



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO WSN
BASADO EN PROTOCOLO LPWAN PARA MONITOREO Y
ALERTA DEL CRECIMIENTO RADIAL DE ÁRBOLES”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORES:

GILSON SANTIAGO CUENCA ROSERO
CLAUDIO JOEL VALDIVIESO ARÉVALO

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO WSN
BASADO EN PROTOCOLO LPWAN PARA MONITOREO Y
ALERTA DEL CRECIMIENTO RADIAL DE ÁRBOLES”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORES: GILSON SANTIAGO CUENCA ROSERO
CLAUDIO JOEL VALDIVIESO ARÉVALO
DIRECTORA: ING. MÓNICA ANDREA ZABALA HARO

Riobamba – Ecuador

2021

©2020, Gilson Santiago Cuenca Rosero & Claudio Joel Valdivieso Arévalo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de Autor.

Nosotros, Gilson Santiago Cuenca Rosero & Claudio Joel Valdivieso Arévalo, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, de 2021.

Gilson Santiago Cuenca Rosero
C.I. 210050983-1

Claudio Joel Valdivieso Arévalo
C.I. 080434417-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que. El trabajo de titulación tipo: Propuesta Tecnológica. **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO WSN BASADO EN PROTOCOLO LPWAN PARA MONITOREO Y ALERTA DEL CRECIMIENTO RADIAL DE ÁRBOLES**, realizado por los señores. **GILSON SANTIAGO CUENCA ROSERO Y CLAUDIO JOEL VALDIVIESO ARÉVALO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Vinicio Ramos Valencia PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	MARCO VINICIO RAMOS VALENCIA <small>Firmado digitalmente por MARCO VINICIO RAMOS VALENCIA DN: cn=MARCO VINICIO RAMOS VALENCIA, o=EC, ou=QUITO, ou=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=CENTRO DE CERTIFICACION DE INFORMACION E-CODE, Mail=Estoy aprobando este documento Ubicación: Fecha: 2021-08-03 21:58:06:00</small>	30 -08- 2021
Ing. Mónica Andrea Zabala Haro DIRECTORA DE TESIS	MONICA ANDREA ZABALA HARO <small>Firmado digitalmente por MONICA ANDREA ZABALA HARO Fecha: 2021-08-01 19:03:49 -05'00'</small>	30 -08- 2021
Ing. José Enrique Guerra Salazar MIEMBRO DE TRIBUNAL	JOSE ENRIQUE GUERRA SALAZAR <small>Firmado digitalmente por JOSE ENRIQUE GUERRA SALAZAR, Fecha: 2021-08-01 21:36:15 -05'00'</small>	30 -08- 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres Carlos y Omaira, ya que gracias a su amor, sacrificio y trabajo en todos estos años logre llegar hasta aquí y cumplir con este gran sueño, son los mejores padres por inculcar en mí el ejemplo superación, esfuerzo y perseverancia. A todos mis tíos que de una manera u otra estuvieron apoyándome en todo el transcurso de toda esa etapa. A mis hermanos Edison y Mahyli que me brindaron su afecto y apoyo incondicional, durante todo este proceso. Finalmente dedico esto a mis amigos y amigas, que fueron un gran apoyo en toda mi carrera universitaria y en el desarrollo de esta tesis.

Santiago

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mis padres que fueron pilares fundamentales en la correcta formación de mi persona. A mi familia que de una u otra manera siempre han sido parte fundamental para mí y para mi desarrollo académico. A mis hermanos por siempre estar ahí dándome su apoyo incondicional en todo momento.

Claudio

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, por la confianza y toda la ayuda puesta en mí en el transcurso de mi vida, por apoyarme en todo momento para cumplir con este logro.

A mis compañeros, a mis hermanos quienes nunca dejaron de confiar en mí y pusieron todas sus esperanzas en mí.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme abierto las puertas para poder estudiar en tan prestigiosa institución, el proveer el conocimiento académico con buenos profesores los cuales crearon una base sólida para el ejercicio profesional.

A la Ing. Mónica Zabala mi tutor del trabajo de titulación quien aportó con sus ganas, sus conocimientos, su voz de aliento y su experiencia profesional para así poder cumplir cada objetivo planteado.

Claudio y Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Sistematización del Problema.....	2
1.3. Justificación Teórica.....	2
1.4. Justificación aplicativa.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.6. Delimitación.....	5
1.6.1. <i>Espacio</i>	5
1.6.2. <i>Tiempo</i>	5
1.6.3. <i>Alcance</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Introducción.....	7
2.2. El crecimiento de un árbol.....	7
2.2.1. <i>Crecimiento en diámetro</i>	8
2.2.2. <i>Métodos para determinar el crecimiento en diámetro</i>	9
2.2.3. <i>Importancia y realidad de uso del dendrómetro</i>	13
2.2.4. <i>Fluctuaciones del diámetro del tronco (FDT)</i>	14
2.2.5. <i>Tipos de dendrómetros</i>	14
2.2.6. <i>Análisis comparativo entre dendrómetros tipo abrazadera y tipo estación</i>	15
2.3. Red inalámbrica de sensores (WSN).....	16
2.3.1. <i>Topologías de la red WSN</i>	17
2.3.2. <i>Tecnologías de comunicación inalámbrica LPWAN</i>	19
2.3.3. <i>Sensores</i>	21
2.3.4. <i>Tarjetas de desarrollo</i>	24

2.3.5.	<i>Plataformas IoT</i>	26
2.3.6.	<i>Herramientas de notificaciones</i>	28

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	30
3.1.	Introducción	30
3.2.	Requerimientos del prototipo MVRT	30
3.3.	Concepción general del prototipo MVRT	31
3.4.	Arquitectura del prototipo MVRT	32
3.4.1.	<i>Diagrama de bloques del nodo sensor</i>	32
3.4.2.	<i>Diagrama de bloques del nodo coordinador</i>	33
3.4.3.	<i>Diagrama del nodo de almacenamiento y visualización</i>	33
3.5.	Selección de hardware para el prototipo MVRT	34
3.5.1.	<i>Baterías AGM</i>	34
3.5.2.	<i>Controlador de carga 10A PWM</i>	35
3.5.3.	<i>Step UP XL6009</i>	35
3.5.4.	<i>Sensor LVDT DC-EC 250</i>	36
3.5.5.	<i>ADS1118</i>	37
3.5.6.	<i>Tarjetas de desarrollo para el prototipo MVRT</i>	38
3.5.6.1.	<i>Arduino Nano</i>	38
3.5.6.2.	<i>Módulo WiFi ESP8266</i>	39
3.5.7.	<i>Sx1278 Lora</i>	40
3.5.8.	<i>Módulo SD Card</i>	41
3.5.9.	<i>RTC DS-1307</i>	41
3.5.10.	<i>Módulo GPS U-blox NEO 6M</i>	42
3.5.11.	<i>Panel solar 20W</i>	43
3.6.	Esquema de conexión del prototipo MVRT	44
3.6.1.	<i>Esquema de conexión del Nodo Sensor</i>	44
3.6.2.	<i>Esquema de conexión del nodo coordinador</i>	46
3.7.	Selección del software para el prototipo MVRT	47
3.7.1.	<i>Requerimientos software del prototipo MVRT</i>	47
3.7.2.	<i>Software de desarrollo para el prototipo MVRT</i>	48
3.7.2.1.	<i>Arduino IDE 1.8.13</i>	48
3.7.3.	<i>Configuración de los módulos de comunicación</i>	49
3.7.3.1.	<i>Transmisor</i>	49
3.7.3.2.	<i>Receptor</i>	50
3.7.4.	<i>Diagrama de flujo del nodo sensor</i>	50
3.7.5.	<i>Diagrama de flujo del nodo coordinador</i>	51
3.7.6.	<i>Plataforma de visualización y Alerta</i>	54

3.8.	Diseño y fabricación del case para el prototipo MVRT	57
3.8.1.	<i>Caja de protección del nodo sensor</i>	57
3.8.2.	<i>Caja de protección del nodo coordinador</i>	58

CAPÍTULO IV

4.	DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
4.1.	Introducción	60
4.2.	Caracterización del nodo sensor	60
4.2.1.	<i>Caracterización de mediciones realizadas por el sensor LVDT</i>	61
4.2.2.	<i>Caracterización de mediciones realizadas por el Módulo GPS</i>	62
4.2.3.	<i>Repetitividad del nodo sensor</i>	62
4.3.	Caracterización de la comunicación inalámbrica	63
4.3.1.	<i>Alcance de la comunicación RF entre los nodos</i>	63
4.3.2.	<i>Prueba de integridad de datos</i>	65
4.3.3.	<i>Parámetros de intensidad de la señal recibida (RSSI) y relación señal/ruido (SNR)</i>	66
4.4.	Caracterización de nodo coordinador	67
4.4.1.	<i>Registro de datos en ThingSpeak</i>	68
4.4.2.	<i>Almacenamiento y visualización en la plataforma ThingSpeak</i>	69
4.5.	Prueba de consumo energético del prototipo MVRT	70
4.6.	Funcionamiento del prototipo MVRT	71
4.6.1.	<i>Escalabilidad de prototipo</i>	74
4.7.	Análisis económico del prototipo MVRT	76
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	78
	GLOSARIO DE ABREVIATURAS	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Diferencias entre forcípula, dendrómetro y barrena de <i>Pressler</i>	12
Tabla 2-2:	Diferencias entre dendrómetro tipo abrazadera y tipo estación	16
Tabla 3-2:	Análisis Comparativo de las topologías WSN.	19
Tabla 4-2:	Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas basadas en LPWAN.	20
Tabla 5-2:	Cuadro comparativo de sensores de desplazamiento lineal.	23
Tabla 6-2:	Cuadro comparativo de tarjetas de desarrollo.	26
Tabla 7-2:	Cuadro comparativo de Plataformas IoT.	27
Tabla 8-2:	Diferencias entre IFFT, <i>SimplePush</i> y <i>Pushly</i>	29
Tabla 1-3:	Especificaciones técnicas de baterías AGM 12 V.	34
Tabla 2-3:	Especificaciones técnicas del Controlador de carga 10A PWM.	35
Tabla 3-3:	Especificaciones técnicas del Módulo Step UP XL6009.	36
Tabla 4-3:	Especificaciones técnicas del sensor LVDT DC-EC 250.	37
Tabla 5-3:	Especificaciones técnicas del ADS 1118.	38
Tabla 6-3:	Especificaciones técnicas del Arduino Nano.	38
Tabla 7-3:	Especificaciones técnicas del NODEMCU ESP8622.	39
Tabla 8-3:	Especificaciones técnicas del Módulo SX1278.	40
Tabla 9-3:	Especificaciones técnicas del Módulo SD Card.	41
Tabla 10-3:	Especificaciones técnicas del RTC DS-1307.	42
Tabla 11-3:	Especificaciones técnicas del Módulo GPS U-blox NEO 6M.	43
Tabla 12-3:	Especificaciones técnicas del Controlador de carga 10A PWM.	44
Tabla 2-4:	Resultados de la Simulación FLoRa.	75
Tabla 5-4:	Comparación de los datos obtenidos del sensor LVDT del prototipo MVRT con un micrómetro	61
Tabla 6-4:	Comparación de los datos obtenidos del módulo GPS del prototipo MVRT con el equipo patrón Google Maps.	62
Tabla 8-4:	Distancia de funcionamiento del prototipo.	65
Tabla 9-4:	Cálculo de duración de la batería.	70
Tabla 10-4:	Ubicación del prototipo.	71
Tabla 11-4:	Presupuesto económico del prototipo MVRT implementado.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Variables de crecimiento de mayor interés a medir de un árbol.....	7
Figura 2-2:	Forcípula.	10
Figura 3-2:	Medición con forcípula.....	10
Figura 4-2:	Barrena de Pressler.	11
Figura 5-2:	Proceso de medición con barrena.	11
Figura 6-2:	Dendrómetro.....	12
Figura 7-2:	Dendrómetro tipo abrazadera.....	15
Figura 8-2:	Dendrómetro tipo estación.....	15
Figura 9-2:	Esquema de una red WSN.	16
Figura 10-2:	Topología tipo estrella.	17
Figura 11-2:	Topología tipo malla.....	18
Figura 12-2:	Topología tipo Árbol.	18
Figura 13-2:	Sensor LVDT esquema eléctrico (izq.), y sección transversal (der.).....	22
Figura 14-2:	Potenciómetro rotatorio (izq) y Potenciómetro Slider (der).	22
Figura 15-2:	Dendrómetro perimetral con galga extensiométrica.....	23
Figura 16-2:	Tarjetas Arduino.....	24
Figura 17-2:	NodeMCU.....	25
Figura 18-2:	Raspberry Pi 3 modelo B.....	25
Figura 1-3:	Concepción General del Prototipo.	31
Figura 2-3:	Diagrama de bloques del nodo sensor.....	32
Figura 3-3:	Diagrama de bloques del Nodo Coordinador.....	33
Figura 4-3:	Almacenamiento de la información en la plataforma IoT.....	34
Figura 5-3:	Batería AGM 12 V.	34
Figura 6-3:	Controlador de carga 10A PWM.	35
Figura 7-3:	Módulo Step UP XL6009.....	36
Figura 8-3:	Sensor LVDT DC-EC 250.....	37
Figura 9-3:	Circuito integrado ADS1118.....	37
Figura 10-3:	Arduino Nano.....	38
Figura 11-3:	NODEMCU ESP8622.....	39
Figura 12-3:	Módulo Lora SX1278.....	40
Figura 13-3:	Módulo SD Card.	41
Figura 14-3:	RTC DS-1307.....	42
Figura 15-3:	Módulo GPS U-blox NEO 6M.....	43
Figura 16-3:	Panel solar 20 W.....	44

