



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN.

TEMA:

**DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA PARA UNA WSN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS PARA EL
“BOSQUE PROTECTOR GUAYABILLAS”**

AUTOR: VANESSA ELIZABETH ENRÍQUEZ BURGOS

DIRECTOR: Ing. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN. MSc.

Ibarra, 2018

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de identidad	100440519-5
Apellidos y Nombres	Vanessa Elizabeth Enríquez Burgos
Dirección	Atuntaqui. Calle García Moreno entre 12 y 14 de Febrero
E-mail	veenriquez@utn.edu.ec / vanecita.777@gmail.com
Teléfono fijo	(06) 2906950
Teléfono móvil	0968526935
DATOS DE LA OBRA	
Título	DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA PARA UNA WSN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS PARA EL “BOSQUE PROTECTOR GUAYABILLAS”
Autor	Vanessa Elizabeth Enríquez Burgos

Fecha	Septiembre de 2018
Programa	Pregrado
Título	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	Ing. Jaime Michilena Calderón, MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Vanessa Elizabeth Enríquez Burgos, con cédula de identidad Nro. 1004405195, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

.....


Vanessa Elizabeth Enríquez Burgos

100440519-5

Ibarra, septiembre del 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente Trabajo de Titulación DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA PARA UNA WSN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS PARA EL "BOSQUE PROTECTOR GUAYABILLAS" Ha sido desarrollado por la señorita Vanessa Elizabeth Enríquez Burgos bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jaime Michilena", is written over a horizontal dotted line. A vertical line extends downwards from the signature.

Ing. Jaime Michilena, MSc.

100219843-8

DIRECTOR

Agradecimiento.

Agradezco a mis padres y a mis hermanos que me han brindado su apoyo y voz de aliento en los momentos difíciles, sobre todo por la confianza que han depositado en mí.

A mi director de Trabajo de Grado Ing. Jaime Michilena por su colaboración en este proyecto, por aportar con sus conocimientos y permitir la realización de esta investigación, por todo su apoyo.

Agradezco a todos mis profesores que a lo largo de la carrera universitaria me ayudaron en mi formación profesional, a la Universidad Técnica del Norte por hacer de sus instalaciones mi segundo hogar.

A usted Jonathan gracias por su cariño, colaboración y por estar ahí siempre apoyándome a conseguir esta meta.

A mis familiares en especial a mi Tiuchis y Puki, gracias por su afecto y ayuda.

A mis amigos que con sus palabras de apoyo me impulsaron a la realización de este logro, mi compañera de aventuras.

Dedicatoria.

Este trabajo de titulación deseo dedicarlo a mis padres Mónica y Víctor, porque ellos han estado pendientes de mi formación y por demostrarme que, a pesar de las adversidades de la vida, es posible salir adelante.

A mis hermanos por ser un ejemplo de perseverancia, dedicación y ser el impulso para lograr este objetivo.

A mis queridos sobrinos.

A mi novio Jonathan.

CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	II
CERTIFICACIÓN.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
INDICE DE ECUACIONES.....	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
1. CAPITULO I: ANTECEDENTES	1
1.1. PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3. ALCANCE	3
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	7
2.1. SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA (SAT).....	7
2.1.1. <i>Aplicaciones de los SAT</i>	7

2.1.2.	<i>Funcionamiento de un SAT</i>	8
2.2.	SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN	10
2.2.1.	<i>Características de un sistema de monitoreo</i>	10
2.2.2.	<i>Ventajas de monitorear</i>	10
2.3.	REDES INALÁMBRICAS	11
2.4.	REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS	12
2.4.1.	<i>Características de una WSN</i>	13
2.4.2.	<i>Componentes de una WSN</i>	14
2.4.3.	<i>Arquitectura de una WSN</i>	17
2.4.4.	<i>Topologías de una WSN.</i>	17
2.4.5.	<i>Estándares de comunicación inalámbrica dirigidos a WSN.</i>	19
2.5.	HARDWARE	22
2.5.1.	<i>Sensores</i>	22
2.5.2.	<i>Placas de Procesamiento</i>	22
2.5.3.	<i>Transceptores Inalámbricos</i>	24
2.6.	SOFTWARE.....	28
2.6.1.	<i>Tipos De Software</i>	28
2.6.2.	<i>IDE de Arduino</i>	29
2.6.3.	<i>XCTU</i>	30
2.6.4.	<i>Página Web</i>	31
2.6.5.	<i>Almacenamiento en la nube</i>	32
3.	CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL	35
3.1.	METODOLOGÍA	35
3.2.	MODELO EN V	36
3.3.	ANÁLISIS	37

3.3.1	<i>Situación Actual</i>	38
3.3.2	<i>Propósito y Ámbito del Sistema</i>	45
3.3.3	<i>Descripción General</i>	46
3.3.4	<i>Parámetros de Diseño del Sistema.</i>	47
3.4.	REQUERIMIENTOS.....	48
3.4.1.	<i>Stakeholders</i>	48
3.4.2.	<i>Construcción y Atributos</i>	48
3.4.3.	<i>Nomenclatura que se va a usar para identificar los requerimientos.</i>	49
3.4.4.	<i>Requerimientos de Stakeholders</i>	49
3.4.5	<i>Requerimiento del Sistema</i>	50
3.4.3	<i>Requerimientos de Arquitectura</i>	52
3.5.	RECURSOS.....	53
3.6.	ELECCIÓN DE SOFTWARE Y HARDWARE.....	53
3.6.1.	<i>Elección de Hardware</i>	54
3.6.2.	<i>Elección de Sensores</i>	55
3.6.3.	<i>Elección de Software</i>	56
3.7.	HARDWARE UTILIZADO EN EL SISTEMA ELECTRÓNICO.....	57
3.7.1	<i>Placa Arduino UNO</i>	58
3.7.2	<i>Arduino Ethernet Shield</i>	60
3.7.3.	<i>Módulo Xbee Por S2C</i>	61
3.7.4.	<i>Sensores</i>	63
3.8.	DISEÑO DE RED INALÁMBRICA DE SENSORES.....	63
3.8.1.	<i>Diagramas de bloque</i>	64
3.8.2.	<i>Arquitectura del Sistema</i>	66
3.8.3.	<i>Topología de la red</i>	66

3.8.4.	<i>Ubicación de los nodos</i>	67
3.8.5.	<i>Nodo Central</i>	76
3.8.6.	<i>Nodo Sensor</i>	79
3.9.	SOFTWARE USADO EN EL SISTEMA	85
3.9.1.	<i>Diagramas de flujo</i>	85
3.9.2.	<i>Almacenamiento y Visualización de la información</i>	92
3.10.	PRUEBAS DE ASOCIACIÓN	97
4.	CAPÍTULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	99
4.1.	PRUEBAS DE ENTREGA DE TRAMAS DE RED INALÁMBRICA.....	99
4.2.	IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	102
4.2.1.	<i>Colocación del Nodo Sensor</i>	103
4.3.	PRUEBAS DE LA PLATAFORMA UBIDOTS	111
4.4.	PRUEBAS DE ALERTA.....	113
4.5.	RESULTADO DE LAS PRUEBAS	114
5.	ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO	115
5.1.	COSTOS DEL SISTEMA.....	115
5.1.1.	<i>Costos de hardware del nodo principal (coordinador)</i>	115
5.1.2.	<i>Costos de hardware del nodo sensor</i>	116
5.1.3.	<i>Costos de Infraestructura</i>	116
5.1.4.	<i>Costos de Ingeniería</i>	117
5.1.5.	<i>Costos de Software</i>	117
5.1.6.	<i>Costos de Implementación del sistema</i>	118
5.2.	BENEFICIOS	119
	CONCLUSIONES	122

RECOMENDACIONES	124
REFERENCIAS.....	125
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS	130
ANEXOS.....	133
ANEXO 1: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE COORDINADOR	133
ANEXO 2: CODIGO DE PORGRAMACIÓN DE NODO SENSOR	138
ANEXO 3: DATASHEET ARDUINO UNO	141
ANEXO 4: DATASHEET XBEE PRO S2C.....	144
ANEXO 5: FICHAS DE OBSERVACIÓN DIRECTA	148

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Aplicación de SAT</i>	8
<i>Figura 2: Funcionamiento de un SAT</i>	8
<i>Figura 3: Clasificación de redes inalámbricas</i>	12
<i>Figura 4: Componentes de una WSN</i>	14
<i>Figura 5: Componentes de un nodo</i>	15
<i>Figura 6: Topologías para redes de sensores</i>	18
<i>Figura 7: Área de trabajo de Arduino</i>	30
<i>Figura 8: Entorno de Software XCTU</i>	31
<i>Figura 9: Comparativa de Plataformas Web</i>	34
<i>Figura 10: Fases del Modelo en V</i>	36
<i>Figura 11: Ubicación Geográfica del “Bosque Protector Guayabillas”</i>	38
<i>Figura 12: Cambio de cobertura vegetal en la zona sur del Bosque</i>	40
<i>Figura 13: Quema controlada y reforestación de la zona junto a la Ciudadela "La Victoria"</i>	41
<i>Figura 14: Quema controlada sur occidente del Bosque</i>	42
<i>Figura 15: División de las zonas del Bosque Protector Guayabillas</i>	42
<i>Figura 16: Zona boscosa del Bosque Protector Guayabillas</i>	44
<i>Figura 17: Bosque Protector Guayabillas zona sur limitada por la zona urbana</i>	44
<i>Figura 18: Arduino uno</i>	58
<i>Figura 19: Diagrama de módulo Arduino UNO</i>	59
<i>Figura 20: Figura de Arduino ethernet</i>	61
<i>Figura 21 Modulo inalámbrico Xbee Por S2C</i>	62
<i>Figura 22: Área de camping del BPG</i>	64
<i>Figura 23: Grafica de elementos que contempla el sistema en general</i>	65

<i>Figura 24: Ubicación de los nodos en el BPG.....</i>	68
<i>Figura 25: Ingreso de coordenadas en Radio Mobile</i>	70
<i>Figura 26: Establecimiento de la ubicación de los nodos en Radio Mobile.....</i>	71
<i>Figura 27: Distribución y ubicación de la red inalámbrica</i>	71
<i>Figura 28: Ingreso de parámetros del módulo inalámbrico.....</i>	72
<i>Figura 29: Visualización de la topología de conexión de la red inalámbrica.....</i>	73
<i>Figura 30: Simulación de enlace entre Nodo1 y Nodo Central.....</i>	74
<i>Figura 31: Simulación de enlace entre Nodo1 y Nodo Central.....</i>	75
<i>Figura 32: Modulo de nodo central</i>	76
<i>Figura 33: Esquemático del nodo central.....</i>	77
<i>Figura 34: Diagrama circuital de nodo central.....</i>	78
<i>Figura 35: Representación gráfica del nodo sensor.....</i>	79
<i>Figura 36: Diagrama circuital de nodo sensor.....</i>	80
<i>Figura 37: Esquemático nodo sensor.....</i>	81
<i>Figura 38: Baterías con panel solar incluido</i>	83
<i>Figura 39: Inicialización de comunicación de Xbee.....</i>	86
<i>Figura 40: Código de identificación de nodo</i>	86
<i>Figura 41: Diagrama de Flujo de no do central.....</i>	87
<i>Figura 42: Inicialización de variables de tiempo</i>	88
<i>Figura 43: Diagrama de flujo de nodo sensor.....</i>	89
<i>Figura 44: Configuración de las direcciones IP para UBIDOTS</i>	90
<i>Figura 45: Diagrama de Flujo de UBIDOTS</i>	91
<i>Figura 46: Registro en UBIDOTS.....</i>	92
<i>Figura 47: Creación de los nodos.....</i>	93
<i>Figura 48: ID de variables de censado.....</i>	93

<i>Figura 49: Barra que muestra credenciales API</i>	94
<i>Figura 50: Creación de un Token</i>	94
<i>Figura 51: Visualización de datos numéricos en UBIDOTS</i>	95
<i>Figura 52: Elección de variables en Ubidots</i>	95
<i>Figura 53: Creación de eventos</i>	96
<i>Figura 54: Definición de umbrales de alerta</i>	96
<i>Figura 55: Elegir tipo de mensaje de alerta</i>	97
<i>Figura 56: Ventajas de modos de Operación Xbee</i>	99
<i>Figura 57: Estructura de trama api</i>	100
<i>Figura 58: Prueba de recepción de tramas</i>	101
<i>Figura 59: Estados de tramas</i>	102
<i>Figura 60: límites de Zona de implementación de la WSN</i>	103
<i>Figura 61: Ubicación del escenario 1 – Pruebas</i>	105
<i>Figura 62: Preparación del nodo</i>	106
<i>Figura 63: Colocación de nodos sensores en escenario 1</i>	107
<i>Figura 64: Nodo Central</i>	108
<i>Figura 65: Ubicación del escenario 2 – Pruebas</i>	109
<i>Figura 66: Instalación de nodo sensor, escenario 2</i>	110
<i>Figura 67: Configuración de los valores máximos de los sensores</i>	112
<i>Figura 68: Verificación de información correcta</i>	113
<i>Figura 69: Mensaje de alerta</i>	114
<i>Figura 70: Observación de la zona sur-este</i>	148
<i>Figura 71: Observación directa de zona Sur-central</i>	149
<i>Figura 72: Imágenes del BPG de zona norte-central</i>	150
<i>Figura 73: Imágenes del BPG de zona norte-central</i>	151

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparativa de estándares inalámbricos</i>	21
<i>Tabla 2. Características de placas Arduino # 1</i>	23
<i>Tabla 3. Características de placas Arduino # 2</i>	24
<i>Tabla 4. Características módulo Wi-fi</i>	25
<i>Tabla 5. Características de Bluetooth</i>	26
<i>Tabla 6. Características módulo Xbee</i>	28
<i>Tabla 7. Especificaciones Técnicas del “Bosque Protector Guayabillas”</i>	39
<i>Tabla 8. Lista de Stakeholders que intervienen en el sistema</i>	48
<i>Tabla 9. Lista de Requerimientos y su abreviatura</i>	49
<i>Tabla 10. Requerimientos Operacionales</i>	49
<i>Tabla 11. Requerimientos de funciones del Sistema</i>	51
<i>Tabla 12. Requerimientos de Hardware y software necesarios</i>	52
<i>Tabla 13. Recursos Humanos</i>	53
<i>Tabla 14. Elección de dispositivo para el Procesamiento de información.</i>	54
<i>Tabla 15. Elección de Hardware de Comunicación Inalámbrica</i>	55
<i>Tabla 16. Valores máximos de las variables tomadas de los sensores.</i>	56
<i>Tabla 17. Elección de Software</i>	57
<i>Tabla 18. Ubicación de los nodos</i>	69
<i>Tabla 19. Comparativa de materiales</i>	84
<i>Tabla 20. Pruebas de asociación</i>	97
<i>Tabla 21. Pruebas realizadas en el escenario 1</i>	108
<i>Tabla 22. Pruebas realizadas en el escenario 1</i>	111
<i>Tabla 23. Valores de Alerta de Sensores</i>	112
<i>Tabla 24. Resultados de Pruebas</i>	114

<i>Tabla 25. Detalle de elementos del nodo central</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 26. Detalle de elementos de nodo sensor</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 27. Descripción de elementos que conforman la infraestructura</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 28. Descripción de costos de ingeniería</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 29. Descripción del software</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 30. Costos de implementación de la WSN</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 31. Tiempo de recuperación de cobertura vegetal</i>	<i>119</i>

INDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Formula del consumo de vida útil de la batería</i>	<i>82</i>
<i>Ecuación 2: Fórmula de medición de tiempo de descarga</i>	<i>82</i>
<i>Ecuación 3: Ecuación para obtener el costo de recuperación de una hectárea quemada</i>	<i>120</i>

RESUMEN

En la actualidad con el desarrollo de las tecnologías se ha dado un avance vertiginoso en las aplicaciones dando así pasos agigantados en las funcionalidades de las redes inalámbricas de sensores (WSN), que se han posicionado como una herramienta para el monitoreo, control y sistemas de alerta temprana.

Por medio de las WSN se consigue incorporar dispositivos pequeños, que pueden estar repartidos en grandes áreas geográficas como bosques, el conjunto de los sensores que son comunicados por módulos inalámbricos son llamados nodos sensores instalados alrededor de un fenómeno, como son los incendios forestales.

El Bosque Protector Guayabillas (BPG) se ha plantado debido a la necesidad de espacios verdes en la provincia de Imbabura considerándose como un pulmón de la ciudad de Ibarra, este sitio ha sido escenario de varios incendios forestales, por lo cual se ve la necesidad de estudiar y analizar tecnologías inalámbricas, para diseñar una red de comunicación inalámbrica que permita censar y monitorear variables ambientales y evitar incendios de grandes proporciones del bosque.

Se realizará un análisis acerca de las diferentes topologías de una WSN para identificar las características, funcionamiento y forma de trabajo de cada una, con la finalidad de escoger una de ellas dependiendo las ventajas y desventajas que proporcionen para el diseño de la red inalámbrica de la WSN en el BPG.

ABSTRACT

Currently, with the development of technologies, there has been a breakthrough in applications, thus giving rise to giant steps in the functionalities of wireless sensor networks (WSN), which have positioned themselves as a tool for monitoring, control and systems early warning.

By means of the WSN it is possible to incorporate small devices, which can be distributed in large geographical areas such as forests, the set of sensors that are communicated by wireless modules are called sensor nodes installed around a phenomenon, such as forest fires.

The Protected Forest Guayabillas (BPG) has been planted due to the need for green spaces in the province of Imbabura considered as a lung of the city of Ibarra, this site has been the scene of several forest fires, so you see the need to study and analyze wireless technologies, to design a wireless communication network that allows to monitor and monitor environmental variables and prevent forest fires of large proportions.

An analysis will be made about the different topologies of a WSN to identify the characteristics, operation and way of working of each one, with the purpose of choosing one of them depending on the advantages and disadvantages that they provide for the design of the wireless network of the WSN in the BPG.

1. CAPITULO I: ANTECEDENTES

En este capítulo se tratará sobre los antecedentes que han dado lugar a lo problemática, que va a ser el sustento de la investigación. También se hablará sobre la justificación del proyecto y del alcance del mismo en lo cual se argumente el desarrollo de la investigación.

1.1. PROBLEMA

El bosque protector Guayabillas se ha plantado debido a la necesidad de espacios verdes para los habitantes de la zona, este sitio ha sido escenario de varios incendios provocados así también, como naturales. Esto ha desfavorecido la flora y fauna con la que cuenta, haciendo que disminuya drásticamente y causando un gran impacto negativo al entorno natural.

El Bosque Protector Guayabillas desde hace 14 años constituye el pulmón de la ciudad de Ibarra y comprende 54 hectáreas de las cuales más de 30 de ellas fueron consumidas en un incendio forestal el 25 de agosto del año 2014 y tomando en cuenta que el primer suceso se dio el 3 de junio del 2012 se redujo a cenizas 12 hectáreas de bosque (EL COMERCIO, José Mafla, 2014), estos sucesos no pudieron ser controlados a tiempo y evitar la pérdida de flora y fauna del lugar.

En la actualidad con el desarrollo de las tecnologías se ha dado un avance vertiginoso en las aplicaciones dando así pasos agigantados en las funcionalidades de las WSN, que se han posicionado como una herramienta para el monitoreo, control y sistemas de alerta temprana. Por lo cual se ve la necesidad de estudiar y analizar tecnologías inalámbricas, para diseñar la red de comunicación inalámbrica en el Bosque Protector Guayabillas, haciendo énfasis en las configuraciones de los dispositivos que orienten a

que la solución sea adecuada desde el punto de vista de envío de información y consumo energético.

El estudio y posterior diseño se enfocará a elegir una tecnología inalámbrica que de la mejor prestación de servicios para la red inalámbrica, para esto analizaremos los estándares 802.1x en los cuales se identificará distintas características funcionales de la comunicación inalámbrica de los nodos sensores de la WSN. (Gomez Gomez, 2013)

Las WSN son capaces de detectar problemas en la comunicación de la red y alertar al usuario o administrador para que puede corregirlos, también puede buscar nuevos caminos para que llegue la información al punto solicitado, es decir, si se avería un nodo, la red encontrará nuevas vías para encaminar los paquetes de datos. (Muñoz Ortiz, José Rafael; Nieto Hipólito, Juan Ivan, 2011)

Por medio de las redes de sensores inalámbricos se puede incorporar dispositivos pequeños, que pueden estar repartidos en grandes áreas geográficas como bosques, el conjunto de los sensores que son comunicados por módulos inalámbricos son llamados nodos sensores instalados alrededor de un fenómeno (Díaz, 2016), como son los incendios forestales.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Diseñar la red inalámbrica de comunicación de la WSN para un sistema de alerta temprana de incendios para el “Bosque protector Guayabillas”.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar información bibliográfica acerca de WSN, como frecuencias de operación, modos de operación, tecnologías inalámbricas y demás componentes de un sistema inalámbrico de recolección de información in situ y sistemas de alerta temprana de incendios forestales
- Seleccionar la tecnología que se utilizara en el diseño, por medio del análisis de los estándares inalámbricos 802.1X.
- Organizar la red inalámbrica de acuerdo a los parámetros estudiados e identificados como los más adecuados para la prestación de servicios en el sitio.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento de laboratorio para analizar el comportamiento y transmisión de datos de la red revelando la funcionalidad de la solución planteada.
- Elaborar un análisis de costo/beneficio de la implementación de la propuesta para una sección del Bosque Protector Guayabillas.

1.3. ALCANCE

El presente trabajo de grado tiene la finalidad de realizar un estudio y posterior diseño de una red inalámbrica que interconecte nodos de sensores en el bosque protector Guayabillas de la ciudad de Ibarra mediante la identificación de tecnología estandarizada que este en capacidad de garantizar la transmisión de datos que necesiten ser enviados, además que permita un ahorro de batería y si es necesario incrementar algún elemento brinde escalabilidad de la red. (Sánchez Laguna, 2011)

Se realizará un análisis acerca de las diferentes topologías de una WSN para identificar las características, funcionamiento y forma de trabajo de cada una, con la

finalidad de escoger una de ellas dependiendo las ventajas y desventajas que proporcionen para el diseño de la red inalámbrica de la WSN en el Bosque Protector Guayabillas. (Cisco Systems, 2006)

Mediante el estudio del arte se podrá realizar una comparativa de los estándares inalámbricos 802.1X, y con ello analizar la tecnología usada en un sistema de alerta temprana de incendios y mediante esta información seleccionar alguna tomando en cuenta que la red debe tener la capacidad de restauración, es decir, si falla un nodo debe buscar otro camino para llegar al nodo principal y hacer llegar la información de su nodo.

Para realizar las pruebas de funcionamiento primero se debe comprobar el correcto funcionamiento de todos los elementos que van a estar involucrados en la red o que se van a utilizar, comenzando con el más importante que en este caso es el módulo inalámbrico que se ha seleccionado, verificando que este enviando las tramas de comunicación mediante la visualización en una plataforma web.

El desarrollo de la red inalámbrica se dará de acuerdo a los modos de configuración de los módulos inalámbricos, si no tienen nada que hacer cuando no haya cambios bruscos en las lecturas de los sensores; estas pueden ser en un entorno inaccesible u hostil como también en empresas, fabricas, oficinas u el propio hogar, durante un período de tiempo, para así detectar cambios, tendencias y datos suficientes para poder generar algún cambio o intervención, así mismo él envió de los datos que cumpla con las condiciones expuestas como necesidades en la problemática.

Para identificar si todos los nodos sensores están teniendo una operación adecuada y que todos los módulos inalámbricos están funcionando correctamente es necesario establecer un sistema de monitoreo, donde se pueda verificar que la comunicación entre cada nodo está fluyendo.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de grado se justifica en el Plan del Buen Vivir en el objetivo 7, donde se establece: *“Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global”* (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Semplades, 2013), puesto que con esta investigación será posible tener monitoreada la zona que es visitada por los turistas en el Bosque Protector Guayabillas que es el sitio que se encuentra más vulnerable, por los desperdicios que son arrojados a la misma y pueden ser la fuente de un incendio.

Así mismo en las políticas y lineamientos del Plan Nacional del Buen Vivir, sección 7.1 que hace mención a *“Asegurar la promoción, la vigencia y la plena exigibilidad de los derechos de la naturaleza”* y en el literal e, se establece: *“Diseñar y aplicar un sistema integrado de seguimiento, control y monitoreo del cumplimiento de los derechos de la naturaleza”* con lo que el diseño de la red inalámbrica de la WSN para monitorear el Bosque Protector Guayabillas se puede cumplir con estos lineamientos y ayudar a proteger y preservar la naturaleza.

El Bosque Protector Guayabillas, *“se encuentra físicamente vinculada al área urbana edificada, al cauce del río Tahuando y a los cerros Loma Mirador y Alto de Reyes”* (Ibarra, 2018), en este lugar se desarrollan actividades de turismo por lo que es fundamental mantener este ecosistema cuidado y protegido, además de preservar la seguridad ciudadana tanto de los turistas como de los pobladores de las zonas aledañas que puede verse afectada con un incendio forestal.

A través del diseño de la red inalámbrica de la WSN y analizando los nodos sensores se podrá ver si existen cambios en el bosque y determinar posibles alertas de

incendios forestales, y este trabajo me ayudara a culminar mis estudios de tercer nivel puesto que es un requisito para la obtención del título de ingeniería en el cual es necesario dar solución a un problema o aportar con una investigación para el desarrollo de la sociedad.

2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo se describe acerca de las Redes de Sensores Inalámbricas (WSN), como son las características, componentes, topologías, tecnologías, arquitectura, modos de operación, técnicas de agregación y aplicaciones que se pueden desarrollar con WSN. También se hace un énfasis en el estándar 802.15.4 que es con el que trabaja la misma que conforman la base de la comunicación inalámbrica y dentro de este protocolo se habla acerca de algunas tecnologías inalámbricas como es: Bluetooth, WI-FI, Zigbee. Además, este capítulo contiene los requisitos y requerimientos del sistema y una pequeña descripción de cada subsistema del cual está compuesto.

2.1. Sistemas de Alerta Temprana (SAT)

Un SAT tiene como objetivo principal brindar alertas acerca de algún fenómeno que signifique algún tipo de peligro o riesgo para los seres vivos y evitar pérdidas de vidas, como también daños materiales.

Los sistemas de Alerta Temprana cuentan con un cierto nivel de certeza de los eventos que se monitorean y que pueden ser causados por fenómenos propios de la naturaleza o en otras ocasiones incluso por la mano del hombre, estas situaciones pueden poner en alto riesgo la vida humana o causar pérdidas y daños en el medio ambiente (Centro Nacional de Prevención de Desastres; Gobierno Federal de México, 2015)

2.1.1. Aplicaciones de los SAT

Un SAT puede ser aplicado cuando se encuentran en juego la vida o actividad humana y que, por las características del problema, este puede ser vigilado o monitorizado. En la figura 1 se puede observar dos desastres naturales como son excesos de lluvias que puede

ocasionar desbordamientos de ríos e inundaciones, al igual que una erupción volcánica, estos fenómenos podrían ser monitoreados por un sistema de alerta temprana.

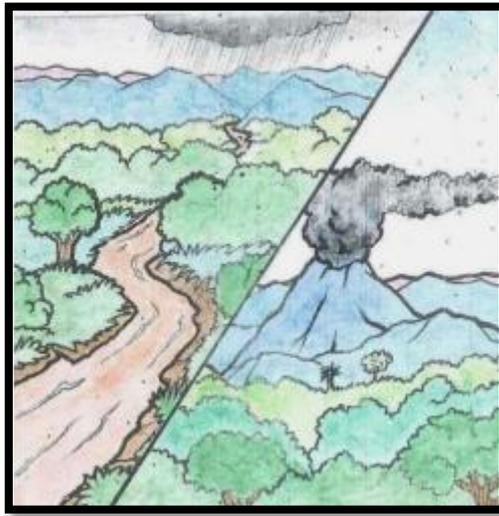


Figura 1: Aplicación de SAT
Fuente: (UNESCO, COMISIÓN EUROPEA, SICA, & MEDUCA, 2011)

2.1.2. Funcionamiento de un SAT

El funcionamiento de un Sistema de Alerta Temprana cuenta con varios procesos como se puede observar en la figura 2. (UNESCO, COMISIÓN EUROPEA, SICA, & MEDUCA, 2011)

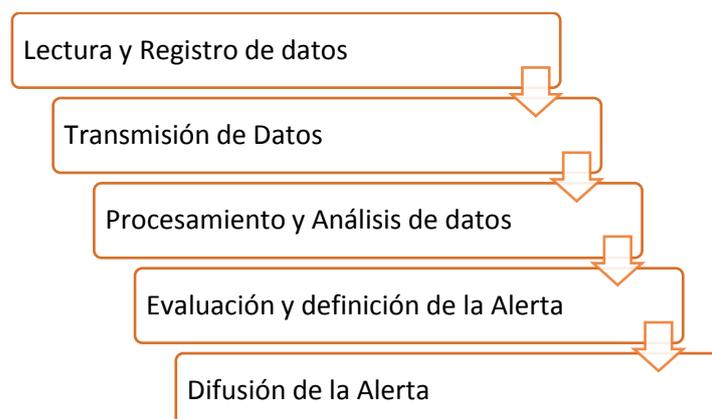


Figura 2: Funcionamiento de un SAT
Fuente: Elaborado por el autor

A continuación, se realizará una breve descripción de las etapas del funcionamiento de un SAT:

- Lectura y Registro de datos:

Esta etapa consiste en la toma de datos de sensores, es decir el censado. La lectura puede darse por medio de elementos electrónicos o manualmente tomando registro por personas.

- Transmisión de datos

Una vez tomados los datos, estos tienen que ser transmitidos hacia un procesador.

- Procesamiento y análisis de datos

En la etapa de procesamiento de la información se realiza un análisis de los datos que serán considerados entre los valores establecidos, para definir si se encuentran dentro de los rangos adecuados. Dichos valores pueden ser procesados por equipos especializados o a su vez manos expertas lo podrán manifestar.

- Evaluación y Definición de la Alerta

Para poder definir una alerta es necesario evaluar las variables censadas y comparar con los valores máximos a los que pueden llegar, también hay que ver cuántas veces la variable se mantiene fuera de los rangos, puesto que puede ser únicamente una falla de la lectura del sensor.

- Difusión de la Alerta

Para difundir una alerta se debería establecer márgenes de errores o el número de veces en los que un sensor podría emitir valores desatinados por algún tipo de falla.

2.2. Sistemas de Monitorización

El monitoreo es una herramienta que puede cumplir diferentes perspectivas que generalmente están basadas en plataformas web, habitualmente son de sencilla arquitectura. Permiten mostrar algunos parámetros como sensores, gráficas de datos, establecer condiciones sobre posibles alertas o cambios frente a límites establecidos y en algunos casos enviar notificaciones que podrían verse por cualquier persona o simplemente restringirse para que sea notificado al administrador. (EcuRed, 2018)

2.2.1. Características de un sistema de monitoreo

Entre las características principales de un sistema de monitoreo se pueden encontrar las siguientes:

- Es posible generar notificaciones que alerten sobre eventos ocurridos en las variables que se están monitoreando.
- Es posible dar valores máximos y mínimos en base a las variables que se monitorean.
- Se puede generar gráficas interactivas.
- Los servicios pueden funcionar 24 horas al día, si fuese necesario.
- Monitoreo del uso, de una máquina o dispositivo
- Datos en tiempo real.

2.2.2. Ventajas de monitorear

Un sistema de monitorización brinda ventajas de ordenamiento y calidad, a continuación, se detallan algunas de ellas:

- En el caso de una empresa u organización hace posible mantener la credibilidad al contar con un sistema de monitoreo estable.
- Permite chequear servicios, dispositivos dañados o parados por algún problema que se esté presentando.
- En algunos casos es posible conectar o integrar una base de datos, por eso hay que notar que estos elementos suman cuando se trata de dar mejoras a una organización
- Un sistema de monitoreo puede representar varias ventajas, ya que permite mantener operaciones organizadas, en tiempo real y funcionando de forma efectiva, con esto se puede aumentar la calidad de servicio. (Javier, 2017)

2.3. Redes Inalámbricas

Al hablar de la comunicación mediante redes inalámbricas, se engloban varias tecnologías en las cuales se han venido desarrollando este tipo de comunicaciones, a tal punto en el que tecnologías como la telefonía fija poco a poco han reemplazando por la telefonía móvil, el tener acceso a Internet mediante cualquier dispositivo personal cada vez en más fácil y asequible. (Huidobro, 2014)

En la figura 3 se puede ver la clasificación de las redes inalámbricas de acuerdo al alcance de las mismas.

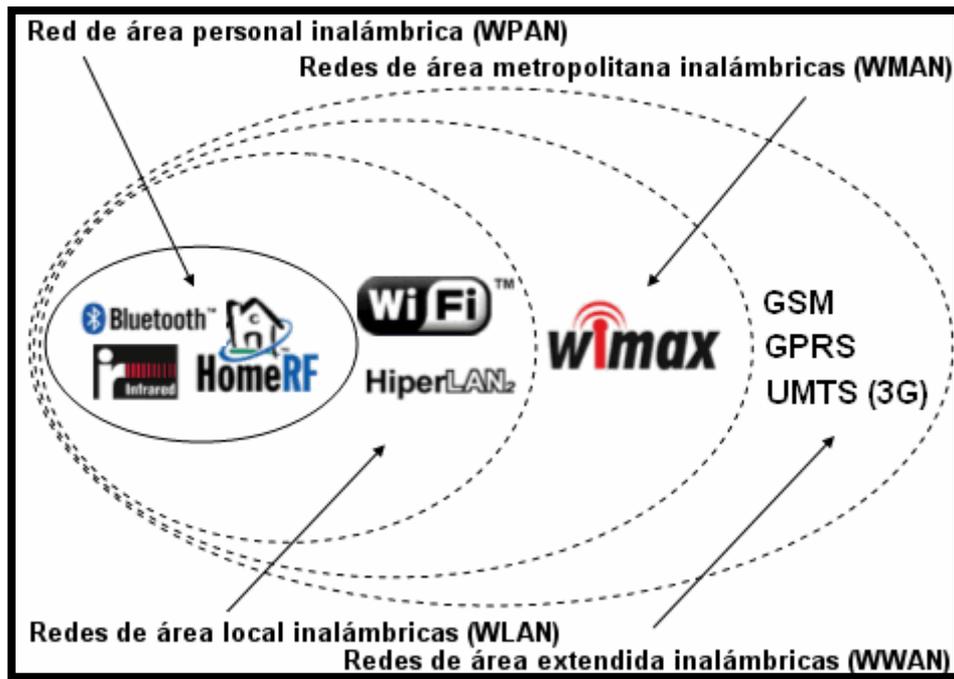


Figura 3: Clasificación de redes inalámbricas
Fuente: (Vialfa, 2017)

2.4. Redes de sensores Inalámbricas

Una red inalámbrica de sensores está compuesta por una cantidad de pequeños dispositivos, autónomos, distribuidos físicamente, llamados nodos de sensores, instalados alrededor de un fenómeno para ser monitoreado, con la capacidad de almacenar y comunicar datos en una red en forma inalámbrica.

