar la red con los parámetros con los parámetros básicos (canal-PAN ID).
- Almacenar la información de la red
- No entra en modo sleep, por ser el centro de distribución
- Controla y distribuye la comunicación de la red

- Existe solo un coordinador por red
- b) Router (ZR):** Se encarga de enlazar los dispositivos separados, envía, recibe información de rutas, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario. Sus características son (Carrasco, 2019):
- Antes de enviar y repetir información debe unirse a una red WPAN.
 - Puede permitir que se agreguen más dispositivos.
 - Almacena información de dispositivos que se encuentre en modo sleep.
 - Puede ser padre e hijo al mismo tiempo.
- c) Dispositivo Final (ZED):** Estos dispositivos solo pueden unirse, enviar y recibir información del router o el coordinador. Entre algunas características tenemos (Carrasco, 2019):
- Debe unirse a una red WPAN
 - Solo puede comunicarse con el coordinador o router para el envío y recepción de información.
 - La mayor parte del tiempo se lo configura en modo sleep para ahorrar energía.
 - No permite que otros dispositivos se conecten a la red.
 - No almacena información de dispositivos en modo reposo.
 - Dispositivos de baja potencia.
 - En caso de que el padre se desconecte, este intentara la reconexión con otro padre.
 - Puede entrar en modo sleep bajo las siguientes condiciones:
 - a) Pin digital
 - b) Períodos de tiempo establecidos

2.3.3. Funcionalidad de Operación Tecnología ZigBee

De acuerdo con su modo de operación, los dispositivos pueden funcionar de dos maneras, que son:

- a) **Dispositivo de Funcionalidad Completa (FFD):** Conocido también como nodo activo. Este opera tanto de Coordinador, Router o Dispositivo final de la red, debido a la memoria adicional que posee y sobre todo a su capacidad de procesamiento (Huasco Macancela & Yacelga Araque, 2015).

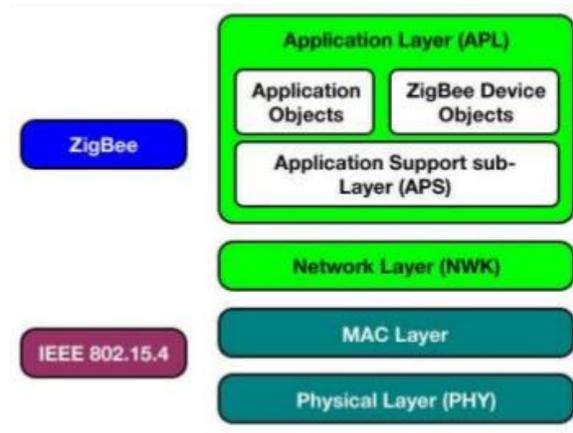
- b) **Dispositivo de Funcionalidad Reducida (RFD):** Conocido también como nodo pasivo. A diferencia del otro modo de operación este tiene capacidades limitadas por su poca memoria, costo y simplicidad de funcionamiento. A este tipo de dispositivos se los implementa para sensores y actuadores de la red por las características de bajo consumo de energía y acciones simples (Huasco Macancela & Yacelga Araque, 2015).

Por lo tanto, un dispositivo FFD puede comunicarse con dispositivos de su mismo funcionamiento con otro FFD o a su vez con RFD, mientras que los RFD solo puede establecer una comunicación con un FFD por su simplicidad en la red ya que no necesita realizar ningún procesamiento (Arpi Coellar & Urgilés Fernandez, 2015).

2.4. Arquitectura ZigBee

ZigBee se basa en varios protocolos de comunicación permitiendo un acceso simple, escalable y fácil. La pila de protocolos de Zigbee está conformada por 4 capas como se indica la Figura 2.7 que define la capa de red, aplicación y seguridad, mientras que en el estándar IEEE 802.15.4 usa las capas PHY y MAC, estas capas la detallaremos a continuación en la Tabla 2.3.

Figura 0.7. Capas ZigBee/ 802.15.4



Fuente: (Bandara, 2014)

Tabla 0.3. Descripción de la Pila ZigBee

Capa ZigBee	Descripción
PHY	Esta capa corresponde al protocolo IEEE 802.15.4, por encontrarse en el nivel más bajo este tiene relación con las funciones del Hardware, lo que esto implica el control, potencia del transceptor, y sensibilidad del receptor. Además de establecer un canal de comunicación de la ISM a la que trabaja (16 canales, 2.4 GHz con ancho de banda de 5 MHz)
MAC	Esta capa está relacionada con la capa física y la de red, la cual nos permite la asociación, disociación de los dispositivos, verificación de entrega de tramas, direccionamiento y es el encargado del ensamblaje y desensamblaje de la trama transmitida. Esta capa tiene el control del acceso al medio, es decir que entre sus funciones es de transmitir, validar, comprobación de errores y confirmación en la recepción de tramas. Entre las tramas pueden ser: Datos, ACK, MAC, Baliza.
NWK	Esta permite la relación entre la capa de MAC y la APL, permitiendo la entrega del paquete al destinatario final, es lo consigue por medio del routing. Es decir: inicia la red, permite

	<p>unirse o separarse a la red, enruta paquetes direccionados a otros nodos, implementa seguridad al filtrar los paquetes (recibidos, cifrarlos y autentificarlos) y por último garantiza que el paquete sea entregado a su destino final.</p>
<p>APL</p>	<p>Es la capa superior y ultima de esta arquitectura, es donde se enfoca en la interacción y facilita el envío de datos en la red. Aquí se encuentra los objetos de la aplicación, la cual define el rol del dispositivo en la red, además asegura la interoperabilidad de dispositivos de varios fabricantes.</p> <p>ZigBee Alliance define la capa de red y de soporte de aplicación con el propósito de garantizar la comunicación entre dispositivos sin importar el fabricante bajo un mismo protocolo. Entre algunos perfiles están:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automatización de edificios y hogares - Salud - Control Industrial - Control de pequeños edificios y oficinas - Pc y periféricos - Electrodomésticos y otros

Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Huasco Macancela & Yacelga Araque, 2015)

2.5. Seguridad ZigBee

2.5.1. Seguridad

Un aspecto importante en el diseño de redes inalámbricas es el tema de la seguridad tanto al envío como recepción de datos, independiente de la aplicación que se esté enfocada. Un punto importante que ZigBee ha desarrollado es la seguridad, esto involucra ciertas características para garantizar una buena interoperabilidad, conexión entre los dispositivos, entre estas están: (Huasco Macancela & Yacelga Araque, 2015):

- Control de acceso a los dispositivos por medio de autenticación.
- Criptografía de clave simétrica para proteger la integridad de la trama.
- Comprobación de integridad (MIC).

2.5.2. Criptografía de claves simétricas

En la arquitectura, ZigBee elabora un protocolo de gestión de claves la cual depende del parámetro o rol que desempeñe, puede ser: Clave maestra (Master Key), Clave de enlace (Link Key) y Clave de red (Network key) (INCIBE, 2016).

2.6. Plataforma Servidor Web

Actualmente, con el auge en dispositivos inalámbricos para procesos automatizados sea industrial, domésticos, médicos se necesita que todos estos datos recolectados no solo se queden sin procesar, por lo tanto, se crea plataformas que avanzan a la par con una interfaz agradable y óptima para el usuario. Es decir, que sea seguro, en tiempo real, base de datos, exista un control y monitoreo del proceso, además de tener acceso de diferentes puntos o lugares (Quiñones, González, Torres, & Jumbo, 2017).

Este tipo de plataformas trabaja con varios protocolos importantes y siendo los más usados: HTTP (Hypertext Transfer Protocol) y MQTT (Message Queue Telemetry Transport), TCP, UDP. Bajo esto parámetros, se decidió el uso de la plataforma Ubidots (Quiñones, González, Torres, & Jumbo, 2017).

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y DESARROLLO

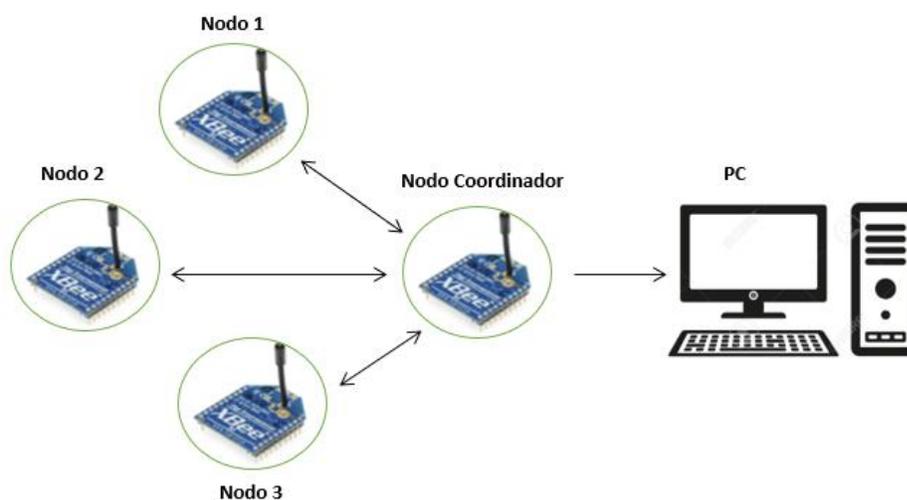
En este capítulo se detallará el procedimiento a la realización del proyecto tomando en cuenta los conceptos primordiales tratada en la sección anterior.

Se especificará la arquitectura de la red diseñada, configuración de los nodos, manejo de la plataforma y por último el funcionamiento con sus respectivos anexos.