Figura 17-3: Esquema de conexión del Nodo Sensor.	46
Figura 18-3: Diseño de la placa del Nodo Sensor y sus componentes.	46
Figura 19-3: Esquema de conexión del Nodo Coordinador.	47
Figura 20-3: Estructura de la trama a transmitirse por comunicación RF.	50
Figura 21-3: Visualización de las variables: Variación radial y Ubicación Geográfica en <i>ThingsSpeak</i>	54
Figura 22-3: Creación de la acción de generar notificaciones.	55
Figura 23-3: Creación de la solicitud web vinculado a IFTTT.	56
Figura 24-3: Alerta de las variaciones radiales del tronco.	57
Figura 25-3: Case nodo sensor.	58
Figura 26-3: Case nodo coordinador.	58
Figura 1-4: Entorno de simulación FLoRa.	74
Figura 3-4: Nodo Sensor (con caja y sin caja).	60
Figura 4-4: Micrómetro.	61
Figura 5-4: Alcance de la comunicación RF	64
Figura 6-4: Integridad de datos entre monitor serie y plataforma ThingSpeak.	66
Figura 7-4: Nodo coordinador (con caja y sin caja).	68
Figura 8-4: Datos almacenados en la SD y datos almacenados en la plataforma Thingspeak.	69
Figura 9-4: Ubicación para la implementación del prototipo.	71
Figura 10-4: Imágenes de la instalación del dispositivo sensor.	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Diagrama de Flujo del prototipo MVRT.	51
Gráfico 2-3: Diagrama de Flujo del prototipo MVRT.	53
Gráfico 1-4: DER dependiendo del número de nodos.....	75
Gráfico 3-4: Gráfico de los datos almacenados en Excel.	70
Gráfico 4-4: Indicador de la variación radial del tallo.....	72
Gráfico 5-4: Visualización del Crecimiento.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET SX1278 RA-01 LORA MODULE

ANEXO B: DATASHEET SENSOR LVDT

ANEXO C: ESP8266 NODE MCU

ANEXO D: CODIGO LORA TRANSCEIVER

ANEXO E: CÓDIGO LORA RECEIVER

ANEXO F: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO GPS NEO 6M

ANEXO G: CÓDIGO DE SIMULACIÓN FLORA

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se diseñó e implementó un prototipo del tipo Wireless Sensor Network (WSN) basado en protocolo Low Power Wide Area Networks (LPWAN) para monitoreo y alerta del crecimiento radial de árboles. Consiste en una red de tipo inalámbrica basada en las tarjetas de desarrollo Arduino y Node Microcontroller Unit (Nodemcu). Se compone de tres nodos: nodo sensor, nodo coordinador y el nodo de almacenamiento y visualización, que permiten monitorear las fluctuaciones diarias del tronco del árbol en unidades micrométricas. El nodo sensor, a través del sensor de desplazamiento lineal variable, recibe y procesa los datos de fluctuaciones y los envía de forma inalámbrica hacia el nodo coordinador. La información recibida por el nodo coordinador es enviada al nodo de almacenamiento y visualización en la plataforma ThingSpeak. El nodo de almacenamiento y visualización muestra los datos de manera dinámica y gráfica. De las pruebas ejecutadas al comparar con equipos de referencia se comprobó que el prototipo presenta un margen de error obtenido de las mediciones que no sobrepasa el 0.01 milímetros perteneciente al equipo patrón de referencia por lo que es idóneo para medir las fluctuaciones de crecimiento del tallo. Las pruebas ejecutadas sobre comunicación entre nodos arrojaron que no se presentan pérdidas de paquetes en una distancia de hasta 575 metros en línea de vista. De las pruebas realizadas en un rango de 18 días se observó que el tallo presentó un crecimiento radial de 1090.37 micras (1 milímetro), con lo cual, se determinó que el árbol tiene un crecimiento acorde al tiempo de monitoreo tomando como referencia estudios realizados en Ecuador. Se concluye que el prototipo implementado cumplió con los requerimientos previamente establecidos. Se recomienda sustituir la antena espiral primera que viene por defecto en el módulo de largo alcance.

Palabras clave: <TELECOMUNICACIONES>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <COMUNICACIONES INALÁMBRICAS>, <DENDÓMETRO>, <TECNOLOGÍA LORAWAN>, <PROTOTIPO INALÁMBRICO>, <RED DE SENSORES INALÁMBRICOS>.



Firmado electrónicamente por:
**ELIZABETH
FERNANDA
AREVALO
MEDINA**



1393-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

In the current degree work, a prototype of the Wireless Sensor Network (WSN) type based on the Low Power Wide Area Networks (LPWAN) protocol was designed and implemented for monitoring and alerting the radial growth of trees. It consists of a wireless network based on the Arduino and Node Microcontroller Unit (Nodemcu) development boards. It comprises three nodes: sensor node, coordinator node, and the storage and display node, which allow monitoring the daily fluctuations of the tree trunk in micrometric units. The sensor node receives and processes the data fluctuations through the variable linear displacement sensor and sends it wirelessly to the coordinator node. Finally, the information received by the coordinator node is sent to the storage and display node on the ThingSpeak platform. Thus, the storage and display node displays data dynamically and graphically. When comparing with reference equipment, the tests carried out found that the prototype presents a margin of error obtained from the measurements that do not exceed 0.01 millimeters belonging to the reference standard equipment, so it is ideal for measuring stem growth fluctuations. In addition, the tests carried out on communication between nodes showed no packet losses in a distance of up to 575 meters in line of sight. Based on the tests carried out in a range of 18 days, it was observed that the stem showed a radial growth of 1090.37 microns (1 millimeter), so it was determined that the tree has a growth according to the monitoring time, taking as reference studies developed in Ecuador. Therefore, it is concluded that the implemented prototype met the previously established requirements. It is recommended to replace the first spiral antenna that comes by default in the long-range module.

Keywords: <TELECOMUNICATIONS>, <AUTOMATED CONTROL TECHNOLOGY>, <WIRELESS COMMUNICATIONS>, <DENDROMETER>, <LORAWAN TECNOLOGY>, <WIRELESS PROTOTYPE>, <WIRELESS SENSOR NETWORK>.

INTRODUCCIÓN

En el año 2018, estudiantes de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación desarrollaron una Aplicación de Comunicaciones Inalámbricas LPWAN para detección de incendios forestales basados en sistemas IoT, en la cual este proyecto propuso una solución a la problemática de la detección de incendios forestales a través del desarrollo de un sistema basado en la infraestructura IoT. Para la realización se tiene en cuenta las posibles tecnologías existentes con las que desarrollar la solución, por lo que se plantea un estudio comparativo de las tecnologías de comunicación inalámbricas y en concreto las pertenecientes a la categoría LPWAN (Cervantes, 2018).

Un nuevo sistema de monitoreo remoto desarrollado en Sao Paulo – Brasil permite que investigadores y técnicos sigan en tiempo real las tasas de crecimiento del bosque para evaluar si se están desarrollando adecuadamente y detectar tempranamente infecciones o ataques de plagas a las plantaciones. La tecnología ha sido diseñada por una empresa brasileña llamada Treevia y se basa en una serie de sensores inalámbricos fijados alrededor de los árboles como si fueran cinturones, que se van ensanchando a medidas que crece la planta. El propósito es que esos sensores capturen los cambios en los diámetros de los árboles cada cierto tiempo y envíen los datos a una plataforma en línea (Andrade, 2019).

En la Escuela Politécnica Nacional se realizó el Diseño de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados a la agricultura, la cual consistía en el diseño e implementación de una red WSN basada en una topología en estrella, compuesta por su gateway y múltiples nodos finales, para permitir la recolección de muestras de los parámetros de crecimiento de los bosques. Estas muestras se almacenaban en una base de datos desde donde se obtenía la información para su posterior análisis de los parámetros de medición (Guaña, 2016).

Así mismo, un estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo realizó el Diseño de un Prototipo de Red WSN para el Monitoreo del nivel de contaminación de CO₂ existente en el centro de la ciudad de Riobamba. La investigación se basó en el diseño de una red de sensores de CO₂ conectados a un gateway que permitan determinar el nivel de contaminación (Gusqui, 2017).

En base a los antecedentes previamente mencionados se observa que no se ha desarrollado proyectos que combinen el uso de sensores para sistemas de monitoreo de amplia cobertura y bajo consumo.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

¿Cómo diseñar e implementar un prototipo WSN basado en protocolo LPWAN para monitoreo y alerta del crecimiento radial de árboles?

1.2. Sistematización del Problema

¿Cuáles son las tecnologías LPWAN y los parámetros de medición del crecimiento radial de árboles?

¿Cuáles son los requerimientos que debe cumplir el prototipo de red inalámbrica a implementar?

¿Qué topología y comunicación de red cumple con los requerimientos establecidos?

¿Cuál es el diseño de la red y los componentes *hardware* y *software* que se ajusten a los requisitos para implementar el diseño?

¿El prototipo de red implementado cumple con los requisitos establecidos al inicio de la investigación, en base al protocolo LPWAN?

1.3. Justificación Teórica

Ahora más que nunca, los árboles y los bosques son un componente vital de comunidades saludables, habitables y sostenibles en todo el mundo. Las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tales como: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y metano (CH_4), siendo el CO_2 uno de los GEI más importantes debido a las grandes cantidades en las que se emite.

La vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis. Es por esta razón que los bosques son importantes sumideros de carbono, Según (Benjamín 2001) un árbol puede absorber hasta 150 kg de CO_2 al año, secuestrar carbono y en consecuencia mitigar el cambio

climático a futuro, además que los árboles maduros regulan el flujo de agua y mejoran la calidad de esta (Borelli, 2020), demostrándose la importancia y el impacto que puede llegar a tener un árbol, tanto de manera individual como en conjunto para el bienestar del planeta y la vida de quienes lo habitamos.

Los datos de crecimiento sirven para estimar la cantidad o volumen de madera que producen los árboles en un bosque, además de poder indicarnos si los árboles están creciendo más o menos de lo que se estimaba en décadas pasadas, sobre todo porque los cambios actuales en el clima afectan al crecimiento y, por tanto, a la producción de madera y/o carbono capturado. Estos datos nos ayudan a calcular cuánta madera se puede obtener sin reducir la capacidad del bosque para mantenerse y crecer en el futuro. Por otra parte, también se utilizan para conocer el potencial de captura de carbono de una especie en particular (Purata, 2016).

Por lo general, para obtener los datos de crecimiento de un árbol se debe llevar a cabo un monitoreo constante de variables de importancia, entre ellas el crecimiento radial del tronco, que se suele realizar de manera tradicional a través de dendrómetros artesanales para lo cual una persona debe asistir al sitio para tomar las lecturas diarias de crecimiento sin considerar además que las plantaciones suelen encontrarse en zonas remotas y generalmente alejadas, resultando incómodo para las personas encargadas de las mediciones.

A raíz de esta problemática surge la necesidad de desarrollar la propuesta de un prototipo de red inalámbrica WSN para el monitoreo del crecimiento radial de árboles, con prestaciones de largo alcance y bajo consumo de energía que permita optimizar el proceso de recolección de datos diarios en periodos prolongados de tiempo además de brindar una alternativa eficiente y de muy bajo costo en comparación con sistemas de monitoreo basados dendrómetros sofisticados de alto costo adquisitivo recientemente desarrollados.

1.4. Justificación aplicativa

El presente tema de investigación propone implementar una red inalámbrica de n nodos sensores que monitoricen el radio del tallo de los árboles y emita una alerta ante la presencia de variaciones milimétricas en su crecimiento radial, los nodos sensores enviarán la información hacia un nodo central (*gateway*) para su almacenamiento y posterior visualización en la nube.

Se plantea que los nodos de recolección de datos contaran con dispositivos electrónicos como sensor dendrómetro, módulo de comunicación basado en LPWAN y una tarjeta de desarrollo,

éstos son los encargados de adquirir los datos de medición y serán compartidos al nodo central, donde nodo central será el que se ocupe del procesamiento de la información suministrada.

Además, el nodo central se conectará a un Access Point para el envío de los datos a una plataforma de almacenamiento que permitirá visualizar la información en la nube desde cualquier lugar simplemente con tener acceso a internet. La idea fundamental de los datos obtenidos en esta investigación es que se puedan emplear como herramienta de análisis para estudios de estimación y proyección a futuro.

El proyecto se justifica con el objetivo que a futuro pueda ser probado en empresas dedicadas a la plantación, producción y comercialización de árboles madereros o a su vez también para procesos de monitoreo en reforestaciones.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo General*

- Diseñar e implementar un prototipo WSN basado en protocolo LPWAN para monitoreo y alerta del crecimiento radial de árboles.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

- Investigar las tecnologías LPWAN y los parámetros de medición del crecimiento radial de árboles.
- Definir los requerimientos que debe cumplir el prototipo de red inalámbrica a implementar.
- Elegir la topología y comunicación de red que cumpla con los requerimientos establecidos.
- Seleccionar el diseño de red y los componentes *hardware* y *software* que se ajusten a los requisitos para implementar el diseño.
- Evaluar si el prototipo de red implementado cumple con los requisitos establecidos al inicio de la investigación, en base al protocolo LPWAN.

El trabajo de titulación denota el procedimiento llevado a cabo para concretar los objetivos establecidos en el mismo. Está conformado por una introducción, cuatro capítulos, conclusiones y recomendaciones.