Este tipo de redes pueden ser dirigidas a un sinnúmero de aplicaciones y a distintos campos como la medicina donde hace posible monitorear a un paciente que sufre de alguna enfermedad que necesitaría chequeo diario. También se puede implementar en áreas como domótica, agricultura, variables del medio ambiente, minería, entre otras; todo esto ha hecho posible una interacción de los seres humanos con este tipo de redes. (Ortiz Tapia, 2017).

Una WSN cuenta con dispositivos pequeños llamados nodos o motas, los cuales pueden brindar algunas ventajas como:

- Son unidades autónomas con bajo consume de energía, que a su vez pueden ser alimentados por una batería parecida a la de un teléfono celular y está conectada a un panel solar, así no es necesario cables de alimentación. (Gascón , 2010)
- Los protocolos de comunicación usados hacen posible que el nodo se encuentre en un estado de mínimo consumo de energía, mientras no tenga que enviar información. Cuando tiene que transmitir rápidamente cambia de estado y consume un poco más de energía y vuelve a su estado bajo.

2.4.1. Características de una WSN

A continuación, se detallan algunas características de las WSN:

- En este tipo de redes al tener una alimentación autónoma por medio de paneles solares y baterías recargables; se logra que las baterías duren o funcionen por periodos de tiempo más largos.
- Las redes se pueden configurar en un estado de consumo mínimo mientras no tengan paquetes que transmitir, con lo cual se logra un bajo consumo de energía.
- Una de las principales aplicaciones de WSN es para el control y monitorización.
- Estas redes tienen la capacidad de autoconfiguración, esto puesto que se averiará un nodo, buscaran otros posibles caminos para enviar los paquetes de datos.
- Hacen posible configurar un nodo como enrutador o recolector y si fuese el caso incluso como coordinador, por lo que no requiere tener una infraestructura de red.

- Los enlaces de radio de los nodos son significativamente pequeños por lo que tienen un bajo consumo de potencia por lo cual se necesitan protocolos de encaminamiento multi-saltos.
- Son redes fiables con auto reparación, autónomas de bajo costo, para funcionar necesitan una memoria de bajo tamaño, por todo esto son eficientes.
- Pueden integrarse a otras tecnologías para dar beneficio a otros campos como agricultura, medicina, medio ambiente, etc.
- Tiempo de vida largo.
- Bajo costo.
- Interactúan con otras tecnologías como medicina, biología, etc.

2.4.2. Componentes de una WSN

Una red inalámbrica de sensores se compone de tres elementos como se puede observar en la figura 4, que son:

- Nodos sensores.
- Gateway
- Estación base

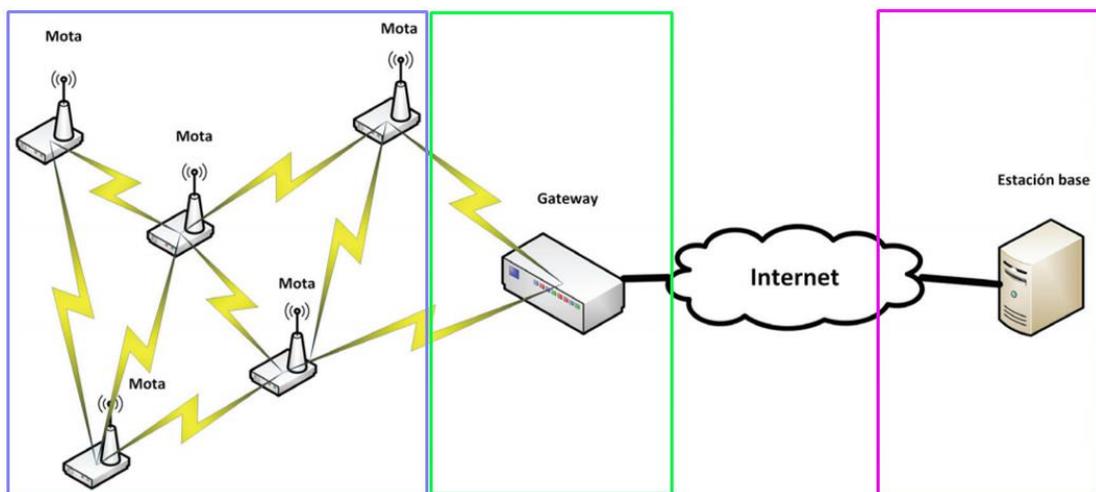


Figura 4: Componentes de una WSN
Fuente: (BEE SENSOR , 2014)

2.4.2.1. *Nodos sensores*

Los nodos sensores están compuestos de varios elementos que hacen posible la interacción del mismo. Como se puede observar en la figura 5.

Un nodo puede estar compuesto de sensores, un circuito análogo, microcontrolador, un módulo inalámbrico y una fuente de energía, que puede ser una batería o pilas que a la vez deberán estar conectadas a un panel solar para que el nodo sea autónomo.

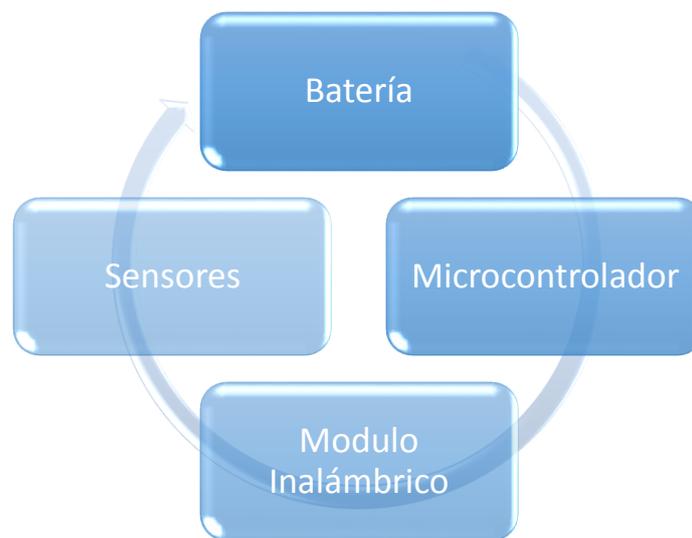


Figura 5: Componentes de un nodo

Fuente: Elaborado por el autor

Los sensores son los encargados de tomar datos de variables que pueden ser ambientales como humedad, temperatura, señales eléctricas, señales químicas, entre otras. Los cuales estarán conectados a un circuito análogo o digital dependiendo el tipo de lectura que realice el sensor que tiene el microcontrolador, el cual es el encargado del procesamiento de los datos recolectados. El módulo inalámbrico también se conecta directamente al microcontrolador que le pasa la información procesada; todos los elementos antes mencionados necesitan una alimentación de energía por lo cual el nodo va a estar conectado a baterías.

2.4.2.1.1. *Baterías*

Este elemento es indispensable, es el que va a proporcionar la corriente al circuito, pero hay que tomar en cuenta que una batería no dura para siempre, por lo que es necesario que se recargue periódicamente. Los nodos sensores generalmente no están cerca de una fuente de energía eléctrica por lo que hay que buscar otras opciones para recargarlas, una de estas puede ser un panel solar o viento.

2.4.2.1.2. *Microcontrolador*

Este dispositivo en el mercado se puede encontrar de varias marcas, tamaños, capacidad de almacenamiento, su velocidad viene dada en Mega Hertz, tiene una memoria EEPROM que sirve para ejecutar los programas que previamente se han escrito en un lenguaje de programación compatible, una memoria RAM en la cual se carga el software que va a tener el dispositivo, una memoria ROM que prácticamente viene a ser la representada por el BIOS.

2.4.2.1.3. *Módulo Inalámbrico*

Este elemento es el encargado de transmitir la información que le proporciona el microcontrolador, recibe paquetes de datos de nodos conectados a la red. Estos dispositivos trabajan a la misma frecuencia por lo que se aprovecha el canal de comunicación, existen diferentes industrias fabricantes que se manejan con distintos protocolos de comunicación. La velocidad del módulo depende de las características que ofrezca el fabricante.

2.4.2.1.4. *Sensores*

Los sensores van a realizar la recolección de datos de las variables de la red, hay sensores que funcionan desde nivel de laboratorio hasta sensores industriales especializados. Los sensores tienen un bajo consumo de energía.

2.4.2.2. Gateway

Estos dispositivos hacen posible la comunicación entre la red de sensores y la red de datos.

2.4.2.3. Estación base

A la estación base van a llegar todos los datos recolectados como en un sistema integrado, aquí se podrá visualizar la información de los datos censados.

2.4.3. Arquitectura de una WSN

La arquitectura de este tipo de redes ha evolucionado notoriamente de acuerdo a las demandas que con el paso del tiempo han aumentado y son exigentes, como aplicaciones cada vez más robustas.

En los inicios de las WSN eran redes pequeñas con nodos parecidos y que al momento de censar llevaban un modelo jerárquico, que solo podía ser usado en un lugar establecido y limitado, tomando en cuenta también que solo era posible realizar la toma de una única variable. (Ubisens, 2012)

En la actualidad existen varias arquitecturas, que han hecho posible que el ser humano pueda interactuar con aplicaciones, que como base son redes de sensores, es así que incluso se han podido incorporar en ámbitos médicos, medio ambientales, militares, entre otros. Por lo que han permitido mejorar la calidad de vida del ser humano en algunos aspectos.

2.4.4. Topologías de una WSN.

Las topologías representan la estructura de la red, en las WSN existen varios tipos de topologías como se puede observar en la figura 6.

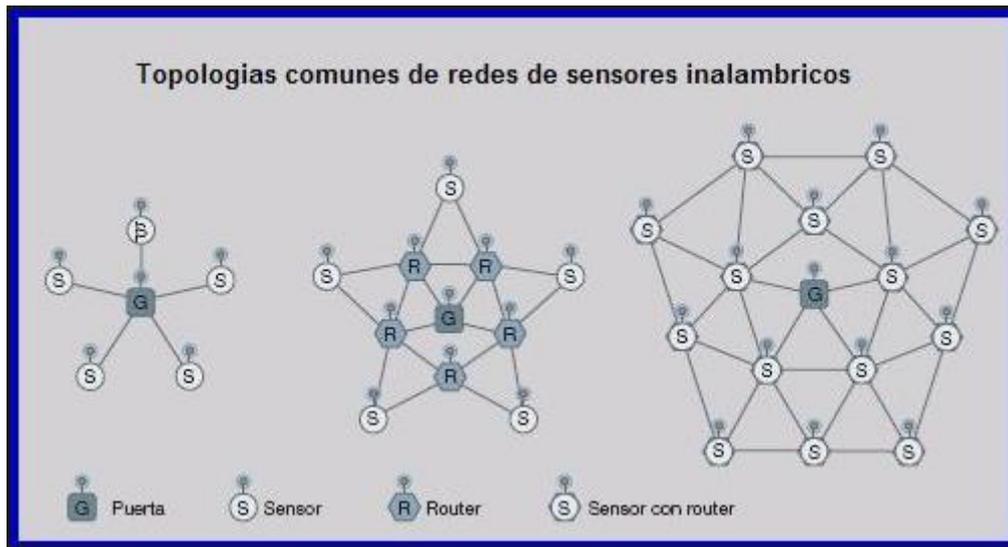


Figura 6: Topologías para redes de sensores

Fuente: (Aakvaag, Niels ; Frey, Jan-Erik, 2006)

2.4.4.1. Topología en Árbol

La red utiliza un concentrador central llamado nodo raíz como principal enrutador de comunicación. En la jerarquía, el eje central es un nivel a continuación desde el nodo raíz. Este nivel inferior forma una red estelar.

La red de árbol se puede considerar un híbrido de la Estrella y las topologías de redes punto a punto. La ruta de red que tome un sensor puede ser de un solo salto o multi-salto, para que el nodo sensor obtenga datos de los sensores del medio ambiente y los envíe al coordinador y el sensor los envía a su gateway luego de recibir los mensajes de datos de los nodos sensores. (Sharma, Divya; Verma, Sandeep; Sharma, Kanika, 2013)

2.4.4.2. Topología en Estrella

Las redes estrella están conectadas a un gateway de comunicación centralizado (sumidero) y los nodos no pueden comunicarse directamente entre sí. Toda la comunicación debe ser enrutada a través de la centralización. Cada nodo es entonces un "nodo sensor" mientras que el eje central es el "Servidor o receptor". Pero hay una

desventaja de comunicación, que al tener un solo nodo que capte la información, si este se echa a perder, toda la red se iría abajo.

También hay que tomar en cuenta que el tráfico de la red va acumularse en un solo punto y esto conllevaría a tener la red más lenta.

2.4.4.3. Topología en Malla

Las topologías de malla implican que el mensaje puede tomar cualquiera de las rutas desde establecidas desde el origen hasta el destino. (Recordemos que incluso en un anillo, aunque existen dos caminos, los mensajes solo pueden viajar en una dirección). Una red en malla completa implica que cada nodo se conecta a todos los demás y hay redes de malla parcial que también existen son en las que algunos dispositivos llamados nodos se conectan solo indirectamente a otros.

En este tipo de redes que son malla/sensor proponen una arquitectura, en la cual tanto los nodos sensores como los enrutadores comparten tareas dentro de la red, por lo que los nodos sensores reducen la carga de la red, aunque los datos siguen preservando la confidencialidad y la integridad. (Sharma, Divya; Verma, Sandeep; Sharma, Kanika, 2013)

2.4.4.4. Topología Híbrida

La propuesta es determinar la ruta óptima de acceso desde el origen al destino con esto se favorece la batería y se alarga el tiempo de vida de la red, el número mínimo de saltos y cargas mínimas de tráfico.

2.4.5. Estándares de comunicación inalámbrica dirigidos a WSN.

Los protocolos de red tradicionales no funcionan bien en una WSN, ya que no están diseñados para cumplir estos requisitos. Por lo tanto, los nuevos protocolos tienen

eficiencia energética, aunque algunos han sido propuestos para que todas las capas de la pila de protocolos cumplan con los requisitos de WSN.

Al hablar de comunicación inalámbrica en el campo de la recolección de información por medio de sensores y realizar un control de los mismos, no es un tema nuevo. Para lo cual existen algunos estándares recomendados para redes inalámbricas que cuentan con un alcance corto, entre los cuales se pueden mencionar IEEE 802.11 e IEEE 802.15.1. Estos generalmente ya tienen aplicaciones de uso personal, mientras que el protocolo IEEE 802.15.4 puede alcanzar distancias más grandes pero a bajas velocidades esto con la finalidad de tener un bajo consumo energético. (Fahari, 2018)

2.4.5.1. IEEE 802.11

El estándar 802.11 es simplemente otra capa de enlace que puede usar la encapsulación 802.C. La especificación 802.11 incluye el MAC 802.11 y dos capas físicas: una capa física de amplio espectro de salto de frecuencia (FHSS) y una capa de enlace de espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS). Revisiones posteriores a 802.11 agregaron elementos físicos adicionales. 802.11b especifica una capa de secuencia directa de alta velocidad (TIR / DSS); los productos basados en 802.11b llegaron al mercado en 1999 y fue el primer mercado masivo que describe una capa física basada en la multiplexación por división de frecuencia ortogonal PHY.

2.4.5.2. IEEE 802.15.1

También conocido como el estándar IEEE 802.15.1 es basado en un sistema de radio inalámbrico diseñado para corto alcance y dispositivos baratos para reemplazar cables para periféricos de computadora, tales como ratones, teclados, joysticks e impresoras. Esta gama de aplicaciones se conoce como red de área personal inalámbrica (WPAN). Una topología es una WPAN formado por un dispositivo Bluetooth que sirve como

maestro en la red uno o más dispositivos Bluetooth que funcionan como esclavos. Un canal de salto de frecuencia basado en la dirección del maestro que define cada red.

2.4.5.3. IEEE 802.15.4

El nuevo estándar IEEE, 802.15.4, define algunas especificaciones a la capa física (PHY) y subcapa de control de acceso medio (MAC) para conectividad inalámbrica de baja velocidad de datos entre dispositivos relativamente simples que consumen un mínimo de energía y normalmente operan en el área personal. Una red 802.15.4 puede ser simplemente una estrella de un salto, o, cuando las líneas de la comunicación supera los 10 metros, una autoconfiguración, red multi-hop.

Un dispositivo en una red 802.15.4 puede usar una dirección IEEE de 64 bits o un cortocircuito de 16 bits dirección asignada durante el procedimiento de asociación, y una sola red 802.15.4 puede acomodar hasta 64k dispositivos. Los enlaces inalámbricos bajo 802.15.4 pueden operar en tres bandas de frecuencia. Estos acomodan tasas de datos sobre aire de 250 kb/s en la banda de 2,4 GHz, 40 kb /s en el Banda de 915 MHz, y 20 kb /s en el 868 Megahercio

A continuación, en la tabla se hace referencia a la comparación entre los tres estándares antes expuestos:

Tabla 1.
Comparativa de estándares inalámbricos

Estándar	IEEE 802.11	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Característica			
Velocidad	54 Mbps	1 Mbps	250 Kbps
Consumo de Potencia	400 mA transmitiendo 20 mA en reposo	400 mA transmitiendo 0.2 mA en reposo	1.8 mA transmitiendo 5.1 uA en reposo
Nº de nodos por master	32	7	64,000
Latencia	3 s	10 s	30 ms

Alcance	100	10	100
Ventajas	Gran ancho de banda.	Sustituto del cable.	Bajo consumo de energía.
Aplicaciones	Navegar en Internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros.	Wireless USB, móviles, informática.	Sistemas de control, productos dependientes de baterías

Fuente: Adaptado de (Flores Carvajal, 2012)

2.5. Hardware

Hardware son todos los elementos físicos que contemple un aparato electrónico, es decir, circuitos electrónicos, placas de procesamientos, módulos, entre otros.

2.5.1. Sensores

Los sensores también tienen la capacidad de transmitir y enviar datos de detección a el microprocesador. La mayoría de los WSN modernos son bidireccionales, lo que permite la comunicación bidireccional, que podría recopilar datos de detección de los sensores a la estación base, así como difundir los comandos de la estación base a los sensores finales. Los nodos de sensor suelen estar dispersos en el campo de trabajo.

Un usuario remoto puede inyectar comandos en la red de sensores a través del receptor para asignar tareas de recopilación de datos, procesamiento y transferencia a los sensores y luego puede recibir los datos detectados por la red a través del receptor.

2.5.2. Placas de Procesamiento

Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto que cuenta con hardware y software fácil de usar. Dado que el diseño de Arduino es de código abierto, hay muchos clones de la gama original disponible que son mucho más baratos que las placas oficiales. El uso de una tarjeta clonada puede ahorrar mucho dinero, y estas tarjetas hacen todo lo

que hacen las placas Arduino, pero es posible que no sean exactamente lo que está buscando.(Arduino, 2017)

Arduino con microcontroladores hace más fácil el trabajo, y también ofrece algunas ventajas como placas económicas y de multiplataforma. A continuación, en la *Tabla 2* y *Tabla 3*, se puede observar las principales características de las placas de Arduino más conocidas.

Tabla 2.

Características de placas Arduino # 1 *Características de placas Arduino # 1*

Características	Arduino Uno	Arduino Mega2560	Arduino Yun	Arduino Ethernet
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega2560	ATmega32U4	ATmega328
Tensión de funcionamiento	5 voltios	5 voltios	5 voltios	5 voltios
Voltaje de entrada recomendando	7-12 voltios	7-12 voltios	5 voltios	7-12 voltios
Voltaje de entrada límite	6-20 voltios	6-20 voltios	-----	6-20 voltios
Pines de entrada/salida digitales	14 los cuales 6 proporcionan salida PWM	54 los cuales 15	20 los cuales 7	14 los cuales 4 proporcionan salida PWM
Pines de entrada analógicos	6	16	12	6
Corriente DC por pin de entrada/salida	20mA	20mA	40mA	40mA
Corriente DC del pin de 3.3 Voltios	50mA	50mA	50mA	50mA
Memoria Flash	32 KB de los cuales 0,5 KB utilizados por el gestor de arranque	256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque	32 KB de los cuales 4 KB utilizados por el gestor de arranque	32 KB de los cuales 0,5 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB	8 KB	2,5 KB	2 KB
EEPROM	1 KB	4 KB	1 KB	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Precio aproximado	22 dólares	38,50 dólares	68,20 dólares	43,89 dólares

Fuente: Adaptado de (Arduino, 2017)

Tabla 3.
Características de placas Arduino # 2

Características	Arduino Micro	Arduino Nano	Arduino Mini-Pro	Arduino Lilypad
Microcontrolador	ATmega32U4	Atmega328	Atmega328	Atmega32U4
Tensión de funcionamiento	5 voltios	5 voltios	5 voltios	3.3 voltios
Voltaje de entrada recomendando	7-12 voltios	7-12 voltios	7-9 voltios	3.8-5 voltios
Voltaje de entrada límite	6-20 voltios	6-20 voltios	5-12 voltios	5 voltios
Pines de entrada/salida digitales	20 los cuales 7 proporcionan salida PWM	22 los cuales 6 proporcionan salida PWM	14 los cuales 6 proporcionan salida PWM	9 los cuales 4 proporcionan salida PWM
Pines de entrada analógicos	12	8	8	4
Corriente DC por pin de entrada/salida	20mA	40mA	40mA	40mA
Corriente DC del pin de 3.3 Voltios	50mA	50mA	50mA	-----
Memoria flash	32 KB de los cuales 4 KB utilizados por el gestor de arranque	32 KB de los cuales 2 KB utilizados por el gestor de arranque	32 KB de los cuales 2 KB utilizados por el gestor de arranque	32 KB de los cuales 4 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2.5 KB	2 KB	2 KB	2.5 KB
EEPROM	1 KB	1 KB	1 KB	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz	8 MHz
Precio aproximado	19,80 dólares	22 dólares	15,40 dólares	24,95 dólares

Fuente: Adaptado de (Arduino, 2017)

2.5.3. Transceptores Inalámbricos

Un transceptor es una combinación de transmisor / receptor en un solo paquete que pueden brindar una comunicación bidireccional.

Un transceptor inalámbrico cuenta con un transmisor y un receptor. En el caso del transmisor este realiza un procedimiento de modulación, que pasan posteriormente a ser

las señales digitales eléctricas en RF o luz, que al generarse son señales analógicas. Transcurrido este proceso los amplificadores aumentan las señales para que puedan ser transmitidos a través de una antena. (Digi, 2017)

A continuación es posible observar algunas características de módulos inalámbricos que a la vez usan los protocolos de comunicación inalámbrica anteriormente anunciados.

2.5.3.1. WI-FI

Wi-fi tiene componentes integrados que incluyen un WiFi chip único, EEPROM e IPD chip como sistema completo módulo que se puede usar fácilmente para la aplicación WLAN 802.11b / g, especialmente en dispositivos de mano.

El BPF está diseñado para tener alta atenuaciones en las bandas de aplicaciones celulares para cumplir con la radio requisito de coexistencia para que el módulo WiFi se pueda utilizar en dispositivos de telefonía celular. Otros componentes SMD como PA, EEPROM, y condensadores de derivación de capacitancia grande se colocan en el laminado sustrato a través de bond-wires, el chip WiFi y los componentes en el IPD están interconectados con los componentes en el laminado sustrato y con los pines del módulo. Los efectos de inductancia de los cables de enlace relacionados con RF las señales y la conexión a tierra también deben tenerse en cuenta. A continuación, en la *Tabla 4* se puede observar sus principales características.

Tabla 4.
Características módulo Wi-fi

Características	WiFi ESP8266
Procesador:	Tensilica L106 32-bit
Voltaje de operación:	3 V – 3.6 V
Consumo de corriente	80 mA
Consumo de corriente en modo sleep:	20 uA

Temperatura de operación:	-40 a 125 °C
Protocolos que soporta:	IPv4 – TCP/UDP/HTTP/FTP
WiFi:	802.11 b/g/n
Potencia de salida:	19.5 dBm en modo 801.11b
Memoria Flash:	Hasta 4 MB
Memoria RAM:	80 KB

Fuente: Adaptado de (Systems, 2015)

2.5.3.2. *Bluetooth*

Todos los dispositivos que participan en las comunicaciones en una red dada se sincronizan usando el reloj del maestro. Los esclavos se comunican solo con su maestro de manera punto a punto bajo el control del maestro. Las transmisiones maestras pueden ser de punto a punto. Además, además de en modo activo, un dispositivo esclavo puede estar en los modos de estacionamiento o en espera a fin de reducir la potencia consumos. Un scatternet es una colección de operacional Las picosegundas de Bluetooth se superponen en tiempo y espacio. Dos las piconetas se pueden conectar para formar una red dispersa. Un dispositivo bluetooth puede participar en varios enlaces al mismo tiempo, lo que permite la posibilidad de que la información fluya más allá del área de cobertura única. En la tabla 5 se puede observar las características del dispositivo Bluetooth HC-05.

Tabla 5.
Características de Bluetooth

Características	Bluetooth HC-05
Protocolo Bluetooth compatible:	V2.0
Protocolo de comunicación:	UART RS232
Voltaje de alimentación:	3.3 V – 6 V
Voltaje de operación:	3.3 V
Corriente de operación:	< 40 mA
Corriente en modo sleep:	< 1 mA

Baud rate ajustable:	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200.
Baud rate por defecto:	9600
Tamaño:	1.73 in x 0.63 in x 0.28 in (4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm)

Fuente: Adaptado de (Estudio, 2018)

2.5.3.3. *Xbee*

Implementa el total de 27 canales que se asignan en 802.15.4, con 16 canales en la banda de 2,4 GHz, 10 canales en el 915 Banda de MHz, y 1 canal en la banda de 868 MHz. Las comunicaciones inalámbricas son inherentemente susceptibles a la interceptación e interferencia. Alguna investigación de seguridad se ha hecho para redes WLAN y sensores inalámbricos, pero persiguiendo la seguridad en las redes inalámbricas siguen siendo una tarea desafiante. 802.15.4 emplea un protocolo completamente conectado para la confiabilidad de la transferencia de datos e incorpora el estándar de encriptación avanzada AES 128 para la transferencia segura de datos. (Digi, 2017)

La comunicación zigbee es una tecnología de comunicación de autoconfiguración, larga duración de la batería, bajo costo y alta confiabilidad. La red Zigbee ha distinguido aplicaciones tales como granjas inteligentes, servicios militares (vignette), de telemedicina, control de dispositivos domésticos y otras aplicaciones comerciales. El monitoreo del medio ambiente en el mundo real es uno de esos ámbitos de aplicación que está atrayendo a investigadores de todo el mundo en respuesta al calentamiento global. La comunicación inalámbrica entre el módulo de interfaz de transductor estándar inalámbrica y el procesador de aplicación con capacidad de red inalámbrica se logra a través de una comunicación zigbee y se selecciona el módulo XBee-PRO S2. Los módulos XBee-PRO S2 son capaces de transferir datos para líneas de visión interiores y exteriores. Para empezar, hemos creado una red entre el coordinador y el nodo a través de X-CTU.

A continuación, en la *Tabla 6* se puede observar algunas características de este transceptor.

Tabla 6.
Características módulo Xbee

Características	XBee ZB S2C Pro
Alcance interior / Urbano	Hasta 90 m
RF al aire libre la línea de visión rango	Hasta 3200 metros
La potencia de transmisión	6.3mW (+ 8dBm) modo Boost
Velocidad de datos de RF	250 Kbps
Tensión de alimentación	2,1 - 3,6 V
Corriente de transmisión (típico)	45 mA (+ 8dBm) Modo Boost
Corriente de apagado	<1uA
Frecuencia	ISM de 2,4 GHz
Temperatura de funcionamiento	-40 A 85 C
Opciones de antena	A través de orificios: PCB, integrado Whip, U.FL, RPSMA
Las topologías de red	Punto a punto, estrella, malla
Número de canales	16 canales de secuencia directa

Fuente: Adaptado por (DIGI, 2017)

2.6. Software

Es un conjunto de componentes lógicos e intangibles, los cuales permiten realizar y controlar tareas determinadas, la interacción entre el software y el hardware hace que un ordenador o cualquier otro dispositivo sea operativo. (Herederó, Agius, Romero, & Salgado, 2010)

2.6.1. Tipos De Software

En función a su uso o utilidad podemos diferenciar 3 tipos de software, los mismos que se detallan a continuación:

2.6.1.1. *Software de sistema*

Es aquel que permite al usuario utilizar el sistema operativo asociado en el dispositivo, con el cual se puede acceder a gestionar los recursos que dispone el hardware además de ofrecer una interfaz al usuario para que este pueda interactuar con el ordenador o dispositivo. (Gómez, 2017)

2.6.1.2. *Software de programación*

Es un conjunto de herramientas que permite al desarrollador elaborar programas de informática utilizando diferentes lenguajes de programación.

2.6.1.3. *Software de aplicación*

Se denomina software de aplicación a aquel que permite al usuario realizar una o varias tareas específicas, en cualquier tipo de actividad susceptible de ser automatizado o asistido, en su gran mayoría estas acciones se cumplen a través de una interfaz gráfica.

2.6.2. IDE de Arduino

El entorno de desarrollo integrado Arduino (Integrated Development Environment) es un programa Java el cual crea un entorno de editor que permite escribir, compilar y cargar las intrusiones que la placa Arduino va a ejecutar, en la figura 7 se puede observar el diseño básico de la interfaz Arduino IDE. (Blum, 2015)

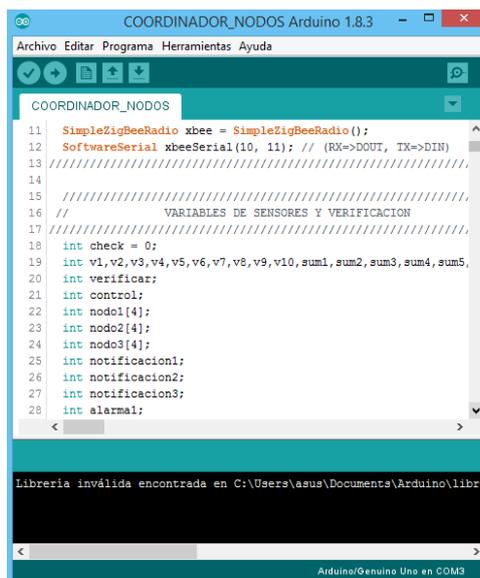


Figura 7: Área de trabajo de Arduino.

Fuente: Programa Arduino

Como se puede evidenciar la interfaz IDE de Arduino contiene cinco secciones principales:

- La barra de menú.
- La barra de tareas.
- La ventana del editor.
- El área de mensaje.

2.6.3. XCTU

Es una aplicación gratuita multiplataforma la cual a través de una interfaz gráfica permite una interacción entre módulos DIGI RF y desarrolladores, la misma que posee herramientas que facilitan la configuración y pruebas de los módulos XBee Rf. (DIGI, 2017)

Esta herramienta proporciona funciones únicas al usuario, las mismas que se detallan a continuación:

- Representación gráfica de la red Xbee, la misma que permite conocer la potencia de la señal de cada conexión.
- Generador de cuadros XBee API, el mismo que ayuda a construir e interpretar marcos API para Xbees que estén configurados en este modo.
- Permite administrar y configurar varios dispositivos Xbees, incluso de manera remota.
- Dos consolas API y AT.

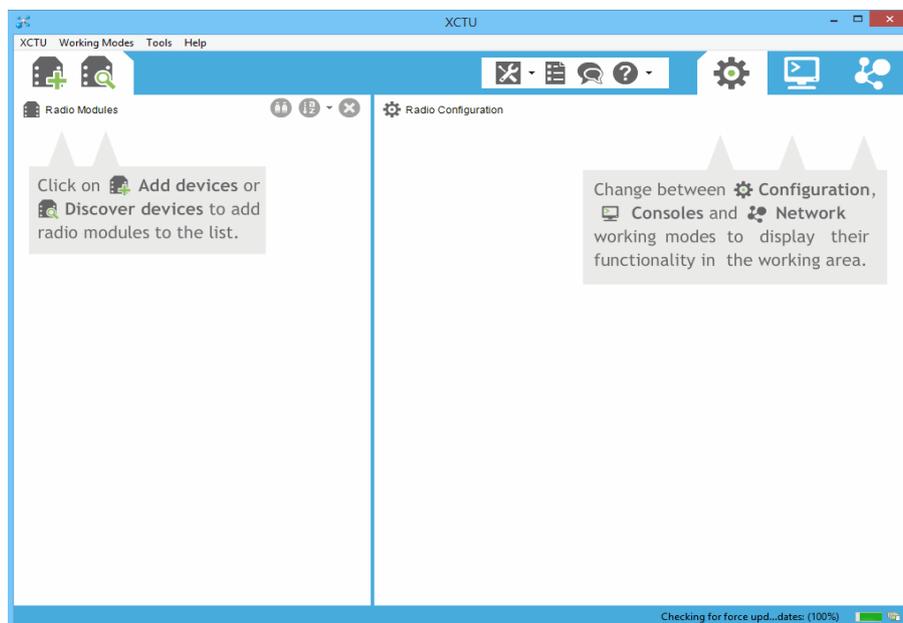


Figura 8: Entorno de Software XCTU

Fuente: Elaborado por el Autor

2.6.4. Página Web

Una página Web es un documento comúnmente escrito o desarrollado en lenguajes como HTML, JavaScript y CSS, que es accesible a través de internet utilizando un navegador de internet. A una página web se accede mediante la introducción de una dirección URL y puede contener texto, gráficos y enlaces a otras páginas web y archivos. (Computer Hope, 2018) Para ver una página web se requiere un navegador. (Internet Explorer, Edge, Safari, Opera, Firefox, Chrome, etc.) Dentro de sus principales características tenemos:

- El mismo código base es reutilizable en múltiples plataformas.
- No ocupa espacio de memoria en los dispositivos.

- Proceso de desarrollo más sencillo y económico.
- No necesitan ninguna aprobación externa para publicarse (a diferencia de las App nativas para estar visibles en App Store).
- La navegación, interacción y el tiempo de respuesta es menor que en una App nativa.

2.6.5. Almacenamiento en la nube

El almacenamiento en la nube es un modelo de computación en la nube en el que los datos se almacenan en servidores remotos a los que se accede desde Internet, o "nube".