3.1. Diseño de la Red ZigBee

El diseño propuesto de la red WSN está enfocado a la simulación y familiarización de la tecnología ZigBee en un entorno domótico (acceso de control, temperatura y lúmenes de la habitación), de esta manera está formado por cuatro nodos XBee S2: un nodo coordinador y tres nodos sensores. En la Figura 3.1 se observa la topología física de la red WSN donde cada nodo sensor se conecta al nodo coordinador a una frecuencia de 2.4GHz y este a su vez se conecta a la Raspberry para la recopilación y visualización de la información a través de plataforma Ubidots (Cruz, 2017).

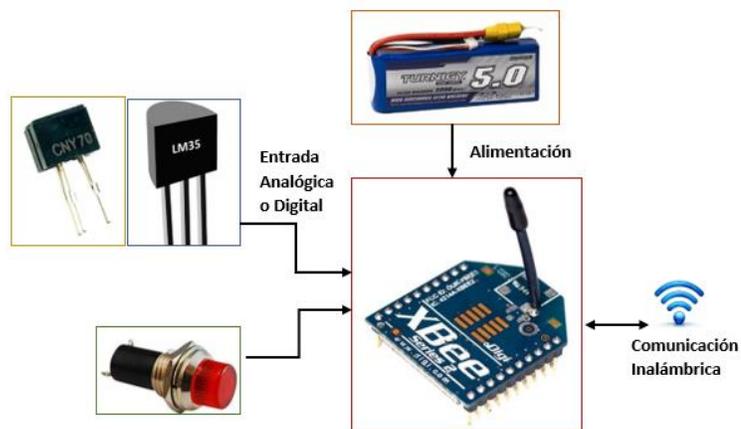
Figura 0.1. Estructura de la red ZigBee



Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Cruz, 2017)

El nodo sensor está conformado por tres etapas como se observa en la Figura 3.2: la fuente de energía con un regulador Ams1117 para alimentación del nodo XBee S2, entradas digitales y analógicas formadas por un sensor de temperatura (LM35), un sensor infrarrojo (FC-51), sensor de luz (LDR), sensor touch capacitivo cuyos valores son enviados al nodo coordinador para ser recolectados en el servidor. A más de indicadores luminosos y motores que simulan el entorno de una habitación (ventiladores, control de acceso entre otros), estos funcionan como elementos de retorno en la WSN (Bravo & Belduma, 2017).

Figura 0.2. Estructura de Nodo Sensor



Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Bravo & Belduma, 2017)

De esta manera los nodos sensores con sus respectivos actuadores están constituidos y operando de la siguiente manera:

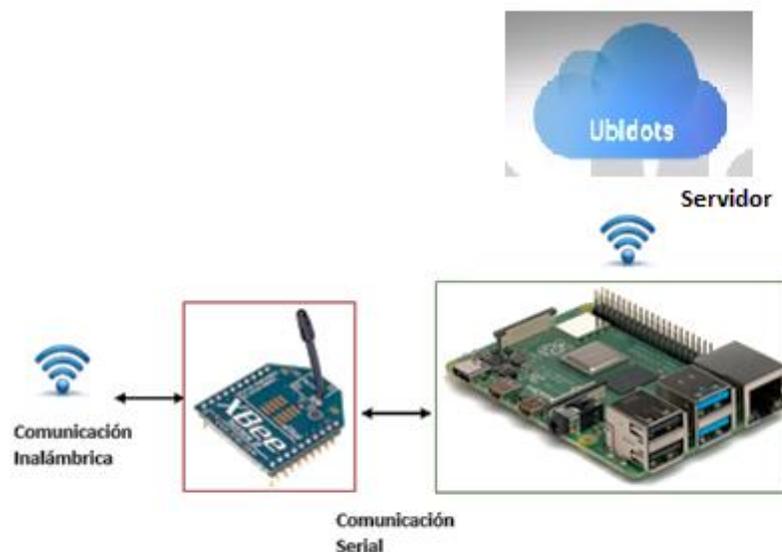
- **Nodo 1:** El sensor LM35 mide la temperatura del ambiente y de ser superior a 20°C enciende el ventilador con su respectivo indicador luminoso conectado en el Nodo2,
- **Nodo 2:** El pulsador enciende o apaga el motor ubicado en el nodo 1. Se tiene un sensor de presencia ubicado en el nodo1, el cual actúa como elemento de seguridad para detener el motor y encender un aviso de peligro (indicador luminoso) ubicado en el nodo 1. Y por último se tiene un sensor

de Luz para medir la cantidad de lúmenes encontrada en el ambiente con su respectivo indicador luminoso.

- **Nodo 3:** Se tiene un sensor touch capacitivo simulando un control de acceso con su respectivo indicador luminoso.

En el nodo coordinador, para recibir los datos procedentes de cada nodo sensor se emplea un módulo central XBee S2. Estos datos son enviados a la Raspberry Pi 3B+ para ser procesados y visualizados por medio de la plataforma Ubidots cuyo propósito es monitorizar el entorno, mantener un registro de cada uno de los elementos de la red en un entorno agradable para el usuario. En la Figura 3.3 se detalla el diagrama de bloques del nodo coordinador, la conexión entre el nodo coordinador y la Raspberry Pi 3B+ se llevó a cabo mediante comunicación serial y para la conexión entre los nodos a través de radiofrecuencia (Bravo & Belduma, 2017).

Figura 0.3. Estructura de Nodo Coordinador



Elaborado por: Jonathan Arguero.

3.2. Selección de Componentes y/o Dispositivos

3.2.1. Módulo XBee S2

Figura 0.4. Módulo XBee Serie2



Fuente: (Xbee.cl, 2019)

La Figura 3.4 se presenta el módulo XBee Serie 2. Estos dispositivos trabajan a 2.4GHz en la banda ISM bajo el protocolo de comunicación inalámbrica ZigBee, brindando mejor seguridad en la transferencia de datos y bajo consumo de energía. Posee dos modos de funcionamiento: transparente o comandos API (Appication Programming Interface). El módulo XBee perteneciente a la serie 2 permite crear redes mesh o redes simples entre dispositivos, sea punto a punto o multipunto, siendo módulos totalmente configurables desde su firmware, dando cierta ventaja de los módulos de la serie 1 que necesitan ser configurados antes de ser usados. Por otro lado, los módulos de la serie 2 no son compatibles con los de la serie 1. En la Tabla 3.1 se detalla las especificaciones técnicas (Xbee.cl, 2019).

Tabla 0.1. Especificaciones técnicas del Módulo XBee Serie2

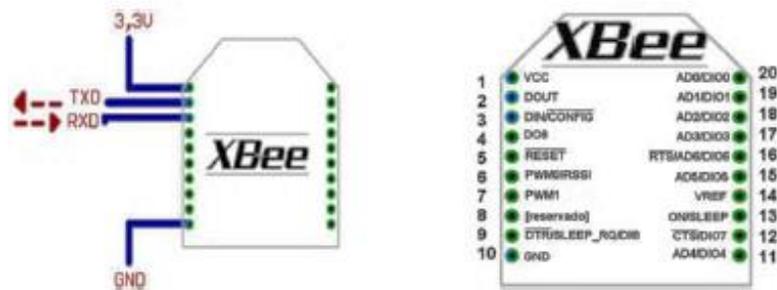
Especificaciones	XBee Serie2
Rendimiento	
Interior / Rango Urbano	Hasta 133 ft/140m
Rango de línea de visión de RF al aire libre	Hasta 400ft/120m
Potencia de transmisión de salida	2mW (+3dBm)
Velocidad de datos RF	250.000 b/s
Velocidad de datos en interfaz serial	1200b/s – 1Mb/s
Rendimiento de datos	Hasta 35000 b/s
Sensibilidad del receptor	-96 dBm
Requerimiento de Energía	
Tensión de alimentación	2.1 – 3.6V
Corriente de operación (transmisión)	35 – 40mA
Corriente de operación (recibida)	38 – 40mA
Idle/Corriente recibida	15mA
General	
Frecuencia de operación	ISM 2.4Ghz
Dimensiones	0.960”x 1.087” (2.438 x 2.761) cm
Temperatura de operación	-40 a 85°C (Industrial)
Opciones de antena	Antena de látigo integrada, antena de PCB integrada, RPSMA o conector U.FL
I/O Digitales	3.3V CMOS UART (no tolera 5V), DIO, ADC
Redes y Seguridad	
Topologías de red compatible	Punto a punto, punto a multipunto, mesh y peer to peer
Número de canales (Seleccionable por software)	16 canales con secuencia directa (11-26)

Opciones de direccionamiento	ID de PAN y direcciones, ID de clúster y puntos finales (opcional)
------------------------------	--

Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Bravo & Belduma, 2017)

En la Figura 3.5 se detalla la configuración y distribución de los pines del módulo XBee Serie 2.

Figura 0.5. Descripción de los pines del módulo XBee Serie2

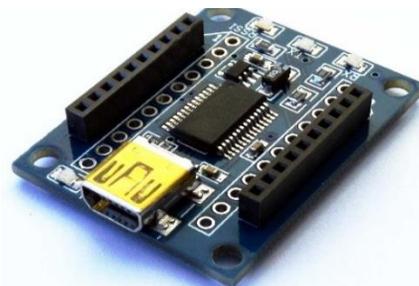


Fuente: (Huasco Macancela & Yacelga Araque, 2015)

3.2.2. Módulo XBee Explorador USB

Para la configuración de los diferentes modos de los módulos XBee (sensor, coordinador) se emplea el módulo XBee Explorador USB a través del software XCTU. Este módulo es compatible para cualquier tipo de módulo XBee de la serie 1 o 2. (Huasco Macancela & Yacelga Araque, 2015). La Figura 3.6 se observa el adaptador del módulo XBee Explorador USB a la PC para la configuración de los módulos XBee.