Para el primer capítulo se detalla el planteamiento del problema: su planteamiento, sistematización y su justificación tanto teórica como práctica. Se finaliza con los objetivos generales y específicos de la investigación.

En el segundo capítulo se detalla todo el marco teórico del cual se fundamenta el prototipo. El tercer capítulo expone el marco metodológico y el desarrollo del prototipo.

Los resultados alcanzados y pruebas realizadas se detallan en el cuarto capítulo y se finaliza el documento con las conclusiones y recomendaciones alcanzadas al finalizar la presente propuesta tecnológica.

1.6. Delimitación

1.6.1. *Espacio*

La presente propuesta tecnológica se ejecuta sobre un árbol de balsa, misma que se considera uno de los árboles con mayor crecimiento y de mayor demanda en el mercado internacional. Este se encuentra ubicado en el oriente ecuatoriano en el sector de Gonzalo Pizarro ubicado en la provincia de Sucumbíos.

1.6.2. *Tiempo*

La ejecución de la propuesta tecnológica se realiza a partir de la investigación previa, pasando por la propuesta del diseño que empezó en el mes de abril del 2020, hasta la ejecución de las pruebas de funcionamiento en el mes de enero del año en curso. Se considera principalmente los datos de fluctuaciones diarias obtenidas por el sensor y la comunicación basada en LPWAN. Posteriormente se analizará el prototipo implementado para comprobar su correcto funcionamiento en base a sus requerimientos.

1.6.3. *Alcance*

La presente propuesta tecnológica se diseña en la ciudad de Riobamba y posteriormente se implementa en la parroquia Gonzalo Pizarro con el fin de medir fluctuaciones de crecimiento del tallo en un árbol de balsa. El prototipo es del tipo Wireless Sensor Network (WSN) basado en el protocolo LPWAN. Se establece comunicación entre el nodo sensor, nodo coordinador y nodo de almacenamiento y visualización desde donde se permiten monitorear los datos provenientes del sensor LVDT. Al mismo tiempo se deja abierta la posibilidad de ejecutar posteriores

investigaciones en este prototipo, sobre todo en la etapa de amplificar el tipo de red aumentando el número de nodos y la óptima comunicación entre ellos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica concerniente al tema de investigación, donde se revisa la temática sobre el crecimiento de un árbol, sus métodos de medición, además se define la red inalámbrica de sensores (WSN), los elementos, topologías, características y las tecnologías de comunicación inalámbrica LPWAN.

2.2. El crecimiento de un árbol

Es el resultado de la modificación de variables de crecimiento las cuales, biológicamente cambian debido a la actividad de los meristemos (tejidos responsables del crecimiento vegetal) primarios, que se encargan del crecimiento longitudinal, como la altura y los meristemos secundarios, que dan lugar al crecimiento en diámetro (Lozano, 2012, p.20).

Conforme va pasando la edad del árbol, el crecimiento se puede determinar midiendo las variables de crecimiento, las más comunes son: altura, área basal, volumen y diámetro como se muestra en la Figura 1-2 (BasantesS, 2016, p.68).

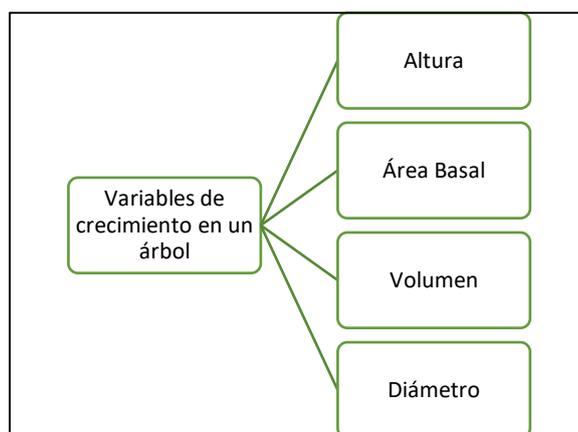


Figura 1-2: Variables de crecimiento de mayor interés a medir de un árbol.

Fuente: (BASANTES, 2016).

La altura, que es la talla que ha alcanzado el árbol a una determinada edad y se expresa en metros lineales. El área basal es la expresión de superficie bien sea del diámetro o circunferencia, en

cm²/árbol o m²/Ha. El Volumen es un incremento que se produce cada año debido a la actividad del tejido meristemático y al crecimiento en altura., además el crecimiento diametral tiene una estrecha relación con el crecimiento en volumen. El diámetro es una variable dendrométrica (estudio de crecimiento de árbol individual) fácil de medir. Lo más habitual es medir el diámetro a la altura normal (1,30 metros sobre el terreno). La sección transversal de un tallo se asemeja a una determinada forma geométrica, generalmente a un círculo. Se puede medir su radio r , su diámetro d o su perímetro c y estimar así el área de su sección s como se muestra en la Ec1, Ec2 y Ec3: (Diéguez, 2005, pp.7-8).

$$c = \pi \cdot d = \pi \cdot 2 \cdot r \quad \text{Ec1}$$

$$d = \frac{c}{\pi} = 2 \cdot r \quad \text{Ec2}$$

$$s = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{c^2}{4\pi} \quad \text{Ec3}$$

2.2.1. Crecimiento en diámetro

Al tener en cuenta el crecimiento arbóreo, el diámetro es una de las dimensiones que, comparada con otras, su medición es más fácil y precisa. Es por esto, que los estudios del crecimiento diamétrico de los árboles se han basado en estimaciones a partir de mediciones repetidas del diámetro (Lozano, 2012, p.20).

Para efectos prácticos, se suele considerar sólo el estudio del crecimiento del diámetro normal (Diámetro a la altura del pecho). La variable que mejor define el crecimiento diametral es el crecimiento corriente anual en diámetro (id): (Diéguez, 2005, p.60).

$$id = \frac{\Delta d}{n} \quad \text{Ec4}$$

Donde:

Δd es el crecimiento en diámetro normal durante una serie de n años (generalmente 5 ó 10 años, en función del ritmo de crecimiento de la especie) (Diéguez, 2005, p.60).

2.2.1.1. Datos de crecimiento

Como caso práctico se toma de referencia al árbol de especie *Ochroma pyramidale*, más conocida como palo de Balsa o Boya, que tiene un crecimiento muy rápido por lo que produce una madera de baja densidad, la más baja de las maderas comerciales en el mundo. Es una especie de gran demanda en el mercado internacional, siendo el Ecuador desde los años cuarenta el primer país productor y exportador de balsa del mundo (Zea, 2012).

Un estudio de los modelos de crecimiento y rendimiento para plantaciones de madera balsa en las tierras bajas costeras de Ecuador, obtuvo en la provincia de Manabí, en un promedio de 280 árboles por hectárea medidos en 5.1 años, alcanzaron un diámetro a la altura del pecho de 21,9 cm. En un máximo de 800 árboles por hectárea medidos en 10.8 años, alcanzo un diámetro a la altura de del pecho de 35.2cm. Considerando los datos del estudio en diámetro a la altura de pecho y años medidos en promedio se tiene:

$$5.1 \text{ Años} \approx 1862.77 \text{ Días} \quad \text{Ec5}$$

$$21.9 \text{ cm} \approx 219 \text{ mm} \quad \text{Ec6}$$

$$\begin{array}{l} 219 \text{ mm} \rightarrow 1862.775 \text{ días} \\ x \quad \quad \rightarrow 1 \text{ día} \end{array} \quad \text{Ec7}$$

$$x = 0.11756 \text{ mm} = 117.56 \mu \text{ (Diarias)} \quad \text{Ec8}$$

$117.56 \mu \times 30 \text{ días} = 3526.99 \mu$ mensuales, que aproximadamente es 3.52 milímetros de diámetro y dividiendo para 2 se obtiene el radio de 1.7634 milímetros.

2.2.1.2. Muestreo de zona forestal

Para supervisar el crecimiento de árboles en una zona forestal se recomienda elegir una muestra de dos árboles por hectárea (100m x 100m), uno con un tallo de diámetro grande (30cm a 40cm) y otro con un tallo de diámetro pequeño (10cm a 20 cm) considerando que la especie de árbol que se analiza es balsa, según entrevista con personal técnico especializado en manejo forestal.

2.2.2. Métodos para determinar el crecimiento en diámetro

El crecimiento en diámetro se puede estimar por varias metodologías, siendo las más comunes:

2.2.2.1. Mediciones con forcípula

La forcípula es un aparato de medición construido de diferentes materiales siempre que sean ligeros y resistentes. Actualmente son de aluminio como se muestra en la Figura 2-2, generalmente viene graduado en unidades de centímetros; en inventarios de gran precisión, milímetros (Diéguez, 2005, p. 18).

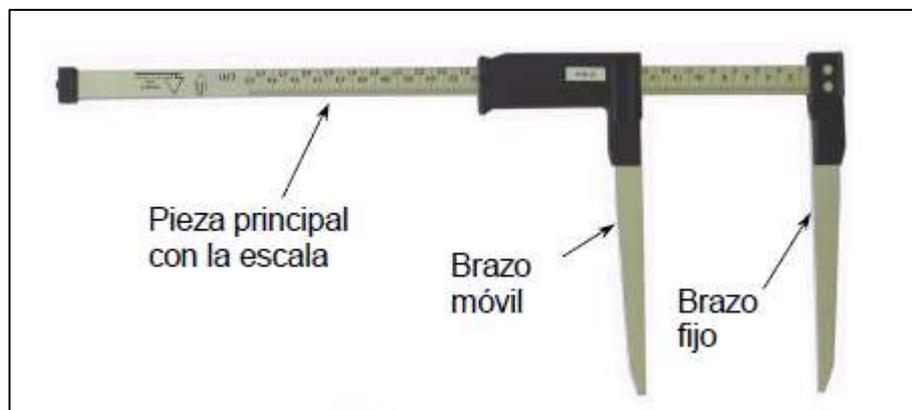


Figura 2-2: Forcípula.

Fuente: (Diéguez, 2005).

Para el procedimiento de medición, se sitúa la forcípula a la altura adecuada del árbol de manera que el plano formado por la pieza principal y sus dos brazos sea perpendicular al eje longitudinal del tronco. Se apoyan el brazo fijo y la pieza principal sobre el tronco, y se desplaza el brazo móvil hasta que la sección a medir quede encajada entre ambos brazos y la pieza principal, de modo que sea tangente a los tres elementos. Se efectúa la lectura del valor del diámetro que marca el brazo móvil sobre la escala graduada. Como se observa en la Figura 3-2 (Diéguez, 2005, p. 18).



Figura 3-2: Medición con forcípula.

Fuente: (Diéguez, 2005).

2.2.2.2. Medición con barrena

Las barrenas forestales son instrumentos clásicos por sus resultados rápidos y confiables en el control de edad y crecimiento, comparando inventarios. En la Figura 4-2 se muestra una barrena de Pressler (G.I.S. Ibérica, 2003).



Figura 4-2: Barrena de Pressler.
Fuente: (G.I.S. Ibérica).

Para el procedimiento de medición con barrena, considerando que no se puede perforar justo en la base (no gira el mango) lo habitual es barrenar a 30-40 cm de altura. Colocar la barrena en dirección radial para alcanzar el centro de la sección del árbol como se observa en la Figura 5-2. La edad del árbol se obtendrá sumando a los anillos contados en el canutillo (tubo delgado de madera extraído), los años que tardó en alcanzar dicha altura (en función del ritmo de crecimiento del árbol) (Diéguez, 2005, p. 59).



Figura 5-2: Proceso de medición con barrena.
Fuente: (Diéguez, 2005).

2.2.2.3. Medición con dendrómetro

El dendrómetro es un instrumento que mide las variaciones de diámetro del tronco, mostrando la forma en que este utiliza el agua y las tendencias de comportamientos en periodos largos. De esta forma el dendrómetro se utiliza para monitorizar el crecimiento a escala temporal, para

comprender mejor las interacciones entre los mecanismos fisiológicos y ambientales y entender a qué factores ambientales responde las plantas (MEDINA, 2019, pp. 5-6).

El procedimiento de medición con dendrómetro, aplicado en el tronco de un árbol tal como se aprecia en la Figura 6-2, se sitúa en el exterior, alineado con el centro del tronco, por lo que los crecimientos moverán el núcleo ferromagnético y se obtendrán las medidas buscadas. La fiabilidad de este elemento de medida es muy alta, al no existir elementos de fricción ni contactos deslizantes en el interior. Para no corromper esta fiabilidad (Roca, 2015, p. 13).



Figura 6-2: Dendrómetro.
Fuente: (ROCA, 2015).

2.2.2.4. Comparativa entre forcípula, dendrómetro y barrena de Pressler

Según la Tabla 1-2, se observa que el dendrómetro tiene una alta precisión, obteniéndose de forma automática medidas hasta en micrómetros respecto a los otros métodos, además de no ser invasivo. Conforme a lo anterior, se procedió a emplear un dendrómetro para medir las variaciones del diámetro del tronco.

Tabla 1-2: Diferencias entre forcípula, dendrómetro y barrena de Pressler.

Características	Forcípula	Dendrómetro	Barrena de Pressler
Escala de medición	cm-mm	mm-hasta micras	Numero de anillos
Tipo de medición	Manual	Automática	Manual
Precisión	Poca	Alta	Baja
Proceso de medición	No invasivo	No invasivo	Invasivo

Fuente: (Diéguez, 2005) y (Roca, 2015).