El almacenamiento en la nube es un modelo de servicio en el que los datos se mantienen, administran, respaldan de forma remota y se ponen a disposición de los usuarios a través de una red de Internet. Los usuarios generalmente pagan por el almacenamiento de datos en la nube mensualmente. Aunque el costo por gigabyte se ha reducido drásticamente, los proveedores de almacenamiento en la nube tienen gastos operativos adicionales que pueden hacer que la tecnología sea más costosa de lo esperado para los usuarios. (Janssen, Dale; Janssen, Cory, 2018)

La plataforma como servicio (PaaS), consiste en ofrecer a los usuarios un entorno de desarrollo donde los mismos usuarios puedan crear sus propias aplicaciones siempre y cuando estas sean soportadas por el proveedor; infraestructura como servicio (IaaS).(Zander, 2018)

A continuación, se describe tres plataformas de almacenamiento orientadas al Internet de las cosas (IoT), las cuales se encargan de guardar los datos, que los dispositivos conectados a Internet constantemente recopilan y transmiten.

2.6.5.1. Xively

Xively Device Agent puede trabajar con conjuntos de chips de compañías como Qualcomm o STMicroelectronics. Aprovecha las soluciones informáticas de los socios, como la familia de chips CC3200 de TI o la puerta de enlace Cloud Gate de Option. Para

aplicaciones e integración de datos, LogMeIn ofrece su propia serie Xively Time (para la ingestión de datos) y Xively Data Flow (motor de reglas Node-RED), así como servicios de mensajería e integración de socios como Amazon Kinesis, Twilio y Zapier. Desde la perspectiva de API, LogMeIn tiene elementos específicos, como Xively MQTT broker, así como un Xively Blueprint más amplio (directorio de objetos, bibliotecas y modelo de datos) y seguridad en Xively Identity Manager.(Xively,2018)

2.6.5.2. Exosite

Exosite es una compañía de tecnología enfocada en conectar dispositivos y sistemas.

Internet de las cosas (IoT) es una red global de dispositivos físicos que se comunican entre sí, generalmente a través de potentes aplicaciones en la nube que agregan procesamiento de datos, agregación y análisis para proporcionar información comercial y beneficios que de otro modo no serían factibles. Un ejemplo clásico de productos IoT es que las bombillas se pueden controlar de forma remota a través de una conexión a Internet.

También podría lograrse automáticamente mediante la inteligencia en la nube que utiliza datos de otros sensores de la casa y otros servicios de Internet para predecir lo que el usuario querrá. Exosite se asocia con empresas para ayudar a su empresa a optimizar la estrategia de IoT adecuada, descubriendo oportunidades en el camino. (Exosite, 2018)
Las principales características que brinda la solución SaaS de Exosite son:

2.6.5.3. Ubidots

Ubidots es una compañía de análisis y visualización de datos de Internet de las cosas (IoT). Que convierte los datos de los sensores en información que ayudan para la toma de decisiones de negocios, las interacciones máquina a máquina, la investigación educativa

y para aumentar la economización de los recursos globales. Ubidots existe como un medio fácil y asequible para integrar el poder del IoT en uu negocio o investigación. Ubidots desea realizar una expansión y disponibilidad de las tecnologías de resolución de problemas, ya que creen que la exploración tecnológica personal producirá externalidades globales hacia la economización de recursos preciosos que muchos dan por sentado. (Ubidots, 2018)

En la figura 9 se puede apreciar las diferencias entre el ahorro en tiempo y esfuerzo al crear una aplicación de Internet de las Cosas con la plataforma Ubidots, o sin ella:

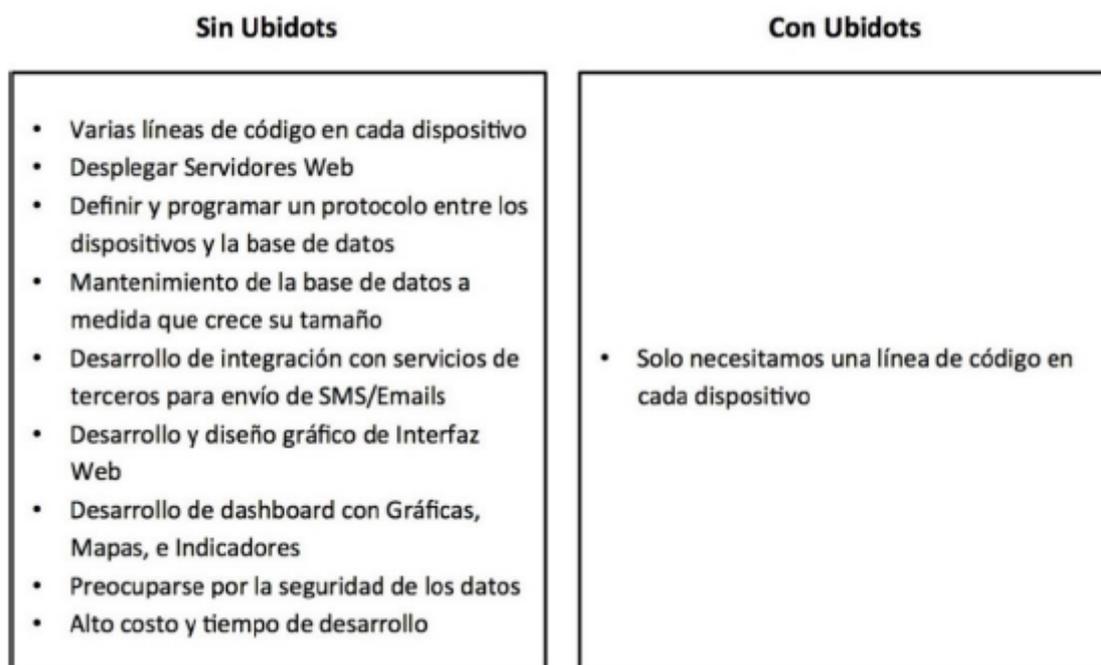


Figura 9: Comparativa de Plataformas Web
Fuente: Adaptado de Ubidots

3. CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo se hará la elección de hardware y software, así que es necesario que se haga una justificación de los mismos, para lo cual se debe escoger una metodología para guiar el diseño y desarrollo del proyecto, en este caso se va a trabajar con la metodología en V.

En este capítulo se describe el diseño de la red WSN y el sistema de monitoreo, tomando en cuenta las variables posibles que existan, se elige como lugar de prueba el Bosque Protector Guayabillas de la Ciudad de Ibarra debido a su alta influencia de incendios forestales en el sector, luego se procede a la construcción de hardware.

3.1. Metodología

Es muy importante que se lleven a cabo una serie de pasos y procedimientos de investigación, los cuales permitirán abrir aún más las perspectivas que se tiene de dicho proyecto. La ejecución clara y objetiva de estos procedimientos de investigación son las que permitirán obtener un enfoque claro de lo que se desea obtener y como se desea lograr.

El modelo a utilizar para el desarrollo de este proyecto es el “Modelo en V”, por motivo que cumple con un proceso metodológico adecuado para la investigación que se realiza y conlleva al cumplimiento de uno de los objetivos específicos planteados. Además, para el análisis y requerimientos del sistema se trabaja con el estándar IEEE 29148 que proporciona un tratamiento unificado de procesos y permite determinar los requisitos de ingeniería de hardware y software.

3.2. Modelo en V

El modelo en V o también conocido como modelo de cuatro niveles, es ideal para proyectos puesto que ayuda a tener una idea clara de las limitaciones y requerimientos entre otros enfoques del proceso. El modelo en V es una representación de las fases que se deben seguir en un proyecto como son las relaciones temporales que se realizan entre las fases del ciclo, como se puede observar en la figura 10.

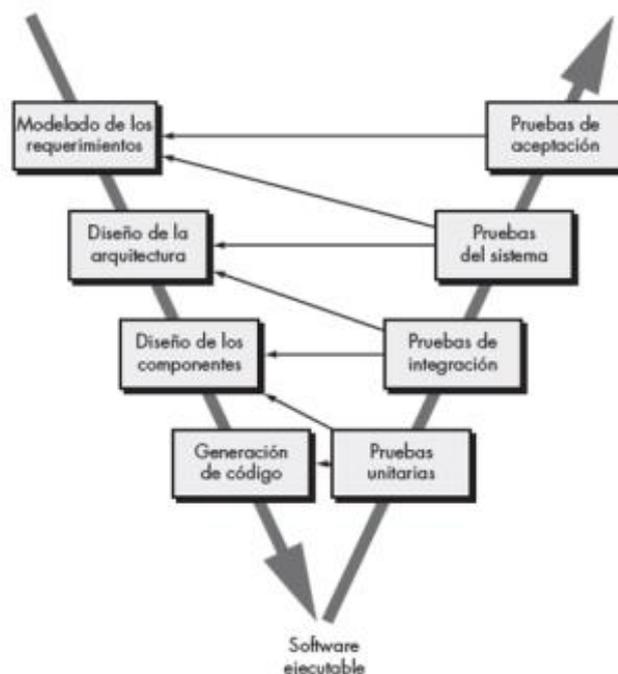


Figura 10: Fases del Modelo en V
Fuente: (Avala, 2015)

En el modelo en V así como hay niveles o fases a seguir, también está dividido en dos paralelas en las cuales se realiza la verificación y validación del proceso, es por eso que en la parte izquierda del modelo están situadas las especificaciones del sistema, mientras que en la parte derecha se realizan las comprobaciones de lo definido en la parte izquierda.

Este modelo está estructurado de esta manera con el objetivo de que cada nivel que haya sido desarrollado pueda tener su fase de pruebas o de verificación, para tener un resultado por cada nivel ejecutado.

- NIVEL 1 este nivel se encuentra orientado hacia el cliente, en esta etapa se realiza un análisis de los requisitos y requerimientos.
- NIVEL 2 este nivel se encuentra orientado hacia las características que debe tener el sistema propuesto, donde es necesario que se consideren las funciones que son visibles para el usuario final, es decir, es el análisis funcional del sistema.
- NIVEL 3 este nivel se encuentra orientado hacia la elección de hardware y software que se serán parte del producto final o que también puede ser denominado arquitectura del sistema.
- NIVEL 4 este nivel se encuentra orientado hacia la implementación de los modelos del sistema.

Las metodologías tienen como realizar buenas prácticas y llegar a los objetivos, las fases tienen como procesos: análisis, especificaciones, diseño, programación, pruebas y documentación.

3.3. Análisis

Por medio de este proceso es posible identificar los requerimientos que se debe tener en cuenta en el diseño del sistema, tomando en consideración la cantidad de sensores necesarios a usarse, la tolerancia a fallos que debe tener la red, con lo cual es posible determinar los requisitos tanto de software como de hardware. Para esto es necesario realizar técnicas de investigación las cuales son herramientas que van a permitir

identificar las necesidades y prioridades del sistema, de igual manera las limitaciones del mismo.

3.3.1 Situación Actual

En la página web del Gobierno Municipal de San Miguel de Ibarra (GADM San Miguel de Ibarra, 2017) el “Bosque Protector Guayabillas” es el pulmón de la ciudad, su extensión es de 54 hectáreas que se encuentra ubicado en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura en el Norte del país, ubicado en la cuenca la cuenca del Río Tahuando y el Valle de la Campiña, ofreciendo a sus visitantes la posibilidad de disfrutar de una vista panorámica de la ciudad.

El Bosque Protector Guayabillas(BPG) limita al norte con la ciudadela La Victoria y la loma del Mirador, al Sur con el sector de Lulunqui y las Malvinas al Oriente con las lomas de Yuracruz, y al Occidente con el río Tahuando y ciudadela La Victoria, tal y como se muestra en la figura 11.



Figura 11: Ubicación Geográfica del “Bosque Protector Guayabillas”
Fuente: Imagen Satelital del Sistema Google Mapas

En la misma página es posible encontrar información de la ficha técnica emitida por el Ministerio de Turismo, donde se puede observar algunas características y propiedades del bosque. A continuación, en la tabla 7, se presenta información relevante acerca del bosque, como es ubicación, extensión, estructura entre otras.

Tabla 7.

Especificaciones Técnicas del "Bosque Protector Guayabillas"

DATOS TÉCNICOS DEL "BOSQUE PROTECTOR GUAYABILLAS"	
Características del Bosque	
Extensión	Este bosque cuenta con un área aproximada de 54 hectáreas.
Densidad	No existen en donde se haya definido el número de individuos por hectárea. Cabe anotar que el bosque se encuentra en un proceso de eliminación de los eucaliptos los mismos que están siendo reemplazados por especies nativas como el cholán y especialmente la guayabilla especie propia de este sitio.
Estructura	Este bosque es principalmente un bosque plantado en donde prevalece el eucalipto, pero existen zonas en las que permanece la vegetación nativa del sitio con la presencia de arbustos como guayabilla, cholán, sauco, algarrobo, entre otros. Existen manchones de vegetación en los que se encuentran al cedro andino. También se encuentran matorrales bastante densos con espina de chivo, uña de gato y zonas herbáceas con kikuyo, verbena, entre otras.
Altura	Los eucaliptos alcanzan entre 10 a 12m de altura, aunque se tienen individuos de mayor altura, se encuentran arbustos con 3 a 4m de altura y hiervas.
Flora	La formación vegetal natural ha sido removida y reemplazada por cultivos forestales de <i>Eucalyptus globulus</i> , cultivos y pastizales, solo se encuentran manchones o remanentes pequeños y generalmente se encuentran en quebradas. Se pueden encontrar algunas especies arbóreas y arbustivas características como <i>Psidium</i> cf. <i>guineense</i> (guayabilla). <i>Tecoma stans</i> (cholán). <i>Phyllanthus salviifolius</i> (cedrillo), <i>Cedrela montana</i> (cedro andino), <i>Solanum</i> sp., <i>Cestrum peruvianum</i> , <i>Asplenium aethiopicum</i> , <i>Pellaea avata</i> , entre otras.
Fauna	Se encuentran algunas especies como <i>Sylvilagus brasiliensis</i> , <i>Conepatus</i> sp., <i>Buteo</i> sp., <i>Falcón</i> sp., <i>Colibrí</i> sp., <i>Phalcooboenus</i> sp., <i>Zenaida</i> sp., <i>Tyto alba</i> , <i>Fulica ardesiaca</i> , <i>Columbia fascista</i> , <i>Columbina passerina</i> , entre otras.

Fuente: GADM San Miguel de Ibarra

Es necesario mencionar que el 25 de agosto del año 2014, hubo incendio de grandes magnitudes que consumió alrededor de 30 hectáreas como menciona en su informe la prensa escrita (UNIVERSO, 2014), afortunadamente no se registraron daños en viviendas de los alrededores, presuntamente el incendio fue provocado, lamentablemente no fue posible identificar a las responsables del hecho.

Por el incendio suscitado en el 2014 el GADM San Miguel de Ibarra asumió el reto de realizar un cambio de cobertura vegetal donde se encuentran sembradas especias como cholán, tulipán y nogal entre ellas hay también algunas plantas ornamentales, en el sitio web del municipio en marzo del 2016 se dio a conocer acerca de la primera etapa de recuperación del bosque donde las especies vegetales plantadas ya llegan a los dos metros de altura y donde se menciona también que en esta área se ha dado un resurgimiento notorio de la guayabilla que es una especie endémica de la zona, como se puede observar en la siguiente figura 12.



Figura 12: Cambio de cobertura vegetal en la zona sur del Bosque

Fuente: (GADM San Miguel de Ibarra, 2016)

En este aspecto se debe mencionar que el cambio de cobertura vegetal se inició a partir del año 2015 y tiene previsto una duración de 10 años, en los cuales se eliminará el eucalipto esta especie que no permite el crecimiento de otras especies nativas de la zona. (Mitis, 2018)

Esta reforestación también se extendió hacia la parte baja de la Loma junto a la ciudadela “La Victoria”, donde en una etapa antes de la reforestación se realiza una quema controlada de la zona para limpiar y quitar residuos como hojas secas, como se puede observar en la figura 13.



Figura 13: Quema controlada y reforestación de la zona junto a la Ciudadela "La Victoria"
Fuente: (Norte, 2018)

Así también se han realizado quemas controladas en otras zonas del Bosque como lo es en la zona sur occidente, que como se puede ver en la figura 14, es la zona que limita con una carretera de acceso vehicular, cabe recalcar que todas las quemas realizadas han sido con el apoyo y colaboración del cuerpo de Bomberos de la ciudad de Ibarra.

La investigación se llevará a cabo en una zona del Bosque Protector Guayabillas, ya que es necesario identificar información acerca del problema por el cual se está desarrollando esta investigación, para lo cual es necesario hacer uso de técnicas que permitan recolectar información.

La Zona 1, que limita con el sector del Río Tahuando y la ciudadela La Victoria que es una zona residencial, es utilizado como parque de esparcimiento familiar y cuenta con senderos para la realización de caminatas y ciclo vías, además de un sector destinado para la realización de asados y área de esparcimiento común.

La Zona 2, es la zona con mayor concentración de árboles de Bosque Protector Guayabillas, aquí se encuentra en Centro de Manejo y Rescate de Fauna Urbana y Silvestre, Viveros y un área de recreación en la parte baja.

En este sitio debido a su geografía está prohibido el acceso vehicular además prevalece el hábitat de múltiples variedades de vegetación como: el eucalipto, pero existen zonas en las que permanece la vegetación nativa del sitio con la presencia de arbustos como guayabilla, chalán, sauco, algarrobo, entre otros. Existen manchones de vegetación en los que se encuentran al cedro andino.

3.3.1.1 Técnicas

Para realizar este trabajo se plantea técnicas de campo, debido a que no existe ningún antecedente de una investigación similar en la institución. En este caso el contacto directo con el bosque. En la figura 16 se puede observar una zona con senderos y abundante vegetación.



Figura 16: Zona boscosa del Bosque Protector Guayabillas
Fuente: Elaborado por el autor

En la zona sur occidental del bosque, ya es posible notar la reforestación realizada en los últimos años con plantas nativas del lugar como la guayaba, como se puede ver en la figura 17.



Figura 17: Bosque Protector Guayabillas zona sur limitada por la zona urbana
Fuente: Elaborado por el autor

3.3.1.2 Observación Directa

La observación directa permite determinar con precisión lo que ocurre en el lugar de investigación, determinar el ambiente y las variables que rodean el lugar, para mejorar el comportamiento de los sujetos e identificar indicadores relevantes que influyan en el diseño de la red. Las fichas de observación se pueden ver en el ANEXO 5.

Para realizar la presente investigación se realizó una observación directa al BPG, donde se pudo evidenciar que existe una vegetación densa en la cual prevalece el eucalipto y matorrales, lo cual impediría que exista línea de vista en algunos sectores del bosque.

Además, en algunos lugares del sector se evidencio la inexistencia de energía eléctrica, motivo por el cual la red a diseñar debe tener como sistema de energía una fuente portable, por este motivo también es fundamental que la tecnología que se escoja tenga un bajo consumo de energía, lo cual permitirá una duración prolongada de la fuente.

3.3.2 Propósito y Ámbito del Sistema

La idea propuesta es desarrollar la red inalámbrica de una WSN para un sistema de Alerta Temprana de incendios forestales que tenga un bajo consumo energético, estableciendo un modo operativo de los módulos inalámbricos para que no haya un gran consumo de batería y que permita testear los valores de sensores como de temperatura.

Por medio de la Red Inalámbrica se enviará información de las variables de los sensores, en la cual se puede identificar posibles alertas de incendio. Por lo que es necesario que los datos lleguen sin ninguna alteración, también es importante que la red

en el caso de que un nodo falle, encuentre otros caminos por los que pueda seguir enviando información de los nodos.

3.3.3 Descripción General

El sistema vendrá acompañado de una red de sensores que estarán testeando paulatinamente la temperatura del ambiente del Bosque Protector Guayabillas. Los sensores de temperatura deberán medir este parámetro con la mayor precisión posible y de forma estable, de manera que si hay una variación se puede identificar como una posible alerta.

3.3.1.1. Funciones del Proyecto

Entre las funciones de la red inalámbrica de sensores se encuentran las siguientes.

- Monitorear variables ambientales como: temperatura, humedad, dióxido de carbono, humo y radiación infrarroja; que permitirán tener los datos de cómo se encuentra el BPG.
- Los datos recolectados podrán visualizarse en una aplicación web.
- En la visualización si existiera una alarma se podrá escuchar un sonido de alerta, por motivo de alteraciones en las variables censadas.

3.3.1.2. Restricciones

Entre las restricciones que se puede encontrar en el sistema, se presentan las siguientes:

- Las pruebas se realizarán exclusivamente con cuatro nodos, los mismos que tres harán la función de nodo sensor y uno de coordinador.
- Para efectos de pruebas en cada nodo se utilizará un sensor, de los cuatro sensores disponibles.

- Los nodos sensores son nodos autónomos, es decir, tendrán una alimentación por medio de paneles solares lo que permitirá a la batería cargarse automáticamente.
- Por el material de construcción de las cajas que recubrirán los nodos, estos pueden estar expuestos al medio ambiente, no obstante, no cuentan con alguna norma que certifique la protección hacia el medio ambiente.
- La única persona autorizada para acceder a la manipulación de los nodos es solamente el administrador.
- El sistema estará orientado únicamente para el censado y monitoreo de variables ambientales, antes mencionadas.
- El sistema solo realizará una visualización de los datos obtenidos, más no los almacenara.

3.3.4 Parámetros de Diseño del Sistema.

Para iniciar el diseño del sistema de alerta temprana, hay que realizar el diseño de la red WSN, para proceder, se debe considerar algunos factores como:

- Tolerancia a Fallos. - Habilidad para mantener a la red de sensores operativa
- Escalabilidad. - Mide la densidad de sensores que puede cubrir por área.
- Limitaciones del Hardware. - Procesamiento de la información.
- Topología de la red de sensores. - Elegir la adecuada según la aplicación.
- Medio de Transmisión. - Por facilidad de operación el medio de transmisión es inalámbrico.
- Consumo de energía. - Existe un máximo consumo de energía en la comunicación (Tx y Rx).

3.4. Requerimientos

Esta investigación trata de realizar el diseño de una red inalámbrica, para un sistema de alerta temprana de incendios, es por esto que es necesario cual es la tecnología que pueda cubrir con las necesidades de esta investigación.

Por medio del análisis que se realizó en el punto anterior se ha recopilado información necesaria, que son los requisitos que se deben cumplir en la red, se ha logrado llegar a es en base a las necesidades que se han presentado. Es por esto que hay que realizar una evaluación de Requerimientos de Usuario, de Sistema y de Arquitectura.

3.4.1. Stakeholders

Es el grupo de personas a las cuales les interesa o son partícipes de la investigación directa o indirectamente, estas personas y entidades pueden ser beneficiados/afectadas de las actividades del proyecto.

*Tabla 8.
Lista de Stakeholders que intervienen en el sistema*

Lista de Stakeholders	
1.	Población cercana al "Bosque Guayabillas"
2.	Universidad Técnica del Norte
3.	Ing. Jaime Michilena
4.	Srta. Vanessa Enríquez

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.2. Construcción y Atributos

Los requerimientos deben plantearse tomando en cuenta los requerimientos tanto de stakeholders como del sistema y de la arquitectura.

3.4.3. Nomenclatura que se va a usar para identificar los requerimientos

Los requerimientos deben ser identificados y poder reconocerlos con facilidad es por esto que se deben manejar con cuidado, por eso los requerimientos serán identificados con una abreviatura para tener un buen manejo de los datos, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 9.
Lista de Requerimientos y su abreviatura

Requerimiento	Abreviatura
De Stakeholders	StRS
De Sistema	SySR
De Arquitectura	SrSH

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.4. Requerimientos de Stakeholders

Antes de diseñar el sistema es oportuno tomar en consideración algunos requerimientos que están enfocados en la parte operativa del sistema y también en basa a las necesidades de los usuarios, es por esto que en la tabla 10 se puede ver algunas especificaciones que son necesarias tomar en cuenta como requisitos, así también algunos parámetros que ayudaran en esta investigación.

Tabla 10.
Requerimientos Operacionales

#	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
StRS 1	Que la red sea capaz de tolerar fallos	☒	☐	☐

StRS 2	Elección de topología de la red de sensores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StRS 3	Bajo consumo de energía	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StRS 4	Adquisición de los datos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StRS 5	Visualización de los datos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StRS 6	Capacidad para funcionar por largos periodos de tiempo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
StRS 7	El sistema tenga información actualizada	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StRS 8	El sistema permita visualizar información del censado de los nodos conectados	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Elaborado por el autor

Los requerimientos que se han planteado han sido por medio del análisis que se realizó anteriormente en el punto 3.3, y con la observación directa realizada en el “Bosque Protector Guayabillas”, esto es necesario para saber acerca del entorno operativo y como el usuario va a poder visualizar la información, donde haya información que pueda ser fácilmente interpretada por el usuario.

3.4.5 Requerimiento del Sistema

Para elaborar la tabla de requerimientos de sistema es importante hacer un análisis de cuáles serán los requerimientos funcionales, cuales son las características de uso que va a presentar, Por lo cual en la Tabla 11 se han planteado las funciones que el sistema debe realizar.

Tabla 11.
Requerimientos de funciones del Sistema

#	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
SySR 1	Monitoreo de sensores como temperatura, CO2.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 2	Lectura de las variables de los sensores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 3	Manual de configuración	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 4	Mayor estabilidad de los sensores	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 5	Elegir una tecnología Inalámbrica que se adapte a los requerimientos del lugar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 6	Capacidad de conexión inalámbrica de nodos sensores a un nodo central	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 7	Precisión de los sensores en la lectura de datos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 8	Definir rangos de lectura por parte de los sensores	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 9	La red inalámbrica pueda conectarse a Internet	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 10	Comunicación a través de puertos Seriales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 11	Modo AP	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 12	Modo Estación	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 13	Modo AP- Estación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 14	Cobertura del sistema en toda la zona donde se realice las pruebas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR 15	Tamaño del dispositivo reducido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

SySR 16	Resistencia del dispositivo al medio ambiente	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---------	-----------------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.3 Requerimientos de Arquitectura

Para el funcionamiento de la red inalámbrica, es necesario hacer un análisis de los requerimientos iniciales tanto de software como hardware. Con el objetivo que pueda funcionar correctamente, en la tabla 12 se puede observar los requerimientos necesarios que deben tener los elementos que se elija para usarse.

Tabla 12.
Requerimientos de Hardware y software necesarios

#	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
SRSH 1	Entradas y salidas digitales	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 2	Convertor análogo digital	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 3	Comunicación punto-punto, o punto-multipunto hacia otros dispositivos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 4	Adquirir Hardware de bajo costo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 5	Obtención de software libre o de bajo costo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 6	Obtener software para diseño de placa	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 7	Poseer licencia de software gratuita	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 8	Facilidad de descarga de librerías necesarias para la configuración del módulo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 9	Capacidad de programar a la placa desarrollada en base a un microcontrolador	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 10	Placa de desarrollo que se basa en un microcontrolador con tamaño reducido	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 11	Módulo inalámbrico con capacidad de realizar lecturas de sensores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SRSH 12	Los módulos inalámbricos se comuniquen inalámbrica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 13	Compatibilidad de protocolos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 14	Tomas eléctricas para alimentación del sistema	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 15	Baterías portables para alimentación de dispositivos sensores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Elaborado por el autor

3.5. Recursos

En el marco de la investigación, hay que tomar en cuenta las personas que estarán involucradas dentro de la investigación, es decir, las cuales están detrás de la investigación, que aportan con ideas y en la toma de decisiones con respecto al proyecto, como se puede observar en la tabla 13.

Tabla 13.
Recursos Humanos

HUMANOS	
TUTOR	Ing. Jaime Michilena
DESARROLLADOR	Srta. Vanessa Enríquez

Fuente: Elaborado por el autor

3.6. Elección de Software y Hardware

Realizado el análisis de requerimientos, es necesario plantear las posibles opciones de elementos electrónicos y programas que pueden ser usados en el desarrollo del proyecto. Para lo cual se debe elegir realizando una evaluación de acuerdo a las opciones planteadas, para calificar la opción más apropiada que cumpla con la mayor parte de requerimientos.

3.6.1. Elección de Hardware

Para los dispositivos que se van a usar, tienen que cumplir con varias características como que procese la información enviada o reenvíe los paquetes de datos al nodo central o coordinador. Hay que tomar en cuenta que el dispositivo debe también cumplir con los requerimientos que se han planteado. En la tabla 14 se toma en cuenta la valorización de elementos disponibles que se han capaces de procesar información y se procederá a elegir el que tenga la puntuación más alta.

Tabla 14.

Elección de dispositivo para el Procesamiento de información.

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN TOTAL
	SRSH 10	SRSH 11	SRSH 12	SRSH 13	
Arduino Yung	0	1	0	1	2
Intel Galileo	0	1	0	1	2
Raspberry Pi	0	1	0	1	2
Arduino Ethernet	1	1	1	1	4

Cumple "1" No cumple "0"

Fuente: Elaborado por el Autor

Elección: El dispositivo que cumple con las características que se plantearon en los requerimientos es el módulo Ethernet de Arduino, con el cual se va a trabajar en el sistema.

En el caso de la comunicación inalámbrica de la red inalámbrica de sensores (WSN), hay varias tecnologías que pueden ser aptas para el sistema, en la tabla 15 se realizará una valoración de acuerdo a los requerimientos que nos hemos planteado para es coger la opción más adecuada de acuerdo también a las características del lugar donde se va a ubicar.

Tabla 15.
Elección de Hardware de Comunicación Inalámbrica

HARDWARE	REQUERIMIENTOS						VALORACIÓN TOTAL
	SYSR1	SYSR2	SYSR5	SYSR6	SYSR10	SYSR14	
RF24L01	1	0	0	1	0	1	3
Xbee S1	1	0	1	1	1	1	5
Xbee S2	1	1	1	1	1	1	6
WI-FI	1	1	0	0	0	0	2
Bluetooth	1	0	0	0	1	0	2
		Cumple "1"		No cumple "0"			

Fuente: Fuente: Elaborado por el autor

3.6.2. Elección de Sensores

Para realizar la elección de sensores que se van a utilizar, hay que decir que en el mercado existen una gran variedad, pero hay que tomar en cuenta que la red inalámbrica está diseñándose para un sistema de alerta Temprana de Incendios, por lo que después de realizar una investigación del tipo de variables que deben ser ocupadas en este tipo de sistemas, se llegó a la conclusión de escoger a los sensores de la tesis de (Ortiz Arciniega, 2017), que realiza una selección de sensores para una WSN de un SAT en el Bosque Protector Guayabillas.

A continuación, se detallan algunos parámetros de los sensores escogidos, en el caso de los sensores de humedad y temperatura se escogió el DHT22 que es capaz de realizar la toma de lectura de las dos variables la fiabilidad es alta su precisión es mayor de 98% y en temperatura es alrededor de 99,6%. Así mismo se realizó la evaluación se los demás sensores como de flama, humo, CO2, también hay que tomar en cuenta que el costo no es tan alto.

En la tabla 16 se puede observar la descripción de los sensores DHT22, YG1006, MQ2, MQ135, como lo habla el autor (Ortiz Arciniega, 2017).

Tabla 16.

Valores máximos de las variables tomadas de los sensores.

VARIABLES	VALORES NORMALES	VALORES RIESGOSOS
Temperatura	10°C a 40°C	>40°C
Humedad	>30%	<30%
CO2	360ppm	>1000ppm
Radiación infrarroja	No hay llamas.	Presencia de llamas.
Humo	No hay humo.	Presencia de humo.

Fuente: (Ortiz Arciniega, 2017) p83

3.6.3. Elección de Software

Para realizar la elección de software se debe tomar en cuenta varios criterios en los cuales deben estar las especificaciones hechas en los requerimientos, de esta manera se elegirá desde el punto de vista funcional, tecnológico y operativo a la mejor opción que se adecue a esto.

Cabe recalcar que por la elección de la placa Arduino UNO, automáticamente el software de IDE de Arduino se utilizara para poder configurar y programar el dispositivo; así mismo en el caso del programa XCTU-DIGI será el software en el cual se realizara la configuración de los módulos inalámbricos Xbee PRO S2C, es por esto que en la tabla 17 se encuentran planteado únicamente la elección de la plataforma WEB que permitirá la visualización de los datos y un almacenamiento en la nube.

Tabla 17.
Elección se Software

SOFTWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN TOTAL
	SRSH 10	SRSH 11	SRSH 12	SRSH 13	
Xively	1	0	1	1	3
Exosite	1	0	1	1	3
Ubidota	1	1	1	1	4

Cumple "1" No cumple "0"

Fuente: Elaborado por el autor

Ubidots es una plataforma que permite crear líneas de código y asociar dispositivos con gran facilidad, permite observar los datos recolectados en tiempo real y llevar un registro de ello, posee varias formas de mostrar los datos y generar alertas, no se necesita tener aplicaciones extras para poder ver los datos, ya que solo basta con ingresar a la página web de Ubidots e iniciar sesión para visualizar los datos recolectados por los dispositivos que tengamos asociados, lo cual facilita la monitorización de los mismos.

3.7. Hardware utilizado en el Sistema Electrónico

El hardware utilizado en la red inalámbrica de sensores está diseñado por tres nodos sensores los cuales serán capaces de brindar los datos de las variables de los sensores de humedad relativa, temperatura ambiente, cantidad de CO₂, cantidad de humo y datos de flama; también tendrá un nodo principal o central (Gateway) que va hacer la función de comunicar a la WSN y la red TCP/IP con el fin de realizar la recolección de las lecturas de los nodos sensores en forma inalámbrica. En el nodo central también habrá un módulo Ethernet que enviará información a una plataforma web o a un servidor WEB.

3.7.1 Placa Arduino UNO

Para el nodo central se empleó la placa Arduino UNO, donde receptorá toda la información de los nodos sensores por medio de un módulo Zigbee, utilizando un Shield construido adecuadamente para adaptarlo al diseño del Arduino; así mismo para el proceso de envío hacia la base de datos se utiliza un Ethernet Shield que permite la unión a un puerto Ethernet y por ende la comunicación. En la figura 18 se puede observar una placa Arduino UNO.

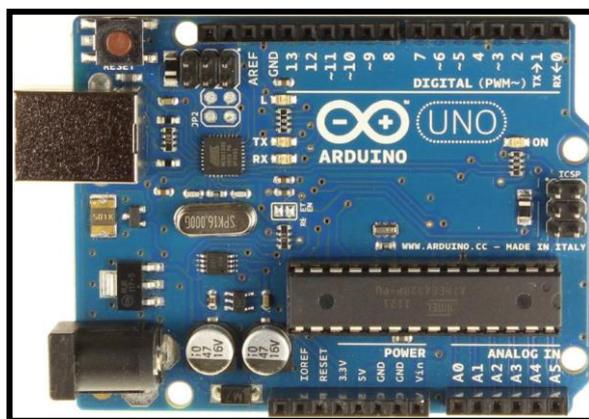


Figura 18: Arduino uno
Fuente: (Ojeda, 2018)

Características de Arduino UNO

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| • Microcontrolador | ATmega328P |
| • Tensión de funcionamiento | 5V |
| • Voltaje de entrada (recomendado) | 7-12V |
| • Voltaje de entrada (límite) | 6-20V |
| • Digital pines I/O | 14 (de los cuales 6 proporcionan una salida PWM) |
| • PWM digital pines I/O | 6 |
| • Pines de entrada analógica | 6 |
| • Corriente DC por Pin I/O | 20mA |
| • Corriente DC para Pin 3.3V | 60mA |
| • Memoria flash | 32KB ATmega328P |

• SRAM	2KB ATmega328P
• EEPROM	1KB ATmega328P
• Velocidad de reloj	16 MHz
• Longitud	68,6 mm
• Anchura	53,4 mm
• Peso	25 g

Diagrama

En la figura 19 se puede observar el diagrama de distribución de pines de una placa Arduino UNO.