Figura 0.6. Adaptador XBee Usb



Fuente: (XBee.cl, 2019)

3.2.3. Raspberry Pi 3B+

La Raspberry Pi 3B+ es de tercera generación por lo que tiene mayor procesamiento convirtiéndose en un potente desarrollador de aplicaciones, gracias a su sistema operativo Linux con Raspbian. Este trabaja bajo el lenguaje de programación Python, lo cual resulta simple al momento de ejecutar, crear y desarrollar aplicaciones por su gran rendimiento, portabilidad, costo, conexión entre otros (Bravo & Belduma, 2017). En la Figura 3.7 se observa a esta computadora de placa con conectividad inalámbrica, serial y de bajo costo, ideal para la realizar proyectos como servidores web, IoT, programación de Robots, entre otros.

Figura 0.7. Placa Raspberry Pi 3B+

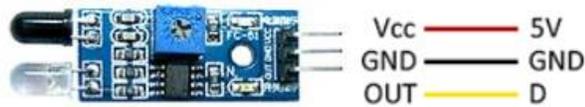


Fuente: (Bravo & Belduma, 2017)

3.2.4. Sensor Infrarrojo FC-51

Sensor infrarrojo o detector de obstáculos, detecta la presencia de obstáculos u objetos en su camino, por medio de luz no visible ante el ojo humano. Como resultado arroja un dato digital que puede ser procesado como se determina en la Figura 3.8, el pin de salida del dato nominado por la letra d (tercer pin). Las características técnicas se indica en la Tabla 3.2 (Yépez Peñaherrera, 2018):

Figura 0.8. Módulo sensor infrarrojo FC-51



Fuente: (Yépez Peñaherrera, 2018)

Tabla 0.2. Características técnicas del sensor infrarrojo FC-51

Información técnica	
Ángulo de cobertura	35°
Voltaje	3.0 - 6.0V
Rango de detección	2 – 30 cm (ajustable por el potenciómetro)
Consumo de energía	3.3 V: 23mA
	5.0V: 43mA
Tipo de respuesta	Digital

Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Yépez Peñaherrera, 2018)

3.2.5. Sensor de Luz (LDR)

También conocido como foto resistencia, cuyo principal funcionamiento es captar la luz en la variación de su resistencia, siendo inversamente proporcional a la cantidad de luz que recibe. En otras palabras, a mayor intensidad de luz su resistencia disminuye (Ramírez Bello & Mendoza Martínez, 2016). En el prototipo se emplea para medir la intensidad de la luz de la habitación de tal manera se puede decidir qué acciones oportunas se va a realizar en función de los umbrales de luz u oscuridad.

De esta manera, el sensor LDR por su tecnología sencilla, fácil instalación y de bajo presupuesto resulta precisa en la implementación de proyectos viables que involucre variación de luz como (seguridad, alumbrado, autos).

En la Tabla 3.3 se detallan las características técnicas del sensor de luz que se empleó en el prototipo de la modulo didáctico de IoT.

Tabla 0.3. Características técnicas del sensor de luz LDR

Información técnica	
Voltaje	600V
Tiempo de respuesta	1seg
Disipación máxima	50mW-1W
Valores de resistencia	Oscuridad: 1M ohm
	Luz Brillante: 100 ohm
Tipo de respuesta	Espectral

Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Ramírez Bello & Mendoza Martínez, 2016)

3.2.6. Sensor de Temperatura (LM35)

El sensor analógico LM35 obtiene la temperatura del ambiente siendo este valor proporcional entre el voltaje y la temperatura obtenida. Transformando el valor de temperatura a una señal eléctrica. Siendo el sensor más común que existe en el mercado, de bajo precio y adaptable con cualquier tipo de controlador y de bajo consumo de corriente, este sensor se suele utilizar en la realización de proyectos como: (climatización, seguridad). En la Tabla 3.4 se indica las características técnicas (Ruiz Sanchez, 2016):

Tabla 0.4. Características técnicas del sensor de temperatura LM35

Información técnica	
Voltaje	4 – 30 V
Resolución	10mV por cada grado centígrado
Precisión	3/4 °C
Rango	-55°C: -550mV
	150°C: 1500mV

Corriente de alimentación	60 uA
Tipo de respuesta	Analógica

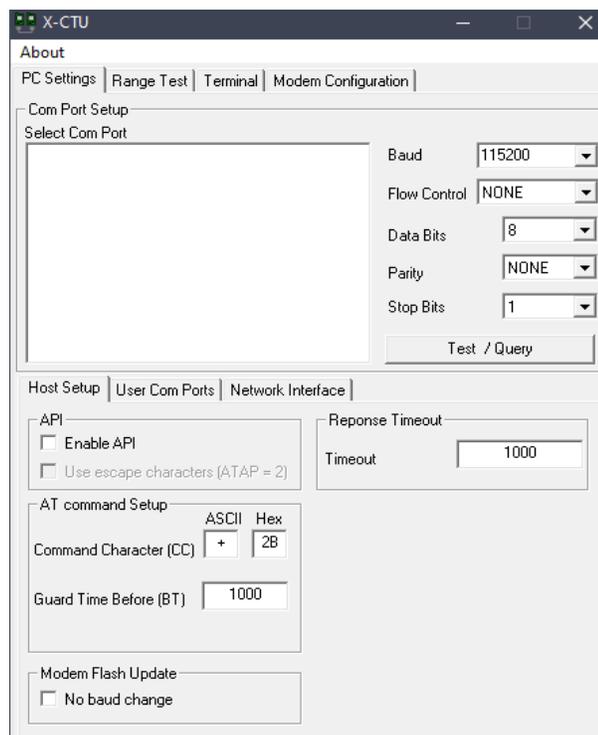
Elaborado por: Jonathan Arguero. Fuente: (Ruiz Sanchez, 2016)

3.3. Configuración de Dispositivos

Para la configuración de los respectivos módulos XBee Serie2, se utilizó el software X-CTU de la compañía Digi, este permite el acceso a los módulos. Para ello se sigue los siguientes pasos (Bravo & Belduma, 2017).

- Instalar el Software X-CTU, como se observar en la Figura 3.9.
- Conectar el módulo XBee al XBee Explorer Usb.
- Conectar el XBee Explorer Usb a la Pc por medio del puerto USB, permitiendo la configuración del dispositivo XBee.
- Verificar la conexión por medio del botón Test/Query, que da como resultado la MAC del módulo.

Figura 0.9. Interfaz del Software X-CTU



Fuente: (Digi.com, 2019)

3.3.1. Módulos XBee Coordinador y/o Dispositivo Final/Router

Para la configuración del modo de operación del módulo XBee como coordinador, se toma en cuenta el parámetro Baud del puerto de la PC del módulo XBee. El valor por defecto de fábrica el parámetro es (Baud=9600).

Una vez verificado la conexión entre la PC y el módulo, se configura como coordinador o router. Como siguiente paso, se procede a la instalación del firmware (XB24-ZB), luego la función a cumplir del dispositivo (ZigBee Coordinador API o Router At). Con esto se accede a los parámetros a configurar con el fin de la creación de la red ZigBee. A continuación, se describe los parámetros configurables en los módulos XBee Serie2: (Arpi Coellar & Urgilés Fernandez, 2015)

- a) **PAN ID:** Identificar la red de área personal la cual su rango va desde 0-0xFFFF. Este indicador debe ser igual para todos los dispositivos que vayan a formar la red.
- b) **SH/SL:** Corresponde a la dirección de destino de 64 bits separados en dos partes de 32 bits. Los primeros 32 bits corresponde a un valor único asignado por el fabricante a módulos RF, mientras que los siguientes 32 bits pertenece a un valor único para cada módulo XBee.
- c) **DH/DL:** Son los 64 bits de la dirección de destino formada por 32 bits cada una. En conjunto estos dos parámetros es usada para la transmisión de datos. Una de las maneras más seguras es hacer broadcast, es decir, mandar el mismo dato a todos los nodos de la red. Para establecer un broadcast, la dirección de destino del coordinador debe ser 0x0000FFFF, mientras que el router deber ser 0X00000000.
- d) **BD:** Establece los posibles valores seleccionables de velocidad de transmisión del módulo XBee.

- e) **IR:** Establece o lee la frecuencia de muestreo de E / S, el dispositivo muestrea y transmite todas las entradas analógicas y de E / S digitales habilitadas cada milisegundo.
- f) **JV:** Activa la verificación del canal. Este es parámetro es solo configurable con la función de router o dispositivo final, cuando JV=1, este verifica que el coordinador está en su canal operativo. Si no se detecta un coordinador, el dispositivo final o router deja su canal actual e intenta unirse a un nuevo PAN ID. Si JV=0, el enrutador o dispositivo final continúa operando en su canal actual.
- g) **SP:** Establece el período de tiempo que un módulo XBee permanece dormido. Esta configuración solo es ajustable si está activo el modo dormido (4 o 5).
- h) **ST:** Determina el período de inactividad del módulo XBee (durante el cual no se envían ni reciben datos) antes de volver al sueño cíclico. Si el XBee está enviando o recibiendo un mensaje, no ingresa al modo sleep. Esta configuración solo es ajustable si está activo el modo sleep (4 o 5).
- i) **SM:** Activar el modo sleep o dormido, es decir el consumo y ahorro de energía del módulo XBee (Vera Romero, Barbosa Jaimes, & Pabón González, 2015).

La Tabla 3.5 se muestra la configuración de cada módulo XBee con su respectivo parámetro.