Realizado por: Cuenca, Gilson; Valdivieso, Claudio 2020

2.2.3. Importancia y realidad de uso del dendrómetro

El método tradicional para evaluar el crecimiento radial de los árboles implica la toma repetida de medidas de diámetro con cintas diamétricas o calibradores en intervalos fijos de tiempo. No obstante, el error producido en estudios a corto plazo puede ser muy grande con respecto al crecimiento esperado. Por lo que el uso de dendrómetros representa una técnica más apropiada cuando se requiere de medidas repetidas en intervalos cortos de tiempo (meses) (Ninazunta, 2013, p.24).

El análisis de los cambios en el radio del tronco de un árbol, permite no solo entender el proceso de crecimiento del árbol a largo plazo, sino también el modo en que estas expansiones y contracciones están relacionadas con factores agros meteorológicos. Es por esto que la información obtenida por un dendrómetro es muy útil en el contexto de la agricultura de precisión (como por ejemplo en la implementación de sistemas de riego óptimo controlado por el estrés hídrico de los cultivos). En la actualidad, gran parte del sector agroforestal no cuenta con dendrómetros modernizados, esto se debe a las dificultades económicas para conseguir uno. Muchas de las empresas que se dedican a cultivar especies de árboles o frutos comunes, no les interesa invertir en dendrómetros sofisticados, sin embargo, hay empresas en las cuales es de suma importancia la obtención y precisión de datos a través de estos dispositivos para la elaboración de proyecciones a largo plazo, por tanto, optan por el dispositivo digital; (Medina, 2019).

En los últimos años ha habido un renovado interés en el empleo de los sensores utilizados para medir las fluctuaciones del diámetro del tronco, utilizándolos, a su vez, como indicadores del estado hídrico de la planta, debido principalmente a que esta técnica podría proporcionar información automatizada del estado hídrico de la planta en tiempo real. Se plantea que el empleo de esta metodología implica menos viajes al campo y se logra una importante disminución en el empleo de la fuerza de trabajo, en comparación con mediciones de otros sistemas que por lo general se realiza de una manera primitiva con dispositivos totalmente artesanales es decir, una vez instalados en un árbol, una persona debe de estar supervisando constantemente, para recolectar los datos de crecimiento, objetivo que no en todas las situaciones se puede cumplir debido a que normalmente las plantaciones suelen encontrarse a una distancia considerable de las oficinas de trabajo. Además, otro inconveniente que puede generarse con un sistema poco convencional es la toma de malas mediciones por errores en las lecturas o pérdidas de datos, lo cual genera problemas futuros a la hora del procesamiento de los datos obtenidos (Diaz, 2015, p. 60).

2.2.4. Fluctuaciones del diámetro del tronco (FDT)

Para determinar el crecimiento del tallo es útil registrar las fluctuaciones del diámetro del tronco (TDF), también conocidas como variaciones radiales del tallo, con dendrómetros de alta resolución, estos registros permiten comprender mejor las variaciones de corto y largo plazo (Doudou, 2020, p.1).

El estudio de las variaciones diarias del radio del tronco de los árboles proporciona un importante conocimiento sobre el proceso de crecimiento y su respuesta frente a condiciones ecológicas, tales como temperatura, precipitación, humedad del suelo, etc. La contracción del tronco se produce normalmente durante el día, cuando la transpiración es superior a la capacidad del sistema radical para absorber agua del suelo, lo que produce una reversible deshidratación y contracción de los tejidos elásticos del tronco. Durante la noche, cuando disminuye la transpiración, el tronco vuelve a expandirse debido a la rehidratación de los tejidos (Vázquez, 2017, p.1).

A partir del ciclo diario del crecimiento del tronco se obtienen los indicadores de máxima contracción diaria (MCD) y la tasa de crecimiento del tronco (TCT), siendo ambos, los más comunes de las fluctuaciones del diámetro del tronco (Hernández, 2015).

La máxima contracción diaria (MCD) es la diferencia entre el máximo y el mínimo valor diario mientras que la tasa de crecimiento del tronco (TCT) se obtiene de la diferencia entre dos máximos diarios consecutivos (Girón, 2013, p.2).

2.2.5. Tipos de dendrómetros

Entre los tipos de dendrómetros más comunes se tiene:

2.2.5.1. Dendrómetros tipo abrazadera o perimetral

Son los más comunes y generalmente cuentan con una bisagra que se coloca en el árbol, seguido de una cinta que rodea a todo el perímetro del árbol, como se aprecia en la Figura 7-2. El mecanismo está estructurado de tal manera que cuando el árbol se va ensanchando, la cinta va deslizando una pequeña regla milimétrica donde se va registrando el crecimiento. La regla milimétrica por lo general tiene un rango de 5 milímetros de medición (Medina, 2019).



Figura 7-2: Dendrómetro tipo abrazadera.
Fuente: (Medina, 2009).

2.2.5.2. Dendrómetro tipo estación o radial

Este tipo de dendrómetros, son sistemas que se ubican a la par de un árbol de tal manera que se pueda monitorear diariamente el crecimiento radial de este, como se muestra en la Figura 8-2. Generalmente son basados en un transductor electromagnético LVDT, el cual es el encargado de captar las micro variaciones del crecimiento diariamente. Estas estaciones generalmente son programables, es de aquí que son muy útiles para investigaciones y estudios a plantas dentro de las empresas dedicadas a esto (MEDINA, 2019, p.9).

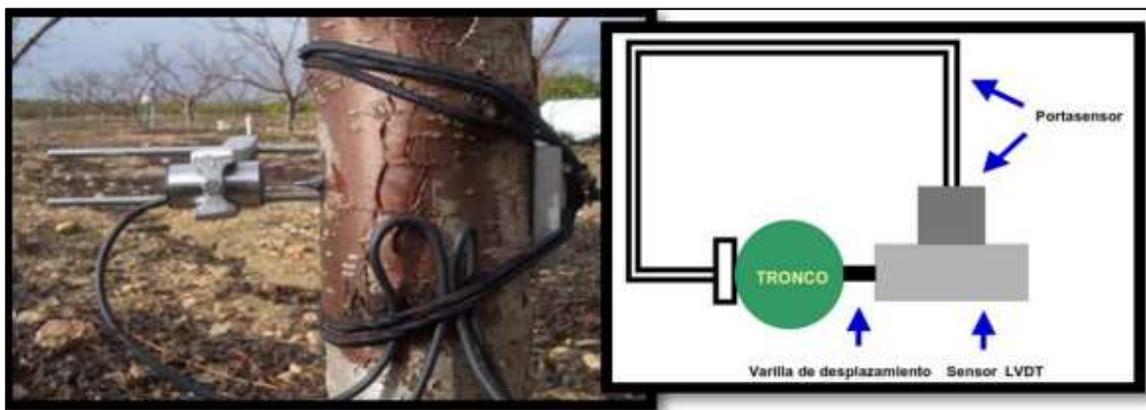


Figura 8-2: Dendrómetro tipo estación.
Fuente: (Medina, 2019).

2.2.6. Análisis comparativo entre dendrómetros tipo abrazadera y tipo estación

Según la Tabla 2-2 se observa que el dendrómetro tipo estación es de mayor precisión, llegando a percibir magnitudes milimétricas que se pueden registrar de forma automática, además de tener un montaje no invasivo para el árbol. Conforme a lo anterior, se opta por considerar el dendrómetro de tipo estación para el diseño del prototipo.

Tabla 2-2: Diferencias entre dendrómetro tipo abrazadera y tipo estación

Características	Tipo Abrazadera	Tipo estación
Invasivo	Si	No
Unidades de medición	Mm	Hasta micras
Registro de crecimiento	Manual	Automático /Programable

Fuente: (Medina, 2019).

Realizado por: Cuenca, Gilson; Valdivieso, Claudio 2020

2.3. Red inalámbrica de sensores (WSN)

Se basan en dispositivos de bajo costo y consumo que son capaces de obtener información de su entorno, localmente, y comunicarla a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación. La red de sensores inalámbricos está formada por numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellos la temperatura, el sonido la vibración, la presión y movimiento o los contaminantes. Los sensores pueden ser fijos o móviles (Fernandez, 2009).

Una red de sensores inalámbricos está compuesta generalmente por 2 tipos de dispositivos, en primer lugar están los nodos finales o nodos de datos, los cuales son los encargados de recolectar la información necesaria para el proyecto utilizando sensores especializados para medir los fenómenos ambientales, posteriormente se encuentra el nodo coordinador el cual es el encargado de receptar la información enviada por los nodos finales y enviarla al cliente o usuario final, este dispositivo también puede funcionar como *Gateway* para conectarse al internet y enviar los datos a la nube. De ser necesario y si el campo de aplicación de la red es extenso se necesitará de un nodo router que se ubica entre el nodo final y el coordinador. Este router será el encargado de direccionar los datos enviados por los nodos finales hacia el nodo coordinador, pueden existir algunos nodos router, así como varios nodos finales que se conecten a ellos (PALACIOS, 2017). En la Figura 9-2 se observa la representación de un esquema WSN:

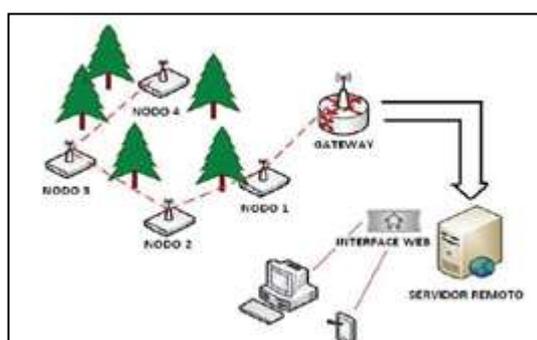


Figura 9-2: Esquema de una red WSN.

Fuente: (Keshtgari, 2017).

Para diseñar la red de sensores inalámbricos, se debe analizar el tipo de topología más conveniente de acuerdo a la configuración de red que brinden, a continuación, se analizara las topologías de red más usadas en WSN.

2.3.1. Topologías de la red WSN

Se refiere a la configuración de los componentes *hardware* y como los datos son transmitidos a través de esa configuración. Cada topología es apropiada bajo ciertas circunstancias y puede ser inapropiada en otras. La idea de una red de sensores surge gracias a las posibilidades que nos da la tecnología. Cada topología presenta desafíos, ventajas y desventajas. Hay varias topologías que pueden ser usadas para implementar una aplicación de WSN como pueden ser estrella, malla y anillo, las cuales se describen a continuación (Fernández, 2009):

2.3.1.1. Topología en estrella

Como se muestra en la Figura 10-2, está compuesta por un nodo coordinador (NC) y por nodos finales (NF), y es un sistema donde la información enviada por los NF sólo da un salto y están en comunicación directa con el NC, usualmente a una distancia de 30 a 100 metros. Generalmente los nodos finales son idénticos y el gateway recibe la información de todos ellos y la transmite al exterior para la monitorización de la red. Los nodos finales no intercambian información entre ellos, sin embargo, en caso de ser necesario utilizan el *Gateway* para ello (FERNÁNDEZ, 2009).

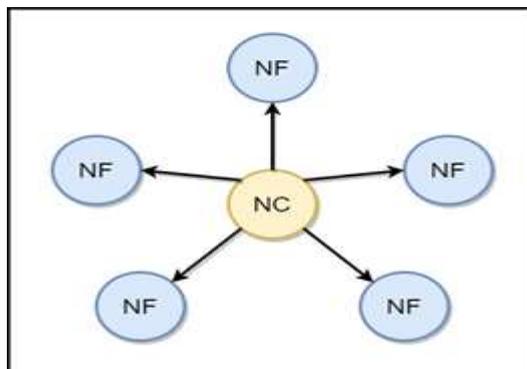


Figura 10-2: Topología tipo estrella.

Realizado por: Cuenca, Gilson; Valdivieso, Claudio 2020.

2.3.1.2. Topología en malla

Como se muestra en la Figura 11-2, es un sistema multisalto, donde todos los nodos finales (NF) son routers y son idénticos. Cada nodo puede enviar y recibir información de otro nodo y del

gateway. A diferencia de la topología en estrella, donde los nodos solo pueden hablar con el gateway en ésta los nodos pueden enviarse mensajes entre ellos (Fernández, 2009).

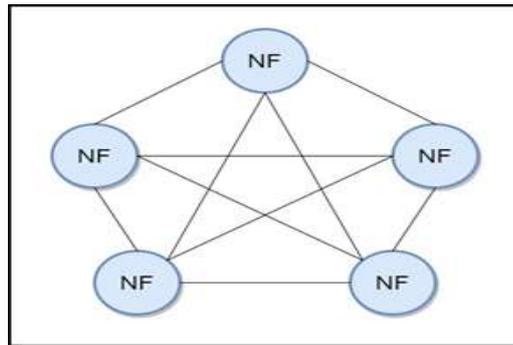


Figura 11-2: Topología tipo malla.

Realizado por: Cuenca, Gilson; Valdivieso, Claudio 2020.

2.3.1.3. Topología Anillo

Es una configuración de red donde las conexiones de los dispositivos crean una ruta circular de los datos. Cada dispositivo en la red está conectado cabalmente a otros dos, el de adelante y el de atrás, formando así una ruta continua única para transmitir la señal, como los puntos en un círculo como se muestra en la Figura 12-2 (Corvo, 2019).

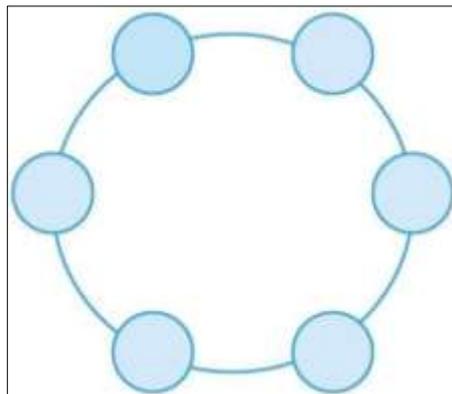


Figura 12-2: Topología tipo anillo.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

2.3.1.4. Análisis de ventajas y desventajas de las topologías WSN

Se procede a realizar un análisis de ventajas y desventajas de las topologías revisadas, como se muestra en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Ventajas y desventajas de las topologías WSN.