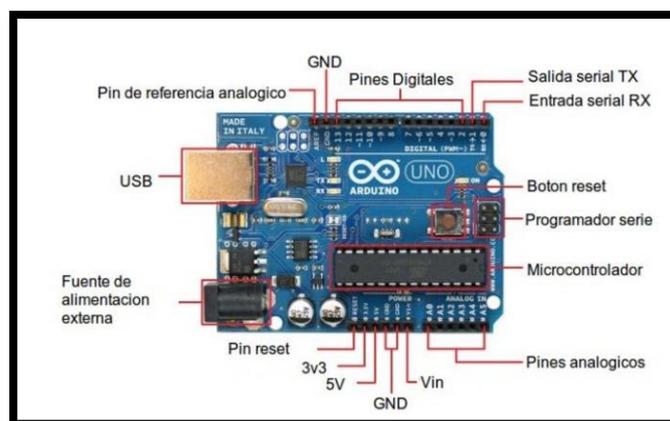


Figura 19: Diagrama de módulo Arduino UNO
Fuente: (Jordiz, 2018)

Alimentación

Para la alimentación de la placa Arduino UNO es posible utilizar una conexión USB o una fuente externa con un adaptador de AC-DC (110-5 voltios), el rango recomendado es de 7 a 12 voltios. En la figura 19 se puede observar la distribución de pines del arduino UNO.

La alimentación se encuentra en los siguientes pines:

- VIN: Este pin suministra tensión a la placa Arduino por medio de una fuente externa de alimentación.

- 5V: Pin para alimentar a la placa con 5 voltios siendo regulado por el regulador de la placa.
- 3V3: Pin para suministrar 3,3 voltios a la placa.

Pines de Entrada y Salida

Los 14 pines digitales que se encuentran en la placa trabajan a 5 voltios y tienen funciones específicas:

- Comunicación Serial: Para la transmisión y recepción RX (0) y TX (1).
- Interrupciones Externas: 2 y 3.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11.
- LED: Pin digital 13.
- Posee 6 entradas analógicas nombradas A0 a A5.

Comunicación UART

Para lograr la comunicación de la placa con un ordenador u otras placas, este Arduino ofrece el módulo USART que permite la comunicación de forma asíncrona o sincrónica. UART es un componente esencial para lograr la comunicación de los subsistemas de una computadora, toma datos y los transmite de forma secuencial.

3.7.2 Arduino Ethernet Shield

El Arduino Ethernet Shield se encuentra formado por el chip Wiznet W5100 como se indica en la figura 20, siendo de mucha utilidad capaz de conectarse a la red IP. Su infraestructura permite conectarse con el Arduino UNO y Arduino Megas sin uso de dispositivos extras, provee de cuatro conexiones simultáneamente. (Xbee.cl, 2017)

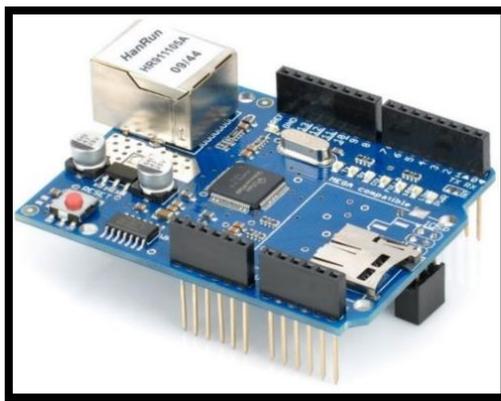


Figura 20: Figura de Arduino ethernet

Fuente: (Crespo, 2017)

Arduino Ethernet Shield cuenta con un conector Ethernet RJ45, un lector de tarjeta Micro SD, un botón de reset y leds indicadores cuya información se detalla a continuación:

- PWR: indica que la placa y la Shield están alimentadas.
- LINK: indica la presencia de un enlace de red y parpadea cuando la Shield envía o recibe datos.
- FULLD: indica que la conexión de red es full dúplex.
- 100M: indica la presencia de una conexión de red de 100 Mb/s (de forma opuesta a una de 10Mb/s).
- RX: parpadea cuando la Shield recibe datos.
- TX: parpadea cuando la Shield envía datos.

3.7.3. Módulo Xbee Por S2C

El XBee-Pro S2C es un módulo de bajo costo que permite realizar conexiones inalámbricas entre dispositivos electrónicos. Trabaja con una frecuencia de 2.4Ghz y te permitirá crear redes de conexión punto a punto, punto a multipunto, broadcast y mesh

En esta nueva generación de XBee-Pro Serie S2C se incorpora la comunicación SPI (serial peripheral interface) que provee un intercambio de datos con una alta velocidad entre dispositivos, optimizando la conexión con microcontroladores. En la figura 21 se puede observar el módulo inalámbrico Xbee PRO S2C.

Este modelo de XBee-Pro S2C posee un alcance de 90 metros en lugares cerrados y hasta 3200 metros en lugares abiertos, línea vista y en las mejores condiciones. Cuenta con 15 pines I/O de los cuales 4 puedes utilizar como entradas analógicas de 10-bit.



Figura 21 Modulo inalámbrico Xbee Por S2C
Fuente: (Ojeda, XBee CI, 2017)

Características

- Frecuencia de trabajo: 2.4 GHz
- Velocidad de datos (máx): 250.000b/s
- Técnica de modulación: DSSS
- Rango de alcance: Hasta 3200 metros
- Sensibilidad: -101 dBm
- Voltaje de la fuente: 2.7 V ~ 3.6 V
- Corriente – Recepción: 31 mA
- Corriente – Transmisión: 120 mA

- Interfaz de comunicación: SPI, UART
- Capacidad de memoria: 32kB Flash, 2kB RAM
- Tipo de montaje: Through Hole
- Temperatura de operación: -40°C ~ 85°C

3.7.4. Sensores

La elección de los sensores y de los módulos utilizados para el testeo de la WSN, se realizó acorde al planteamiento de la tesis (Ortiz, 2017), como se indicó previamente en el apartado 3.6.2.

3.8. Diseño de Red Inalámbrica de sensores

Por medio de la metodología tipo v, se ha logrado realizar un análisis, por lo que ha sido posible identificar los factores que deben ser tratados dentro de la investigación y así poder plantear los requerimientos del sistema, y por medio de ellos realizar la elección de software y hardware que serán las herramientas con las que se va a desarrollar el proyecto.

Este caso de investigación se basa en una red inalámbrica de sensores para el BPG, en dónde la información recabada ha hecho posible la toma de decisiones acerca del diseño de la misma.

Como se habló en el apartado 3.3.1 perteneciente a la situación actual del BPG, se había indicado que está dividido en dos zonas como se observa en la **figura 15**, de las cuales la zona dos es la más poblada por vegetación y ha sido una de las zonas más afectadas por incendios forestales, que han consumido gran parte de este lugar.

La zona 2 es la más concurrida por turistas y población de la zona puesto que cuenta con lugares de esparcimiento como juegos infantiles, casetas de construcción mixta que ofrecen un lugar para preparar alimentos, y con esto la posibilidad de compartir momentos

en familia y distracción. Como se puede observar en la figura 22. También ofrece senderos donde se puede ir a caminar o practicar deporte como ciclismo de montaña.



Figura 22: Área de camping del BPG
Fuente: Elaborado por el autor

Por los motivos antes expuestos se toma la zona dos para realizar el diseño de la red inalámbrica, que cuenta con alrededor de 21 hectáreas. Parte de esta zona se está reforestando con el objetivo de tener más plantas endémicas de la zona y para erradicar el eucalipto, que es una especie generalmente seca y que cuando hay un incendio tiende a empeorar la situación.

3.8.1. Diagramas de bloque

La red inalámbrica de sensores está diseñada por un nodo central que es el encargado de recibir y procesar la información que le transmitan los tres nodos sensores. En el diagrama de bloques general que representa la Arquitectura del sistema se puede observar cómo se encuentra interconecta la red inalámbrica como en la figura 2

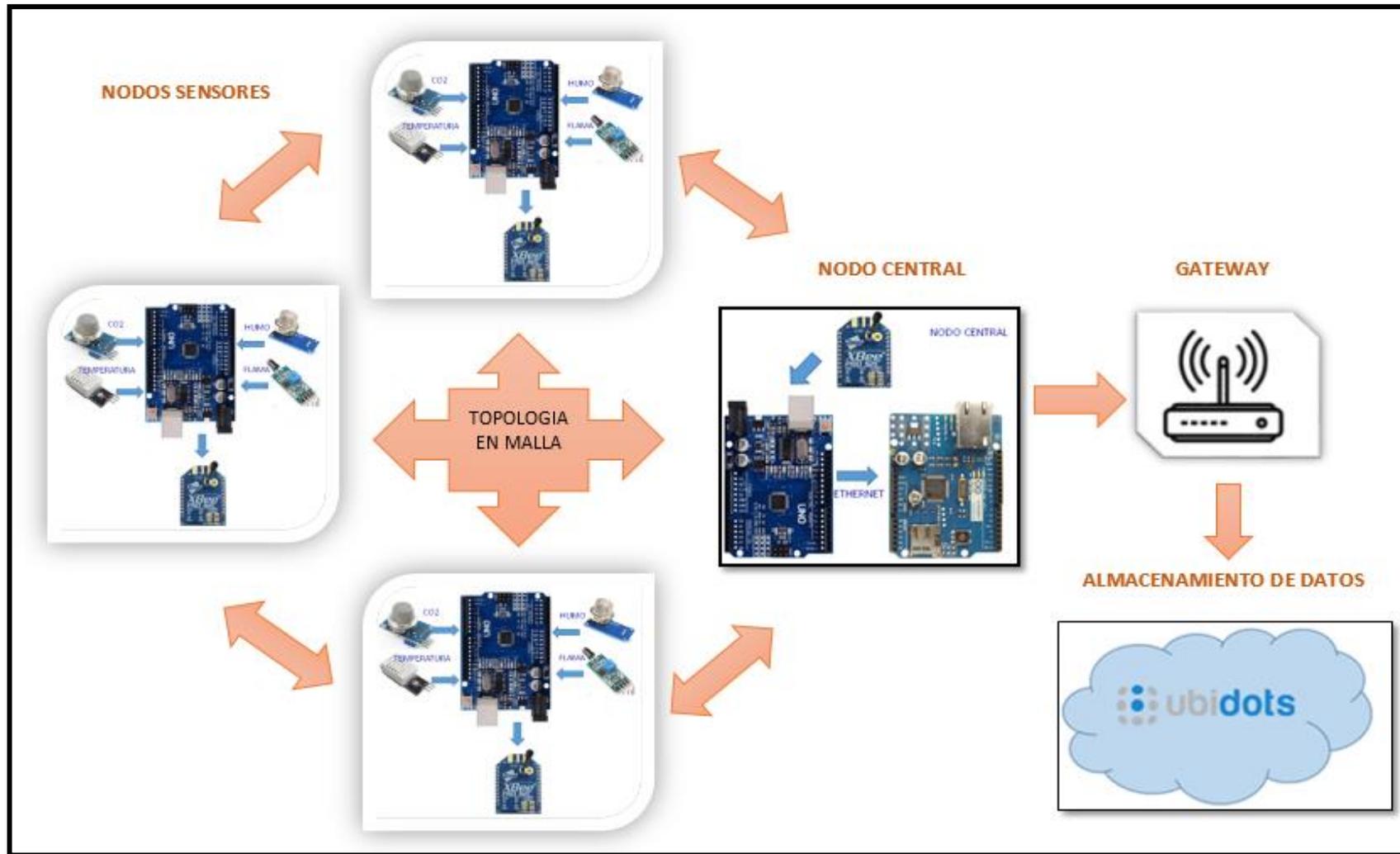


Figura 23: Grafica de elementos que contempla el sistema en general
Fuente: Elaborado por el autor

El sistema básicamente se constituye de tres nodos sensores y del nodo central, donde los nodos sensores cuentan con cinco variables que son, temperatura, humedad, concentración de dióxido de carbono (CO₂), flama y humo. La información de los sensores será enviada al nodo central por medio un módulo inalámbrico, para posteriormente ser visualizada la información.

3.8.2. Arquitectura del Sistema

La arquitectura del sistema está formada por dos partes principales que son: la WSN y la visualización de datos en un servidor web, donde la WSN está constituida por una serie de sensores y unos pocos nodos coordinadores.

3.8.3. Topología de la red

Para la elección de la topología que se va a usar en la red inalámbrica de sensores hay que considerar el consume energético de los nodos y en qué situación ambiental se va a desplegar la red, ya que la vegetación puede producir algunos obstáculos que eliminarían la línea de vista entre elementos inalámbricos.

Para el modo de conexión de la red, también hay que considerar aspectos como si un nodo llegase a fallar, que la red tenga otro camino para poder enviar los paquetes de datos, es decir que la red soporte fallos. Por lo que se implementará una red tipo malla.

El módulo inalámbrico que se utilizara es el XBee S2C Pro que teóricamente permite un alcance 3200 metros con línea de vista y 90 metros en lugares cerrados. Si bien es cierto estas son las características del nodo inalámbrico, pero se necesita realizar pruebas de campo y verificar cómo funcionan los elementos en el lugar.

En el BPG, existen montañas que provocan desniveles de altura que impediría que se cumpla el alcance máximo del módulo inalámbrico, puesto que se perdería la línea de

vista, así también en algunos lugares hay una vegetación espesa, mientras que en otros por el proceso de reforestación la vegetación no supera el metro de altura.

3.8.4. Ubicación de los nodos

En esta sección se definen los lugares en los que deben ir ubicados los nodos sensores y centrales, para lo cual se toma en cuenta los parámetros previamente establecidos en el análisis de requerimientos, y de esta manera lograr que el sistema funcione adecuadamente.

Después de escoger el modulo inalámbrico Xbee PRO S2C y sabiendo que el alcance en espacios abiertos es de hasta 3000 metros y sin línea de vista puede llegar a ser de 90 metros, se establecerá la ubicación de los nodos sensores, para lo cual se ha tomado en cuenta que en el bosque existen zonas con abundante población de vegetación y árboles que pueden llegar a medir 8 metros aproximadamente y esto puede afectar como interferencia a la red inalámbrica y cubre los puntos de línea de vista.

La ubicación de los nodos en estas posiciones corresponde a las características del módulo inalámbrico y a la vez al sector geográfico en donde se va a posicionar la red, es por esto que como se puede notar en la figura 24, se ha ubicado una mayor concentración de nodos en el sector central de la zona 2, ya que hay una mayor cantidad de árboles que podría interferir en la red, tomando en cuenta estas consideraciones la ubicación de los nodos se plantea como se puede visualizar en la figura 24.

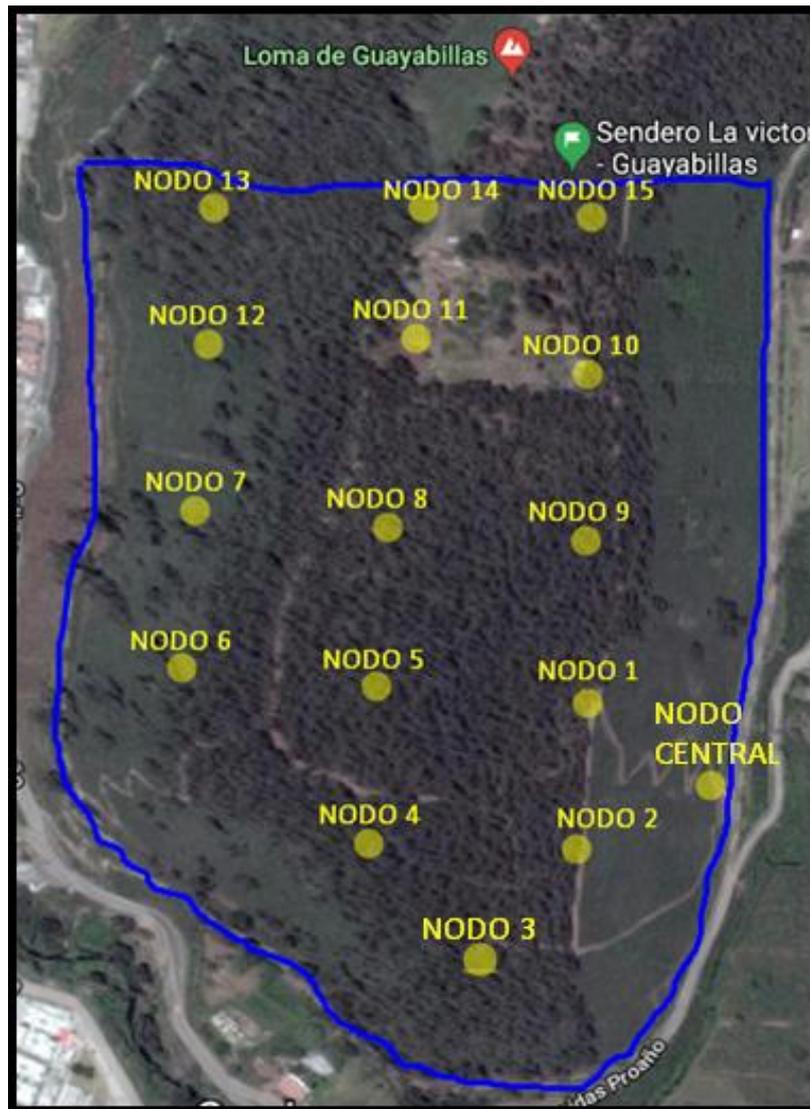


Figura 24: Ubicación de los nodos en el BPG

Fuente: Elaborado por el autor

Para el despliegue de la red se han planteado 15 nodos sensores y un nodo central, los cuales se encuentran distribuidos a una distancia de 100 metros. En el caso del nodo central se ha ubicado en la garita de la entrada principal del BPG en donde hay luz eléctrica y servicio de internet, así se facilita para que los datos censados puedan ser subidos a la plataforma en tiempo real.

Para dejar estableciendo la ubicación exacta de los nodos se utilizó la herramienta de GoogleMaps para establecer la latitud y longitud de cada uno, como se especifica en la tabla 18.

Tabla 18.
Ubicación de los nodos

Nodos	Latitud	Longitud
Nodo Central	0.336190	-78.106.107
Nodo 1	0.336625	-78.107.107
Nodo 2	0.335679	-78.107.158
Nodo 3	0.335190	-78.107.785
Nodo 4	0.335844	-78.108.370
Nodo 5	0.336755	-78.108.251
Nodo 6	0.336615	-78.109.140
Nodo 7	0.337646	-78.109.101
Nodo 8	0.337603	-78.108.204
Nodo 9	0.337534	-78.107.219
Nodo 10	0.338458	-78.107.272
Nodo 11	0.338437	-78.108.139
Nodo 12	0.338536	-78.109.062
Nodo 13	0.339304	-78.109.014
Nodo 14	0.339338	-78.108.143
Nodo 15	0.339242	-78.107.219

Estos datos de ubicación servirán para realizar la simulación de la red inalámbrica, con el objetivo de determinar si hay línea de vista en los enlaces e identificar la zona de Fresnel, todo esto se pudo realizar por medio del programa Radio Mobile.

Para la predicción del comportamiento de la red WSN bajo los parámetros establecidos se utilizó el software de simulación Radio Mobile; el cual permite visualizar la existencia de línea de vista y de igual manera que la zona de Fresnel se encuentre libre de obstáculos.

Establecer los sitios idóneos en el BPG para los nodos sensores minimiza la pérdida de información, es por ello por lo que se inicia con la ubicación de las diferentes coordenadas de dichos elementos de la red, para lo cual se tomaran los datos la latitud y longitud que pueden encontrar en la tabla 18. En la figura 25 se puede observar el ingreso de la ubicación del nodo central.

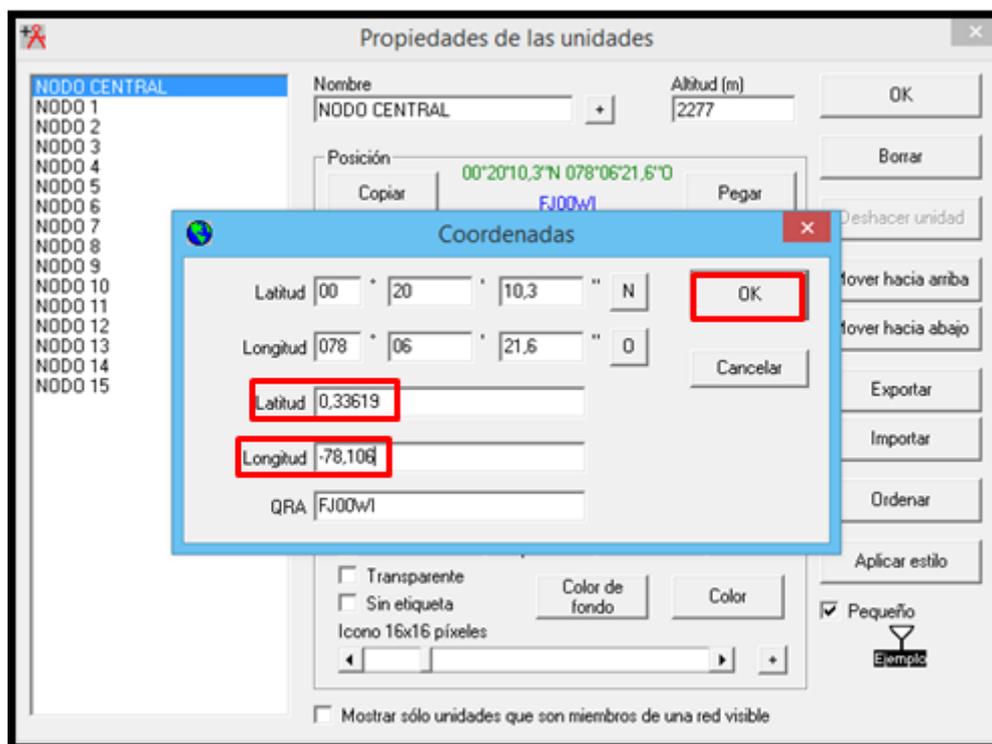


Figura 25: Ingreso de coordenadas en Radio Mobile

Fuente: Elaborado por el autor

Como se puede observar en la figura 26 los nodos involucrados o que son miembros de la red WSN son 15 nodos sensores y un nodo central, que al igual que el ingreso de información del nodo sensor, se realizara un proceso igual con el ingreso de la ubicación de cada uno, este es el primer requisito para empezar con la creación de la simulación de la red inalámbrica.

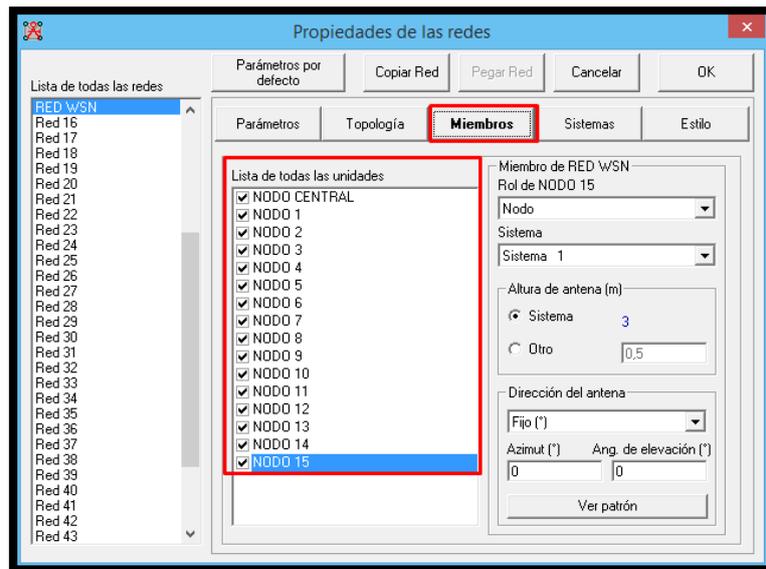


Figura 26: Establecimiento de la ubicación de los nodos en Radio Mobile

Fuente: Elaborado por el autor

Con el ingreso de las coordenadas de los diferentes componentes de la red WSN se puede observar la distribución de dichos elementos en la zona 2 del BPG, esto se lo puede evidenciar en la figura 27.

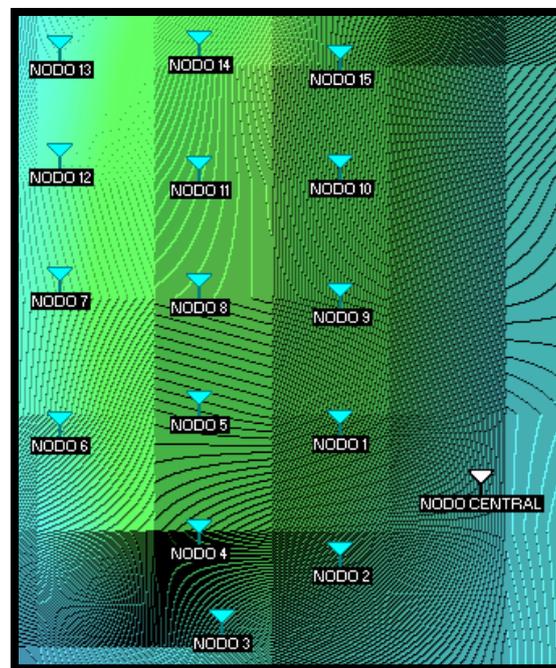


Figura 27: Distribución y ubicación de la red inalámbrica

Fuente: Elaborado por al autor

Durante la simulación es necesario trabajar con los parámetros de propagación propios de la antena del módulo xbee, para obtener datos reales del comportamiento de la red, los mismos se detallan a continuación:

- Frecuencia de operación mínima de 900 MHz.
- Frecuencia de operación máxima de 2400MHz.
- Polarización horizontal de la antena.
- Potencia de transmisión de 18 dBm.
- Ganancia de la antena 4dBi.
- Sensibilidad de -101 dBm.

En la figura 28 se puede observar el ingreso de frecuencias y otros parámetros acerca de la antena que usa el Xbee PRO S2C.

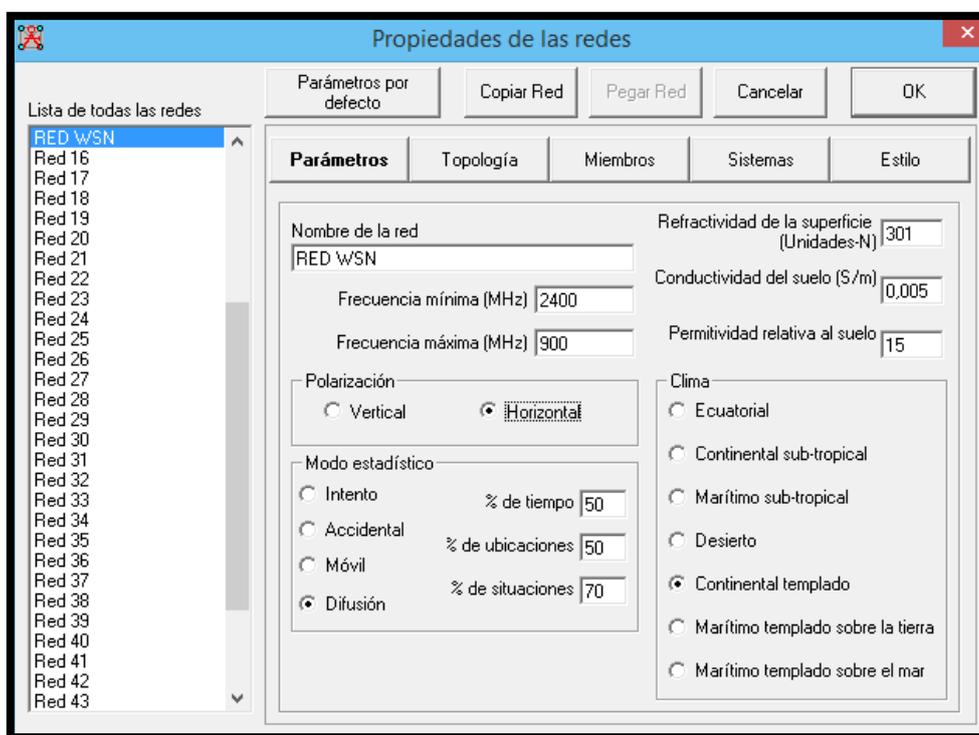


Figura 28: Ingreso de parámetros del módulo inalámbrico

Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 29 se puede evidenciar la red tipo malla, con la implementación de esta topología es posible llevar información entre nodos y al nodo central por diferentes

caminos, con lo cual se puede garantizar que no exista ninguna interrupción en la comunicación.

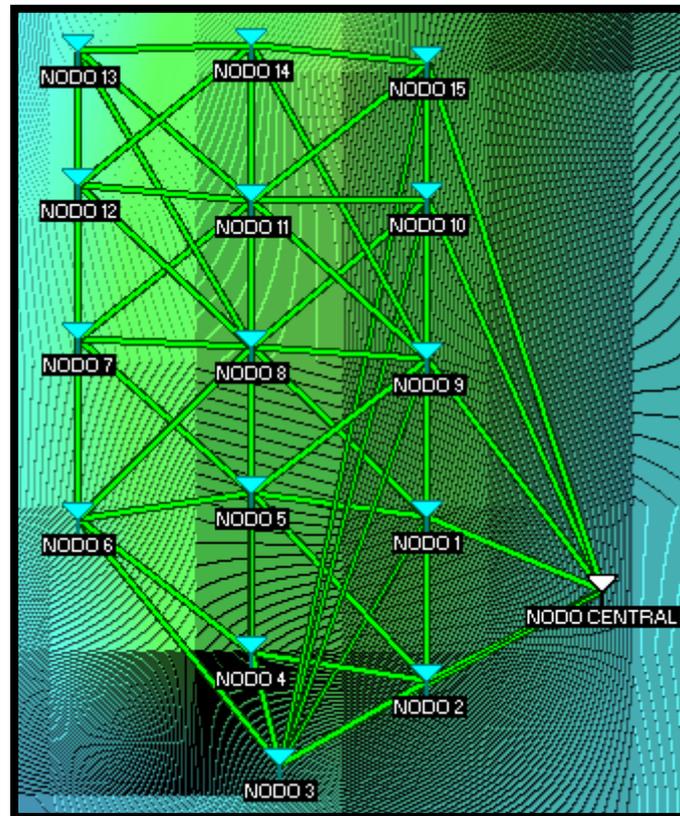


Figura 29: Visualización de la topología de conexión de la red inalámbrica

Fuente: Elaborado por el autor

La herramienta permite visualizar la existencia de línea de vista y zona de Fresnel, en la misma que se puede observar los parámetros anteriormente configurados. Esta herramienta permitió establecer que la altura idónea a los que se debe ubicar los nodos del nivel del suelo es de 4m, con lo cual se obtiene un rango aceptable de transmisión y recepción.

En la figura 30 y 31 se puede observar los parámetros del enlace entre nodo 1 y nodo central, entre los cuales destaca que aunque haya relieve de la montaña al ubicar un nodo a una altura de 4 metros los nodos pueden establecer comunicación.