Tabla 0.5. Configuración de parámetros en los módulos XBee serie2

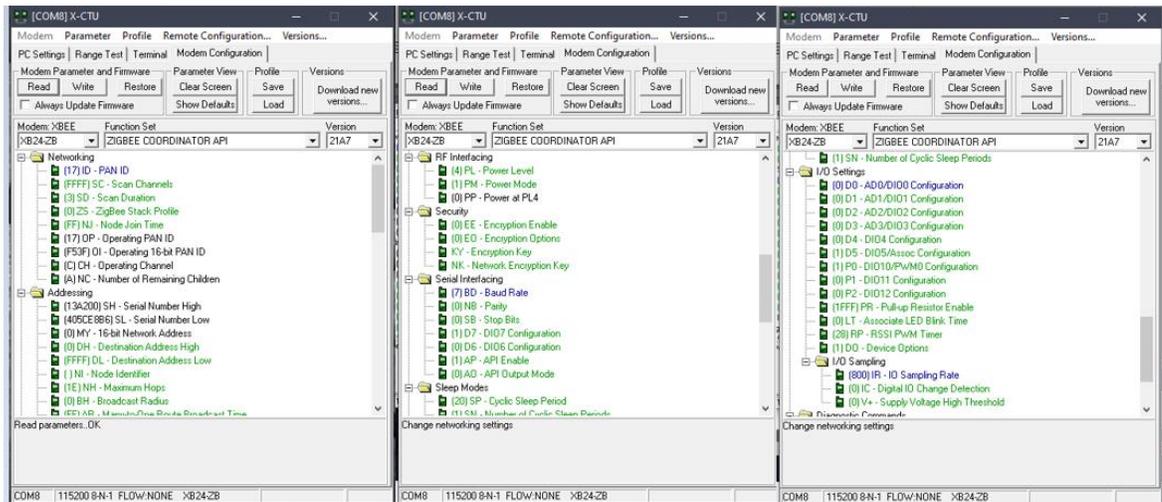
Descripción	Parámetro	Coordinador	Nodo1	Nodo2	Nodo3
-------------	-----------	-------------	-------	-------	-------

Identificador de Red	PAN ID	17	17	17	17
Verificación de Canal	JV	-	1	1	1
Dirección de Destino	DH	0	0	0	0
Dirección de Destino	DL	FFFF	0	0	0
Velocidad de Transmisión	BD	7(115200bps)	7(115200bps)	7(115200bps)	7(115200bps)
Modo Dormido	SM	-	4(Ciclic Sleep)	4(Ciclic Sleep)	4(Ciclic Sleep)
Frecuencia de Muestreo	IR	800	1000	1000	1000
Periodo Cíclico Dormido	Sp	20	1F4	1F4	1F4
Tiempo antes de Dormir	St	-	157C	157C	157C
I/O Digitales - ADC	DIO-ADC	-	DIO-5 (IN) ADC-3 DIO-4 (OUT)	DIO-3 (IN) DIO-4 (OUT) ADC-0	DIO-1(IN) DIO-4(OUT)

Elaborado por: Jonathan Arguero

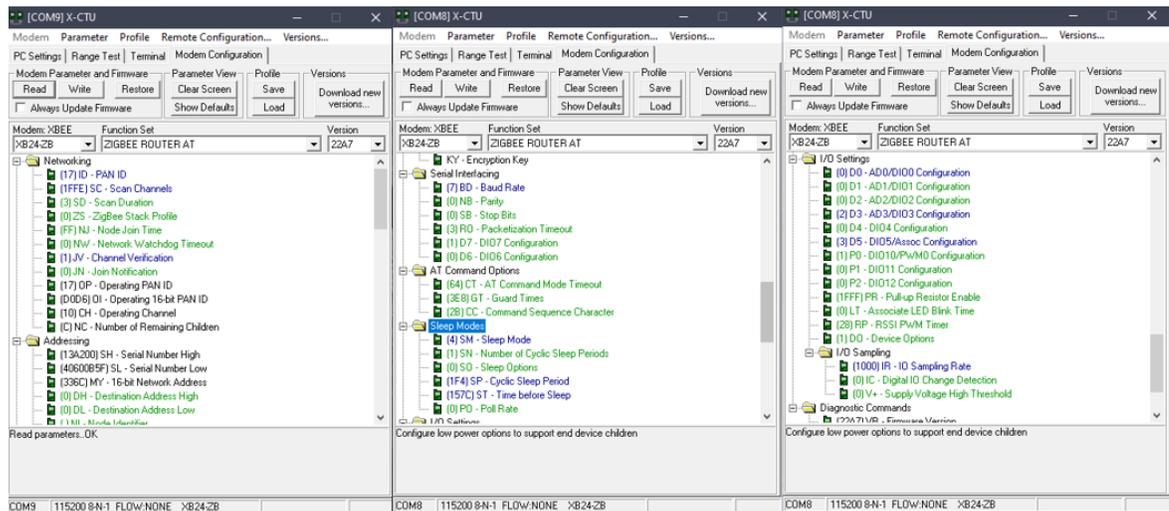
En las Figuras 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13 se muestran las configuraciones por medio del software X-CTU de los módulos XBee coordinador y modo sensor:

Figura 0.10. Configuración del módulo XBee, modo coordinador



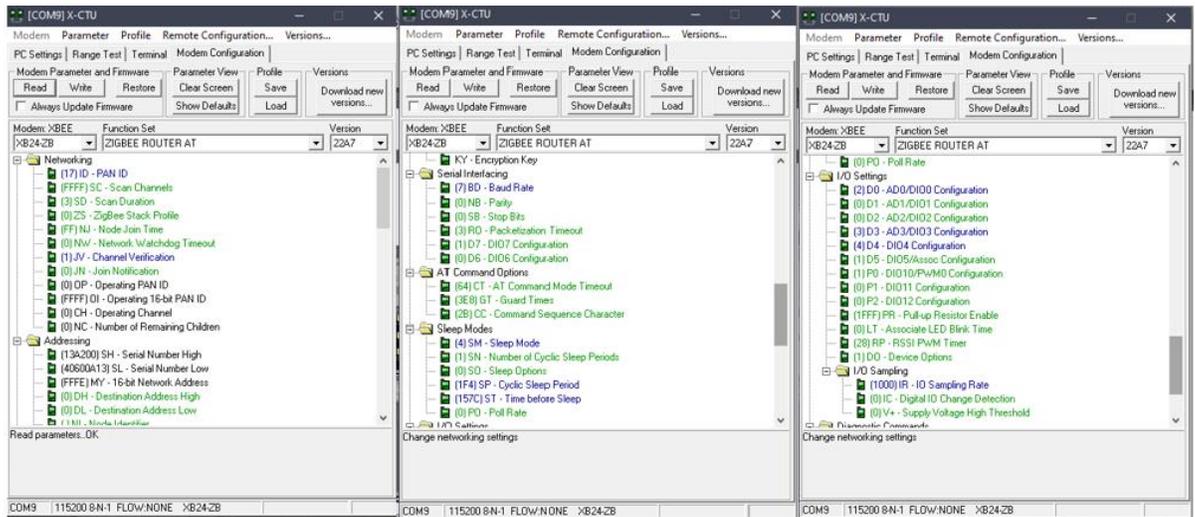
Elaborado por: Jonathan Arguero

Figura 0.11. Configuración del módulo XBee, modo nodo1



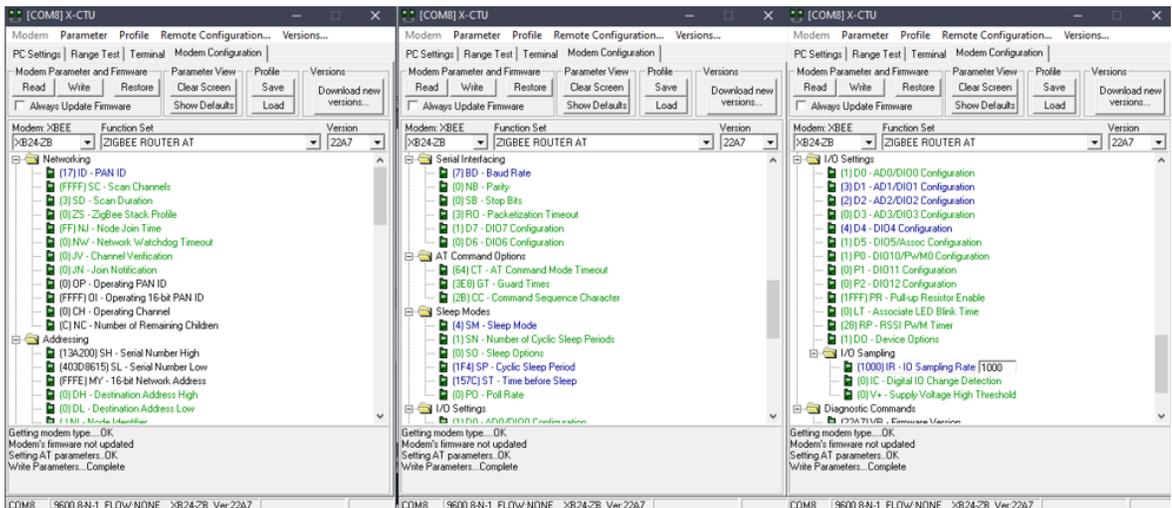
Elaborado por: Jonathan Arguero

Figura 0.12. Configuración del módulo XBee, modo nodo2



Elaborado por: Jonathan Arguero

Figura 0.13. Configuración del módulo XBee, modo nodo3



Elaborado por: Jonathan Arguero

3.3.2. Raspberry Pi 3B+

Al considerarse un miniordenador potente el cual funciona bajo el sistema operativo Linux. Se detalla a continuación la configuración del sistema operativo.

- a) Instalación y configuración del sistema operativo de la Raspberry Pi 3B+ (Raspbian).
- b) Instalación de paquetes adicionales: XBee y Ubidots para el manejo de los módulos y del servidor/plataforma web. Como se observa en la Figura 3.14, 3.15.

Figura 0.14. Proceso de instalación del paquete XBee en Raspberry



The image shows a screenshot of the XBee installation instructions. It is divided into three sections: 'Installation', 'Install from Source', and 'Install with Tornado Support'. Each section contains a terminal command to run. The 'Installation' section shows the command `pip install xbee`. The 'Install from Source' section includes instructions to extract source code and run `python setup.py install`. The 'Install with Tornado Support' section shows the command `pip install xbee[tornado]`.