Topología	Ventajas	Desventajas
Estrella	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta mayor confiabilidad, es decir un fallo no afecta a toda la red. • Facilidad de detección de fallas. • Facilidad al insertar o eliminar dispositivos a la red. • La comunicación de los dispositivos es a convenir. • Buen rendimiento y fácil configuración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependencia del nodo central o concentrador. • Más número de enlaces comparada con la topología de anillo, lo que implica un costo mayor.
Malla	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los dispositivos pueden comunicarse entre sí. • Proporciona redundancia. • Robustez frente a fallas. • La transmisión se los realiza por caminos dedicados. • Facilidad de detección de fallas 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad en la implementación. • Costo elevado debido al incremento de enlaces. • Se requiere mayor cantidad de puertos.
Anillo	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento elevado para un número reducido de nodos. • Simplicidad en la arquitectura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para la detección de falencias. • Si un nodo falla, toda la red falla. • Un cambio en la topología afecta a toda la red. • Al incrementar dispositivos, la transferencia de los datos es más lenta.

Fuente: (Guilcapi, 2020).

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

En base a la Tabla 3-2, se determina que la topología estrella es la más adecuada para ser implementada, debido a su buen rendimiento y simplicidad al momento de su configuración, además comparando con la tecnología malla, esta es mucho menos costosa ya que utiliza menos enlaces, así mismo esta red tiene un nodo central y si existe un fallo en los dispositivos conectados a la red, no perjudicará a la red por completo.

2.3.2. Tecnologías de comunicación inalámbrica LPWAN

LPWAN (por las siglas en inglés de: *Low Power Wide Área Network*) está ganando cada vez más popularidad en las comunidades industriales y de investigación debido a sus características de baja potencia, largo alcance y bajo costo de comunicación, proporciona comunicación de largo alcance, siendo también altamente eficiente en el uso de la energía. LPWAN es muy adecuada para las aplicaciones de IoT que sólo necesitan transmitir cantidades minúsculas de datos a gran distancia. Muchas tecnologías LPWAN han surgido tanto en el ancho de banda de frecuencias con licencia como sin licencia, entre ellas, *Sigfox*, *LoRa* y *NB-IoT* son las principales tecnologías emergentes de hoy en día que implican muchas diferencias técnicas (MEKKI, 2019).

2.3.2.1. LoRa

Es el acrónimo de Long Range (Largo Alcance). Es una tecnología inalámbrica de largo alcance, usada para plantear aplicaciones de IoT y M2M. Se usa esta nueva tecnología para dispositivos de tipo sensores que pueden durar un gran tiempo con una pequeña batería. Gracias a su bajo consumo de potencia y comunicación de largo alcance esto la hace una tecnología barata y fácil de implementar (VALAREZO, 2017, pp. 18-19).

2.3.2.2. Sigfox

El esquema que presenta *Sigfox* es bastante simple, sobre todo de cara al cliente. La comunicación de los dispositivos finales es directa con las estaciones base desplegadas por la empresa, siendo la nube de *Sigfox* la encargada del tratamiento y almacenamiento de los datos. En lo que respecta a la capa física de esta tecnología, trabaja en las bandas ISM sin licencia. La comunicación puede ser bidireccional (*Half-duplex*) o unidireccional en función del tipo de suscripción (VERA, 2018).

2.3.2.3. NB-IoT

Es un sistema de IO de banda estrecha construido a partir de las funcionalidades LTE existentes. La norma tecnológica fue anunciada por el proyecto de asociación de tercera generación (3GPP) en 2016, que promete ofrecer una mejor cobertura para un número masivo de dispositivos de bajo rendimiento y bajo costo con bajo consumo de energía en aplicaciones con tolerancia al retardo. Debido a su eficiente utilización de las redes celulares existentes, muchos fabricantes de telecomunicaciones, entre ellos *Huawei*, *Ericsson* y *Nokia*, apoyan la normalización de la red NB-IoT (SONG, 2017).

2.3.2.4. Análisis comparativo de tecnologías de comunicación inalámbrica LPWAN

En la presente Tabla 4-2, se presenta la comparativa de las características principales de cada una de las tecnologías basadas en LPWAN.

Tabla 4-2: Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas basadas en LPWAN.

	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Frecuencia	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas de frecuencia LTE con licencia

	Norte y 433 MHz en Asia)		
Ancho de banda	100 Hz	250 kHz and 125 kHz	200 kHz
Data Rate máximo	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidireccional	Limitado / <i>Half-duplex</i>	Si / <i>Half-duplex</i>	Si / <i>Half-duplex</i>
Mensajes al día máximo	40 (subida), 4 (descarga)	Ilimitado	Ilimitado
Longitud máxima de carga útil	12 bytes (subida), 8 bytes (descarga)	243 bytes	1600 bytes
Rango	10 km (urbano), 40 km (rural)	5 km (urbano), 20 km (rural)	1 km (urbano), 10 km (rural)
Autenticación y encriptación	No soportado	Si (AES 128b)	Si (LTE encriptación)
Permitir red privada	No	Si	No
Inmunidad a interferencia	Muy alto	Muy alto	Bajo

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De acuerdo con la Tabla 4-2, se determina que la tecnología LoRaWAN es la apropiada para la comunicación inalámbrica entre el nodo Gateway y los nodos sensores debido a que permite una red privada al ser de uso no propietario, además, otro aspecto importante es la seguridad que ofrece LoRaWAN en cuanto a autenticación y encriptación (AES 128b). La posibilidad de un máximo de mensajes diario ilimitado a través de un canal bidireccional *Half-duplex* con un ancho de banda de 250 kHz, además de tener una modulación de espectro ensanchado que brinda una muy alta inmunidad a interferencias, son las características por las cuales nos inclinamos por el uso de la tecnología LoRaWAN.

2.3.3. Sensores

Es un transductor que convierte algún fenómeno físico en señales eléctricas, para sensores de estimación de distancia se consideran los siguientes parámetros: precisión que es la diferencia entre el valor real y el medido; resolución es el incremento mínimo observable en la entrada; sensibilidad es una medida del grado de variación de la señal conforme el fenómeno medido ha cambiado; repetitividad es la diferencia entre sucesivas medidas de la misma entrada (MARTÍNEZ DE DIOS). Dentro de los sensores que posibilitan la medición de variaciones radiales en tallos de árbol, se describe los siguientes transductores:

2.3.3.1. Transformador diferencial de desplazamiento lineal (LVDT)

El sensor LVDT (Transformador Diferencial Variable Lineal), véase Figura 14-2, es uno de los sensores magnéticos comúnmente utilizados como sensor de desplazamiento. Este sensor consiste en una bobina secundaria y una bobina primaria que se alimenta de una corriente alterna para

producir inducción magnética. Dentro del sensor hay un núcleo de hierro (material ferromagnético) que inducirá una bobina secundaria que dará como resultado un flujo magnético, resultando en un voltaje de salida que es proporcional a la posición del núcleo de hierro. La capacidad de los sensores para determinar esta posición puede desarrollarse en un instrumento que pueda observar el desplazamiento (Jefriyanto, 2020).

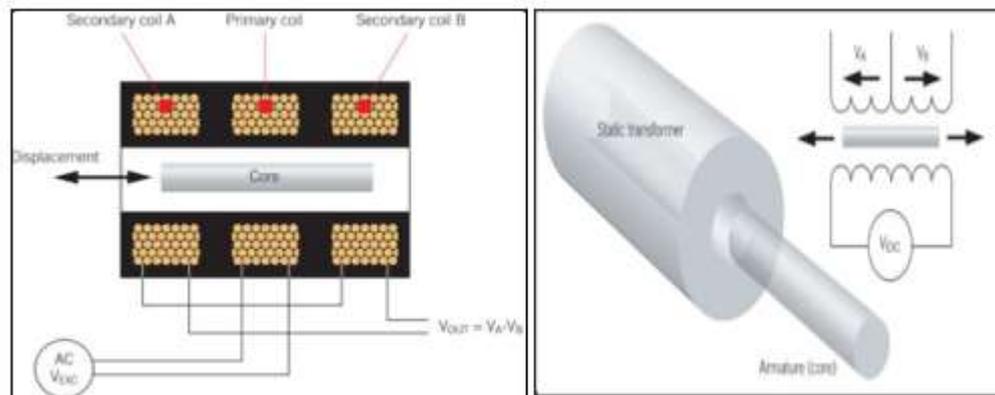


Figura 13-2: Sensor LVDT esquema eléctrico (izq.), y sección transversal (der.).
Fuente: (Flor, 2019).

La salida de un LVDT es una función lineal de desplazamiento en su rango de medición calibrado. Más allá de este rango, la salida se vuelve cada vez más no lineal. El rango de medición se define como \pm distancia desde la posición nula del transductor (FLOR, 2019, pp.17-18).

2.3.3.2. Sensor de desplazamiento potenciométrico

Es un resistor de tres terminales con un contacto móvil que forma un divisor resistivo variable. El contacto móvil puede ser rotatorio o lineal, lo que permite traducir variaciones de posición (angular o lineal) en una tensión V . En la Figura 15-2 se observa dos tipos de potenciómetros.



Figura 14-2: Potenciómetro rotatorio (izq) y potenciómetro desplazamiento lineal - Slider (der).

Fuente: (Aguerre, 2013).

El transductor se acoplaría al árbol mediante un mecanismo que haga que las variaciones en el diámetro (o perímetro) produzcan un desplazamiento o giro del mecanismo del contacto móvil del transductor. Las variaciones de desplazamiento o ángulo de rotación se traducen en cambios de la resistencia. (AGUERRE, 2013).

2.3.3.3. Galgas extensiométricas

La manera en que este sensor mide estas variaciones es mediante el uso de galgas extensiométricas. Para instalarlo, se coloca una banda alrededor del tronco del árbol, sobre la cual se instala un alambre conectado a una galga, como se puede ver en la Figura 16-2. De esta forma, cuando el árbol sufra deformaciones por crecimiento o bien varíen sus dimensiones a lo largo del día, la galga se estirará o contraerá debido a la tensión del alambre, variando su resistencia eléctrica. Conectada a un circuito, esta variación de resistencia hará que varíe la tensión de salida, siendo éste el valor que se obtiene en la medida. Este sensor debe ser calibrado cuando se alcanzan ciertos límites de crecimiento (ROCA, 2015, p. 12).



Figura 15-2: Dendrómetro perimetral con galga extensiométrica.

Fuente: (Roca, 2015).

2.3.3.4. Análisis comparativo de sensores de desplazamiento lineal

A continuación se describen los parámetros más relevantes de los sensores de desplazamiento lineal más usado para mediciones de desplazamiento con exactitud.

Tabla 5-2: Cuadro comparativo de sensores de desplazamiento lineal.

Parámetros	LVDT	Potenciómetro	Galgas
Precisión	0.001mm	~ 40mm	0.7mm
Acondicionamiento de la señal	Interno	Externo	Externo

Operación a la intemperie	Su encapsulado lo hace ser robusto en aplicaciones al aire libre	Depende el montaje y encapsulado, que por lo general lo protege de diversas condiciones climáticas	Le afecta las condiciones climáticas, especialmente la lluvia
Precisión	Alta	Baja	Media
Alimentación	DC 15V	DC 24V	AC / DC 220V
Consumo corriente	Bajo consumo	Medio consumo	Alto consumo

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Fuente: (Medina, 2019); (AGUERRE, 2013); (ROCA, 2015).

Se determina a partir de la Tabla 5-2, que el sensor de desplazamiento LVDT tiene las mejores prestaciones para medir las fluctuaciones diarias radiales del tallo de interés, debido a su alta precisión (0.01mm), acondicionamiento de señal incorporada en encapsulado del dispositivo que lo hace robusto en aplicaciones al aire libre y bajo consumo de voltaje DC.

2.3.4. Tarjetas de desarrollo

Son placas de desarrollo *hardware*, cuentan con un sistema operativo y lenguaje de programación propio, útiles al implementar sistemas que realizan funciones específicas, se describen las tarjetas de desarrollo más empleadas comúnmente:

2.3.4.1. Arduino

Plataforma de código abierto, basado en *hardware* y *software* flexible diseñado para crear entornos interactivos, posee microcontrolador para que las actividades requeridas sean programadas usando *Arduino Programming Lenguaje* como también el lenguaje de programación C++. Sirven para controlar actuadores, obtener mediciones de sensores o para leer información de una fuente. La Figura 17-2 muestra algunos de los modelos que existen actualmente (ROQUE, 2019).



Figura 16-2: Tarjetas *Arduino*

Fuente: (*Arduino*).

2.3.4.2. *NodeMCU*

Es una placa de desarrollo abierta tanto en *hardware* y *software*. Como se aprecia en la Figura 18-2, tiene integrado un puerto micro USB, un conversor Serie-USB y terminales de conexión que permiten la instalación de sensores, posee botón de reinicio y se puede programar igual que un *Arduino*. La mayor ventaja que tiene es que incorporan un módulo *WiFi* que nos permite crear proyectos del IoT o sistemas inalámbricos (VALLE, 2018).