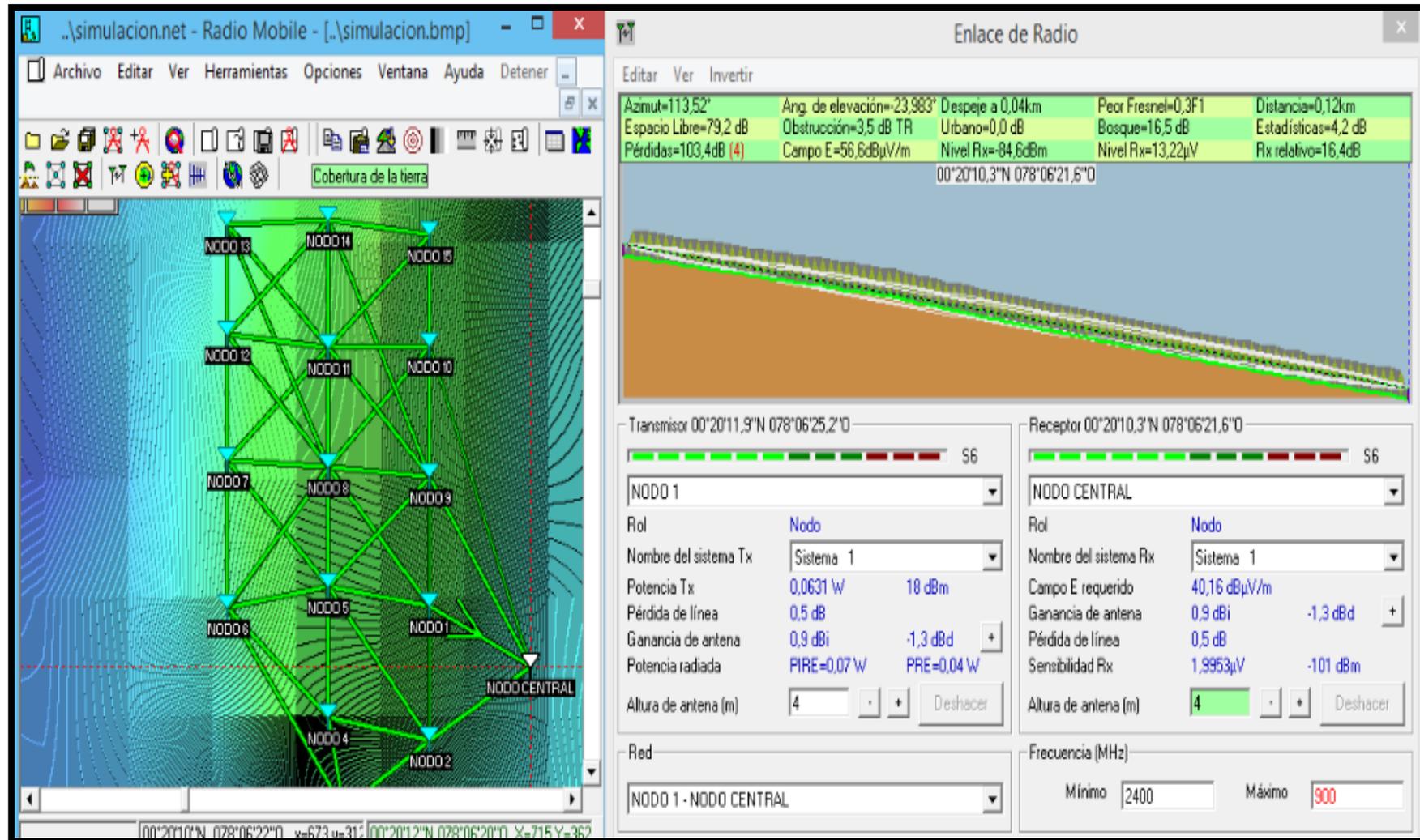


Figura 30: Simulación de enlace entre NODO1 y NODO Central

Fuente: Elaborado por el autor

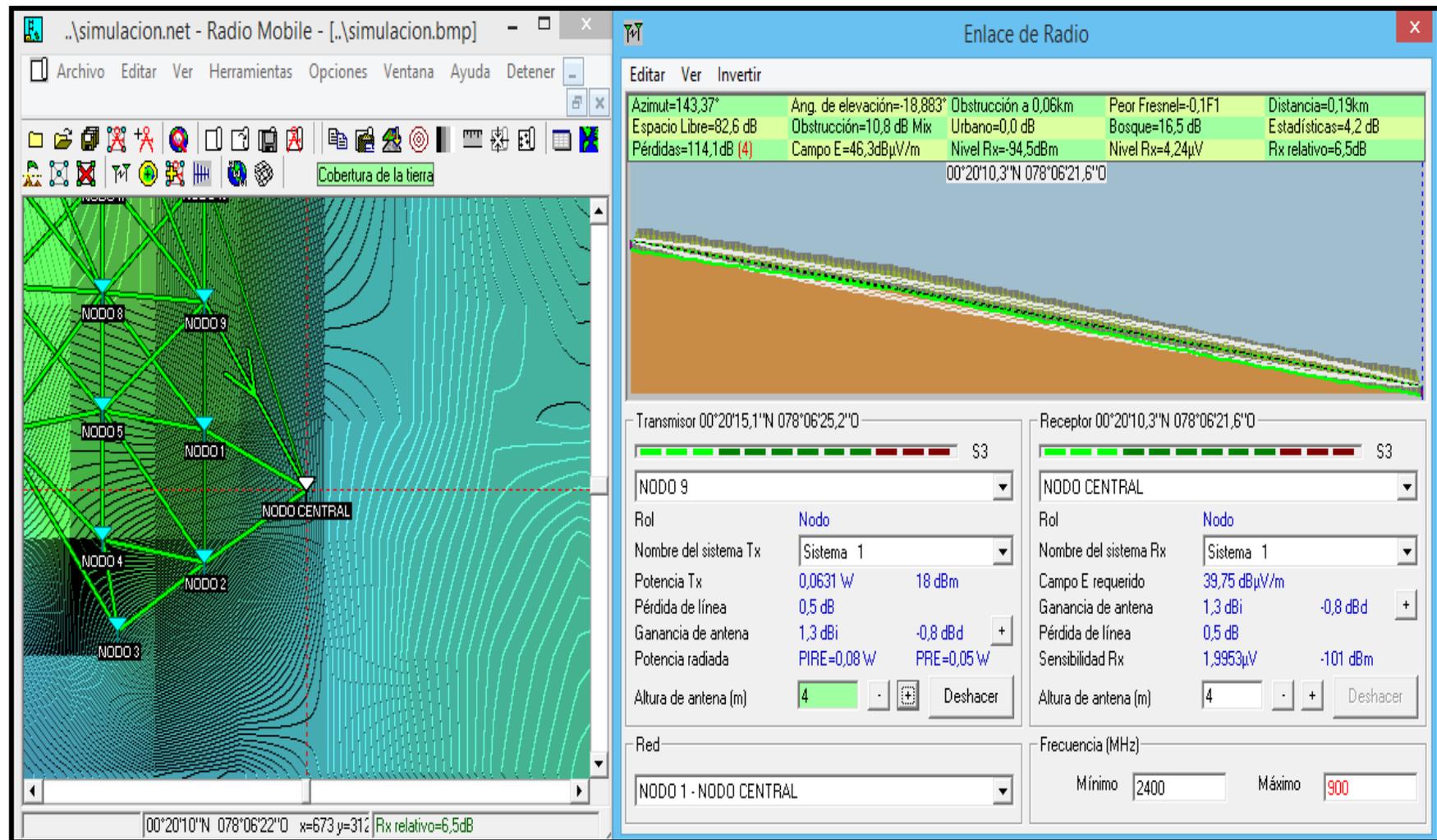


Figura 31: Simulación de enlace entre NODO1 y NODO CENTRAL
Fuente: Elaborado por el autor

3.8.5. Nodo Central

En el nodo central como se observa en la figura 32 se recibirá los paquetes enviados por los nodos sensores y se recolectara los datos para procesarlos, este mismo nodo es el encargado de subir la información a la nube por medio de una plataforma de monitorización y almacenamiento de datos.

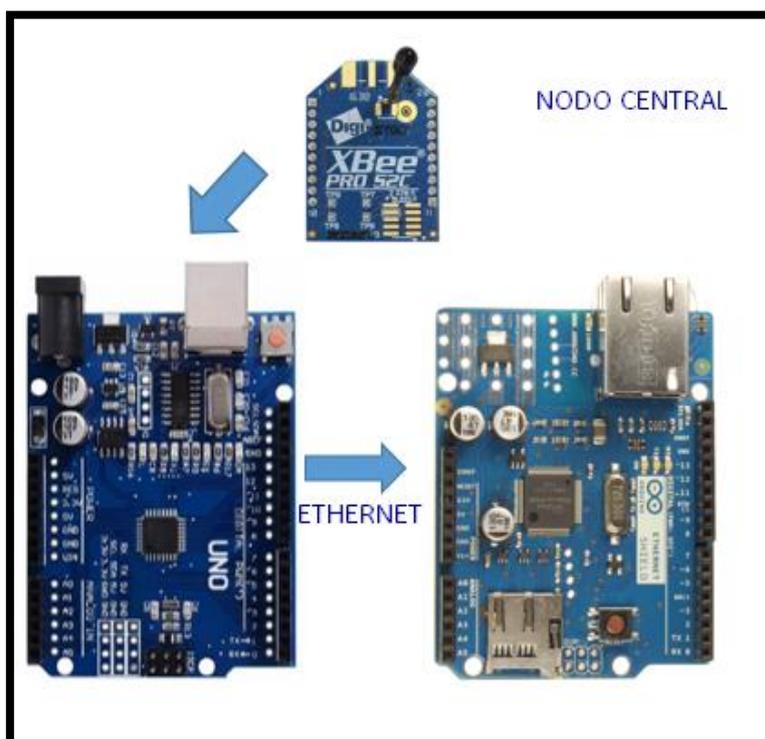


Figura 32: Módulo de nodo central

Fuente Elaborado por el autor

Para lograr estas funciones se necesitan de algunos elementos, que ya se escogieron previamente en la elección de hardware como son:

- Arduino UNO: que es una placa de programación, que en este caso es encargado de recibir, almacenar temporalmente los datos, procesarlos e identificar de que nodo vienen.

- Placa Shield Ethernet: permite habilitar la comunicación entre el servidor o plataforma web, con la placa de programación, con lo que es posible así, que la información que contiene se pueda subir a la nube y visualizarla.
- Placa Elaborada tipo Shield Xbee: Esta es una placa que hace posible conectar el módulo inalámbrico con el microprocesador y de esta manera lograr intercambiar datos.
- Módulo Xbee S2C PRO: Este es el transceptor inalámbrico que se eligió para crear y desplegar la red inalámbrica de sensores.

En la figura 33 se puede observar la conexión de los elementos del nodo central.

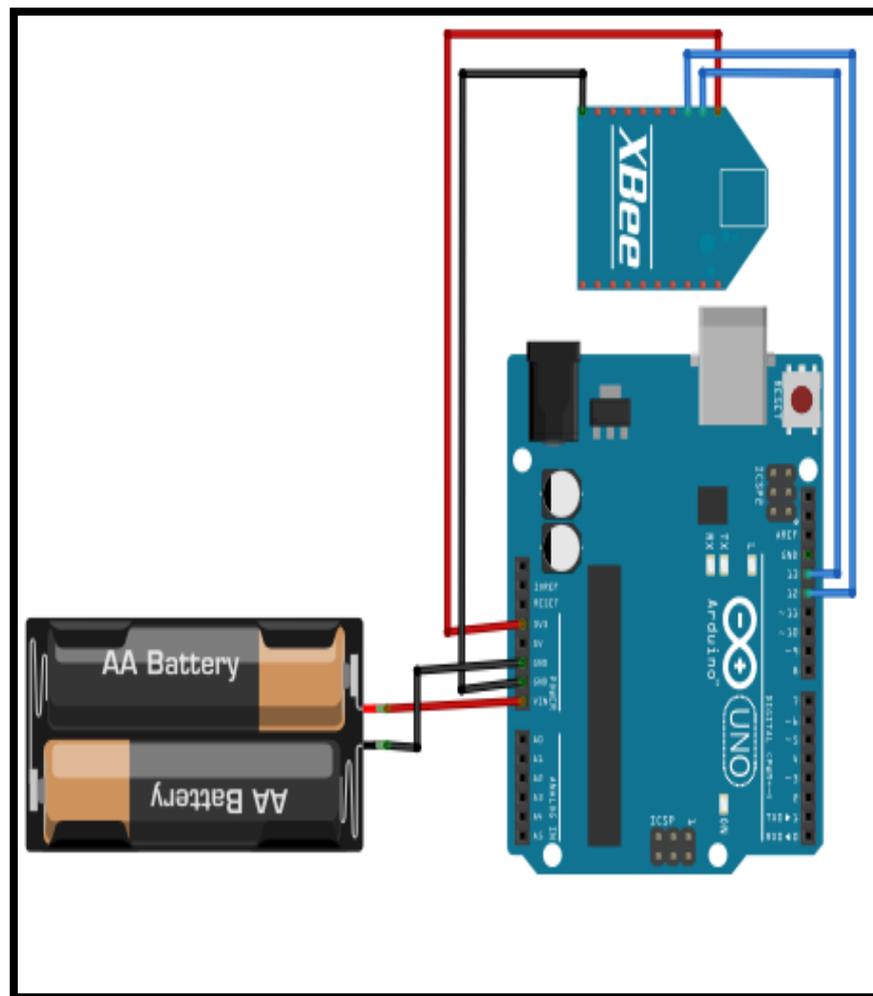


Figura 33: Esquemático del nodo central

Fuente: Elaborado por el autor

3.8.5.1. Diagrama esquemático de nodo Central

El diagrama esquemático permite visualizar la conexión de todos los elementos vinculados en el nodo central, como se muestra en la figura 34, donde también se puede observar los pines que están siendo utilizados.

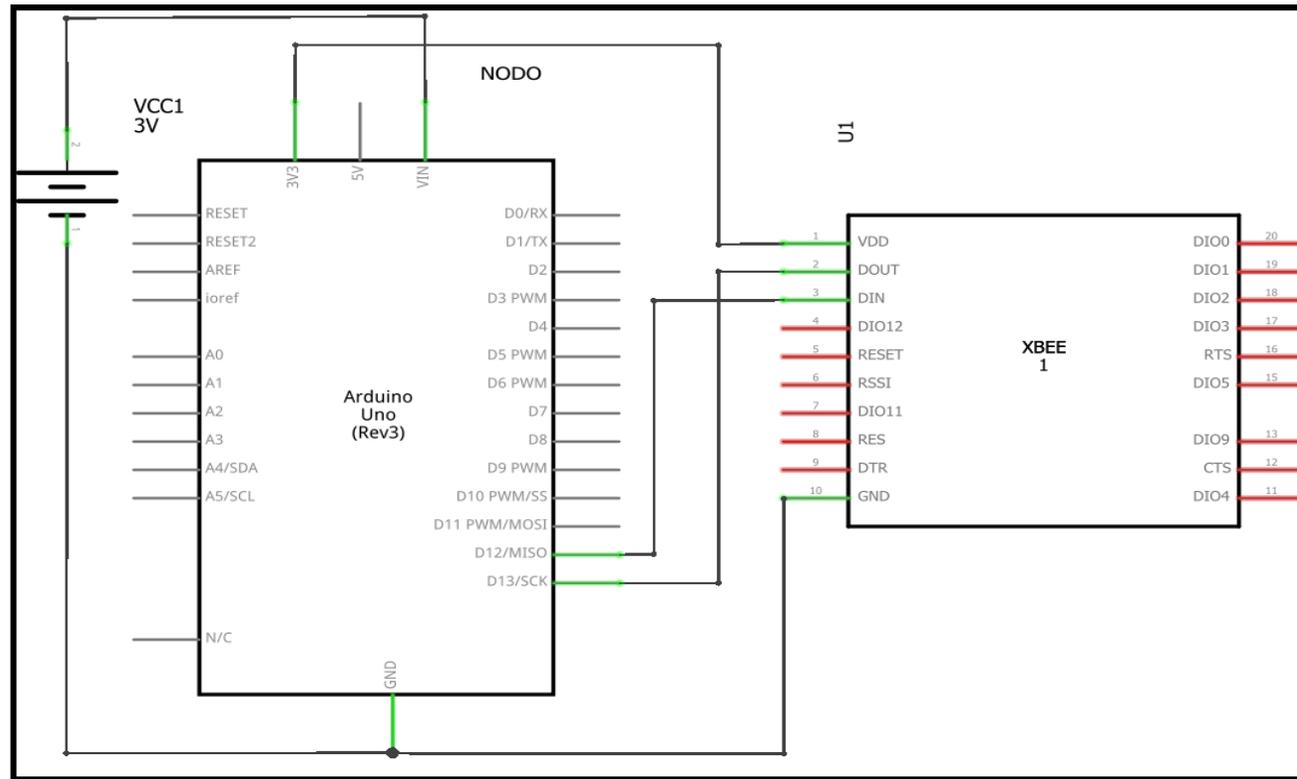


Figura 34: Diagrama circuital de nodo central
Fuente: Elaborado por el autor

Esta representación gráfica hace posible visualizar los elementos del nodo central. En la figura 26 se puede observar los dispositivos que conforman el nodo central.

3.8.6. Nodo Sensor

Poseen sensores de temperatura, flama, monóxido de carbono, humo y humedad relativa, dos sensores por cada módulo sensor, la señal sea análoga o digital que envían dichos sensores ingresan al Arduino Uno, pasan por una conversión análoga- digital de ser el caso para que se pueda procesar dichos valores análogos y mediante la comunicación UART los datos obtenidos pasan al bloque de la comunicación inalámbrica, los módulos Zigbee, y seguidamente estos transmiten los datos de forma inalámbrica hacia el nodo central.

Los otros dos módulos sensores tienen la misma funcionalidad, adquisición y transmisión de datos que el módulo sensor 1, ya que serán colocados en diferentes sitios, a continuación, en la Figura 35, se muestra el diagrama de bloques del Módulo Sensor.

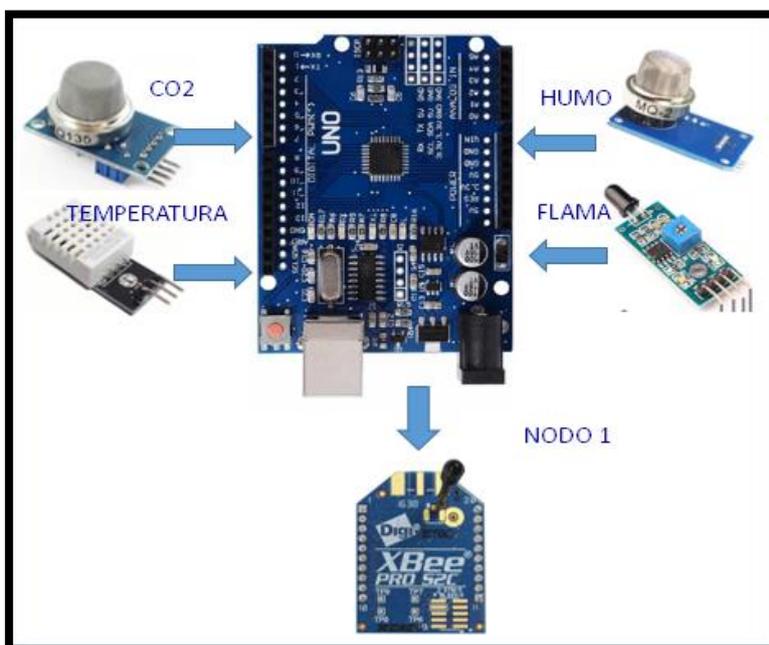


Figura 35: Representación gráfica del nodo sensor

Fuente: Elaborado por el autor

3.8.6.1. Diagrama esquemático nodos sensores

El diagrama circuital permite visualizar la conexión de todos los elementos vinculados en los nodos sensores, como se muestra en la figura 36.

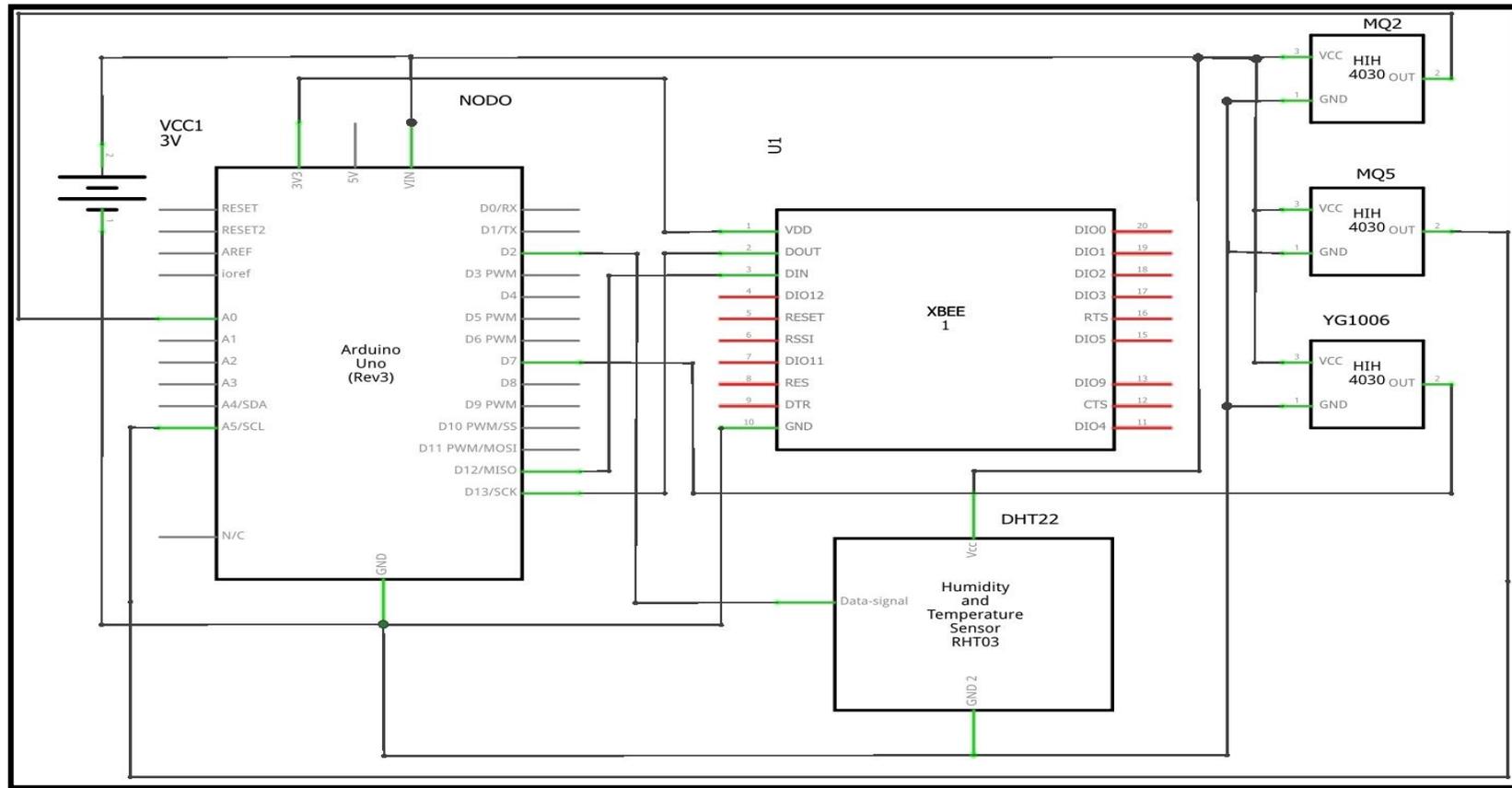


Figura 36: Diagrama circuital de nodo sensor
Fuente: Elaborado por el autor

Esta representación gráfica hace posible visualizar los elementos del nodo central. En la figura 37 se puede observar los dispositivos que conforman el nodo sensor.

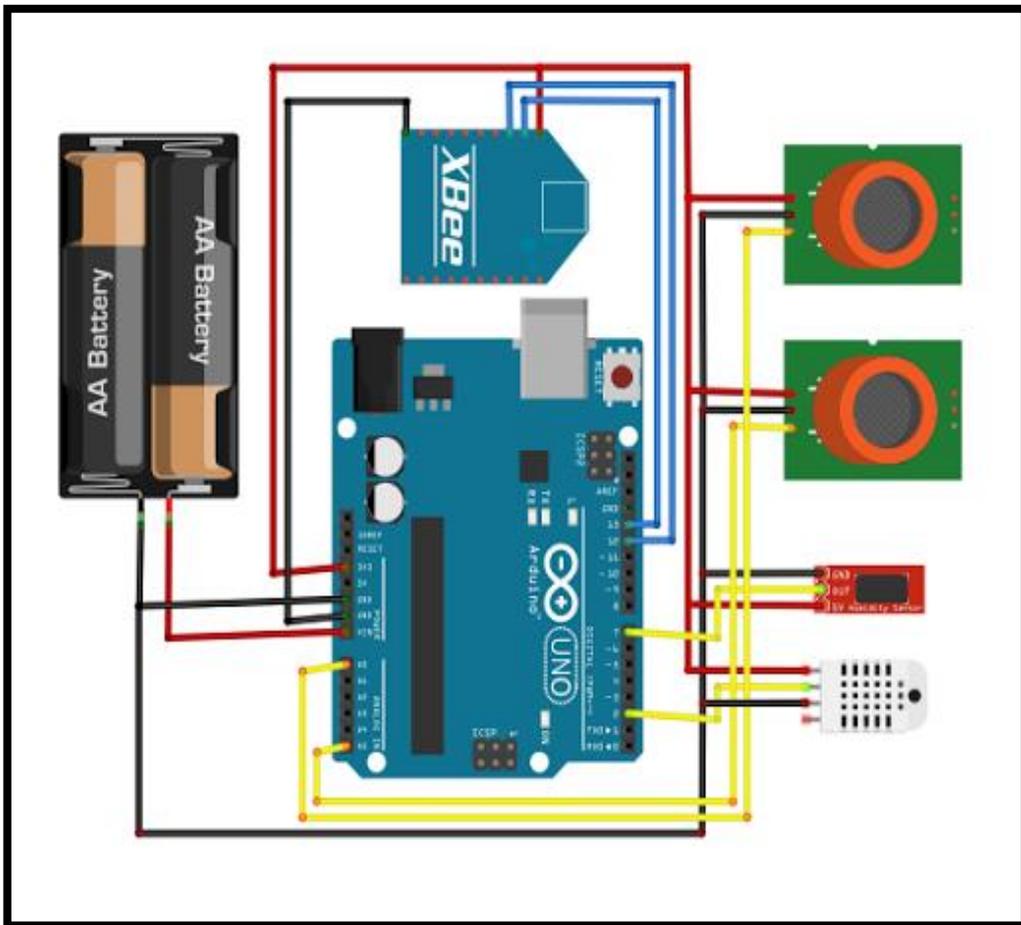


Figura 37: Esquemático nodo sensor
Fuente: Elaborado por el autor

3.8.6.2. Alimentación Eléctrica

Todo dispositivo electrónico requiere energía eléctrica para su funcionamiento, en este caso la tensión de alimentación recomendada para el Arduino Uno es de (7-12 V), y a través del cual serán energizados los demás dispositivos que conforman el nodo. A continuación, se realiza el cálculo de consumo de corriente del nodo.

- T_{cn} = Tiempo Consumo Normal
- T_{cd} = Tiempo Consumo Dormido
- I_{cn} = Intensidad de Corriente Consumo Normal

- I_{cd} = Intensidad Corriente Consumo Dormido

Se aplica que el consumo es para calcular el consumo de la vida de una batería como se indica en la ecuación

$$\text{Consumo} = \frac{T_{cn} * I_{cn} + T_{cd} * I_{cd}}{T_{cn} + T_{cd}}$$

Ecuación 1. Formula del consumo de vida útil de la batería

Fuente: <https://www.taringa.net/posts/info/14154065/Formula-sobre-el-Tiempo-de-Carga-de-la-Bateria.html>

En este caso los valores que se toman en cuenta son:

$T_{cn} = 0.08$ horas $T_{cd} = 0.92$ horas $I_{cn} = 87.5$ mA $I_{cd} = 39.36$ mA

Ingresando los datos detallados anteriormente a la ecuación se tiene:

$$\text{Consumo} = \frac{0.08h * 87.5mA + 0.92h * 39.36mA}{0.08h + 0.92h}$$

$$\text{Consumo} = 43.21mA$$

Las baterías que se escogió para alimentación de los nodos sensores son de Ion Litio de 3,7 V a 3000 mAh, por lo cual se instalarán dos baterías en serie para obtener 7,4 V. Conociendo la capacidad de las baterías y el consumo de los nodos sensores se procede a calcular el tiempo de descarga.

$$\text{Tiempo de descarga} = \frac{\text{Capacidad de la Bateria}}{\text{Consumo}}$$

Ecuación 2: Fórmula de medición de tiempo de descarga

Fuente: <http://www.cavadevices.com/archivos/FOLLETOS/calculo%20de%20bateria.pdf>

$$\text{Tiempo de descarga} = \frac{3000 \text{ mAh}}{43.21 \text{ mA}}$$

$$\text{Tiempo de descarga} = 69.42 \text{ horas}$$

Para lo cual se ha escogido una Batería con panel solar incluido que constantemente se estaría autorecargando y así los nodos sensores siempre tendrían una fuente de energía, con se puede observar en la figura 38.



Figura 38: Baterías con panel solar incluido

Fuente: Amazon

3.8.6.3. Construcción de la caja

Para la construcción de la caja se realizó una tabla comparativa para escoger el mejor material, el mismo que va a recubrir los nodos, para esto fue importante tomar en cuenta algunas consideraciones como:

- El nodo sensor tiene una batería que incluye un panel solar, por lo que es necesario que ingrese luz, para esto hay que tomar en cuenta que un lado de la caja tiene que tener un material transparente para que facilite esta situación.

- La red inalámbrica va a ubicarse en un lugar que tiende a quemarse por lo que el material con el que se construya la caja, debe de ser retardante al fuego.
- El material debe soportar condiciones como la lluvia, por lo que no debe oxidarse, caso contrario se descompondría con rapidez.
- El material que se escoja no debe tener conductividad eléctrica porque afectaría a los elementos electrónicos.
- No debe ser afectado por las lluvias, ni permitir el ingreso de agua dentro del nodo.

En la tabla 19 se han colocado algunos materiales con la intención de escoger el componente que favorezca a las características del lugar y de la red.

Tabla 19.
Comparativa de materiales

Comparativa de materiales				
Características	Madera	Plástico	Aluminio	Acrílico
Propiedades Ópticas				●
Resistencia al agua			●	●
Material Dieléctrico	●	●		●
Retardante a la flama				●
Dureza			●	●
Bajos Costos de procesamiento				●
Anticorrosivo				●
Peso ligero			●	●

Fuente: Elaborada por el autor

Después de realizar una comparación de los materiales, se llegó a la conclusión que el mejor material es el acrílico, porque en color transparente tiene propiedades ópticas que permiten el traspaso de la luz, lo que ayudaría a la carga de la batería mediante el panel solar, y en otros colores como el blanco, hace posible que no se retenga el calor dentro de

la caja. También es resistente al agua y no es un dieléctrico por lo que no interferirá con los dispositivos electrónicos, además de que cuenta con un peso ligero y es retardante con la flama.

3.9. Software usado en el sistema

En este apartado se podrá encontrar los diagramas de flujo del nodo central, nodo sensor, sistema de monitorización, además del proceso de configuración de la aplicación en la cual se monitorizará y almacenara los datos de los tres nodos sensores que se establecieron que se iban a utilizar en las pruebas.

3.9.1. Diagramas de flujo.

Los diagramas de flujo que se presentan a continuación son una representación gráfica de los procesos que realiza cada parte del sistema, y tuvieron como objetivo servir de guía al momento de la realización de los programas de las placas Arduino que se encuentran en los nodos, dichos programas se los puede observar en los *ANEXOS 1y2*.

3.9.1.1. Diagramas de Flujo de Coordinador

En el diagrama de flujo del nodo central se puede observar la lógica que se utilizó para programar y configurar el dispositivo. A continuación se realizará una explicación del funcionamiento del diagrama de flujo.

Mediante el uso de la librería de ZigBee se procede a generar un objeto, en el mismo que se incluyen como parámetros de objeto dos instancias, una para almacenar el ultimo mensaje entrante y otra para preparar un mensaje saliente, con lo cual se logra una mayor facilidad para responder al último remitente, de igual manera se procede a inicializar las diferentes variables que van a permitir almacena los datos provenientes de los nodos sensores.

En el void setup se hace el llamado al método begin para la inicialización de la velocidad de transmisión y de igual manera se inicializa el objeto xbee, el mismo que permitirá verificar la conexión. A continuación, además indicará al coordinador que envíe paquetes de estado para confirmar la recepción exitosa de un mensaje. Si el retorno es falso, objeto xbee establecerá el id del marco de cada mensaje saliente en 0 y, por lo tanto, no se enviarán paquetes de estado y se asumirá que no llegó mensaje. En la figura 39 se puede observar la inicialización de la comunicación para el módulo xbee tanto como para la comunicación serial.

```

//////////////////////////////////////////////////////////////////
//                                                                 INICIALIZACION XBEE
//////////////////////////////////////////////////////////////////
Serial.begin(9600);
xbeeSerial.begin( 9600 );
xbee.setSerial( xbeeSerial );
xbee.setconfirm(true);
xbee.prepareATCommand('ID',0x02);
xbee.send();
delay(200);
//////////////////////////////////////////////////////////////////

```

Figura 39: Inicialización de comunicación de Xbee
Fuente: Elaborado por el autor

En el void loop se procede a verificar el buffer del puerto serie, y devuelve el número de bytes entrantes, para luego llamar al método de lectura el cual lee los bytes del puerto serie y los almacena en el objeto del paquete entrante del objeto xbee. Como el objeto xbee lee el mensaje entrante, automáticamente determinará si el mensaje se ha recibido por completo, para luego obtener el contenido del paquete entrante, como se muestra en la figura 30.

```

//                                                                 IDENTIFICACION DE NODO - EXTRAER DATOS
//////////////////////////////////////////////////////////////////
addr = xbee.getRXAddress();
addr64 = xbee.getRXAddress64();
uint8_t rxOpt = xbee.getRXOptions();
uint8_t rxLength = xbee.getRXPayloadLength();
verificar= (int) xbee.getRXPayload( 1 );

```

Figura 40: Código de identificación de nodo
Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 41 se puede observar el diagrama de flujo del coordinador.

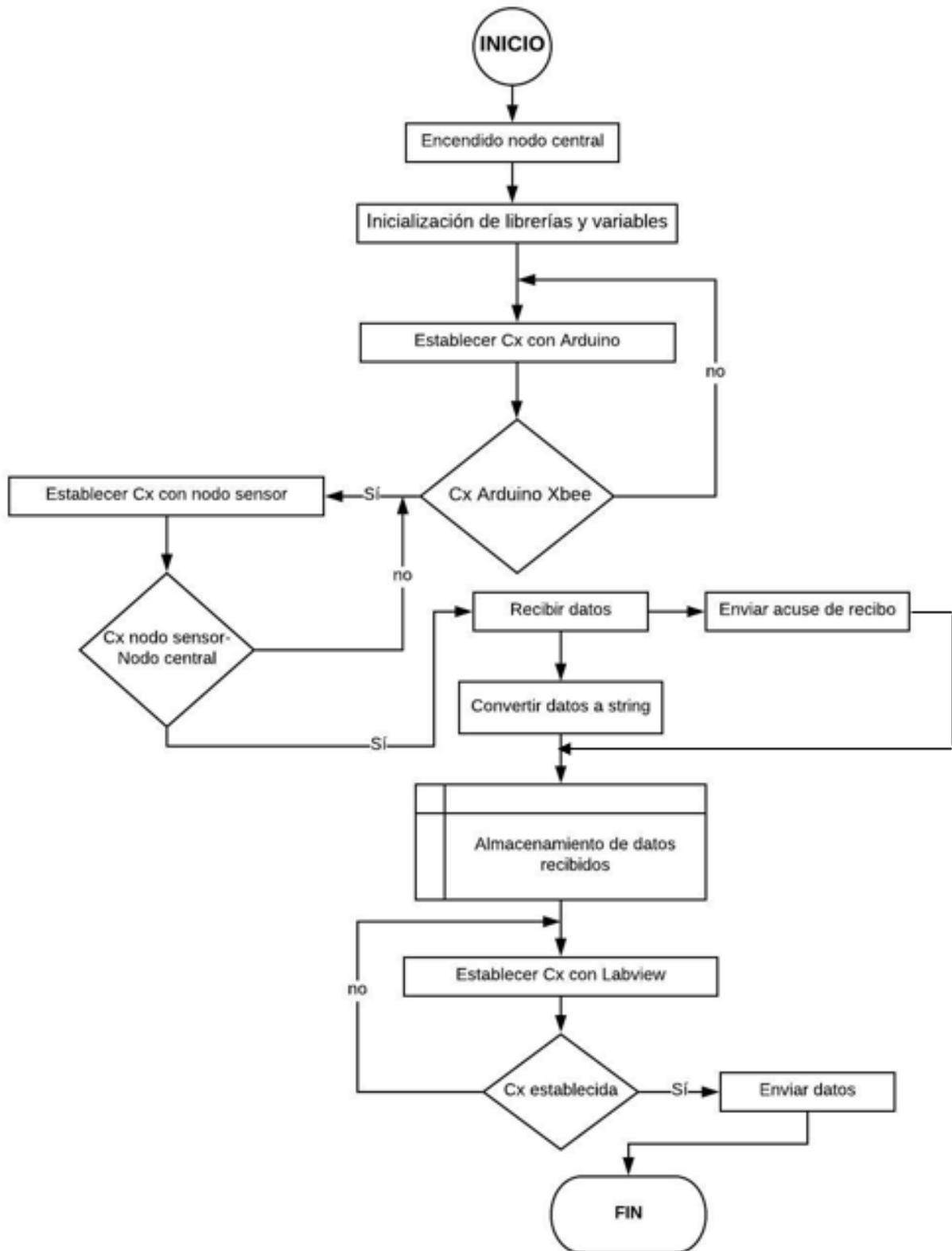


Figura 41: Diagrama de Flujo de no do central
Fuente: Elaborado por el autor

3.9.1.2. Diagramas de Flujo de Nodo Sensor

Al igual que el coordinador se incluye las librerías de ZigBee y se crean un objeto, en el mismo que se incluyen como parámetros de objeto dos instancias, adicional se crea un objeto denominado dato, el mismo que permite actualizar su contenido de forma manual antes de enviar el paquete. A continuación, una variable de tipo entero, val, que servirá como la carga útil de cada mensaje saliente, los mismos que permitirán enviar un mensaje una vez cada 30 segundos. Como se muestra en la figura 42.

```
XBeePacket dato = XBee.Packet();  
int val = 0;  
unsigned long time = 0;  
unsigned long last_sent = 0;
```

Figura 42: Inicialización de variables de tiempo

Fuente: Elaborado por el autor

En el void setup se configura la velocidad de transmisión y se establece la configuración del puerto serie xbee como “xbeeSerial” y se establece “xbee” para solicitar el acuse de recibo de los paquetes salientes. A continuación, definimos una matriz de bytes que contiene los datos de marco de un paquete XBee y se procede a llamar al método “setFrameData”, utilizando la matriz para completar el contenido del objeto de paquete “dato”.