Fuente: (Pypi.org, 2019)

Figura 0.15. Proceso de instalación del paquete Ubidots en Raspberry



The image shows a screenshot of the Ubidots installation instructions. It is titled 'Installing the Python library'. It states that Ubidots for python is available in PyPI and can be installed from the command line. It provides the command `$ pip install ubidots==1.6.6`. It also includes a note to use `sudo` if necessary and provides the command `$ sudo easy_install pip` for Linux and Mac. For Debian-based distributions, it provides the command `$ sudo apt-get install python-setuptools`. Finally, it mentions that for Microsoft Windows, pip can be installed from a link.

Fuente: (Pypi.org, 2019)

3.4. Ubidots

Es una plataforma especialmente enfocada a IoT, creando una interfaz agradable y sobre todo personalizada por el cliente, por ello la elección de dicho servidor es por comprobar y probar la interfaz donde es un entorno que permite: monitoreo de variables (sensores y actuadores), base de datos y entre otras que la caracterizan

por ser una de las mejores plataformas del mercado (Manotas Campos & Martinez Marin, 2018).

Entre sus ventajas está la creación de cuadros o Dashboard bajo el criterio del usuario con el propósito del monitoreo o control de sus dispositivos. Siendo así, una plataforma completa y sencilla esta es ideal ya que se adapta al proyecto ya que trabaja en los protocolos antes mencionado, además que resulta perfecto por sus ventajas (un programa de gestión del proceso como: alarmas, permisos y restricción de acceso, almacenamiento en la nube, control de datos visualizados por fechas, entre otras muchas opciones que facilita al usuario en generar informes (Manotas Campos & Martinez Marin, 2018). Para la creación de la plataforma es necesario algunos puntos:

- Creación una cuenta gratuita o pagada en Ubidots.com
- Configuración de Dispositivos, variables y Dashboards.
- Asignación de credenciales de Api e ID, el cual nos da acceso a la plataforma y a las variables creadas en la plataforma.

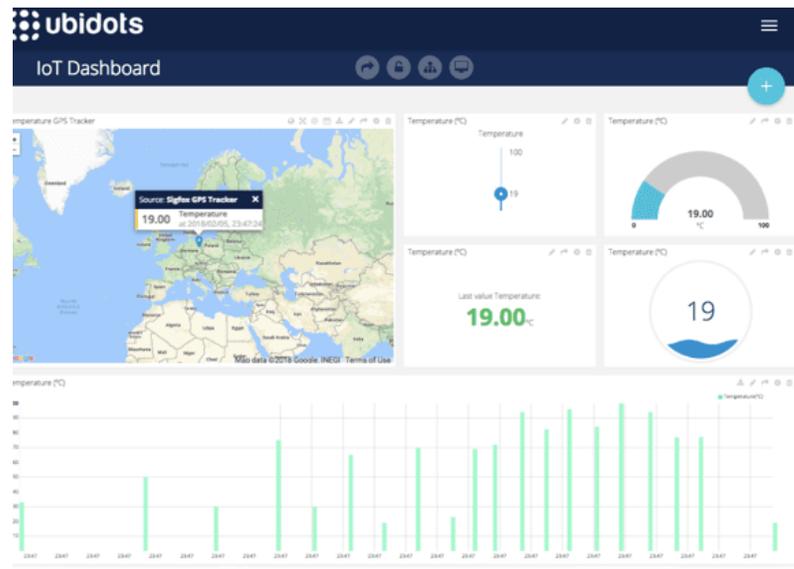
Las Figuras 3.16 y 3.17 se observa la plataforma con un entorno amigable, características que dispone y fácil de usar para el usuario empleando la plataforma Ubidots.

Figura 0.16. Plataforma Ubidots



Fuente: (Ubidots.com, 2019)

Figura 0.17. Panel de Control IoT

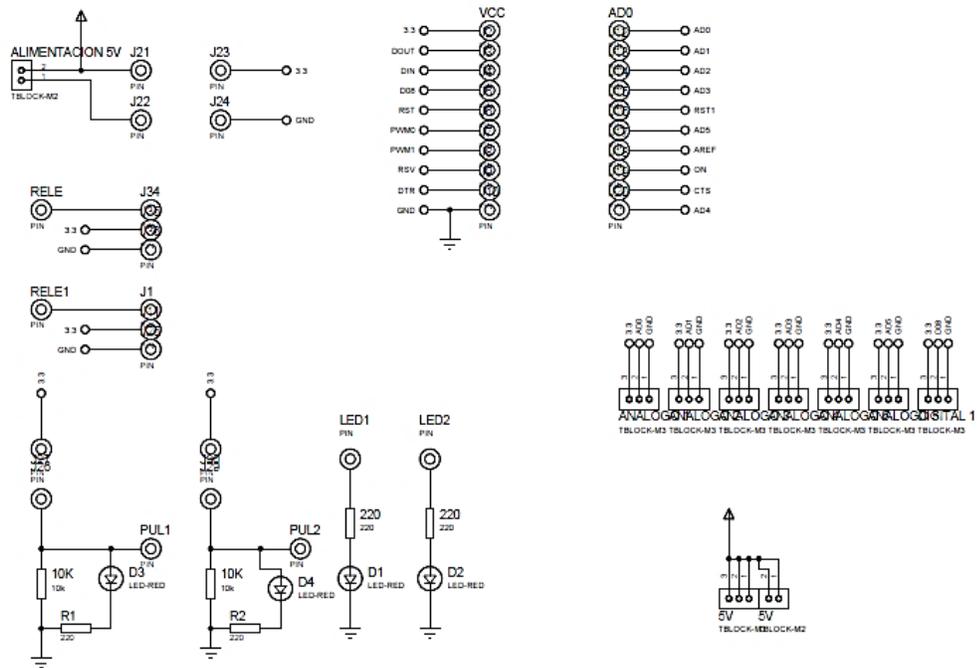


Fuente: (Ubidots.com, 2019)

3.5. Diseños de Circuitos de los módulos XBee

La Figura 3.18 se muestra el esquema del circuito eléctrico escalable para los nodos XBee, por tratarse de una placa didáctica el diseño de la placa nodo cuenta con la capacidad de aumentar o disminuir sensores y actuadores, esta cuenta con 7 pines para entradas y salidas análogas/digitales, indicadores luminosos (LED), dos salidas tipo relé de 5 -12V, dos entradas tipo Pull Up y una fuente de alimentación con salida de 3.3v para el módulo XBee.

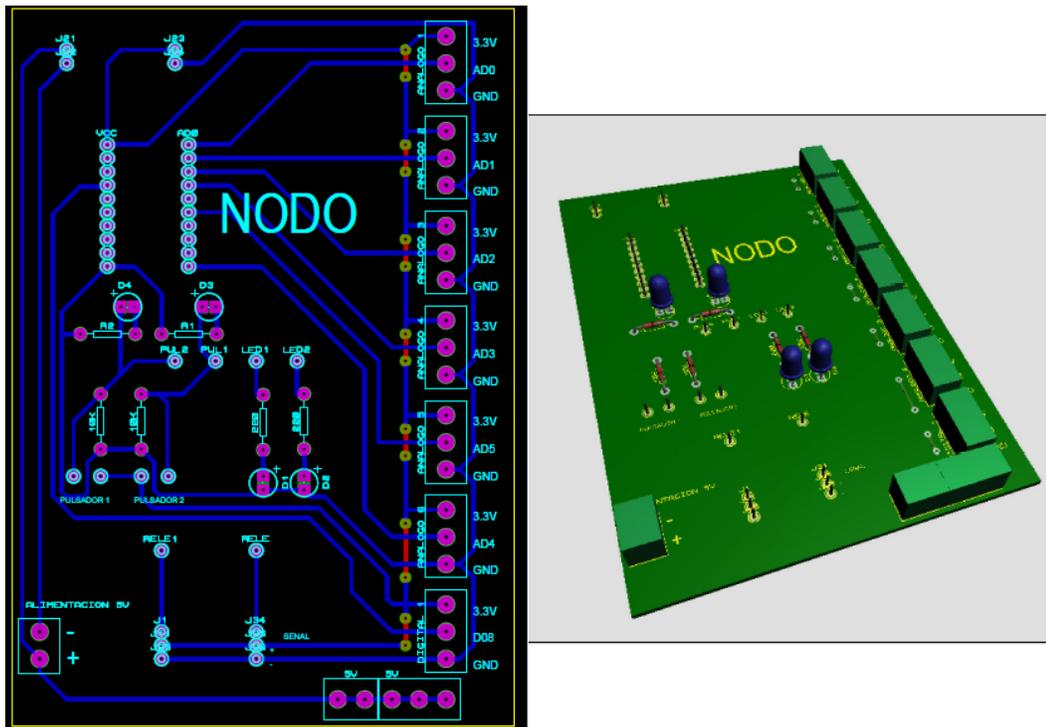
Figura 0.18. Esquema eléctrico del nodo XBee



Elaborado por: Jonathan Arguero

En la Figura 3.19 se presenta el diseño del esquema eléctrico del módulo XBee en la placa PCB realizado en el software Proteus, donde se observa la distribución de los sockets de cada elemento que conforma la placa de módulo XBee. Cabe recalcar que hay que considerar que los pines de módulo XBee S2 son más pequeños comparados con los otros elementos se integran la tarjeta, donde se recomienda dejar una distancia prudente entre el socket de XBee y los demás elementos alrededor.