Figura 17-2: *NodeMCU*
Fuente: (VALLE, 2018)

2.3.4.3. *Raspberry Pi*

Plataforma diseñada como miniordenador por la fundación *Raspberry Pi* con la finalidad de crear un dispositivo de bajo costo y consumo de energía; posee gran capacidad de procesamiento, ejecuta sistemas operativos basados en *Linux*. Útil para automatizar procesos, crear aplicaciones con interfaces gráficas. Los lenguajes de programación para esta plataforma son de alto nivel como *Python*, *C++*, *Java*, entre otros (ASADOBAY, 2019. pp.20-21). La figura 19-2 muestra la *Raspberry Pi 3* modelo B.



Figura 18-2: *Raspberry Pi 3* modelo B
Fuente: (ASADOBAY, 2019)

2.3.4.4. Análisis comparativo de tarjetas de desarrollo

A continuación, la Tabla 6-2 contiene información comparativa de las características que sobresalen de las tarjetas de desarrollo en análisis.

Tabla 6-2: Cuadro comparativo de tarjetas de desarrollo.

Características	Raspberry Pi	Arduino	NodeMCU
Fabricante	Raspberry Pi Foundation	Arduino	Amica
Voltaje de operación	5 V	5 V (7-12 V)	5 V (USB)
Corriente de operación	2.5 A	40 mA	1100 mA
Frecuencia de reloj	1.2 Ghz	16 Mhz	80 Mhz
Puertos disponibles	GPIO (40 pines) 1 puerto serie (UART)	14 pines GPIO (6 Pwm), 6 Analógicos	1 analógico ADC, 2 UARTs y GPIO 17 (pines)
Costo	40 - 111 \$	5 - 25 \$	7-25 \$
Compatibilidad	Función procesamiento y WiFi integrada	Sólo función de procesamiento	Función procesamiento y WiFi integrada

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Fuente: (Asadobay, 2019)

Después de analizar la Tabla 6-2 se decide utilizar el *Arduino* debido a su bajo consumo de energía y costo, además de puertos digitales suficientes para la comunicación del prototipo, el *NodeMCU* por su rápida conectividad a *WiFi* integrada, bajo costo y función de procesamiento, características necesarias en la arquitectura de este proyecto.

2.3.5. Plataformas IoT

Proporcionan un conjunto completo de funcionalidades genéricas que pueden aprovecharse para crear aplicaciones de IoT. IoT no es una tecnología única, es una combinación de sensores, dispositivos, redes y *software* que trabaja en conjunto para obtener datos valiosos y procesables del Internet de las cosas, a continuación, se describen algunas de las plataformas IoT más usadas:

Thingspeak - Plataforma de código abierto con análisis de MATLAB. Las funciones principales de la plataforma son: Recoger datos enviados del sensor de forma privada a la nube, permite analizar y visualizar los datos con la herramienta de MATLAB y por último acto disparar una reacción (MANOTAS, 2018, p.20).

Carriots - Es una plataforma como servicio, diseñada para proyectos de IoT de máquina a máquina, esto quiere decir que es una plataforma orientada a conectar un dispositivo a internet y

viajar de internet a otra máquina. Por esta razón, esta plataforma permite integrar los dispositivos de IoT a una aplicación externa que requiera de los datos mientras ellos se encargan del almacenamiento y la comunicación (MANOTAS, 2018, pp. 16-17).

Temboo - Es compatible con dispositivos IoT que utilizan lenguajes de programación. Permite simular el código para la configuración de cualquier sensor con *Arduino* además de asociarlos a diferentes topologías de red. Se puede enviar los datos hacia la nube de servicios y almacenarlos facilitando la visualización de gráficos históricos. (ROQUE, 2019, p.23).

2.3.5.1. Análisis comparativo de plataformas IoT

Teniendo en cuenta los parámetros detallados en la Tabla 7-2, se considera emplear *ThingSpeak* debido a que es una plataforma open source además de proporcionar una visualización rápida de datos y almacenamiento de base de datos, características fundamentales para la realización del proyecto.

Tabla 7-2: Cuadro comparativo de plataformas IoT.

Parámetros	<i>ThingSpeak</i>	<i>Carriots</i>	<i>Temboo</i>
Código Abierto	SI	NO	NO
Licencia	Libre	Limitado a 10 dispositivos	Libre
Capacidad de gestión de dispositivos	SI	SI	SI
Integración	REST API (XML, JSON y CSV)	REST API	REST API
Protocolos de comunicación	MQTT, CoAP, WebSockets	MQTT, HTTP	MQTT, CoAP
Análisis de datos	Analítica de datos Tiempo Real	Tiempo real	Tiempo Real
Soporte para visualizaciones	SI (Dashboard Matlab, Portal Web)	SI (Integrador de interfaz de usuario)	Si (Portal web)
Aplicaciones en las que más se usa	Cuidado de la salud Automatización Ciudades inteligentes Ambiente Agricultura	Negocios	Gestión de edificios
Capacidad de almacenamiento	3 millones al año (Versión Beta)	1 millon al año (Versión Beta)	Almacenamiento en terceros

Fuente: (MANOTAS, 2018)

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Teniendo en cuenta los parámetros detallados en la Tabla 7-2, se considera emplear *ThingSpeak* debido a que es una plataforma de código abierto y licencia libre, además de tener varios formatos de presentación, proporcionar una visualización analítica de datos en tiempo real, un alto almacenamiento en su versión beta y una amplia gama de aplicaciones en diferentes ámbitos de uso, características fundamentales para la realización del proyecto.

2.3.6. Herramientas de notificaciones

También conocidas como Webhooks, permiten hacer notificaciones mediante HTTP, por lo tanto, se efectúa el intercambio de información entre aplicaciones sin modificar sus infraestructuras, lo cual se les denomina “*Callbacks* HTTP de usuario” (PALACIOS, 2017, p.117).

Para lograr que las notificaciones de advertencia lleguen hacia los teléfonos inteligentes se hace uso de las peticiones *API Request* y una aplicación que pueda manejar este tipo de peticiones para generar notificaciones (CHICO, 2017, p.60). A continuación, se presentan tres plataformas:

IFTTT - Significa “*If This Then That*” (Si esto, entonces aquello), es una aplicación de automatización útil para el consumidor medio. Con IFTTT, un usuario puede crear subprogramas para conectar diferentes servicios entre sí. Los *applets* (componentes de una aplicación que se ejecuta en el contexto de otro programa,) se crean eligiendo un evento desencadenante y luego una acción. Los activadores y acciones disponibles son según el tipo de servicio al que el usuario intenta conectarse. Se pueden usar para controlar dispositivos inteligentes, lo que la convierte en una aplicación conveniente para los propietarios de hogares inteligentes. (CARLBERG, 2020).

Pushly - Es una plataforma diseñada para mejorar la participación de la audiencia a través de notificaciones *push*. Las notificaciones automáticas permiten a los editores enviar comunicaciones dirigidas a sus audiencias a través de navegadores de escritorio y dispositivos móviles, incluso cuando no están en sus sitios web o canales sociales. (REDLER, 2020).

SimplePush - La forma más sencilla de enviar notificaciones automáticas a su dispositivo. No es necesario registrarse. Descarga la aplicación para obtener tu clave *Simplepush* única. Utilice su tecla *Simplepush* para enviar notificaciones a su dispositivo. Enviar una notificación de inserción a su dispositivo es tan simple como una solicitud HTTP (SCHAUBLE)

2.3.6.1. Elección de la aplicación para generar notificaciones

Existen distintos tipos de aplicaciones especializadas para trabajar mediante solicitudes web y llaves API, cada una tiene diferentes maneras de funcionar, pero todas tienen un mismo fin que es el usar servicios web para enviar notificaciones al teléfono. En la Tabla 8-2 se observa una comparativa de las tres alternativas más destacadas que podrían usarse para este proyecto, de acuerdo con esta comparación se elegirá la más adecuada (CHICO, 2017, p. 60).

Tabla 8-2: Diferencias entre IFTTT, *SimplePush* y *Pushly*

Características	<i>Pushly</i>	<i>SimplePush</i>	IFTTT
Sistema Operativo	Android	Android	Android, iOS
Notificaciones en varios dispositivos	Solo dispositivo instalado	Solo dispositivo instalado	Varios dispositivos con la misma cuenta
Costo	No tiene costo	\$ 4.50 tras un periodo de prueba de 7 días	No tiene costo
Requiere registro	No	No	Si
HTTP Request	Si	Si	Si
Extras	No	No	Envío de correos, actualizaciones de estados en redes sociales, enviar SMS y más.

Fuente: (CHICO, 2017)

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Debido a su libre distribución para las plataformas móviles líderes en el Ecuador como son *Android* y *iOS*, con un porcentaje de (88.3%) y (11.2%) respectivamente según (MARBOLEDA, 2021) además, puede usarse en distintos dispositivos configurando la misma cuenta, lo cual no puede hacerse con las otras dos alternativas mencionadas. Y por último agrega diferentes funcionalidades aparte de generar notificaciones en el teléfono inteligente. Conforme a lo anterior, se opta por considerar la *Webhook* IFTTT para la alerta en el prototipo (CHICO, 2017).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Introducción

En este capítulo se detalla el proceso de desarrollo del prototipo de Monitoreo de las Variaciones Radiales del Tallo (MVRT), el cual inicia desde el planteamiento de requerimientos, la concepción general del prototipo, arquitectura del prototipo, selección del *hardware*, esquema de conexiones, selección del *software* del prototipo de sistema inalámbrico basado en Protocolo LPWAN.

3.2. Requerimientos del prototipo MVRT

Una vez constituidos los conceptos teóricos asociados al tema, se define los requerimientos para el diseño del prototipo de sistema inalámbrico basado en Protocolo LPWAN para monitoreo y alerta del crecimiento radial de árboles. Los requerimientos del prototipo son los siguientes:

- El prototipo debe estar diseñado para captar fluctuaciones radiales diarias en un tronco de balsa.
- Proporcionar una red escalable capaz de incorporar más nodos sensores de medición acorde a un muestreo de crecimiento de árboles de una misma especie.
- La red debe estar configurada con topología tipo estrella.
- Los nodos sensores deben tener una comunicación de forma inalámbrica a través de tecnología LoRaWAN con el nodo coordinador.
- El nodo coordinador debe tener la capacidad de conectarse a la plataforma *ThingSpeak* mediante *WiFi*.
- El nodo sensor debe estar integrado por un sensor de desplazamiento lineal (LVDT).
- El nodo sensor debe estar conformados por elementos ligeros y resistentes a diferentes variaciones climáticas, además de tener autonomía de energía.
- Los datos obtenidos deben ser almacenados y visualizados en la plataforma *Thingspeak* para su posterior análisis de la fluctuación diaria del tronco.
- Recibir datos GPS, para determinar la posición geográfica del nodo sensor.

3.3. Concepción general del prototipo MVRT

Después de establecer los requerimientos del prototipo, se procede con la concepción general del prototipo que se describe en la Figura 1-3, en el cual se utiliza la tecnología LoRaWAN previamente seleccionada, para la comunicación en la red.

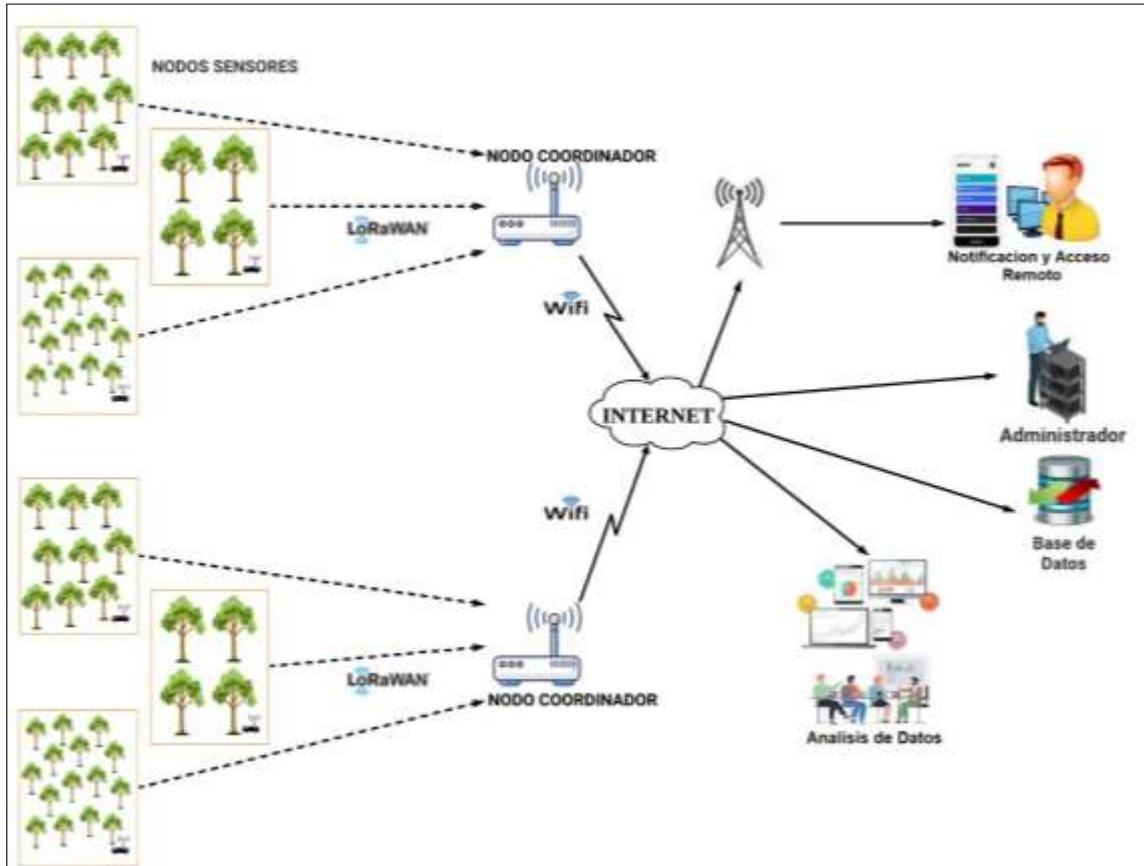


Figura 19-3: Concepción general del prototipo.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

La figura 1-3 muestra esquema de la concepción del prototipo en donde se contemplan tres nodos bien definidos, que cumplen una función específica y necesaria para llevar a cabo el adecuado funcionamiento del prototipo, además de comunicarse de manera inalámbrica entre ellos. Estos nodos se describen como: nodo sensor, nodo coordinador, nodo de almacenamiento y visualización que a su vez forman parte de la arquitectura de la red del prototipo.