En la figura 43 se puede observar el diagrama de flujos del nodo sensor.

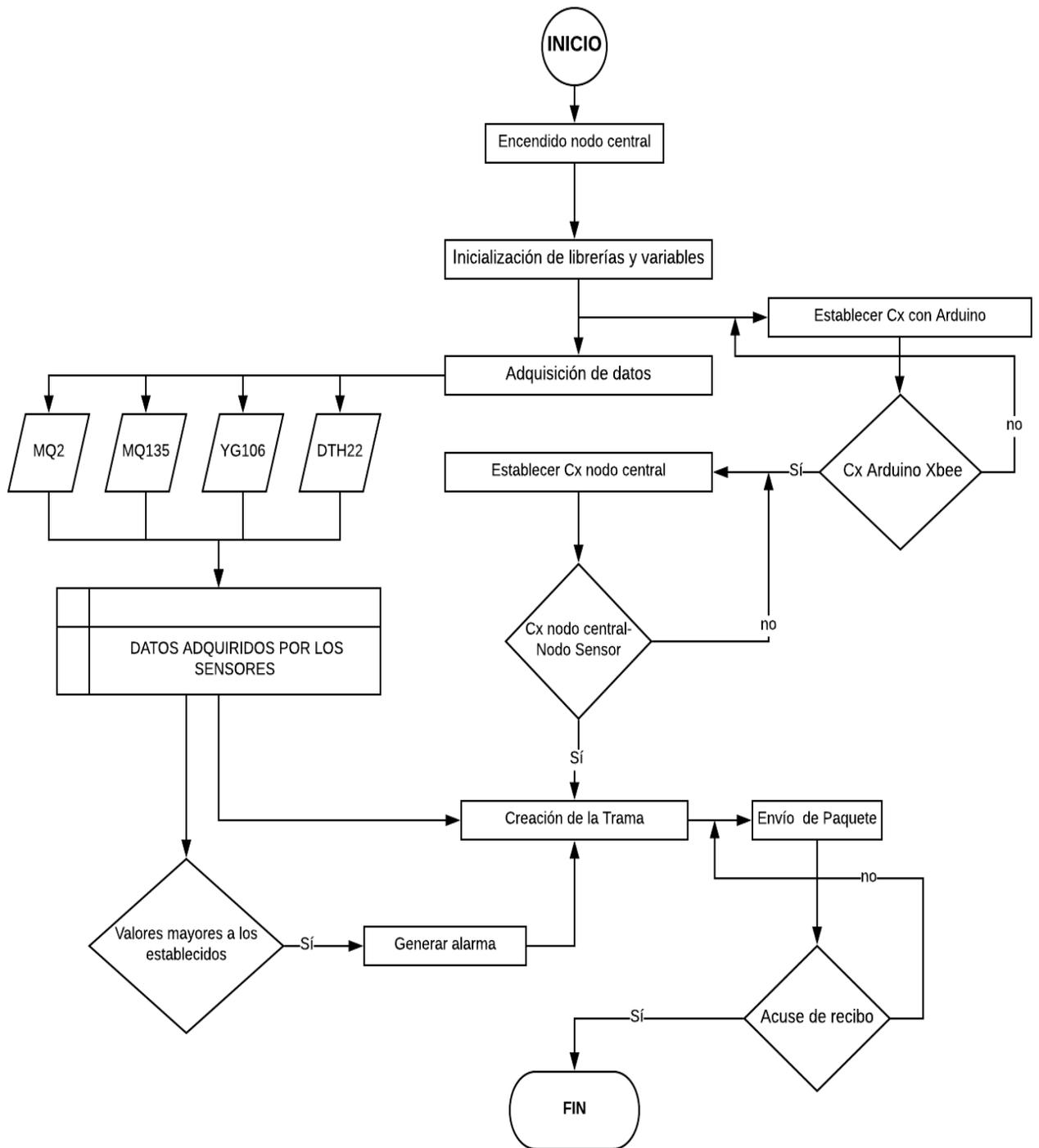


Figura 43: Diagrama de flujo de nodo sensor

Fuente: Elaborado por el autor

3.9.1.3. Diagramas de Flujo de UBIDOTS

Para el envío de datos a la plataforma se utiliza un Ethernet Shield, el mismo que está configurado en modo cliente, como primer paso se incluye las librerías ethernet y se establece la ip de conexión, máscara de red, dirección mac y el gateway, además de establecer el canal de comunicación y la Id de las variables a enviar, esto se lo aprecia en la figura 44.

```

////////////////////////////////////
//                                     CONFIGURACION DE MAC IP GW Y MASCARA DE RED
////////////////////////////////////
byte mac[] = { 0xAC, 0xB5, 0x7D, 0x59, 0x6C, 0xA6 };
byte ip[]={192, 168, 1, 15};
byte gw [] = {192, 168, 1, 1};
byte subnet_[] = {255, 255, 255, 192};
EthernetClient client;
////////////////////////////////////
//                                     ID DE VARIABLES DE UBIDOTS
////////////////////////////////////
String token = "A1E-cVzhRrQR0JUPEUtOjiKJxEfEI9kNBz";
String idtemperatura = "5b565b1fc03f976c17721b14";
String idhumedad= "5b565b13c03f976c17721b0e";
String idflama = "5b565b3cc03f976c17721b2c";
String idco2 = "5b565b55c03f976c17721b3d";
String idhumo = "5b565b4cc03f976c17721b35";

```

Figura 44: Configuración de las direcciones IP para UBIDOTS

Fuente: Elaborado por el autor

En el void setup se procede a la configuración del cliente web, se lo hace a través de DHCP, en caso de este fallar se o realiza de manera manual.

Una vez establecida la configuración del cliente web y la conexión con Ubidots, se procede al envío del paquete, el mismo se lo hace utilizando el objeto cliente.println, además de la Id de las variables. En la figura 45 se puede observar el diagrama de flujo de UBIDOTS.

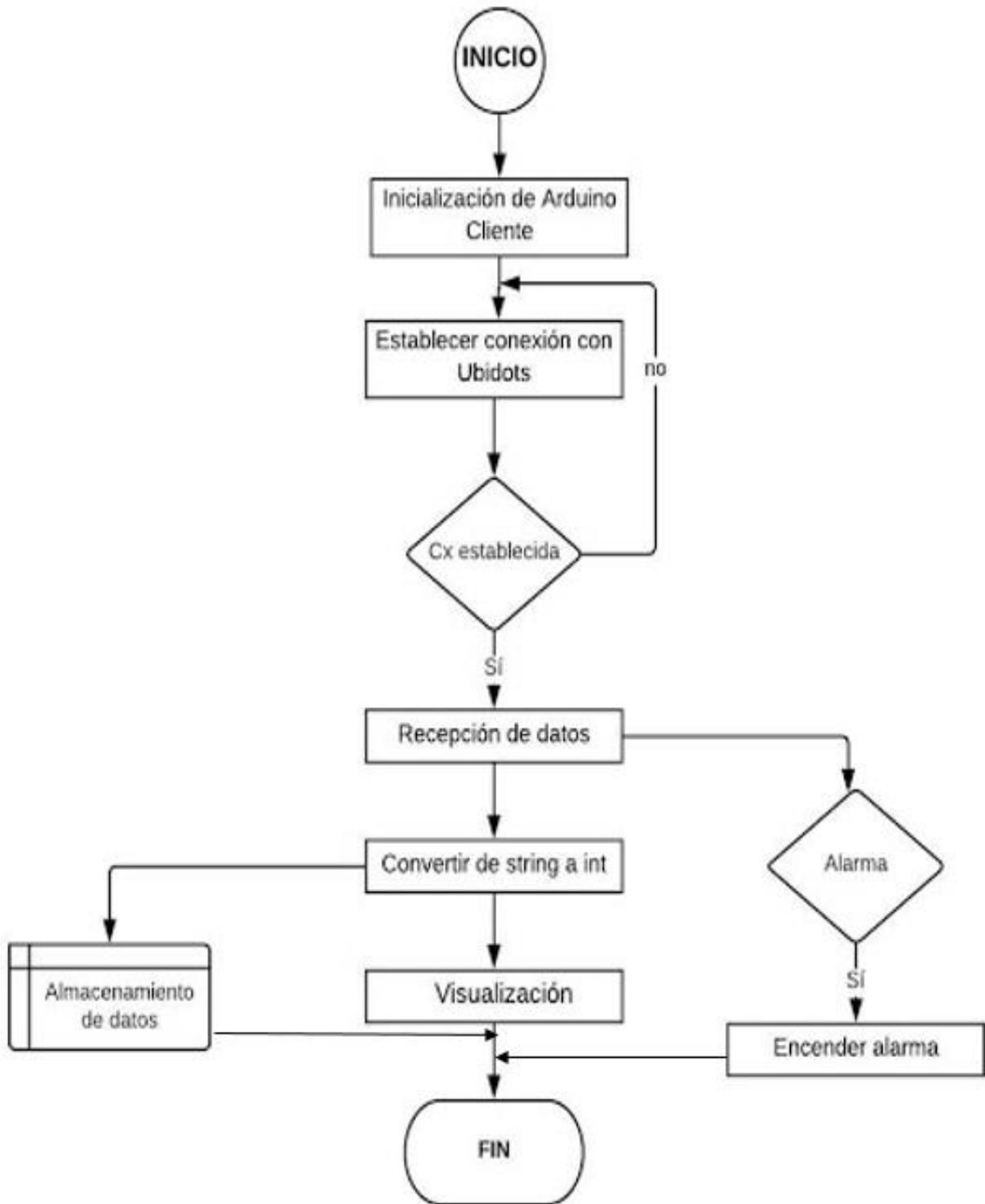


Figura 45: Diagrama de Flujo de UBIDOTS

Fuente: Elaborado por el autor

3.9.2. Almacenamiento y Visualización de la información.

La visualización y monitorización se va a realizar a través de la plataforma de Ubidots, la misma que permite reunir todos los datos de los diferentes sensores para posteriormente ser visualizados y almacenados, para ello es necesario crear una cuenta ingresando a la su página oficial <https://ubidots.com>, se accede al área de registro y se procede a llenar los campos de usuario, correo y contraseña tal como se indica en la figura 46.

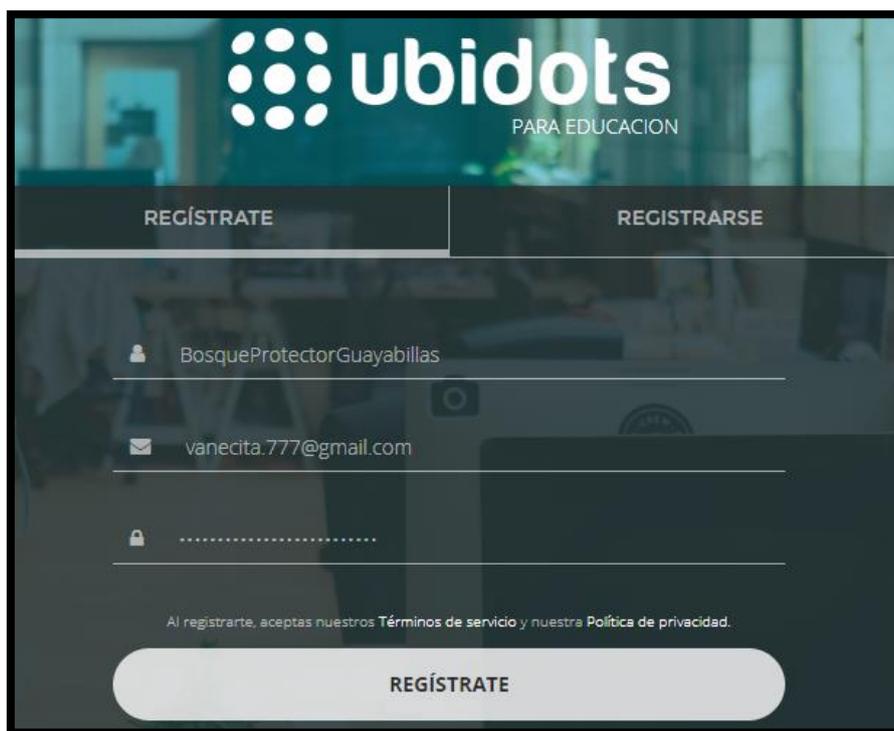
The image shows the registration page of the Ubidots platform. At the top, there is a teal header with the Ubidots logo (a cluster of white dots) and the text "ubidots PARA EDUCACION". Below the header, there are two buttons: "REGÍSTRATE" on the left and "REGISTRARSE" on the right. The main form area is dark grey and contains three input fields: a username field with the text "BosqueProtectorGuayabillas", an email field with "vanecita.777@gmail.com", and a password field with masked characters ".....". Below the password field, there is a small link: "Al registrarte, aceptas nuestros Términos de servicio y nuestra Política de privacidad." At the bottom of the form is a large, rounded button labeled "REGÍSTRATE".

Figura 46: Registro en UBIDOTS
Fuente: Elaborado por el autor

Una vez registrado se ingresado a la página principal de Ubidots y se procede a la creación de los diferentes dispositivos de censado, para lo cual se accede al menú Dispositivos y se añaden los mismo, en este caso se agregaron 3, a los cuales se les denomino “NODO 1”, “NODO 2” y “NODO 3”, esto se puede apreciar en la figura 47.

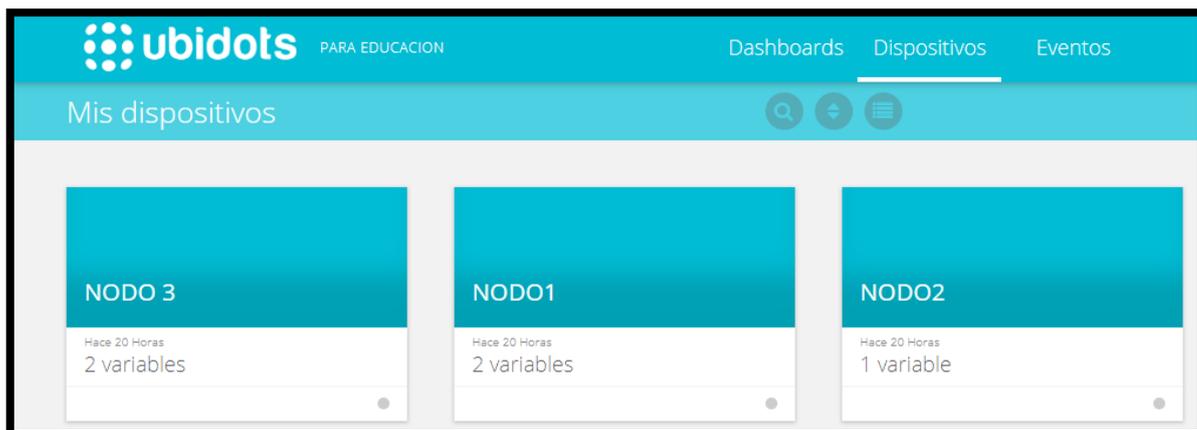


Figura 47: Creación de los nodos
Fuente: Elaborado por el autor

Posteriormente se procede a crear las variables dentro de los dispositivos anteriormente creados, las mismas que permiten almacenar los datos provenientes de Arduino UNO, para este caso en particular en el dispositivo “NODO 1” se ha creado dos variables, humedad y temperatura, cabe mencionar que por cada nueva variable se crea un ID diferente, el mismo que será utilizado para la comunicación entre Ubidots y Arduino. En la figura 48 se puede verificar las ID de las variables temperatura y humedad.

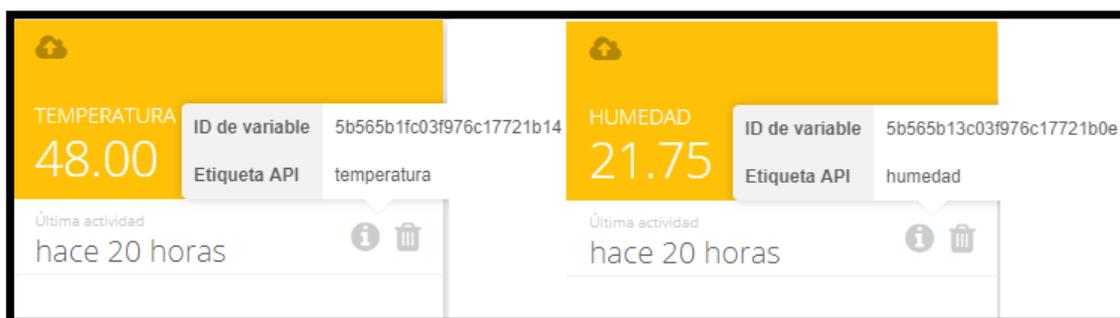


Figura 48: ID de variables de censado
Fuente: Elaborado por el autor

Es necesario establecer un Token, el mismo que es un código de autenticación temporal entre la plataforma Ubidots y Arduino, para ello se accede al menú desplegable y se accede a Credenciales API, tal como se muestra en la figura 49.

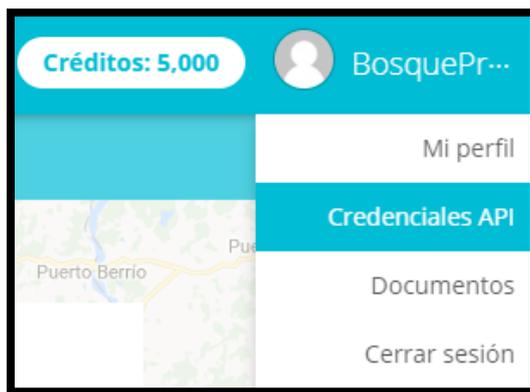


Figura 49: Barra que muestra credenciales API
Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 50 se observa la creación de un nuevo Token, para ello se dirige a la pestaña Crear Token, se genera el nuevo código API y se ingresa el nombre deseado, que para este caso se le denomina Arduino.



Figura 50: Creación de un Token
Fuente: Elaborado por el autor

VISUALIZACION DE LOS DATOS

Esta plataforma permite visualizar los datos en tiempo real de varias maneras, para lo cual es necesario acceder a la pestaña Desbordadas, y dirigirse a la pestaña crear widget.

En este caso se ha seleccionado dos maneras para visualizar los datos; numérica y gráfica. Para la manera numérica se estable la manera métrica, en las opciones que se despliegan se selecciona el icono de ultimo valor, tal como se observa en la figura 51.

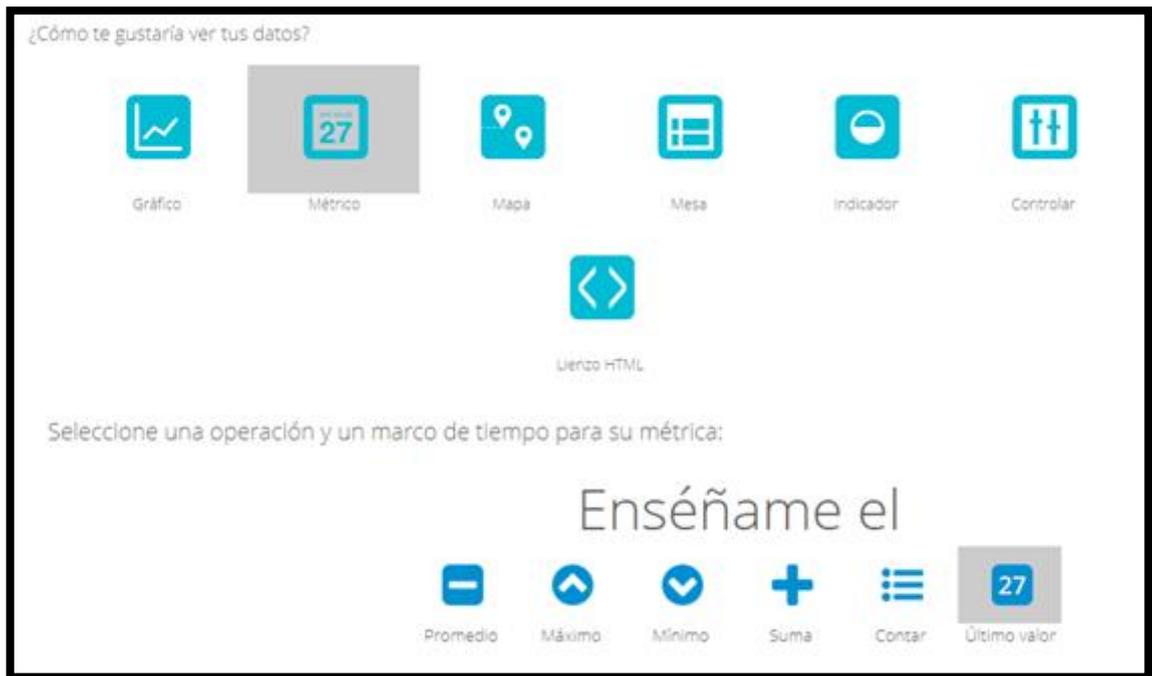


Figura 51: Visualización de datos numéricos en UBIDOTS
Fuente: Elaborado por el autor

Posteriormente se selecciona el dispositivo, en este caso NODO 1 y se elige la variable a mostrar y por último se selecciona terminar. Este proceso se lo puede observar en la figura 52.



Figura 52: Elección de variables en Ubidots
Fuente: Elaborado por el autor

Creación de alertas

Otra de las ventajas que proporciona Ubidots aparte del almacenamiento de datos, es crear eventos y generar alarmas, ya sea enviando un mensaje de texto o un correo electrónico; para ello se ingresa a la pestaña Eventos, posterior a esto se genera un evento dando clic en crear evento, esto se lo puede apreciar en la figura 53.

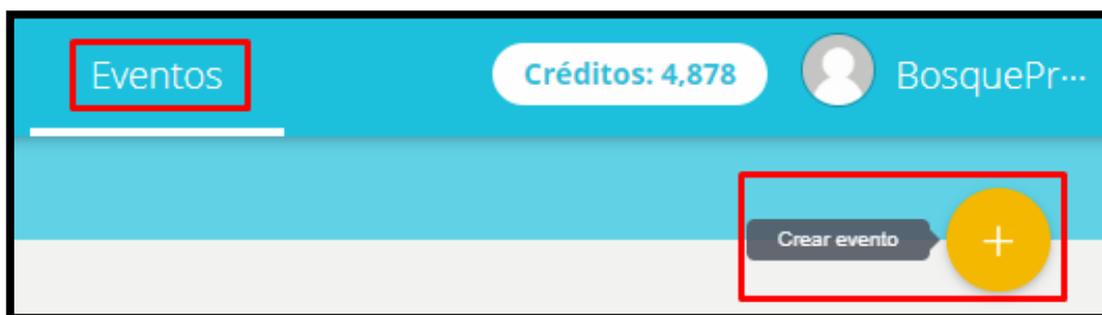


Figura 53: Creación de eventos
Fuente: Elaborado por el autor

Consecutivamente se elige el dispositivo, en este caso se seleccionó NODO 1, posteriormente se selecciona la variable temperatura, se estableció la condición para que se genere la alarma, y clic en continuar, estos pasos se los puede apreciar en la figura 54.



Figura 54: Definición de umbrales de alerta
Fuente: Elaborado por el autor

Por último, se procedió a seleccionar el medio para generar la alerta, para este evento se seleccionó la opción de email, a paso siguiente se agrega la dirección de email y el contenido del mensaje a enviar, esto se lo puede evidenciar en la figura 55.

Figura 55: Elegir tipo de mensaje de alerta
Fuente: Elaborado por el autor

3.10. Pruebas de asociación

Para las pruebas de asociación se evaluó los algunos parámetros de la WSN, para verificar las funciones de los elementos y todas las partes que conforman la red.

Los resultados de las pruebas de asociación se pueden evidenciar en la tabla 20 donde se han planteado algunos parámetros a evaluarse.

Tabla 20.

Pruebas de asociación

Prueba de Asociamiento de la red				
N°	Actividad	SI	NO	Observación
1	Funcionan los módulos sensores	X		Funciona correctamente
2	Los módulos inalámbricos se comunican entre ellos	X		Funciona correctamente

3	El microprocesador puede recibir y enviar información del módulo Xbee PRO S2C	X	Funciona correctamente
4	Funciona la transmisión y Recepción de datos del Xbee	X	Funciona correctamente
5	Las tramas enviadas por un nodo sensor, llegan al coordinador	X	Funciona correctamente
6	La batería con panel solar se carga con los rayos del sol	X	Funciona correctamente
7	La caja que recubre los nodos sensores, no es inflamable.	X	Funciona correctamente

En el caso del acrílico este puede llegar a deformarse o volverse suave al alcanzar una temperatura de 176° grados centígrados.

4. CAPÍTULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este apartado se hablara acerca de las pruebas de funcionamiento de la red inalámbrica, en base a los elementos expuestos en el capítulo de diseño y seleccionados para formar parte de la red. Como se hizo hincapié en el punto 3.3.1.2 de Restricciones las pruebas se realizaran con cuatro nodos, en el que cada uno tendrá un sensor en funcionamiento para efecto de pruebas.

Las pruebas se efectuaron en el BPG, en el cual por varios días se tomó muestras de las variables de censado, logrando asi la visualización de los datos en la plataforma UBIDOTS.

4.1. Pruebas de entrega de tramas de red inalámbrica

Los módulos inalámbricos Xbee pueden operar en tres modos diferentes. En la figura 56 se puede observar algunas ventajas de los tres modos de operación que se pueden configurar.

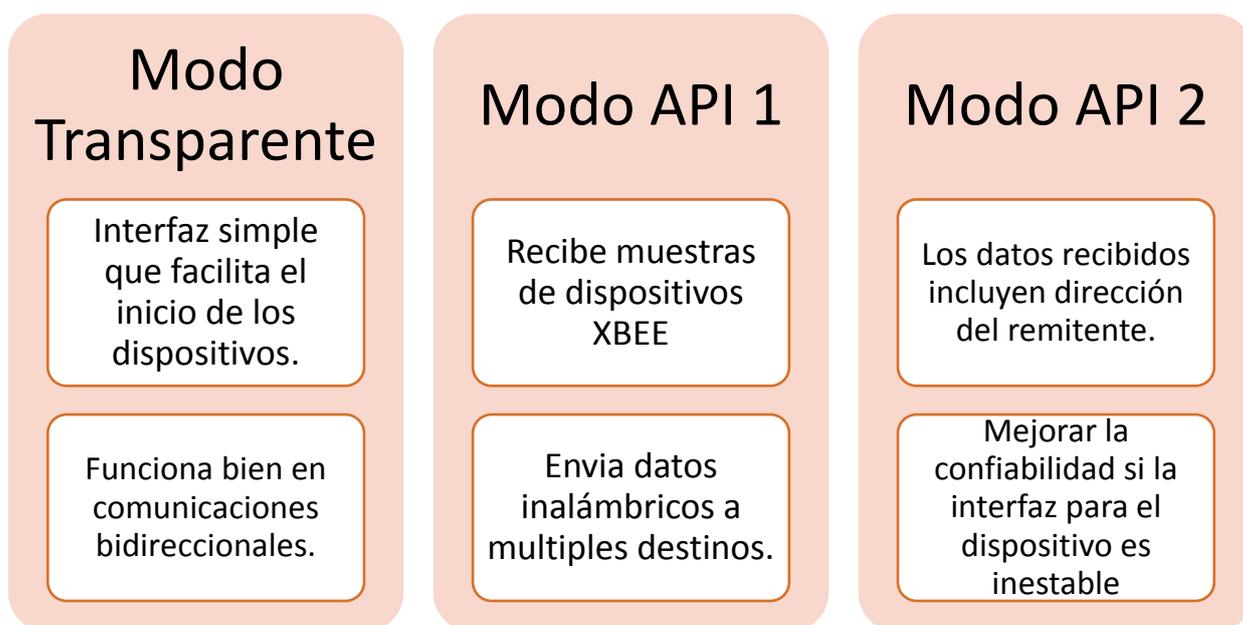


Figura 56: Ventajas de modos de Operación Xbee

Fuente: Elaborado por autor

A los módulos Xbee de les configuro con el modo de operación API 2 con lo cual es posible recibir mensajes en los que se confirma el estado de la trama y se indica si el paquete fue recibido.

Entre las características que se puede observar en API 2 están:

- Muestras de E / S Esta característica permite a un XBee recibir datos de E / S de 1 o más XBees remotos
- Reconocimiento (ACK) y Reintentos. Al enviar un paquete, la radio transmisora recibe un ACK, lo que indica que el paquete se entregó con éxito. La radio transmisora reenviará el paquete si no recibe un ACK.
- Los paquetes incluyen una suma de comprobación para la integridad de datos

Cuando se opera en la API 2, si se observa un byte 0x7E no protegido, se trata como el inicio de una nueva trama API y todos los datos recibidos antes de este delimitador se descartan silenciosamente. A continuación en la figura 57 se puede observar la estructura de trama configurada.

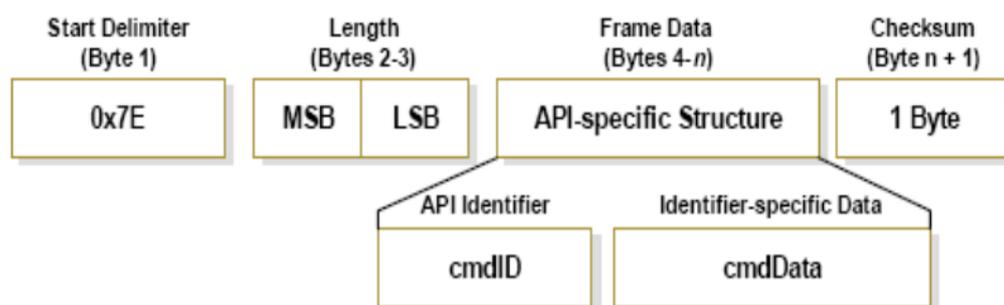


Figura 57: Estructura de trama api
Fuente: (Digi, 2017)

Por medio de este modo de operación fue posible visualizar si la información que se enviaba, estaba llegando en buen estado o se estaban descartando los paquetes. En la figura 58 se puede visualizar la entrada de paquetes hacia el nodo coordinador, desde los nodos 1 y 2, los mismos que pueden ser identificados porque en la trama contiene la

dirección de cada uno. También se debe tener en cuenta que hay un delimitador de inicio de trama que es **7E**, si una trama no cuenta con este delimitador se pierde.

Estas pruebas pueden ser realizadas únicamente desde la interfaz de IDE de Arduino puesto que se necesita que los dispositivos estén conectados al computador y los datos están llegando por medio de la comunicación serial, además que para realizar el envío de la información de los sensores a la plataforma web, ya simplemente se envían los datos íntegros.