Figura 0.19. Diseño de la PCB del nodo XBee

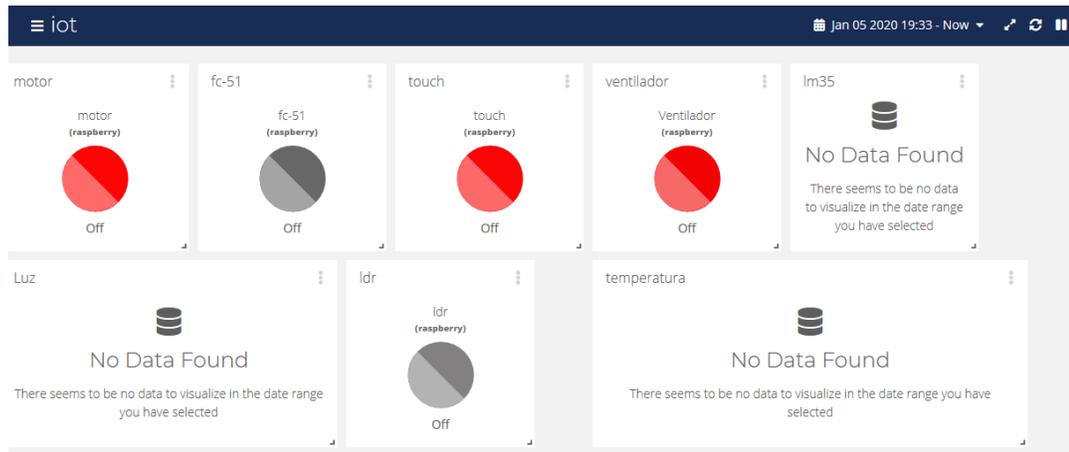


Elaborado por: Jonathan Arguero

3.6. Diseño en la plataforma Ubidots.

En la plataforma Ubidots se creó la interfaz, para monitorear el prototipo de planta de manera óptima y de fácil de interpretación. Dentro de la plataforma amigable para el usuario también involucra la generación de alarmas y exportación de los datos, de tal manera que la interfaz de monitoreo queda como se muestra en la Figura 3.20.

Figura 0.20. Interfaz en la plataforma Ubidots

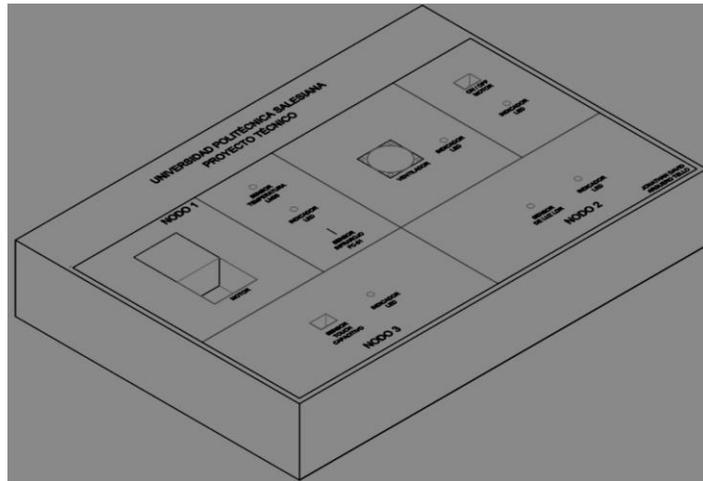


Elaborado por: Jonathan Arguero

3.7. Construcción del Prototipo

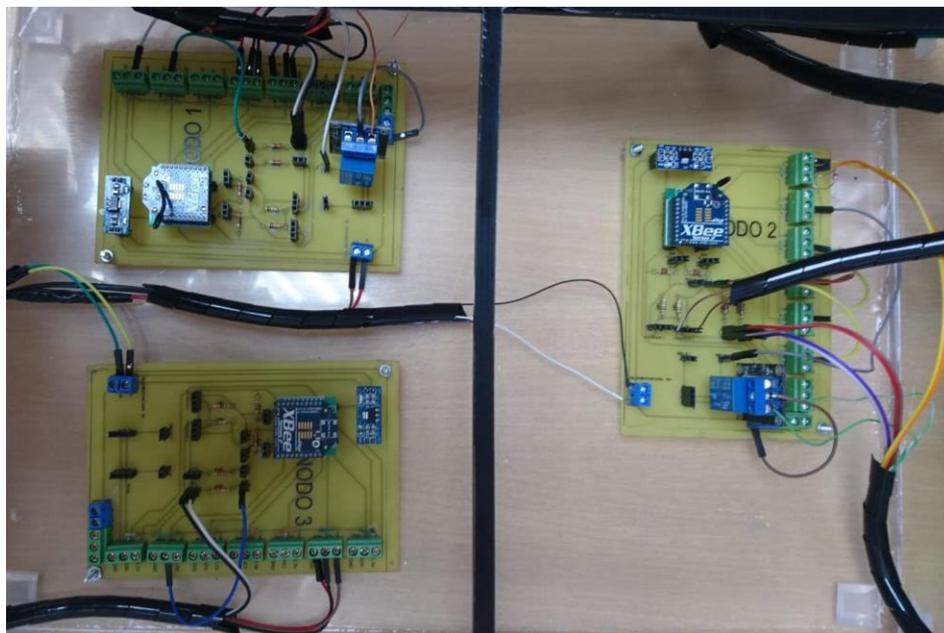
Para la elaboración de la estación se considera algunos puntos tales como: ubicación de los nodos, acceso a los dispositivos Xbee, sea compacta y fácil manipulación. Entre las ventajas que ofrece el diseño están: fácil manejo y transporte, sencilla aplicación, material de fácil acceso y extensible a diferentes proyectos. La elección de trabajar con sensores analógicos y digitales, tiene la finalidad de comprobar el tiempo de respuesta que se obtiene dentro de la red, además de simular el entorno de una habitación, midiendo la temperatura y luz del ambiente, acceso a la habitación. Bajo estos puntos la construcción del diseño se muestra en las Figuras 3.21 y 3.22.

Figura 0.21. Diseño del prototipo del módulo didáctico



Elaborado por: Jonathan Arguero

Figura 0.22. Distribución de los respectivos nodos en la estación



Elaborado por: Jonathan Arguero

En la Figura 3.23, se observa el diseño terminado del módulo didáctico de tal manera que se pueda accionar u observar los actuadores y sensores en funcionamiento.

Figura 0.23. Vista superior de la estación



Elaborado por: Jonathan Arguero

Como se puede observar en la Figura 4.1, el XBee Coordinador recibe los paquetes enviados por los XBee Router con total satisfacción, de esta manera se verifica que la red se encuentra operativa y con total comunicación.

4.2. Prueba de funcionamiento entre XBee y Raspberry Pi 3B+

Para esta prueba se utilizó 4 dispositivos XBee S2(3 Router - 1 Coordinador), sensores analógicos y digitales como se observa en la Figura 4.3, con el fin de comprobar el funcionamiento, comunicación y tiempo de respuesta del prototipo. Los resultados obtenidos serán observados por el “LXTerminal” de la Raspberry tal como muestra en la Figura 4.2.

Figura 0.2. Ventana del LXTerminal de la red

```
Archivo  Editar  Pestañas  Ayuda
claro
puerta off
18.4230864516 C
814 % lumenes
claro
puerta off
17.8854477419 C
800 % lumenes
claro
puerta off
17.3478090323 C
825 % lumenes
claro
puerta off
16.9893832258 C
825 % lumenes
claro
puerta off
16.6309574194 C
815 % lumenes
claro
puerta off
16.4517445161 C
567 % lumenes
oscuro
puerta off
16.0933187097 C
636 % lumenes
```

Elaborado por: Jonathan Arguero

Figura 0.3. Prototipo de los Nodos



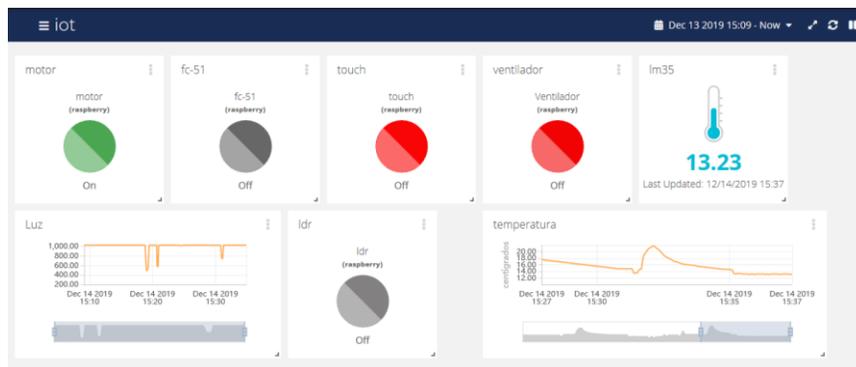
Elaborado por: Jonathan Arguero

Tal como se muestra en la Figura 4.2, los datos son recibidos de los nodos sensores al nodo coordinador con satisfacción, de esta manera estos son procesados y visualizados en el LXTerminal, con un tiempo de muestreo de 2 segundos.