El nodo sensor tiene la función de adquirir mediciones de las micro variaciones radiales del tronco de un árbol en un tiempo determinado, además consta de un módulo GPS que determina la ubicación del nodo, estos datos luego de ser procesados desde el sensor a la tarjeta de desarrollo *Arduino*, son enviados de manera inalámbrica a través de módulos de comunicación LoRaWAN

al nodo coordinador, este a su vez receptara los datos obtenidos y los distribuirá al nodo de almacenamiento y visualización a través de *WiFi* por medio de la tarjeta de desarrollo *NodeMCU ESP8266*; además en este mismo nodo se expone la información de forma detallada en la plataforma *Thingspeak*. El nodo sensor es alimentado por fuente de energía solar almacenada en batería para brindar autonomía.

3.4. Arquitectura del prototipo MVRT

Se describe mediante diagramas de bloque las funciones de cada uno de los nodos definidos en la concepción general del prototipo.

3.4.1. Diagrama de bloques del nodo sensor

En la Figura 2-3 se presenta el diagrama de siete bloques del nodo sensor. Está conformado por el bloque de medición radial, responsable de captar las variaciones de recorrido en el radio del tronco y transformarlas en salidas de tensión de voltaje, bloque de acondicionamiento para la señal de salida del transductor LVDT sin procesar, poder convertirla a una señal DC, que seguidamente pueda ser interpretada por el bloque de procesamiento donde se controla todos y cada uno de los procesos. En cuanto a la adquisición y recepción de los datos tanto del bloque de medición radial como el de posicionamiento geográfico, los cuales será interpretados por la tarjeta de desarrollo *Arduino*, para posteriormente por medio del bloque de transmisión, basado en tecnología *LoRaWAN*, enviar los datos inalámbricamente al nodo coordinador. A su vez, se cuenta con un bloque de alimentación que proporciona independencia energética continua al nodo sensor por medio de un panel solar y baterías.

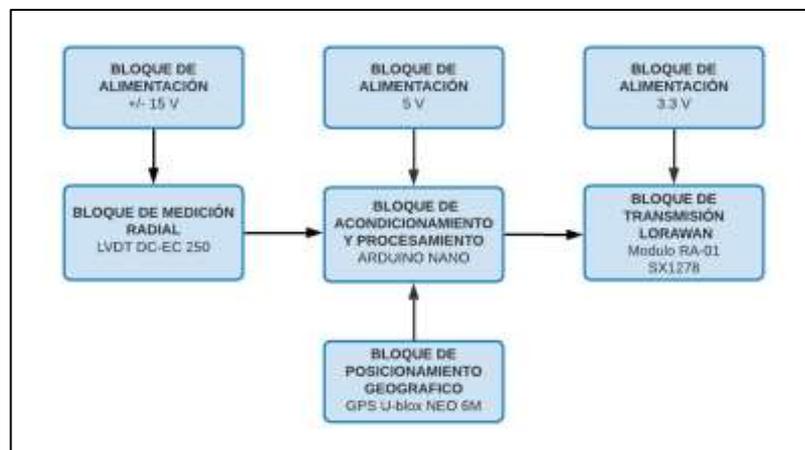


Figura 20-3: Diagrama de bloques del nodo sensor.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.4.2. Diagrama de bloques del nodo coordinador

En la Figura 3-3 se presenta el diagrama de bloques del nodo coordinador constituido por: un bloque de recepción que acoge los paquetes de datos procedentes del nodo sensor a través de módulos basados en tecnología LoRaWAN, estos datos son admitidos en el bloque de procesamiento que consta de un microcontrolador *Arduino* conectado en simultaneo al bloque de transmisión *WiFi* conformado por un módulo *NodeMCU ESP8266* que envía los datos hacia el nodo de almacenamiento y visualización, de forma simultánea.

A su vez, el bloque de alimentación asume la fuente energética del nodo coordinador de manera continua para permanecer en comunicación constante con los demás nodos de la arquitectura.

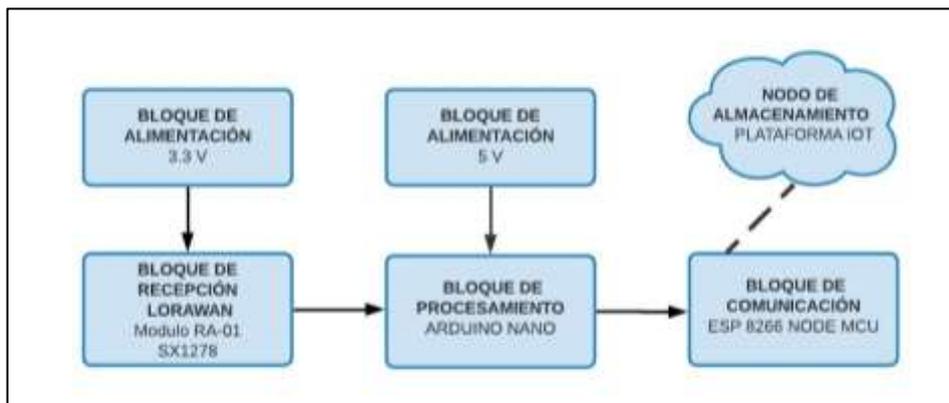


Figura 21-3: Diagrama de bloques del nodo coordinador.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.4.3. Diagrama del nodo de almacenamiento y visualización

Este nodo se encarga de alojar los datos generados por el monitoreo periódico que realiza el nodo sensor, luego son enviados al nodo coordinador el cual los almacena en la plataforma *Thingspeak* mediante una conexión inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.11. Para la visualización de las variaciones radiales del troco del árbol el nodo busca representar un dato en modo numérico o simbólico a través de algún periférico de salida o aplicativo, por lo que, se debe garantizar una compatibilidad entre dicho aplicativo con la plataforma web, como se aprecia en la Figura 4-3.

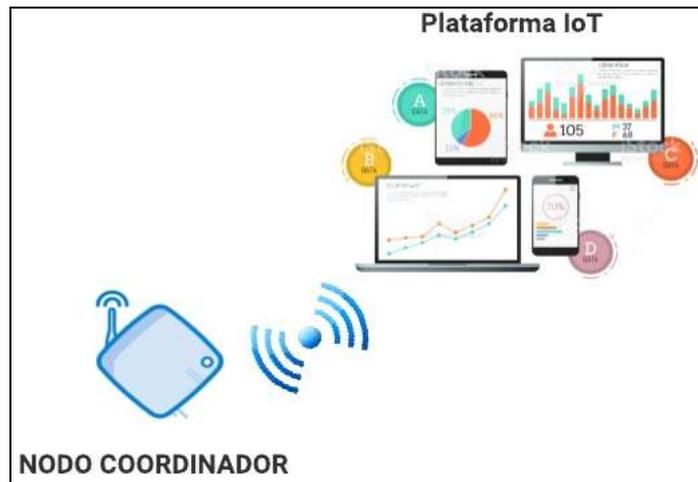


Figura 22-3: Almacenamiento de la información en la plataforma IoT.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.5. Selección de *hardware* para el prototipo MVRT

A continuación, se describe los componentes electrónicos empleados para la implementación del prototipo MVRT con sus características principales.

3.5.1. Baterías AGM

Las baterías AGM son conocidas comúnmente como baterías “secas” por no incorporar electrolito líquido libre, sus siglas definen el concepto de la tecnología en la que se basan: *absorbed glass mat* (separador de vidrio absorbente), ofrecen muchas ventajas, como su alta potencia, su rápida velocidad de carga o su larga vida útil. En la figura 5-3 se puede observar la batería de 12 voltios y en la Tabla 1-3 sus especificaciones técnicas (Ruta 401, 2019).



Figura 23-3: Batería AGM 12 V.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Tabla 9-3: Especificaciones técnicas de baterías AGM 12 V.

Parámetro	Especificación
Voltaje de carga	12 V.
Intensidad nominal	9 A.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.5.2. Controlador de carga 10A PWM

El diseño del controlador de carga, como se muestra en la Figura 6-3, permite una instalación rápida y sencilla, considerando a su vez que una carga y descarga optimizada prolonga la vida de las baterías de un modo considerable, además los parámetros de carga se muestran de manera explícita en la pantalla LCD. En la Tabla 2-3 se detalla sus especificaciones técnicas (MUST):



Figura 24-3: Controlador de carga 10A PWM.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Tabla 10-3: Especificaciones técnicas del controlador de carga 10A PWM.

Parámetro	Especificación
Voltaje de entrada	$\leq 50V$
Intensidad nominal entrada	10 ^a
Voltaje sistema	12V/24V Auto
Modo de carga	PWM Multi-etapas (carga, absorción, flotación, ecualización)
Temperatura trabajo	-20 ~ +50°C
Tamaño (L x W x H)	188 x 95 x 46.5mm

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.5.3. Step UP XL6009

Este convertidor de voltaje tiene como función hacer la entrega constante de voltaje superior al voltaje de entrada. Este soporta corriente de salida hasta de 2.5A, voltaje de entrada entre 5v a 32v y la saliente entre 7v a 32v este voltaje de salida selecciona por medio de un potenciómetro multi vuelta, como se muestra en la Figura 7-3. Este regulador de tipo conmutado reduce al mínimo el uso de componentes esto ayuda a la simplificación del diseño de las fuentes de alimentación, hay muchas más especificaciones técnicas de este módulo convertidor las cuales los podremos ver más a detalle en la Tabla 3-3 (ROSERO, 2020, pp.17-18).

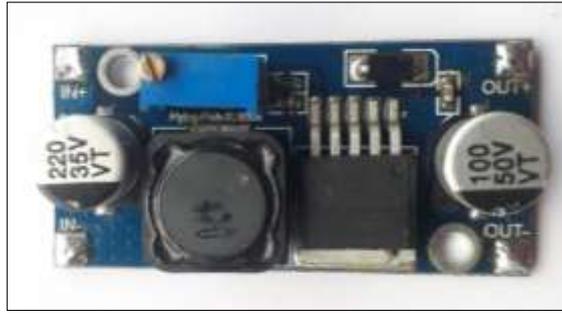


Figura 25-3: Módulo Step UP XL6009.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Tabla 11-3: Especificaciones técnicas del módulo Step UP XL6009.

Parámetro	Especificación
Voltaje de entrada	5 V a 32 V
DC Voltaje de salida	7 V a 35 V
DC Corriente de salida	Máx. 2. 5 ^a
Potencia de salida	10 W
Eficiencia de conversión	94% máx.
Dimensiones	43mm*20mm*14mm

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.5.4. *Sensor LVDT DC-EC 250*

Los LVDT de la serie DC-EC combinan un LVDT de CA diseñado por ordenador con un acondicionamiento integral de la señal personalizado para lograr un rendimiento de primera calidad. Operando con una fuente nominal de $\pm 15\text{VDC}$, la Serie DC-EC entrega una salida extremadamente lineal, de bajo ruido, pero con una respuesta de alta frecuencia de $\pm 10\text{VDC}$.

El diseño innovador y las técnicas de fabricación mejoran aún más el rendimiento y la rentabilidad de la DC-EC. Los componentes micro-miniatura empleados fueron seleccionados meticulosamente para una máxima estabilidad y rendimiento térmico. La encapsulación en vacío de todos los elementos ofrece una excelente tolerancia a los golpes y las vibraciones, mientras que el doble blindaje magnético proporciona la máxima protección contra los campos perdidos. Como en la mayoría de nuestros LVDTs, las bobinas DC-EC están impregnadas al vacío con una resina flexible de alta temperatura especialmente formulada, y el conjunto de la bobina está encapsulado dentro de su carcasa con un recubrimiento. Esto proporciona una excelente protección contra ambientes hostiles como la alta humedad, la vibración y los golpes. En la Figura 8-3 se puede observar el sensor y en la Tabla 4-3 sus especificaciones técnicas (TE connectivity, 2019, p. 1).



Figura 26-3: Sensor LVDT DC-EC 250.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Tabla 12-3: Especificaciones técnicas del sensor LVDT DC-EC 250.

Parámetro	Especificación
Recorrido	± 6.35 mm
Sensibilidad	1.6 v/mm
Tensión de entrada	± 15 VDC
Tensión de salida	± 10 VDC
No linealidad	$\pm 0.25\%$
Temperatura de funcionamiento	+32°F a +160°F [0°C a 70°C]
Conexión eléctrica	Cable de 4 conductores, cobre trenzado 28AWG, blindaje trenzado y cubierta de poliuretano, 1 m de largo.