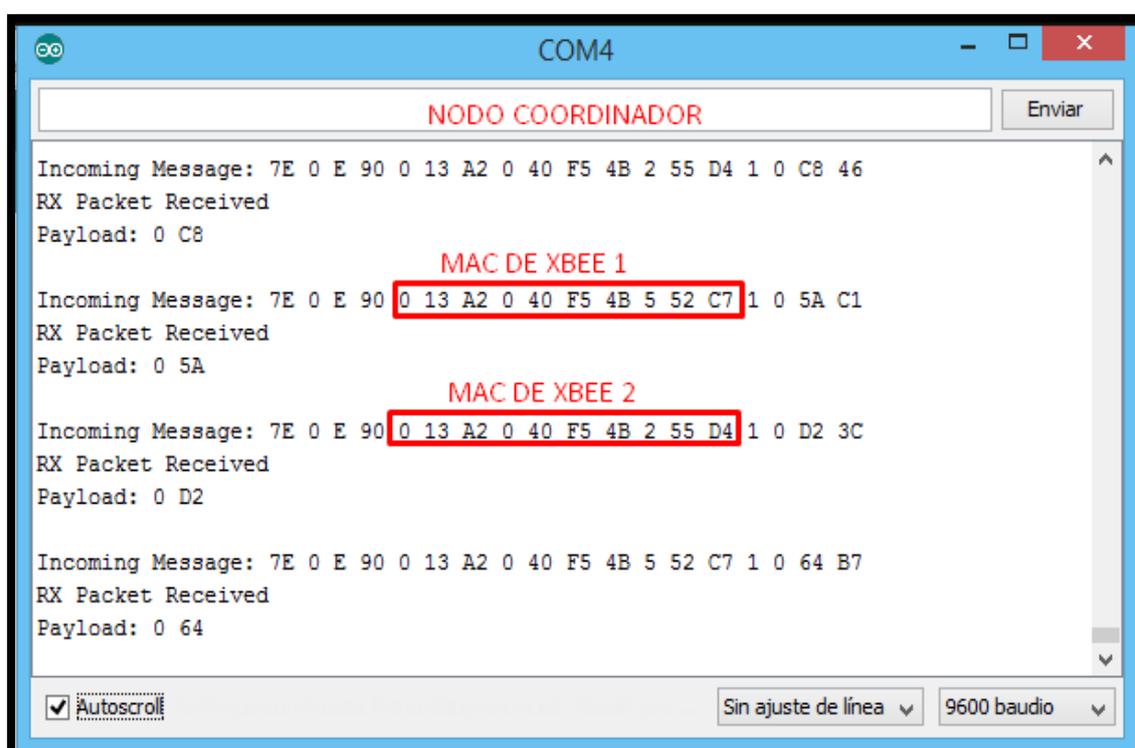
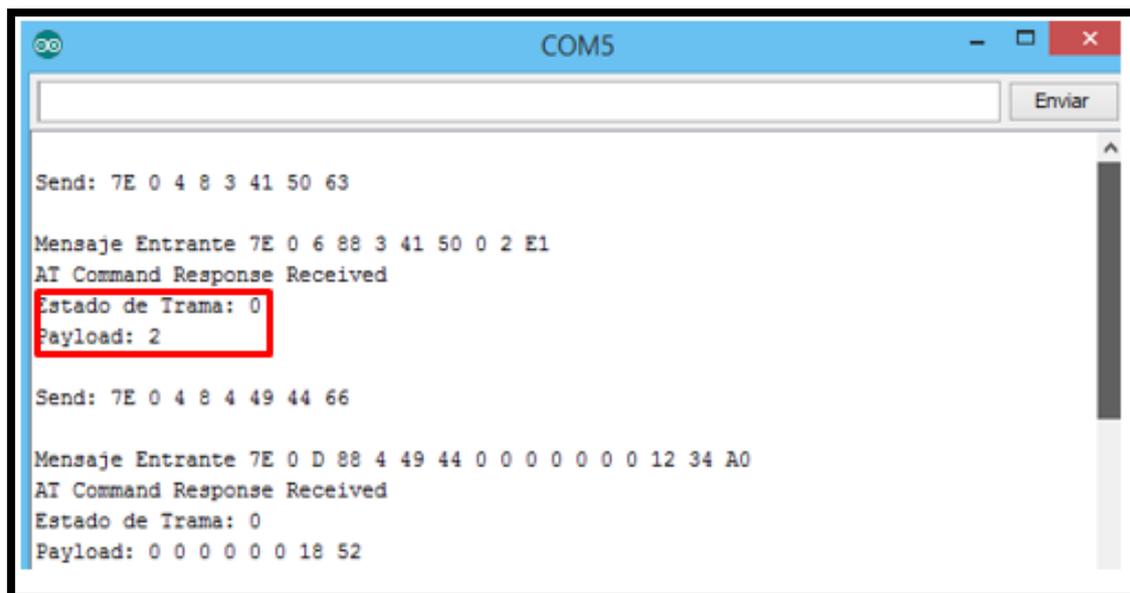


Figura 58: Prueba de recepción de tramas

Fuente: Elaborado por el autor

Cuando los módulos inalámbricos inician la comunicación se puede observar con mensajes AT que son los responsables de emitir los envíos y el estado de la trama, para que la trama se encuentre en buen estado, el estado de trama debe tener número 0, como se puede observar en la figura 59.



```

COM5
Send: 7E 0 4 8 3 41 50 63

Mensaje Entrante 7E 0 6 88 3 41 50 0 2 E1
AT Command Response Received
Estado de Trama: 0
Payload: 2

Send: 7E 0 4 8 4 49 44 66

Mensaje Entrante 7E 0 D 88 4 49 44 0 0 0 0 0 0 12 34 A0
AT Command Response Received
Estado de Trama: 0
Payload: 0 0 0 0 0 0 18 52

```

Figura 59: Estados de tramas
Fuente: Elaborado por el autor

4.2. Implementación del prototipo

Las pruebas que se realizaron en el BPG tuvieron su ubicación en la zona 2 que se escogió como la zona donde debe implementarse la red de sensores inalámbrica. Como se puede observar en la imagen esta zona se encuentra limitada en el lado oeste por parte del casco urbano de la ciudad de Ibarra-“La Victoria”, en el lado sur -este por el Río Tahuando, en el norte por la otra parte del Bosque, alrededor se ubica un sendero de acceso al público.

El campo de implementación cuenta con una extensión de aproximadamente 21 hectáreas, en la figura 60 se puede observar los aspectos antes mencionados.

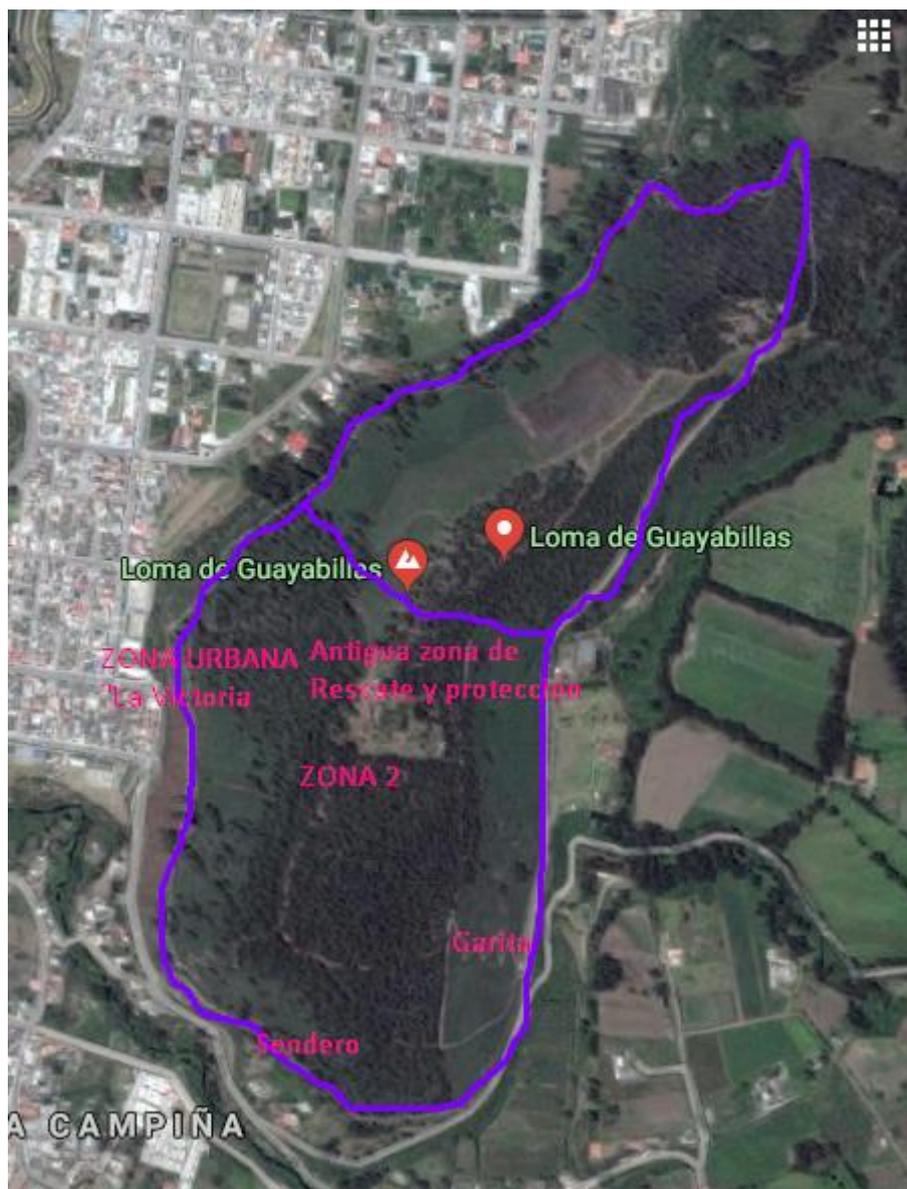


Figura 60: límites de Zona de implementación de la WSN

Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1. Colocación del Nodo Sensor

Cada escenario en el que se realizaron las pruebas tiene sus propias características que intervienen en las mediciones del funcionamiento de la WSN, a continuación, se describe cada área forestal en la cual se realizaron las pruebas:

- **Bosque de pino:** Esta área forestal se caracteriza por su gran densidad de árboles con gran cantidad de ramas, aunque las hojas que posee cada rama son

de un tamaño pequeño, el tamaño de los arboles tiene un promedio de 10 metros de altura y 0,20 metros de ancho. La distancia que existe entre cada árbol plantado es de 3 metros, ya que es un bosque sembrado mediante una planificación previa por lo cual esta distancia que existe entre los árboles se encuentra bien establecida

- **Bosque de eucalipto:** Dentro del área también se encontró un escenario forestal compuesto por árboles de la especie de eucalipto, en este caso el bosque está compuesto de una distribución de árboles de manera aleatoria, el cual se caracteriza por su gran densidad de árboles con gran cantidad de ramas y hojas de un tamaño mediano, el tamaño de los árboles tiene un promedio de 8 metros de altura y 0,20 metros de ancho, no existe una distancia definida entre cada árbol.
- **Área con poca vegetación:** Finalmente se tiene un escenario forestal el cual se caracteriza principalmente por su baja cantidad de árboles y presencia de abundante vegetación de tamaño pequeño, en este caso la presencia de pocos arboles de manera aleatoria dentro del área permite tener un escenario más abierto y con la presencia de pocas interferencias en cuanto a la línea de vista entre el nodo coordinador y el nodo receptor.

4.2.1.1. Escenario 1

El primer escenario planteado es en la zona sur, en donde el nodo coordinador que necesita estar conectado a una toma de corriente eléctrica se ubicó en la garita de ingreso al BPG, los nodos sensores se plantearon alrededor del nodo principal, como se puede observar en la figura 61.

En este escenario como se puede ver en la figura 34, los nodos se encuentran en una zona con abundante población de vegetación, estas especies tienen una altura promedio

de 10m, mientras que los nodos gracias al uso del módulo inalámbrico Xbee PRO S2C que en áreas abiertas puede llegar a un alcance 3000 metros a la redonda, pero considerando la vegetación del lugar y por las interferencias que pueden provocar, los nodos están ubicados a 100 metros uno del otro.



Figura 61: Ubicación del escenario 1 – Pruebas
Fuente: Elaborado por el autor

Hay también que recalcar que en este lugar existe Internet gratuito por medio de la red abierta del Municipio Descentralizado de San Miguel de Ibarra, identificada como Ibarra@digital que hace posible el subir los datos a la plataforma UBIDOTS.

- Colocación del nodo sensor

Los nodos sensores fueron ubicados a 4m de altura del nivel del suelo, se colocaron con correas sostenidas en un árbol, aunque también hay la posibilidad de instalarle con un soporte.

Se realizó la preparación de los nodos en el BPG, en donde se conectó todos los dispositivos que pertenecen a un nodo, como se puede observar en la figura 62.



Figura 62: Preparación del nodo

Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 63 se puede observar el nodo puesto en funcionamiento, todos los nodos constan de un microcontrolador Arduino UNO que es el encargado de procesar la información, un módulo inalámbrico Xbee S2C PRO que envían y reciben las tramas de información, sensores, y una batería con panel solar incluido para que todo el tiempo se encuentre el nodo con energía.



Figura 63: Colocación de nodos sensores en escenario 1

Fuente: Elaborado por el autor

- Colocación del nodo coordinador

El módulo central se ubicó en la garita de entrada del BPG donde se puede encontrar conexión a internet para que los datos testeados sean subidos a la plataforma IoT, todo esto está guardado en una caja de protección, en la que se pueden conectar tanto la toma de corriente como la toma al ethernet como se puede observar en la figura 64.

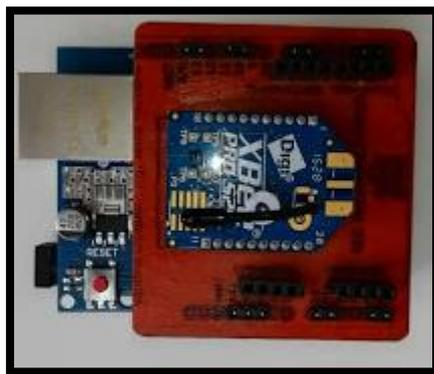


Figura 64: Nodo Central
Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1.1.1. Pruebas desarrolladas

Al instalar en el escenario 1 el prototipo de red se realizaron pruebas de funcionamiento como se puede observar en la tabla 21, los valores que se reflejaron

Tabla 21.
Pruebas realizadas en el escenario 1

Nodo Sensor	Sensor Utilizado	Pruebas realizadas	Rx Exitosas	Tx Exitosas	Alertas	Datos subidos a UBIDOTS
NODO 1	Humedad, temperatura	30	30	29	0	30
NODO 2	Flama	30	29	30	0	28
NODO 3	CO2, Humo	30	29	30	0	29
TOTAL		90	88	89	0	87

Fuente: Elaborado por el autor

Mediante las pruebas que se realizaron en el escenario 1, se puede establecer cómo funciona el prototipo de red inalámbrica al ubicarse en este sitio, que nos da una referencia de cómo puede funcionar la WSN cuando se despliegue totalmente.

En este lugar se efectuaron 90 pruebas de las cuales se realizaron con éxito 88, es decir que equivalen al 97, 7% de éxito en recepción de la información, mientras que en la transmisión se obtuvo 89 paquetes transmitidos y a su vez da un porcentaje de efectividad de 97%.

4.2.1.2. Escenario 2

El segundo escenario corresponde a la zona central, en donde el nodo coordinador que necesita estar conectado a una toma de corriente eléctrica se ubicó en la garita de ingreso al BPG, los nodos sensores se plantearon alrededor del nodo principal, como se puede observar en la figura 65.

El módulo inalámbrico Xbee PRO S2C que en áreas abiertas puede llegar a un alcance 3000 metros a la redonda, pero considerando la vegetación del lugar y por las interferencias que pueden provocar, los nodos están ubicados a 100 metros uno del otro, Como se puede ver en la figura 54, el nodo 1 y nodo 2 se encuentran en una zona bastante poblada de árboles, mientras que el nodo sensor 3 se encuentra en un sitio con poca vegetación.



Figura 65: Ubicación del escenario 2 – Pruebas

Fuente: Elaborado por el autor

- Colocación del nodo coordinador

Este nodo se encuentra ubicado en el mismo sitio que el escenario 1, por lo que no fue necesario volver a instalarlo.

- Colocación de nodo sensor

Los nodos sensores fueron ubicados a 3m de altura del nivel del suelo, se colocaron con correas sostenidas en un árbol, aunque también hay la posibilidad de instalarlo con un soporte. En la figura 66 se puede observar la colocación de los nodos.



Figura 66: Instalación de nodo sensor, escenario 2
Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1.2.1. Pruebas desarrolladas

Al instalar en el escenario 1 el prototipo de red se realizaron pruebas de funcionamiento como se puede observar en la tabla 22, los valores que se reflejaron

Tabla 22.
Pruebas realizadas en el escenario 1

Nodo Sensor	Sensor Utilizado	Pruebas realizadas	Rx Exitosas	Tx Exitosas	Alertas	Datos subidos a UBIDOTS
NODO 1	Humedad, temperatura	30	39	29	0	29
NODO 2	Flama	30	29	30	0	30
NODO 3	CO2, Humo	30	29	27	0	27
TOTAL		90	87	86	0	86

Mediante las pruebas que se realizaron en el escenario 2, se puede establecer cómo funciona el prototipo de red inalámbrica al ubicarse en este sitio, que nos da una referencia de cómo puede funcionar la WSN cuando se despliegue totalmente.

En este lugar se efectuaron 90 pruebas de las cuales se realizaron con éxito 87 en datos recibidos, es decir que equivalen al 96, 6% de éxito en recepción de la información, mientras que en la transmisión se obtuvo 86 paquetes transmitidos y a su vez da un porcentaje de efectividad de 97,5%.

4.3. Pruebas de la plataforma UBIDOTS

UBIDOTS es una plataforma web orientada a internet de las cosas (IoT), que en este caso permitirá visualizar y monitorear en tiempo real, la información recolectada por los nodos sensores y que luego por medio de la red inalámbrica será enviada al nodo coordinador para posteriormente subir la información a la nube.

Es necesario establecer los valores o rangos en los cuales los sensores se mantienen en una posición estable y el nodo fuera de alerta, esta información se puede encontrar en la tabla 23.

Tabla 23.
Valores de Alerta de Sensores

Valores de Alerta			
Sensor	Variable	Rango	Alerta
DHT22	Temperatura	Hasta 39°	Mayor de 40°
	Humedad Relativa	Valor mayor a 30%	Menor de 30%
MQ2	Humo	hasta 339	Si es mayor a 400
MQ135	CO2	360 - 1000	Si es mayor a 1000
YG1006	Flama	1	Si es = 0

Con los valores establecidos en la tabla 21, se configuró en UBIDOTS el sistema de alerta cuando los valores se salgan de estos parámetros. En la figura 67 se puede observar la creación y configuración de alertas, en base a los valores máximos y mínimos que pueden testear los sensores.



Figura 67: Configuración de los valores máximos de los sensores
Fuente: Elaborado por el autor

También se realizó una prueba para mostrar que la información que se está enviando desde el nodo sensor es la misma que se está recibiendo en UBIDOTS, para lo cual se realizó una comparación entre los datos que envía la placa Arduino UNO y los datos que se visualizan en la plataforma, como se puede observar en la figura 68.

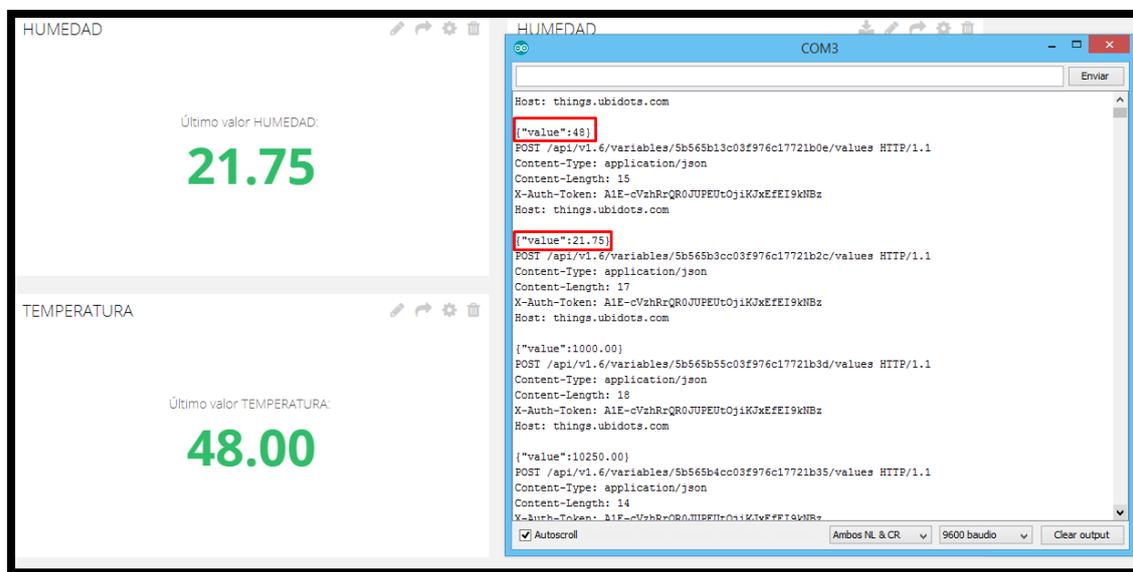


Figura 68: Verificación de información correcta
Fuente: Elaborado por el autor

Como se observa en la figura 68 los valores que fueron enviados como es el caso de la temperatura 48, es el mismo que se puede visualizar tanto en UBIDOTS como en la IDE de Arduino, por lo que se indica que la información es confiable.

4.4. Pruebas de Alerta

Como se indicó en la plataforma UBIDOTS se realizó la configuración para que cuando haya un valor fuera de los límites, se envíe una alerta que puede ser un mensaje, que en este caso se ha programado para que envíe un correo electrónico alertando de la situación. En la figura 69 se puede observar el mensaje enviado por la plataforma al administrador de la red indicándole las notificaciones.

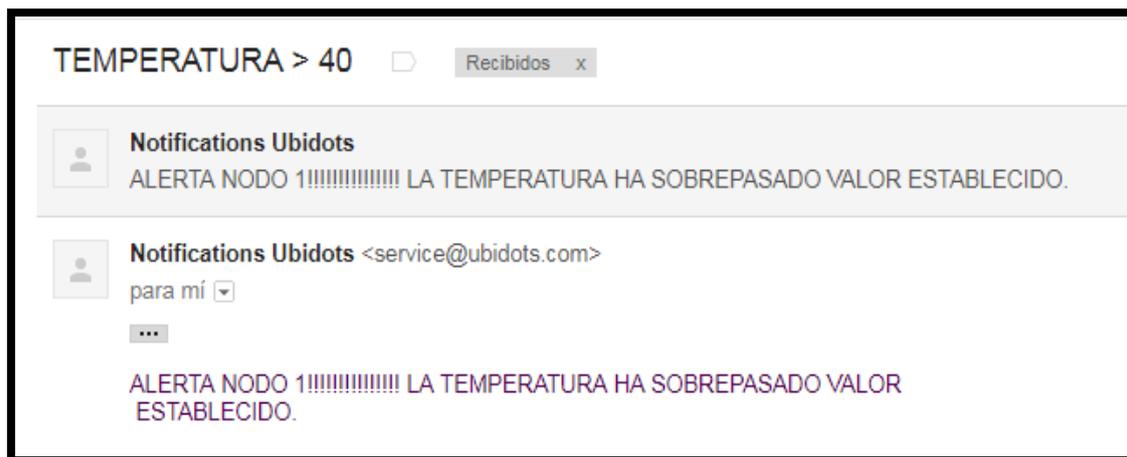


Figura 69: Mensaje de alerta
Fuente: Elaborado por el autor

4.5. Resultado de las Pruebas

Al realizar las pruebas en dos escenarios permitió identificar cómo funciona la WSN en diferentes lugares y características de flora. La distancia entre nodos funciono adecuadamente porque el porcentaje de información que llego con éxito a la destino fue de 96,5% de efectividad, como se puede observar en la tabla 24.

Tabla 24.
Resultados de Pruebas

Pruebas	Número de Pruebas	Detecciones exitosas	Transmisiones exitosas	Datos subidos en tiempo real
Escenario 1	90	97,40%	97%	97%
Escenario 2	90	98,60%	97,50%	98,50%
TOTAL	180	98,50%	97,30%	98,0%

En la tabla 23 se puede observar los porcentajes de fiabilidad de la red inalámbrica en varios aspectos.

Según los porcentajes obtenidos, después de la realización de las pruebas se puede evidencias que la red inalámbrica tiene un porcentaje de transmisiones bastante aceptable, ya que margen de error apenas es de un 2%.

5. ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO

En este capítulo se tratarán los costos de los materiales que conformar el proyecto, y se podrá analizar los beneficios que otorga. En este análisis se evidenciará las mejoras o contribuciones que se puede aportar a la sociedad con esta propuesta.

Se realizará una propuesta global acerca de los gastos que se pueden generar como materiales, o gastos que pueden estar vinculados con la implementación de la red de sensores en el “Bosque Protector Guayabillas”

5.1. Costos del Sistema

A continuación, se realizará un detalle de los costos que serían necesarios para implementar el sistema, por lo que se puntualizará los costos de software y hardware.

5.1.1. Costos de hardware del nodo principal (coordinador)

En el caso del nodo principal en la tabla 25 se puede observar con componentes y el detalle del costo de cada uno, para obtener el costo total del coordinador.

Tabla 25.

Detalle de elementos del nodo central

Elementos Nodo Central			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Arduino UNO	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Shield Ethernet	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Xbee S2C PRO	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Elaboración de Adaptador Xbee	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Caja de Protección	1	\$ 10,00	\$ 10,00
TOTAL			\$ 100,00

Fuente: Adaptado de Amazon

5.1.2. Costos de hardware del nodo sensor

Los costos de hardware del nodo sensor vienen dados por los elementos que lo constituyen, como son un módulo inalámbrico, un microprocesador, la batería que para que sea un nodo autónomo se necesite que se alimente con paneles solares y los sensores que son encargados de realizar un muestreo. En la tabla 26 se realiza un detalle de los costos.

Tabla 26.

Detalle de elementos de nodo sensor

Elementos Nodo Sensor			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Arduino UNO	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Xbee S2C PRO	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Elaboración de Shield Xbee	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Caja de Protección	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Batería/Panel solar	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Sensor YG1006	1	\$ 8,00	\$ 8,00
Sensor mq2/mq135	2	\$ 5,00	\$ 10,00
Sensor DHT22	1	\$ 14,00	\$ 14,00
Soportes	2	\$ 3,00	\$ 6,00
TOTAL			\$ 138,00

Fuente: Adaptado de Amazon

5.1.3. Costos de Infraestructura

En los costos de infraestructura se han tomado en cuenta los valores generados por la instalación de la red inalámbrica, como son los soportes para la instalación de los nodos y cables para la ubicación de sensores y demás. En el caso del consumo de la energía eléctrica solo será necesario para el nodo coordinador, puesto que los demás son nodos autónomos.

En la tabla 27 se realiza un detalle de los costos de infraestructura.

Tabla 27.

Descripción de elementos que conforman la infraestructura

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Soportes para cajas	1	\$ 8,00	\$ 8,00
Puntos de Energía	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Cables para sensores	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Consumo de energía	1	\$ 0,00	\$ 0,00
Consumo de internet	1	\$ 0,00	\$ 0,00
Otros materiales	1	\$ 4,00	\$ 4,00
		TOTAL	\$ 20,00

Fuente: Adaptado de Amazon

5.1.4. Costos de Ingeniería

Como costos de ingeniería es tomado en consideración el trabajo u honorarios del encargado del estudio y documentación del proyecto, que dependen del grado de dificultad y de las condiciones del lugar en donde se va a desarrollar el caso de estudio.

Tabla 28.

Descripción de costos de ingeniería

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Estudio de Campo	1	\$ 700,00	\$ 700,00
Documentación	1	\$ 250,00	\$ 250,00
		TOTAL	\$ 950,00

Fuente: Elaborado por el autor

5.1.5. Costos de Software

En los costos de software como se puede observar en la tabla 29, los costos están considerados en 0 dólares puesto que se está trabajando con software libre. En el caso de la plataforma Ubidots, que son sistemas basados en información en la nube tiene como

característica principal que da la ventaja en proyectos que cuenten con número de nodos menor a 20 y que cada uno de estos tenga menos de 10 variables a monitorear el costo será equivalente a \$0 dólares de pagó.

Tabla 29.
Descripción del software

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
XCTU	1	\$ 0,00	\$ 0,00
Plataforma UBIDOTS	1	\$ 0,00	\$ 0,00
IDE de Arduino	1	\$ 0,00	\$ 0,00
TOTAL			\$ 0,00

Fuente: Elaborado por Autor

5.1.6. Costos de Implementación del sistema

A continuación en la *Tabla 30* se presenta un resumen del costo de inversión total del proyecto, el cual se obtiene de la cantidad de dispositivos a implementarse y de la suma de los costos que intervienen en la implementación.

Tabla 30.
Costos de implementación de la WSN

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Nodo coordinador	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Nodos sensores	15	\$ 138,00	\$ 2.070,00
Costos de Infraestructura	15	\$ 20,00	\$ 300,00
Costo de Ingeniería	1	\$ 950,00	\$ 950,00
Costo de Software	1	\$ 0,00	\$ 0,00
TOTAL			\$ 3.420,00

5.2. Beneficios

En términos económicos, se considera al beneficio como un ingreso monetario directo que será generado por el proyecto, más en este caso se interpreta al beneficio en términos de relación entre el factor económico, social y ambiental; esto debido a que se tiene como finalidad la actuación de organismos de socorro en caso de suscitarse un incendio forestal, en este caso se toman en cuenta los costos asociados a: pérdida de árboles y vegetación, costo de movilización de equipos de intervención, daño en estructuras y servicios, superficie de terreno quemada, riesgos sanitarios por emisión de gases, posibles heridas del personal de socorro y la posterior recuperación de la zona afectada por el flagelo.

A pesar de que no se cuenta con estadísticas de los incendios forestales que se han presentado en el Bosque Protector Guayabillas, se toma en cuenta los datos recopilados por la Secretaría de Ambiente de la Alcaldía de la ciudad de Quito (Secretaría de Ambiente, 2015), en los que se menciona que durante los incendios en el verano 2015, alrededor de 3102,11 hectáreas forestales fueron dañadas en el Distrito Metropolitano, cuyo costo aproximado fue de USD 34'834.307,20 dólares.

Según la Secretaría de Ambiente, se estima que el tiempo de recuperación de la vegetación afectada por un flagelo, es dependiente de las condiciones climáticas, el tipo de vegetación afectada y el grado de afectación de la misma, tal como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31.
Tiempo de recuperación de cobertura vegetal

Estructura de la Vegetación	Tiempo de Recuperación
Pastos Naturales	Anual
Cultivos	Anual
Herbazales Secos	De 1 a 2 años
Herbazales Húmedos	De 1 a 2 años

Arbustos Secos	De 3 a 5 años
Arbustos Húmedos	De 3 a 5 años
Plantaciones	De 5 a 10 años
Bosque Secundario	De 5 a 10 años
Bosque Seco	Más de 10 años
Bosque Húmedo	Más de 10 años

Fuente: Obtenida de: (Alcaldía de Quito, 2017)

Al momento de tomar en cuenta los gastos, se debe considerar varios factores, más los principales son: el personal movilizadado al sitio, horas de trabajo, maquinaria requerida, tiempo de operación, medios aéreos y el tiempo de vuelo de los mismos. Una vez determinados estos factores, se procede a evaluar si el incendio fue provocado por la mano del hombre y se demuestra la culpabilidad del pirómano, será el implicado el encargado de correr con los gastos, caso contrario será la administración la que debe hacerse cargo.

Si se desea realizar una evaluación por área afectada y el tiempo que la misma demorará en recuperarse, se obtiene mediante la Ecuación 2:

$$\text{Costo de Recuperación por Hectárea Quemada} = \frac{\text{Costo total de Recuerción [USD]}}{\text{área afectada [has]}}$$

Ecuación 3: Ecuación para obtener el costo de recuperación de una hectárea quemada

Fuente: Secretaría de Ambiente de la Alcaldía de Quito

Si se reemplazan los valores anteriormente mencionados en la Ecuación 2, se tiene que:

$$\text{Costo de Recuperación por Hectárea Quemada} = \frac{38'834.309,20[\text{USD}]}{3.102,12[\text{has}]} = \frac{11,230[\text{USD}]}{[\text{has}]}$$

El costo de implementación del radio enlace para el transporte de información recolectada por una red de sensores, con la finalidad de obtener un sistema de alerta temprana de incendios forestales, como se muestra en la Tabla 25, es de 3 420,00 dólares, si este valor es relacionado con el costo por hectárea quemada; se encuentra que la

implementación del proyecto es comparable con el costo de recuperación de aproximadamente 4 hectáreas de bosque. Por lo que con base a los resultados obtenidos se concluye que el proyecto presenta gran beneficio y es factible su implementación.

CONCLUSIONES

- Por medio del análisis de información de las redes de sensores inalámbricas (WSN), se pudo concretar varios parámetros, que sirvieron para definir algunos aspectos como tecnología inalámbrica, modos de operación, entre otros que fueron parte del planteamiento de este trabajo.
- La zona 2 de casi 21 hectáreas se ha visto afectada por incendios forestales, motivo por el que se plantea la red inalámbrica y debido a su extensión y densa vegetación se utilizó módulos XBee PRO S2C que teóricamente en lugares abiertos podrían alcanzar 3000 metros, pero tomando en cuenta los árboles como obstáculos se planteó ubicar los nodos manteniendo un alcance de 100 metros. También es importante mencionar que al ser de la serie 2 hacen posible utilizar topologías tipo malla y punto-multipunto ya que poseen una tecnología DigiMesh.
- Por medio de la selección de la tecnología inalámbrica, que en este caso fue xbee, se pudo obtener evidenciar los modos de operación de xbee que por medio del modo api 2 se logró realizar un ahorro de energía, ya que el nodo sensor mientras no esté transmitiendo se hallara en modo de reposo y así se puede alargar el tiempo de vida útil de las baterías. También fue posible crear una trama API que a la vez permitió enviar/recibir mensajes ACK con lo que se validó el estado de entrega de las tramas de los nodos sensores hacia el nodo central y la confirmación de la llegada de la trama en buen estado.
- La red inalámbrica se organizó por medio de una topología tipo malla, porque esta permite que los nodos sensores se puedan comunicar entre todos, motivo por lo que al tener una falla en algún nodo, no se perdería la información del nodo continuo (vecino), más bien buscaría otro camino por donde pueda viajar la información hacia el nodo central.

- Por medio de la simulación en el programa RadioMovie se pudo establecer la altura para la ubicación de los nodos resultando como altura idónea los 4 metros, por medio de las pruebas realizadas se observó que los enlaces de la red inalámbrica se comunicaron de forma satisfactoria.
- Para la recolección y monitoreo de los datos de los sensores se escogió Ubidots que es una plataforma web que permite almacenar información y visualizar en tiempo real a la vez que se puede observar graficas estadísticas en el tiempo, del comportamiento de los sensores.
- Las primeras pruebas que se realizaron fueron en el terminal visual de Arduino, que permitieron determinar la comunicación entre nodos sensores y el nodo central, en esta prueba se utilizó sensores, pero el objetivo principal era observar el estado de las tramas y transmisión de los paquetes, con lo que se logró evidenciar que la comunicación entre nodos fue exitosa y que la información llegaba correctamente.
- Mediante el análisis de costo/beneficio se determinó que resulta más factible implementar el sistema de alerta temprana que ayudará a evitar perder grandes cantidades de bosque protector, puesto que las pérdidas de hectáreas de bosque es mucho más costoso y demoran varios años para que la flora y fauna vuelva a estar en buenas condiciones o similares que antes de ocurrido un incendio.
- Xbee no cuenta con un simulador propio en el cual se pueda observar por donde se transmiten los paquetes dentro de la red, por lo que por medio de arduino, lo único que se puede observar son los mensajes de paquetes recibidos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para una correcta operación de los módulos Xbee se realice una actualización del firmware para evitar problemas posteriores en la configuración y aprovechar al máximo las funcionalidades que ofrecen estos dispositivos.
- Para la implementación de la WSN, se recomienda verificar la frecuencia a utilizar y si esta se encuentra permitida para su operación dentro del espectro radioeléctrico de la región de aplicación.
- Es recomendable determinar la ubicación de los nodos por medio de un programa de simulación de redes inalámbricas, con lo cual es posible minimizar la pérdida de información y a la vez ofrecer una cobertura óptima.
- Al utilizar herramientas de simulación se puede obtener distancias exactas en las que los nodos dentro de la red se van a comunicar sin presentar problemas, determinando la zona de Fresnel.
- Si se desea plantear una red inalámbrica en topologías malla, es necesario tomar en cuenta un dispositivo de serie 2, ya que los pertenecientes a la serie 1 no pueden realizar este tipo de distribución.
- Para poder configurar los módulos inalámbricos xbee en topología tipo malla es necesario realizar una actualización del firmware por medio del programa Digi que es una plataforma diseñada para Xbee.