4.3. Prueba del servidor Ubidots

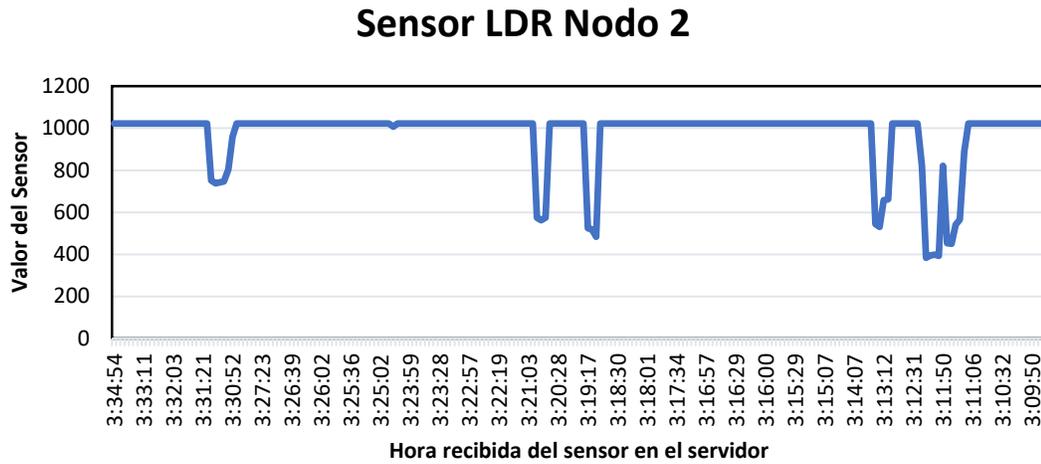
Esta prueba tiene como objetivo comprobar que los datos sean correctamente recibidos al nodo coordinador y este a su vez envíe al servidor para visualizar el estado del sensor, como se observa en la Figura 4.4, para esto se tomó dos sensores (temperatura y luz) que son relevantes al momento de comprobar el tiempo en el que se llega al servidor.

Figura 0.4. Interfaz Final de la plataforma Ubidots.



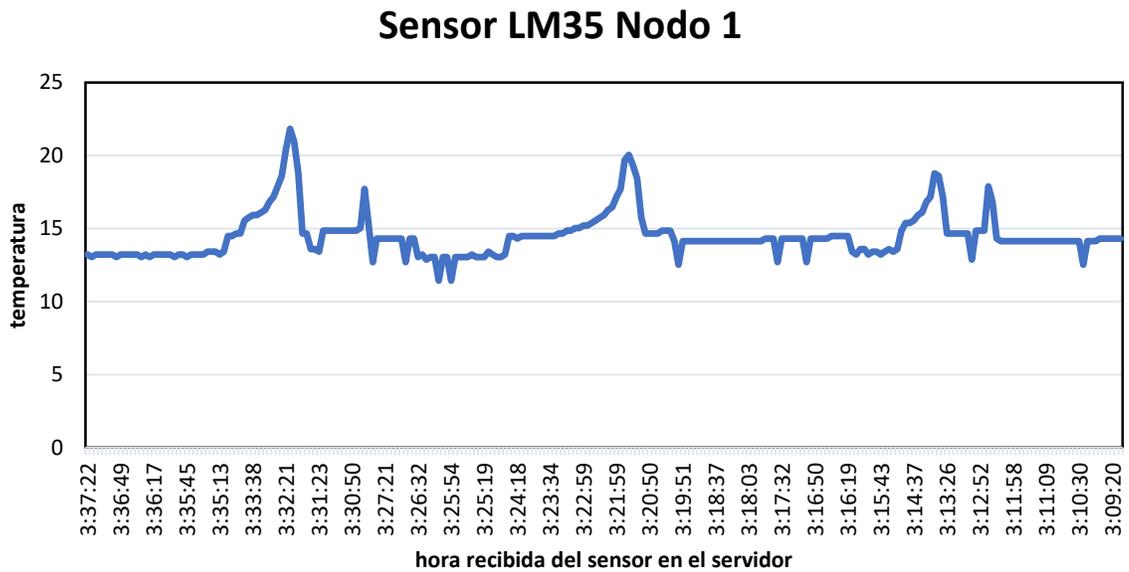
Elaborado por: Jonathan Arguero

Figura 0.5. Valores obtenidos del sensor de luz de la base de datos del servidor.



Elaborado por: Jonathan Arguero

Figura 0.6. Valores obtenidos del sensor de temperatura de la base de datos del servidor.



Elaborado por: Jonathan Arguero

Los datos obtenidos de cada sensor analógico fueron esenciales para esta prueba, la finalidad con la que se escogió estos datos es por el tipo de sensores, ya que estos sensores al ser analógicos varían en el tiempo, por ello fue factible y más óptimo verificar el tiempo con el que el servidor recibe los datos.

Como se muestran en las Figuras 4.5 y 4.6 se tiene un promedio entre 4-6 segundos esto involucra que al subir los datos a la nube y realizar el monitoreo se tiene un retardo de +4 segundos comparado con el punto 4.2 que solo tenía una tasa de transmisión de 2 segundos. Esto es debido a que el coordinador procesa los datos de la red personal y su vez manda los datos al servidor.

4.4. Pruebas de Tiempo de Respuesta

Se determinó el tiempo de respuesta ante fallos provocados intencionalmente desconectado el dispositivo XBee S2 de la placa de los respectivos nodos, al igual que el resultado en la transmisión de datos dentro de la red personal con los datos enviados al servidor como se muestra en la Tabla 4.1, 4.2.

Tabla 0.1. Tiempo de respuesta en la transmisión de datos con los diferentes nodos, sin conexión con el servidor

Sensor – Actuador	Red ZigBee Sin Servidor	Desconexión del Nodo 1	Desconexión del Nodo 2	Desconexión del Nodo 3
Pulsador	2 segundos	1 segundo	1 segundo	1 segundo
Sensor Capacitivo	2 segundos	1 segundo	1 segundo	1 segundo
Sensor Infrarrojo FC-51	2 segundos	1 segundo	1 segundo	1 segundo
Sensor Temperatura LM35	2 segundos	1 segundo	1 segundo	1 segundo
Sensor de Luz LDR	2 segundos	1 segundo	1 segundo	1 segundo

Elaborado por: Jonathan Arguero

En la Tabla 4.1 muestra el tiempo de respuesta sin conexión con el servidor, este tiempo fue establecido en la configuración de los módulos teniendo como retardo

promedio de 2 segundos en ejecutar las tareas establecidas. Además, en presencia de algún fallo o desconexión del nodo sensor el tiempo de respuesta disminuye a 1 segundo siendo más rápida en transmitir la información teniendo menos datos que procesar. Cabe indicar que estos datos fueron medidos con ayuda de un cronometro y observados en la consola de la Raspberry Pi 3B+ (LXTerminal).

Tabla 0.2. Tiempo de respuesta en la transmisión de datos con los diferentes nodos, con conexión con el servidor

Sensor – Actuador	Red ZigBee Con Servidor	Desconexión del Nodo 1	Desconexión del Nodo 2	Desconexión del Nodo 3
Pulsador	6 segundos	2 segundos	-	4 segundos
Sensor Capacitivo	5 segundos	2 segundos	3 segundos	-
Sensor Infrarrojo FC-51	6 segundos	-	4 segundos	3 segundos
Sensor Temperatura LM35	6 segundos	-	3 segundos	3 segundos
Sensor de Luz LDR	5 segundos	2 segundos	-	3 segundos

Elaborado por: Jonathan Arguero

La Tabla 4.2 muestra el tiempo de respuesta de los actuadores empleando el servidor Ubidots. Donde se obtuvo un retardo promedio de 5 a 6 segundos en realizar la acción establecida. En el caso del fallo provocado al desconectar el nodo sensor la propagación de los datos baja a 2 a 4 segundos. Por lo tanto, se observa que existe un aumento de 3-4 segundos en ejecutar las acciones a causa de procesar los datos de la red personal y establecer la conexión con el servidor.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Por medio de la información de papers, documentos o proyectos existentes sobre la red de sensores inalámbrico, se determinó parámetros adecuados para la implementación de la WSN como: dispositivos (Raspberry Pi 3B+, módulos Xbee S2, sensores (temperatura, luz, touch) y actuadores (indicadores luminosos y motores DC), una pantalla(monitor)), topologías y parámetros de configuración. Cuyo comportamiento de los módulos fueron visualizados través de un interfaz de usuario.

En el presente proyecto, a través de un módulo didáctico se realizó la implementación de la red WSN con conexión a un servidor para la visualización interactiva de datos mediante la plataforma Ubidots satisfactoriamente. Dicha plataforma permitió crear un entorno amigable para el usuario optimizando el almacenamiento y recuperación de datos que interactúan en la red.

Las pruebas de validación y funcionamiento indican que la red WSN funciona satisfactoriamente. En un entorno bajo fallos, se obtiene una operabilidad exitosa, de igual manera, se comprobó el rendimiento de la red considerando la latencia del tiempo de respuesta del comportamiento de los módulos. Empleando la comunicación con el servidor para la visualización del comportamiento de los nodos se obtuvo una latencia entre 4 a 6 segundos comparado con la latencia de 1 a 2 segundos en la respuesta de cambio de datos de la red sin conexión del servidor.

La Raspberry Pi 3B+ por su prestación, por su rendimiento al momento de ejecutar y procesar el flujo de datos, por el bajo costo de adquisición es ideal para para futuros proyectos IoT. Este dispositivo fue elegido en la implementación de la red propuesta por la capacidad de interactuar y trabajar con varios protocolos de comunicación, y a la vez por la interfaz de desarrollo para el procesamiento de datos de la red de sensores.

Se desarrolló una red de sensores con comunicación ZigBee para un módulo didáctico enfocado a la simulación de una habitación y la vez el uso de la plataforma permitió recolectar información de las variables físicas.

Por medio de las investigaciones la tecnología XBee S2 son idóneos para la implementación de redes inalámbricas no solo debido a la versatilidad y bajo costo, sino también por una comunicación segura con baja tasa de envío de datos y una mejor gestión y escalabilidad en la red, se adapta fácilmente a cualquier tipo de topología física.

Tras el análisis de la tasa de transferencia de datos dentro de la red, se concluye que los datos de las variables enviadas desde los nodos sensores hacia el nodo coordinador es muy alta debido a la trama genera, de tal manera que se evidencio en los tiempos de respuesta al enviar y recibir el dato el cual tiempo un retardador entre 5 a 6 segundos.

RECOMENDACIONES

Se debe realizar un estudio más detallado en la creación o utilización de las plataformas de monitoreo para mejorar la latencia y obtener resultados óptimos en la red WSN.