REFERENCIAS

- Aakvaag, Niels ; Frey, Jan-Erik. (2006). Redes de sensores inalámbricos. Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial. *ABB*, 39-60.
- Arduino. (2017). *ARDUINO*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Avala, N. (8 de julio de 2015). *Ingenieria en Software*. Obtenido de <https://ingenieriaensofwarenathalyalava.wordpress.com/>
- BEE SENSOR . (13 de octubre de 2014). *i-ambiente CITIES*. Obtenido de <http://smartcities.i-ambiente.es/?q=blogs/nodos-y-sensores-en-wsn-particularidades-generales>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres; Gobierno Federal de México. (13 de Octubre de 2015). *CENAPRED*. Obtenido de http://www.cenapred.unam.mx/simposioDIRDN/documentos/documentosGrals/R_Quaas_SAT.pdf
- Cisco Systems. (2006). *Fundamentos de redes inalámbricas*. Pearson Educación.
- Computer Hope*. (21 de mayo de 2018). Obtenido de <https://www.computerhope.com/jargon/w/webpage.htm>
- Crespo, E. J. (noviembre de 2017). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/author/jecrespom/>
- Díaz, S. E. (2016). *Wireless Sensor Netowrks*. Obtenido de Estado del Arte e investigación:
http://www.arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf
- Digi. (2017). *DIGI*. Obtenido de <https://www.digi.com/>

DIGI. (2017). *DIGI XBEE®*. Obtenido de https://www.digi.com/pdf/ds_xbee-s2c-802-15-4.pdf

EcuRed. (Junio de 2018). *Ecured conocimiento de todos y par todos*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Sistema_de_monitoreo_Munin

EL COMERCIO, José Mafla. (25 de Agosto de 2014). Redacción Sierra Norte. *Un incendio está destruyendo el bosque de Guayabillas en Ibarra*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/incendio-magnitud-consume-bosque-protector.html>

Estudio, E. (18 de junio de 2018). *Ited Studio*. Obtenido de <http://www.electronicaestudio.com/docs/istd016A.pdf>

Exosite. (2018). Obtenido de Minneapolis: <https://exosite.com/>

Fahari, S. (2018). ELSEVIER. En *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. Obtenido de *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*.

Flores Carvajal, E. E. (30 de octubre de 2012). Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1288/349251.pdf?sequence=1>

GADM San Miguel de Ibarra. (abril de 2018). Obtenido de <https://www.ibarra.gob.ec/web/index.php/informativo/noticiasactualidad/1687-quema-controlada-en-loma-de-guayabillas>

Gascón , D. (junio de 2010). *Libelium*. Obtenido de <http://www.libelium.com/libelium-downloads/libelium-bit-coit.pdf>

- Gomez Gomez, J. E. (2013). *Sensor We: Hacia una red de sensores en la web: Interoperabilidad en las redes de sensores mediante web*. Hamburg: Académica Española.
- Huidobro, J. M. (22 de octubre de 2014). *Zona Movilidad*. Obtenido de <https://www.zonamovilidad.es/noticia/6731/reportajes/redes-de-sensores-inalambricos.html>
- Ibarra, G. d. (15 de mayo de 2018). *Tour Ibarra*. Obtenido de <https://www.touribarra.gob.ec/esp/index.php/loma-de-guayabillas>
- Janssen, Dale; Janssen, Cory. (10 de febrero de 2018). *Techopedia*. Obtenido de <https://www.techopedia.com/>
- Javier. (25 de septiembre de 2017). *PANDORAFMS*. Obtenido de <https://blog.pandorafms.org/es/monitoreo-de-red-que-debemos-saber/>
- Muñoz Ortiz, José Rafael; Nieto Hipólito, Juan Ivan. (2011). *Algoritmo de hand-off para redes inalámbricas de sensores: Movilidad multicelda de los nodos sensores*. Académica Española.
- Norte, E. (16 de abril de 2018). *Diario El Norte*. Obtenido de <http://www.elnorte.ec/ibarra/73017-quema-controlada-para-el-cambio-de-cobertura-vegetal-de-guayabillas.html>
- Ojeda, L. T. (9 de julio de 2017). *XBee Cl*. Obtenido de <http://xbee.cl/que-es-xbee/>
- Ojeda, L. T. (2018). *MCI Electronics*. Obtenido de arduino.cl: <http://arduino.cl/arduino-uno/>
- Ortiz Arciniega, J. L. (Marzo de 2017). BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN. Ibarra, Imbabura, Ecuador.

Ortiz Arciniega, J. L. (2017). *BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN*. Ibarra.

Ortiz Tapia, F. (Septiembre de 2017). *Profesores.elo*. Obtenido de http://profesores.elo.utfsm.cl/~tarredondo/info/networks/Presentacion_sensores.pdf

Sánchez Laguna, J. A. (2011). *Algoritmos de routing multicast para redes de sensores inalámbricas: En busca de la eficiencia energética*. Académica Española.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Semplades. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017*. Quito: El Conejo.

Sharma, Divya; Verma, Sandeep; Sharma, Kanika. (Abril-Junio de 2013). *IJECT*. Obtenido de *Network Topologies in Wireless Sensor Networks*: <http://www.iject.org/vol4/spl3/c0116.pdf>

Systems, E. (1 de enero de 2015). *ESP8266EX Datasheet*. Obtenido de https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266__Datasheet__EN_v4.3.pdf

Ubidots, C. (Abril de 2018). *UBIDOTS*. Obtenido de <https://ubidots.com/>

Ubisens. (6 de diciembre de 2012). Obtenido de <https://ubisens.wordpress.com/tag/arquitectura-wsn/>

UNESCO, COMISIÓN EUROPEA, SICA, & MEDUCA. (2011). *UNESCO*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/San-Jose/pdf/Panama%20MANUAL%20INFORMATIVO.pdf>

Vialfa, C. (27 de Julio de 2017). *CCM*. Obtenido de *Redes Inalámbricas*: <https://es.ccm.net/contents/818-redes-inalambricas>

Xively. (2018). Obtenido de LogMeIn: <https://www.xively.com/>

Zander, J. (Mayo de 2018). *Microzoft Azure*. Obtenido de [https://azure.microsoft.com/es-](https://azure.microsoft.com/es-es/)
es/

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

WSN: Wireless Sensor Network (Redes de sensores inalámbricos). Realiza la adquisición y tratamiento de datos con múltiples aplicaciones en distintos campos tales como entornos industriales, domótica, entornos militares, detección ambiental.

SMS: Short Message Service (Servicio de mensajes simples o servicio de mensajes cortos). Es un servicio disponible en los teléfonos móviles que permite el envío de mensajes cortos, conocidos como mensajes de texto entre teléfonos móviles.

LAN: Local Área Network (Red de área local). Una LAN es una red que conecta los ordenadores en un área relativamente pequeña y predeterminada, como una habitación, un edificio, o un conjunto de edificios.

WLAN: Wireless Local Area Network (Red de área local inalámbrica). Como la denominación lo señala, una WLAN es una red de tipo local cuyos equipos no necesitan estar vinculados a través de cables para conectarse.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de ingeniería eléctrica y electrónica). Es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas. Es la mayor asociación internacional sin ánimo de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías.

Wifi: Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica). Es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite conectar a internet equipos electrónicos, como computadoras, tablets, smartphones o celulares, etc., mediante el uso de radiofrecuencias para la transmisión de la información.

PCB: Printed Circuit Board (Placa de circuito impreso). Es una superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no

conductor. El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos.

SPI: Serial Peripheral Interface (Interfaz periférica serial). Es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos. Es un estándar para controlar casi cualquier dispositivo electrónico digital que acepte un flujo de bits serie regulado por un reloj (comunicación sincrónica).

IoT: Internet of things (Internet de las cosas). Es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con internet. Alternativamente, Internet de las cosas es el punto en el tiempo en el que se conectarían a internet más “cosas u objetos” que personas.

PaaS: Platform as a Service (Plataforma como servicio). Es un ambiente de cómputo en la nube al que se obtiene acceso según sea necesario a través de una red de un proveedor de servicios.

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal). Es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie, mediante este se puede realizar la comunicación serial entre dispositivos sea PC con alguna placa en particular. Se encuentra integrado en la placa base o en la tarjeta adaptadora del dispositivo. 145

FFD: Dispositivo de funcionalidad completa, se lo conoce como nodo activo. Puede funcionar en cualquier topología, es capaz de ser un comunicador de red y puede comunicarse con cualquier otro dispositivo.

RFD: Dispositivo de funcionalidad reducida, se lo conoce como nodo pasivo. Se limita a funcionar en la topología estrella, no puede ser un coordinador de red.

TX: En telecomunicaciones se refiere a la transmisión o emisión. Es el proceso de envío y propagación de una señal de información analógica o digital sobre un medio de transmisión físico punto-a-punto o punto-a-multipunto, ya sea por cable, fibra óptica o inalámbricamente.

RX: En telecomunicaciones se refiere a la recepción. Es el proceso de recibir una señal de información analógica o digital sobre un medio de recepción físico punto-a-punto o punto-a-multipunto, ya sea por cable, fibra óptica o inalámbricamente.

SAT: Sistemas de Alerta Temprana de sensores

BPG: Bosque Protector Guayabillas

ANEXOS

Anexo 1: Código de Programación de Coordinador

```

#include <XBee.h> //Incluir librería de comunicación
zigbee

#include <SoftwareSerial.h> //Incluir librería de nueva cx
serial

Xbee = ZigBeeRadio(); //Creación de una estancia xbee

SoftwareSerial xbeeSerial(10, 11); // (RX=>DOUT, TX=>DIN) //Definir los pines de cx
serial

int check = 0; // Setup check //Creación de la variable
check

void setup() {

Serial.begin( 9600 ); //Definir la velocidad de la cx
serial

xbeeSerial.begin( 9600 ); //Definir la velocidad de la nueva cx
serial

xbee.setSerial( xbeeSerial );

xbee.setAcknowledgement(true); //Recibir paquetes de cx de los
nodos

xbee.prepareATCommand('AP',0x02); //Asegurarse que la cx se está realizando en
API 2

xbee.send();

delay(200); //Enviar un
retraso

uint8_t panID[] = {0x12,0x34}; // Max: 64-bit //Asegurarse que el ID sea
correcto

xbee.prepareATCommand('ID',panID,sizeof(panID)); //Definición del tamaño máximo de ID 64
bits

xbee.send(); //Enviar estos datos a los
nodo

}

void loop() {

```

```

while( xbee.available() ){                                     //Verifica si hay datos en el puerto
serie
xbee.read();                                                //Lee los datos que se encuentran en el
puerto
if( xbee.isComplete() ){                                    //Chequeo del contenido de la trama,
verificar si la trama está completa
Serial.print("\nMensaje Entrante ");                       //Imprimir mensaje de mensaje
entrante
printPacket( xbee.getIncomingPacketObject() );            //Acceder al paquete
entrante
if( xbee.isRX() ){    //Verifica si el primer campo de la trama es el identificador de inicio de
trama
Serial.println( "Paquete Recibido Rx " );                 //Imprime mensaje de paquete recibido
// Methods for RX packets are...
SimpleZigBeeAddress addr = xbee.getRXAddress();
SimpleZigBeeAddress64 addr64 = xbee.getRXAddress64();
SimpleZigBeeAddress16 addr16 = xbee.getRXAddress16();
uint8_t rxOpt = xbee.getRXOptions();                      //asignación del metodo para la
variable
uint8_t rxLength = xbee.getRXPayloadLength();             //asignación de lectura de tamaño de
trama
Serial.print( "Payload: " );                               //Imprimir la palabra
Payload
for(int i=0;i<rxLength;i++){                               //Ciclo que representa a
longitud
uint8_t rxData = xbee.getRXPayload( i );                  //Asignación de la posición i a la
variablerxData
Serial.print(rxData,DEC);                                  //Imprimir la variable
dato
Serial.print(' ');                                        //Imprimir un
espacio
}
Serial.println();
}

```

```

//Método para armar el paquete de Transmisión

else if( xbee.isTXStatus() ){ //Verifica si el primer campo de la trama es el identificador de
inicio de trama

Serial.print( "TX Paquete recibido: " ); //Imprimir mensaje de estado de
Recibo

uint8_t frameID = xbee.getIncomingFrameID();
//Designación

SimpleZigBeeAddress16 addr16 = xbee.getTXStatusAddress16();

uint8_t txRetry = xbee.getTXStatusRetryCount();

uint8_t txStat = xbee.getTXStatusDeliveryStatus();

uint8_t txDiscovery = xbee.getTXStatusDiscoveryStatus();

Serial.print( "Status: " );

Serial.println(txStat,HEX);

}

}else if( xbee.isATResponse() ){

Serial.println( "AT Command Response Received" );

// Methods for AT Command Response packets are...

uint8_t frameID = xbee.getIncomingFrameID();

uint16_t atCmd = xbee.getATResponseCommand();

uint8_t atStat = xbee.getATResponseStatus();

uint8_t atLength = xbee.getATResponsePayloadLength();

Serial.print( "Estado de Trama: " );

Serial.println(atStat,HEX);

if( atLength == 1 ){

uint8_t atData = xbee.getATResponsePayload();

Serial.print( "Payload: " );

Serial.println(atData);

}else if( atLength > 1 ){

Serial.print( "Payload: " );

for(int i=0;i<atLength;i++){

uint8_t atData = xbee.getATResponsePayload(i);

```

```

Serial.print(atData);

Serial.print(' ');

}

Serial.println();

}

}else if( xbee.isRemoteATResponse() ){

Serial.println( "Remote AT Command Response Received" );

// Methods for Remote AT Command Response packets are...

SimpleZigBeeAddress addr = xbee.getRemoteATResponseAddress();

SimpleZigBeeAddress64 addr64 = xbee.getRemoteATResponseAddress64();

SimpleZigBeeAddress16 addr16 = xbee.getRemoteATResponseAddress16();

uint8_t frameID = xbee.getIncomingFrameID();

uint16_t reATCmd = xbee.getRemoteATResponseCommand();

uint8_t reATStat = xbee.getRemoteATResponseStatus();

uint8_t reATLength = xbee.getRemoteATResponsePayloadLength();

Serial.print( "Status: " );

Serial.println(reATStat,HEX);

if( reATLength == 1 ){

uint8_t reATData = xbee.getRemoteATResponsePayload();

Serial.print( "Payload: " );

Serial.println(reATData);

}else if( reATLength > 1 ){

Serial.print( "Payload: " );

for(int i=0;i<reATLength;i++){

uint8_t reATData = xbee.getRemoteATResponsePayload(i);

Serial.print(reATData);

Serial.print(' ');

}

Serial.println();

```

```
}  
}else if( xbee.isModemStatus() ){  
Serial.println( "Modem Status Received" );  
// Methods for Modem Status packets are...  
uint8_t modemStat = xbee.getModemStatus();  
Serial.print( "Status: " );  
Serial.println(modemStat,HEX);  
}
```

Anexo 2: Código de Programación de Nodo Sensor

```

#include <Xbee.h> //Incluir librería de comunicación
zigbee

#include <SoftwareSerial.h> //Incluir librería de nueva cx
serial

#include "DHT.h" //Incluir librería de sensor de
temperatura y humedad

#define DHTPIN 2 //Asignación del pin para sensor de temperatura y
humedad

#define DHTTYPE DHT22 //Designación de tipo de sensor
DHT

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

uint8_t payload[] = {0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00};
//Creación de un vector, donde se guardara la información

unsigned long time = 0; //Creación de variable para definición de tiempos (0-32
bits)

unsigned long last_sent = 20000; //Creación de variable para definición de tiempos (0-32
bits)

unsigned int CO2sensormq135=0; //Creación de variable de sensor CO2
(MQ135)

unsigned int HumoSensormq2=0; //Creación de variable de sensor Humo
(MQ2)

unsigned int Flama=0; //Creación de variable de sensor Flama
(YG1006)

void setup() {

Serial.begin( 9600 ); //Definir la velocidad de la cx
serial

xbeeSerial.begin( 9600 ); //Definir la velocidad de la nueva cx
serial

xbee.setSerial( xbeeSerial ); //Inicializar la comunicación
serial

xbee.setAcknowledgement(true); //Recibir paquetes de cx de los
nodos

xbee.prepareATCommand('AP',2); //Asegurarse que la cx se está realizando en API modo
2

```

```

xbee.send();

delay(200); //Enviar un
delay

uint8_t panID[] = {0x12,0x34}; // Max: 64-bit //Asegurarse que el ID sea
correcto

xbee.send(); //Enviar estos datos a los
nodo

}

void loop() {

while( xbee.available() ){ //Verifica si hay datos en el puerto
serie

xbee.read(); //Lee los datos que estan en el puerto
serial

if( xbee.isComplete() ){ //Chequeo del contenido de la
trama

Serial.print("\nMensaje entrante: "); //Mensaje de
entrada

printPacket( xbee.getIncomingPacketObject() ); //Imprimir la trama que está
entrando

}

CO2sensormq135=analogRead(A0); //Definición del pin A0 para el sensor de CO2 análogo
HumoSensormq2=analogRead(A5); //Definición del pin A0 para el sensor de CO2
análogo

unsigned int H = dht.readHumidity(); //Lectura del sensor Humedad

unsigned int T= dht.readTemperature(); //Lectura del sensor Temperatura

Flama= digitalRead(7); //Lectura del sensor de Flama y asignación en el
pin 7

time = millis(); //Asignación del método millis a la variable
times

if( time > (last_sent+20000) ){

payload[0] = identificador >> 8 & 0xff; //Asignación delas variables al vector
payload

payload[1] = identificador & 0xff;

```

```
payload[2] = CO2sensormq135 >> 8 & 0xff;           //Asignación de la variable del sensor
mq135

payload[3] = CO2sensormq135 & 0xff;

payload[4] = HumoSensormq2 >> 8 & 0xff;           //Asignación de la variable del sensor
mq2

payload[5] = HumoSensormq2 & 0xff;

payload[6] = H >> 8 & 0xff;                       //Asignación de la variable de
humedad

payload[7] = H & 0xff;

payload[8] = T>> 8 & 0xff;                         //Asignación de la variable de temperatura

payload[9] = T & 0xff;

payload[10] = Flama>> 8 & 0xff;                   //Asignación de la variable del sensor
yg106

payload[11] = Flama & 0xff;

xbee.send();

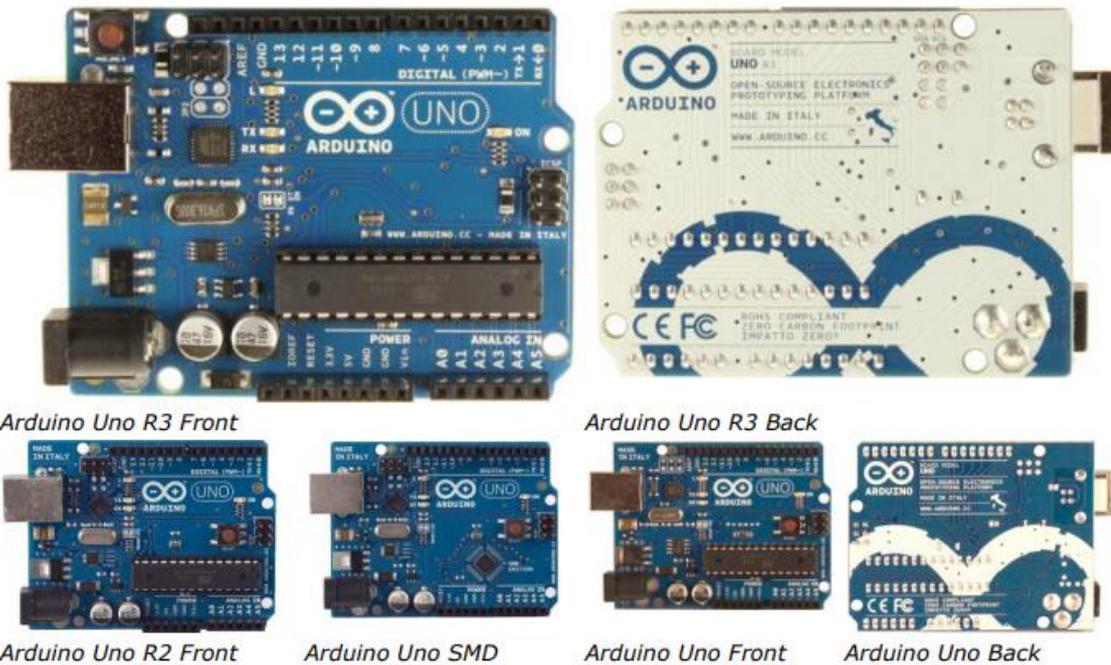
}

Serial.print(checksum, HEX );

}
```

ANEXO 3: Datasheet Arduino UNO

Arduino Uno



Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available . The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

ANEXO 4: Datasheet Xbee PRO S2C

XBee[®]/XBee-PRO S2C Zigbee[®]

RF Module

User Guide

Performance specifications

The following table describes the performance specifications for the devices.

Note Range figure estimates are based on free-air terrain with limited sources of interference. Actual range will vary based on transmitting power, orientation of transmitter and receiver, height of transmitting antenna, height of receiving antenna, weather conditions, interference sources in the area, and terrain between receiver and transmitter, including indoor and outdoor structures such as walls, trees, buildings, hills, and mountains.

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C	XBee Zigbee S2D
Indoor/urban range	Up to 60 m (200 ft)	Up to 90 m (300 ft)	Up to 60 m (200 ft)
Outdoor RF line-of-sight range	Up to 1200 m (4000 ft)	Up to 3200 m (2 mi)	Up to 1200 m (4000 ft)
Transmit power output (maximum)	6.3 mW (+8 dBm), boost mode 3.1 mW (+5 dBm), normal mode channel 26 max power is +3 dBm	63 mW (+18 dBm)	6.3 mW (+8 dBm) channel 26 max power is +1 dBm
RF data rate	250,000 b/s		
Receiver sensitivity	-102 dBm, boost mode -100 dBm, normal mode	-101 dBm	-102 dBm, boost mode -100 dBm, normal mode

Power requirements

The following table describes the power requirements for the XBee/XBee-PRO Zigbee RF Module.

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C	XBee Zigbee S2D
Adjustable power	Yes		
Supply voltage	2.1 - 3.6 V 2.2 - 3.6 V for programmable version	2.7 - 3.6 V	2.1 - 3.6 V
Operating current (transmit)	45 mA (+8 dBm, boost mode) 33 mA (+5 dBm, normal mode)	120 mA @ +3.3 V, +18 dBm	45 mA
Operating current (receive)	31 mA (boost mode) 28 mA (normal mode)	31 mA	31 mA
Power-down current	< 1 μ A @ 25°C		< 3 μ A @ 25°C

General specifications

The following table describes the general specifications for the devices.

Technical specifications

Networking and security specifications

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C	XBee Zigbee S2D
Operating frequency band	ISM 2.4 - 2.5 GHz		
Form factor	through-hole, surface-mount		surface-mount
Dimensions	through-hole: 2.438 x 2.761 cm (0.960 x 1.087 in) surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)	through-hole: 2.438 x 3.294 cm (0.960 x 1.297 in) surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)	surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)
Operating temperature	-40 to 85 °C (industrial)		
Antenna options	through-hole: PCB antenna, U.FL connector, RPSMA connector, or integrated wire surface-mount: RF pad, PCB antenna, or U.FL connector		

Networking and security specifications

The following table describes the networking and security specifications for the devices.

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C
Supported network topologies	Point-to-point, point-to-multipoint, peer-to-peer, and DigiMesh	
Number of channels	16 Direct sequence channels	15 Direct sequence channels
Interface immunity	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)	
Channels	11 to 26	
Addressing options	PAN ID and addresses, cluster IDs and endpoints (optional)	

Communication interface specifications

The following table provides the device's communication interface specifications.

Interface options	
UART	250 Kb/s maximum
SPI	5 Mb/s maximum (burst)

Serial communication specifications

The XBee/XBee-PRO Zigbee RF Module supports both Universal Asynchronous Receiver / Transmitter (UART) and Serial Peripheral Interface (SPI) serial connections.

UART pin assignments

Specifications UART pins	Device pin number	
	XBee (surface-mount)	XBee (through-hole)
DOUT	3	2
DIN / $\overline{\text{CONFIG}}$	4	3
$\overline{\text{CTS}}$ / DIO7	25	12
$\overline{\text{RTS}}$ / DIO6	29	16

For more information on UART operation, see [Operation](#).

SPI pin assignments

The SC2 (Serial Communication Port 2) of the Ember 357 is connected to the SPI port.

Specifications SPI pins	Device pin number	
	XBee (surface-mount)	XBee (through-hole)
SPI_SCLK	14	18
SPI_SSEL	15	17
SPI_MOSI	16	11
SPI_MISO	17	4

For more information on SPI operation, see [SPI operation](#).

GPIO specifications

XBee/XBee-PRO Zigbee RF Modules have 15 General Purpose Input / Output (GPIO) ports available. The exact list depends on the device configuration as some GPIO pads are used for purposes such as serial communication.

See [Enable GPIO 1 and 2](#) in the for more information on configuring and using GPIO ports.

GPIO electrical specification	Value
Voltage - supply	2.1 - 3.6 V

ANEXO 5: Fichas de Observación Directa

<i>Ficha de Observación 1</i>	
Localización	Bosque Protector Guayabillas
Observador	Vanessa Enríquez
Ubicación	Zona sur-este
<i>Hábitat</i>	
Densidad de árboles	forma escasa
Altura de árboles	4 metros
Distancia entre arboles	2 metros
<i>Observación</i>	

En esta zona se puede observar que no hay una abundante densidad de árboles, puesto que esta zona también, ha sido destinada para la reforestación y se han sembrado plantas originarias de la zona, como se puede observar en la figura 70.

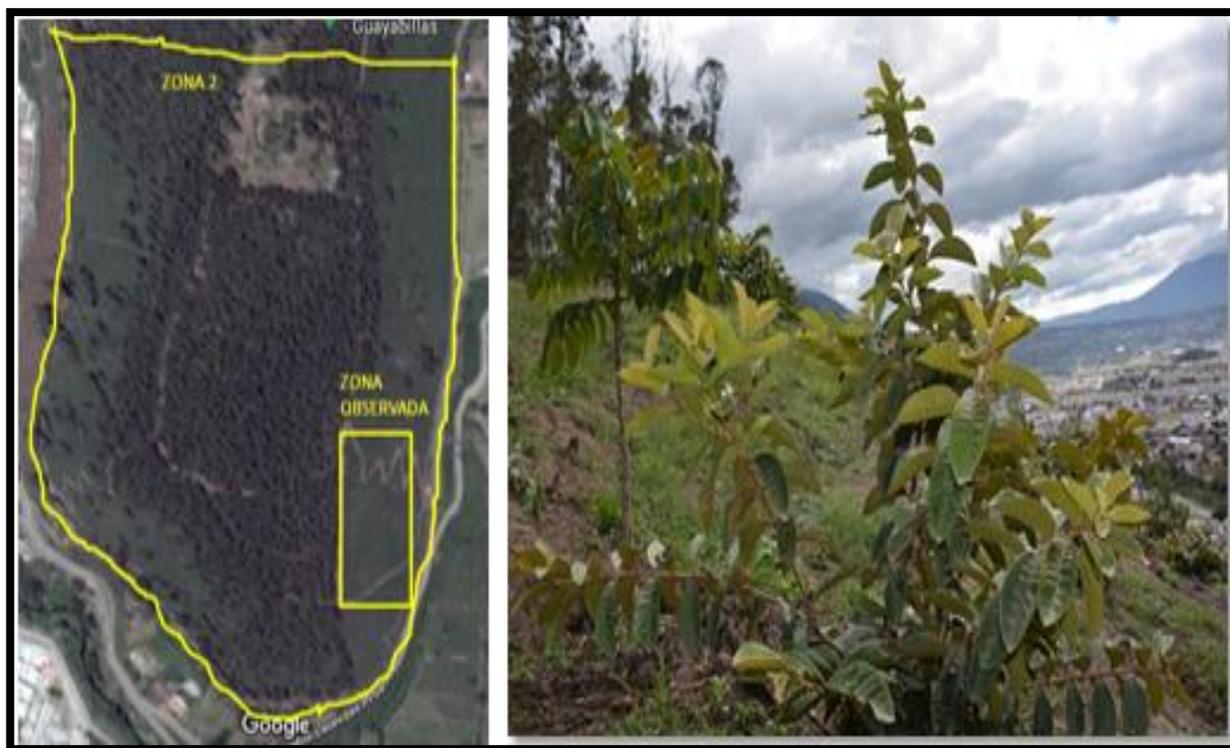


Figura 70: Observación de la zona sur-este

Fuente: Elaborado por el autor

Ficha de Observación 2

Localización	Bosque Protector Guayabillas
Observador	Vanessa Enríquez
Ubicación	Zona sur-Central

Hábitat

Densidad de árboles	forma escasa
Altura de árboles	10 metros
Distancia entre arboles	1 metros

Observación

En esta zona se puede observar que existe abundante densidad de árboles, puesto que esta zona también, que tienden a alcanzar una altura de 8 metros, también en esta zona se puede observar que existen senderos donde la gente puede ir a caminar o desarrollar actividades recreativas.

Los árboles que más sobresalen son los de eucalipto.

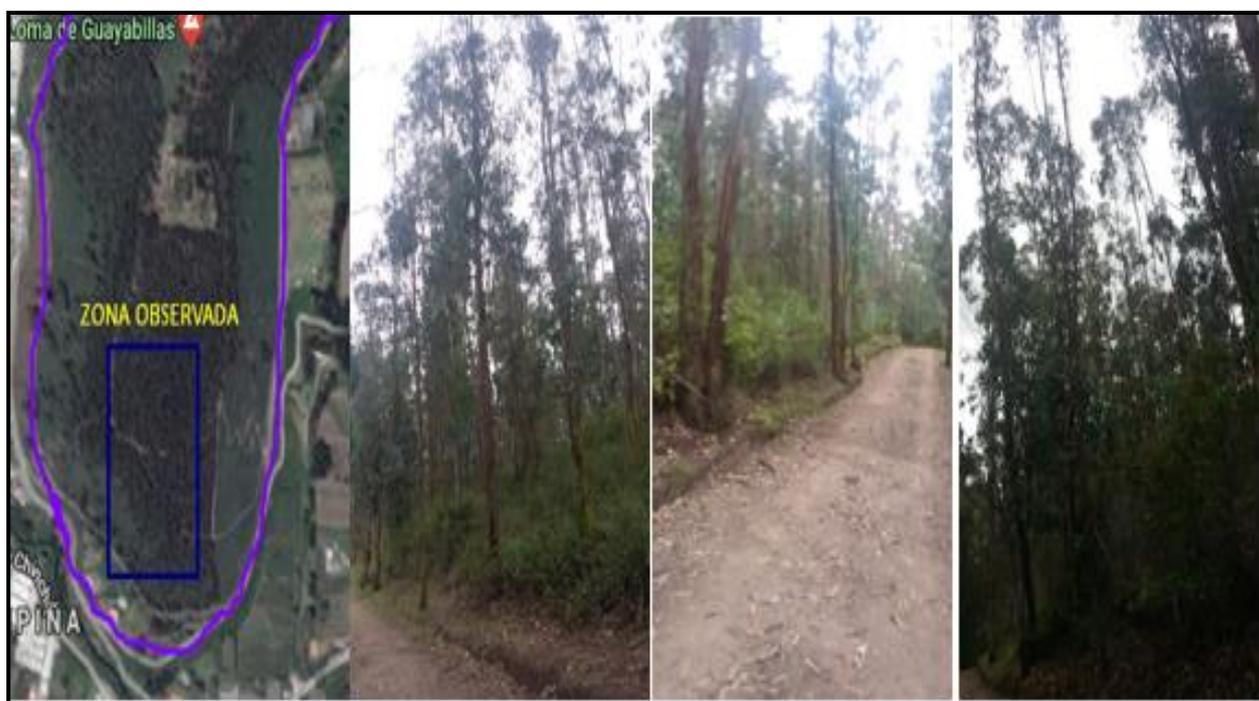


Figura 71: Observación directa de zona Sur-central

Fuente: Elaborado por el autor

Ficha de Observación 3

Localización	Bosque Protector Guayabillas
Observador	Vanessa Enríquez
Ubicación	Zona Norte-Central

Hábitat

Densidad de árboles	forma escasa
Altura de árboles	8 metros
Distancia entre arboles	3 metros

Observación

En esta zona se puede observar que hay poca cantidad de árboles y los ya existentes han sido cortados, esto tiene que ver con el plan de reforestación que se encuentra implementado el Gobierno Municipal Descentralizado de San Miguel de Ibarra, en vista a que este tipo de árbol consume gran cantidad de agua y tiene una consistencia seca ,es así que, se pretende sembrar plantas endémicas de la zona y reemplazar al eucalipto, ya que esta especie es de consistencia seca y contribuye a la propagación del fuego.



Figura 72: Imágenes del BPG de zona norte-central

Fuente: Elaborado por el autor

Ficha de Observación 4

Localización	Bosque Protector Guayabillas
Observador	Vanessa Enríquez
Ubicación	Zona Norte-Este

Hábitat

Densidad de árboles	forma densa
Altura de árboles	12 metros
Distancia entre arboles	1 metros

Observación

En esta zona se puede observar que existe abundante densidad de árboles, puesto que esta zona también, que tienden a alcanzar una altura de 12 metros, también en esta zona se puede observar que existen senderos donde la gente puede ir a caminar o desarrollar actividades recreativas.

Los árboles que más sobresalen son los de eucalipto.



Figura 73: Imágenes del BPG de zona norte-central

Fuente: Elaborado por el autor

ABSTRACT

Currently, with the technological development, there has been a breakthrough in applications, with this giving rise through giant steps to functionalities of wireless sensor networks (WSN), which have positioned themselves as a tool for monitoring, control and systems early warning.

By means of the WSN it is possible to incorporate small devices, which can be distributed in large geographical areas such as forests, the set of sensors that are communicated by wireless modules are called sensor nodes installed around a phenomenon, such as forest fires.

The Protection Forest "Guayabillas" (PFG) has been planted due to the need for green spaces in the province of Imbabura, it has been considered as the lung of the city of Ibarra. This place has been the scene of several forest fires, it is possible to see the need to study and analyze wireless technologies, to design a wireless communication network that allows to monitor and carry a sensory analysis of environmental variables in order to prevent forest fires of large proportions.

An analysis will be made about the different topologies of a WSN to identify the characteristics, functionality and how each one works, with the purpose of choosing one of them depending on the advantages and disadvantages they provide for the design of the WSN wireless network in the PFG.

Victor Rodriguez Viteri
1715496129