Se recomienda investigar y comparar con otros tipos de tecnologías existentes en el mercado.

REFERENCIAS

- Arpi Coellar, P. E., & Urgilés Fernandez, M. V. (2015). Diseño y desarrollo de actuadores de iluminación para una red zigbee con un servidor web montado en raspberry pi. Recuperado el Septiembre de 2019, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7541>
- Bandara, D. (Junio de 2014). Wireless Personal Area Networks. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://www.slideshare.net/DilumBandara/wireless-personal-area-networks>
- Bejarano Gusqui, Y. (2017). DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE RED WSN PARA EL MONITOREO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE CO2 EXISTENTE EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA. Recuperado el Septiembre de 2019, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8001/1/98T00177.pdf>
- Betancur, A., & González, C. (Febrero de 2018). Desarrollo e implementación de una aplicación web para el monitoreo en tiempo real de temperatura, presión y humedad al interior de los galpones de aves de engorde utilizando redes de sensores inalámbricos. Recuperado el Septiembre de 2019
- Bibing.us.es. (2019). Tecnologías Inalámbricas. Recuperado el Agosto de 2019, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70218/fichero/2.Tecnolog%C3%ADas+Inal%C3%A1mbricas.pdf>
- Bravo, B., & Belduma, L. (Abril de 2017). Diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del tránsito vehicular y la contaminación CO2 dentro de un sector urbano. Recuperado el Septiembre de 2019
- Carmen Ynzunza, J. I. (Noviembre de 2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. Recuperado el 13 de Febrero de 2019, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>
- Carrasco, A. S. (2019). SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA (ZIGBEE) PARA LOS MEDIDORES DIGITALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Recuperado el Septiembre de 2019, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16679/3/Informe.pdf>

Castillo Gallo, T. (Octubre de 2018). DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE INTERNET INDUSTRIAL DE LAS COSAS APLICADO AL LABORATORIO DE PLC'S DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE AUTOMATIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. Recuperado el Agosto de 2019

Cerro, Y. (31 de Marzo de 2015). Redes Inalámbricas. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://sites.google.com/site/redesinalambricas3/tipos-de-redes-inalambricas/wi-fi>

Claas Digmayer, E.-M. J. (22 de Julio de 2018). Employee Empowerment in the Context of domain-specific Risks in Industry 4.0. Recuperado el 13 de Febrero de 2019, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8476841>

Cruz, L. F. (18 de Abril de 2017). Diseño e Implementación de una red de sensores para el monitoreo de variables climaticas en un invernadero de orquídeas. Recuperado el Noviembre de 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14239/1/UPS-CT007001.pdf>

Digi International. (2018). Zigbee RF Modules XBEE2, XBEEPRO2, PRO S2B . Obtenido de <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000976.pdf>

Digi.com. (2019). XCTU . Obtenido de <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu>

Edgar, M. M. (Febrero de 2012). Eficiencia y seguridad en Bluetooth y Zigbee. Recuperado el Septiembre de 2019, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/229/6/A6.pdf>

- Farooq, U. (2019). Wireless Sensor Network Challenges and Solutions. doi:10.13140/RG.2.2.22191.59043.
- Hoyo, J., Valencia-Palomo, G., Galaz Bustamante, R., & Sugich Miranda, I. (Abril de 2014). Integración de red de sensores inalámbrica en un sistema de iluminación inteligente con propiedades de ahorro energético. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329221751_Integracion_de_red_de_sensores_inalambrica_en_un_sistema_de_iluminacion_inteligente_con_propiedades_de_ahorro_energetico
- Huasco Macancela, A. E., & Yacelga Araque, J. C. (Mayo de 2015). Diseño y Construcción de un robot explorador de tubería interna horizontal (alcantarillado pluvial) para detección de daños dentro de la tubería. Recuperado el Septiembre de 2019
- INCIBE. (Junio de 2016). Seguridad en comunicaciones ZigBee. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://www.incibe-cert.es/blog/seguridad-comunicaciones-zigbee>
- Isde. (2019). PROBLEMAS Y DEBILIDADES DE LOS SISTEMAS MALLADOS EXTENSOS TIPO ZIGBEE o ZWARE. Recuperado el 03 de Febrero de 2019, de <http://www.isde-ing.com/ftp1/Problemas%20en%20la%20telegesti%C3%B3n%20de%20Alumbrado%20Publico%20con%20sistemas%20en%20RF.pdf>
- Jesus, S. (Noviembre de 2014). Prototipo de nodo para una red de sensores inalámbricos, Sistema de Observación Costero para la bahía de Manzanillo. Recuperado el Septiembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/297918395_Prototipo_de_nodo_para_una_red_de_sensores_inalambricos_Sistema_de_Observacion_Costero_para_la_bahia_de_Manzanillo
- Lawson, S. (Noviembre de 2014). ZigBee 3.0 promises one smart home standard for many uses. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://www.pcworld.com/article/2849172/zigbee-30-promises-one-standard-for-many-uses.html>

- López Ordoñez, V. F., & Rodríguez Moreno, E. S. (2017). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA UN EDIFICIO. Recuperado el Agosto de 2019
- Manotas Campos, J., & Martinez Marin, N. (2018). EXPLORACIÓN DE LAS PLATAFORMAS IoT EN EL MERCADO PARA FOMENTAR EL CONOCIMIENTO, BUEN USO Y EFECTIVIDAD DE LOS DISPOSITIVOS IoT CREADOS EN LA FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS BASICAS DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO. Obtenido de http://190.131.241.186/bitstream/handle/10823/1215/Documento_Trabajo_Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mheducation. (2019). Despliegue de redes inalámbricas. Recuperado el Agosto de 2019, de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/844818386X.pdf>
- Mihoubi, M., Rahmoun, A., Lorenz, P., & Lasla, N. (Diciembre de 2017). An effective Bat algorithm for node localization in distributed wireless sensor network. doi:10.1002/spy2.7
- PWC. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. Obtenido de https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf?fbclid=IwAR19GI3RXwXy6ht2yU2rvk9B5fY12gkVRNG9VvnS-vxLIqhN_g7bfEWQ80I
- Pypi.org. (2019). Ubidots 1.6.6. Obtenido de <https://pypi.org/project/ubidots/>
- Pypi.org. (2019). XBee 2.3.2. Obtenido de <https://pypi.org/project/XBee/>
- Quiñones, M., González, V., Torres, R., & Jumbo, M. (Febrero de 2017). Sistema De Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas De Internet De Las Cosas. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422017000100329

- Ramírez Bello , M., & Mendoza Martínez, M. (Enero de 2016). DISEÑO E IMPLEMENTACION DE SISTEMA AUTÓNOMO DE ILUMINACIÓN CON SENSORES DE LUZ Y PRESENCIA. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/19561/I.C.E.%2001-16%20-%2019CD18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, L., Piña, F., & Goire, M. (Abril de 2018). Red de sensores inalámbricos para las casas de cultivos protegidos "San José". Recuperado el Septiembre de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000100002#f2
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (Octubre de 2015). La internet de las cosas- Una breve reseña. Obtenido de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>
- Ruiz Sanchez, W. (2016). Redes de sensores inalámbricos enfocadas a la Medicina con énfasis en control de los signos vitales en Pacientes Adultos Mayores. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11311/tesis%20final%20m astr%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saigua, S., & Villafuerte, M. (2013). EVALUACIÓN DE LAS TOPOLOGÍAS FÍSICAS DE WSN MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES PARA EL G.E.A.A-ESPOCH. Recuperado el Septiembre de 2019, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3241/1/98T00043.pdf>
- Sanmartin Salazar, K., & Álvarez Moreira, K. (2018). Diseño e implementación de una red con sensores inalámbricas (WSN) con un protocolo abierto de comunicación basado en IEEE 802.15.4 (XBEE) para prácticas universitarias. Recuperado el Agosto de 2019
- Suárez García, V., & Almería, H. (Octubre de 2015). Introducción a Raspberry PI. Obtenido de <https://hacklabalmeria.net/recursos/2015-10-13/intropi.pdf>

- Tecnología & Informática. (2019). Tipos de redes informáticas. ¿Qué es una red? LAN, WAN, MAN, WLAN, WMAN, WWMAN, SAN, PAN. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://tecnologia-informatica.com/tipos-de-redes-informaticas-lan-wan-man-wlan-wman-wwman-san-pan/>
- Ubidots.com. (2019). Ubidots. Obtenido de <https://ubidots.com/platform/>
- Universidad Tecnológica de Perú. (Septiembre de 2015). TIPOS REDES INALÁMBRICAS. Recuperado el Septiembre de 2019, de <http://utp-redesinalambricas.blogspot.com/2015/09/tipos.html>
- Vera Romero, C. A., Barbosa Jaimes, J. E., & Pabón González, D. C. (Abril de 2015). Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales. Recuperado el Noviembre de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v19n45/v19n45a11.pdf>
- Xavier, R. (11 de Noviembre de 2018). ZigBee y Bluetooth: los protocolos para IoT más utilizados en la Industria 4.0. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de <https://www.khomp.com/es/zigbee-y-bluetooth-protocolos-para-iot/>
- Xbee.cl. (2019). ¿Qué es XBee? Obtenido de <https://xbee.cl/que-es-xbee/>
- XBee.cl. (2019). Xbee Explorer Usb. Obtenido de <https://xbee.cl/xbee-explorer-usb/>
- Yépez Peñaherrera, k. (Septiembre de 2018). SISTEMA ELECTRÓNICO DE GESTIÓN Y CONTROL DEL SIMTEL EN LA CIUDAD DE LATACUNGA. Obtenido de http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28690/1/Tesis_%20t1473ec.pdf
- ZigBee Alliance. (2018). ZigBee. Recuperado el 13 de Marzo de 2019, de <https://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0/>