Fuente: (TE connectivity, 2019)

3.5.5. ADS1118

El ADS1118 es un convertidor analógico - digital (ADC) de 16 bits de precisión y baja potencia que proporciona todas las funciones necesarias para medir las señales de sensor más comunes, además es ideal para aplicaciones de medición de sensores con limitaciones de espacio y energía. Los datos se transfieren a través de una interfaz periférica en serie (SPI™) y funciona en modo de conversión continua o en modo de disparo único que se apaga automáticamente después de una conversión. En la Figura 9-3 se muestra el convertidor ADS1118 y en la Tabla 5-3 se detalla sus especificaciones técnicas (Texas Instruments, 2015, p.1).

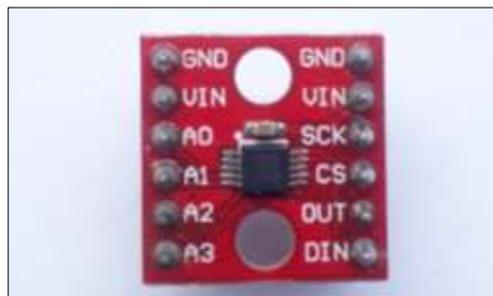


Figura 27-3: Circuito integrado DS1118.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Tabla 13-3: Especificaciones técnicas del ADS 1118.

Parámetro	Especificación
Resolución (Bits)	16
Número de canales de entrada	4
Tipo de interfaz	SPI
Rango de suministro	2 a 5.5 V

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

3.5.6. Tarjetas de desarrollo para el prototipo MVRT

Se describen las especificaciones principales de las placas *hardware* que participan en el diseño del prototipo.

3.5.6.1. Arduino Nano

Arduino Nano es una placa pequeña y fácil de usar basada en la arquitectura de *ATmega328P* con un microcontrolador *ATmega328* con un voltaje de operación de 5V. Utiliza un tipo de memoria flash de 32 KB, de los cuales 2 KB son utilizados por el gestor de arranque. La velocidad de reloj del procesador de *Arduino Nano* es de 16 MHz. Contiene 16 terminales de entrada analógica y 22 terminales de Entrada / Salida, su tamaño de PCB es de 18x45 mm con un peso de solo 7g como se muestra en la Figura 10-3. En la Tabla 6-3 se detalla sus especificaciones técnicas (Kumar, 2019, p.71).

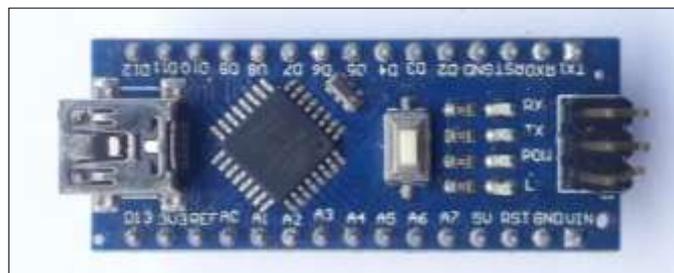


Figura 28-3: *Arduino nano.*

Fuente: (Mantech). Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Tabla 14-3: Especificaciones técnicas del *Arduino nano.*

Parámetro	Especificación
Voltaje de operación	5V
Pines de entrada analógicos	8
Corriente DC por terminal E/S	40mA
EEPROM	1KB
Dimensiones	0.73" x 1.70"

Velocidad del CPU	16 MHz
-------------------	--------

Fuente: (Mantech).

3.5.6.2. Módulo WiFi ESP8266

Se trata de una placa de desarrollo de bajo coste creada por *Espressif Systems* y que incorpora el chip *ESP8266* como se aprecia en la Figura 11-3, es ampliamente usado para aplicaciones de internet de las cosas (IoT, *Internet of Things*) que se refiere a la interconexión de objetos cotidianos mediante Internet. Contiene protocolo TCP/IP para proporcionar conexión *WiFi*. Puede albergar su propia aplicación o servir como conexión entre cualquier microcontrolador e Internet. Tiene gran capacidad de procesamiento y almacenamiento (160kB de RAM, 4MB de memoria *flash* externa) y puertos de entrada/salida que le permiten interactuar con otros dispositivos. Todo ello está altamente integrado ocupando el área mínima de PCB y permitiendo la mínima circuitería externa. Está diseñado de forma que tiene un consumo mínimo y opciones de suspensión (*sleep mode* y *deep sleep mode*). El *NodeMCU* incorpora el *chip* CH340 para permitir la conexión serie entre la placa y el ordenador y así poderse programar, ya sea directamente mediante comandos AT, mediante el lenguaje de programación Lua de la plataforma de desarrollo *NodeMCU* o incluso mediante el entorno de desarrollo (IDE) de *Arduino*. En la Tabla 7-3 se detalla sus especificaciones técnicas (Méndez, 2016, p.13).



Figura 29-3: *NodeMCU ESP8266*.

Realizado por: Valdivieso, Claudio; Cuenca, Gilson; 2020

Tabla 15-3: Especificaciones técnicas del *NodeMCU ESP8266*.

Parámetro	Especificación
Voltaje de Alimentación (USB)	5V DC
Voltaje de Entradas/Salidas	3.3V DC
Frecuencia de procesador	80MHz-160MHz
RAM	32KB
Memoria Flash Externa	4MB
Corriente de operación	200 mA

Fuente: (López, 2018).

3.5.7. Sx1278 Lora

El *transceptor SX 1278* cuenta con el módulo de largo alcance LoRa TM como se observa en la Figura 12-3, proporciona una comunicación de espectro disperso de ultra largo alcance y una alta inmunidad a las interferencias, a la vez que minimiza el consumo de corriente. Utilizando la técnica de modulación patentada LoRa TM de *Semtech*, el SX1278 puede alcanzar una sensibilidad de más de -148dBm utilizando una lista de materiales de cristal de bajo costo. La sensibilidad combinada con el amplificador de potencia integrado de +20dBm da como resultado un rendimiento de enlace líder en la industria, lo que lo hace óptimo para cualquier aplicación que requiera amplio rango. Viene también acompañado de una antena tipo primavera. En la Tabla 8-3 se detalla sus especificaciones técnicas (RAJU, 2017).



Figura 30-3: Módulo Lora SX1278.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Tabla 16-3: Especificaciones técnicas del módulo SX1278.

Parámetro	Especificación
Estándar Inalámbrico	433 MHz
Distancia	1-10 km
Rango de Frecuencia	410-525 MHz
Sensibilidad	Hasta -148dBm
Alimentación	2.5-3.7 V
RF de potencia de salida	+18dBm

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.5.8. Módulo SD Card

Para el desarrollo de este prototipo se emplea una tarjeta SD de 4 GB de capacidad para almacenar los resultados de las mediciones realizadas con su respectiva fecha y hora. Éstas se guardan en un archivo .txt, el cual puede visualizarse fácilmente al insertar la tarjeta de memoria en una computadora personal. Se decidió utilizar esta tarjeta debido a la facilidad que se ofrece para extraer la información almacenada ya que este dispositivo de almacenamiento interactúa con equipos de uso común tal como laptops, tablets y teléfonos celulares. (MEDINA, 2019, p.30). En la Figura 13-3 se muestra el módulo de tarjeta SD de ranura mediante *Arduino* y en la Tabla 9-3 se detalla sus especificaciones técnicas:

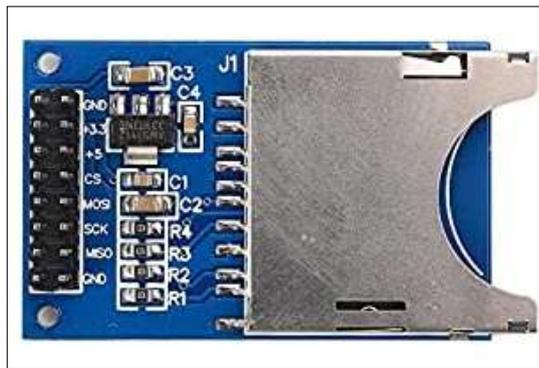


Figura 31-3: Módulo SD Card.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Tabla 17-3: Especificaciones técnicas del módulo SD Card.

Parámetro	Especificación
Voltaje de alimentación	3.3-5.5 V
Protocolo de comunicación	SPI
Peso neto	8g
Dimensiones	5.1cm largo x 3cm ancho x 4mm alto

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

3.5.9. RTC DS-1307

Este es un reloj de tiempo real con batería de respaldo (RTC – *Real Time Clock*), como se muestra en la Figura 14-3, permite al microcontrolador mantener tiempo; hora y fecha, aún si el circuito electrónico en el que se encuentra se queda sin energía. Cualquier microcontrolador de 5V con protocolo de comunicación I2C integrado puede utilizar fácilmente el *DS1307* (LÓPEZ, 2019, p. 37). En la Tabla 10-3 se detalla sus especificaciones técnicas

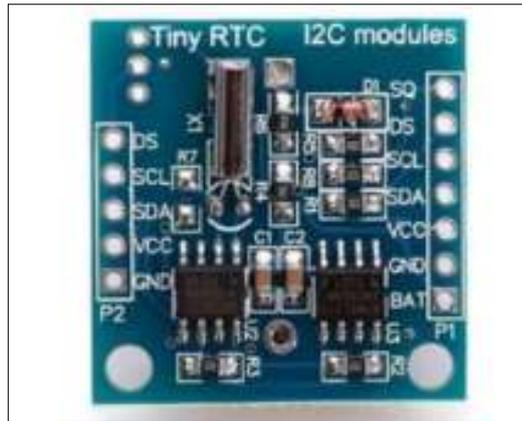


Figura 32-3: RTC DS-1307.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Tabla 18-3: Especificaciones técnicas del RTC DS-1307.

Parámetro	Especificación
Voltaje de alimentación	4.5 - 5.5 V
Tipo Bus	I2C
Temperatura de funcionamiento	0° a +70°C
Dimensiones Físicas	27x28x8 mm

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.5.10. Módulo GPS U-blox NEO 6M

El módulo GPS de la marca *U-blox* presenta una gran precisión y fiabilidad a un precio muy accesible, viene montado en una placa con las salidas VCC, TxD, RxD y GND como se muestra en la Figura 15-3. Este módulo cuenta con una antena cerámica que se conecta a la placa mediante la cual efectúa la conexión con los satélites, además de disponer de una pequeña pila para mantener la hora y de esta forma realizar el posicionamiento de forma más rápida después de la primera conexión (Sancho, 2017). En la Tabla 11-3 se detalla sus especificaciones técnicas.



Figura 33-3: Módulo GPS U-blox NEO 6M.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Tabla 19-3: Especificaciones técnicas del módulo GPS U-blox NEO 6M.

Parámetro	Especificación
Voltaje de alimentación	3-5 V
Corriente	55mA
Precisión de posición	2m aproximadamente
Almacenamiento externo	EEPROM serial externo para guardar configuraciones
Interfaz	Serial UART 5V
Tamaño de Módulo	25mm*35mm

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.5.11. Panel solar 20W

El panel solar este hecho de vidrio templado de alta transmisión, durable larga vida útil, resistencia a la degradación, resistente a condiciones ambientales desafiantes, además, presenta un excelente rendimiento en entornos con poca luz y Con marco de aluminio, como se observa en la Figura 16-3 y en la Tabla 12-3 sus especificaciones técnicas (Findysolar).



Figura 34-3: Panel solar 20 W.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Tabla 20-3: Especificaciones técnicas del controlador de carga 10A PWM.

Parámetro	Especificación
Potencia Máxima	20 w
Corriente máxima	1.11A
Voltaje máximo	18 V
Garantía del producto	5 años
Plazo de espera	20 días
Tipo de celda:	celda solar multicristalina

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

3.6. Esquema de conexión del prototipo MVRT

En esta sección se puntualiza las conexiones de los componentes electrónicos que conforman cada nodo del prototipo.

3.6.1. Esquema de conexión del Nodo Sensor

La Figura 17-3 indica el esquema de conexión del nodo sensor. Este nodo está compuesto por: un módulo LoRa sx1278, *Arduinos* nano, módulo GPS y una batería de 12 voltios, un panel solar, módulo Rtc y un módulo SD-card. Sus componentes se conectan de la siguiente forma:

- El panel solar tiene conectado el terminal positivo con el terminal de 12 voltios, el terminal negativo al terminal de GND del regulador del panel solar.
- Los terminales de la batería tanto positivo y negativo están conectados a los terminales positivos y negativos del regulador del panel solar.

- El regulador del panel solar abastece energía a través de los terminales de 5 voltios y GND conectados a los terminales de 5 voltios y GND de los *Arduinos*.
- El módulo LoRa sx 1278 tiene conectado el terminal MISO con el terminal MISO, el terminal MOSI con el terminal MOSI, el terminal NSS con el terminal NSS, el terminal SCK con el terminal SCK, el terminal RESET con el terminal RESET, el terminal DI00 con el terminal D2 de la tarjeta de desarrollo *Arduino* Nano 1 a través de los terminales que posee, además el módulo esta alimentado con los 3.3 voltios y GND que el *Arduino* proporciona.
- El módulo GPS tiene conectado los terminales TXD y RXD a los terminales D5 y D6 del *Arduino* nano 1 respectivamente y además el módulo esta alimentado con los 5 voltios y GND que el *Arduino* proporciona.
- El módulo RTC tiene conectado los terminales SCL Y SDA a los terminales A5 y A4 del *Arduino* nano 1 que posee y además el módulo esta alimentado con los 5 voltios y GND que el *Arduino* proporciona.
- El módulo SD-CARD tiene conectado los terminales MISO, MOSI y SCK a los pines MISO, MOSI y SCK que el *Arduino* nano 1 posee, además el terminal CS se conecta al terminal D7 del *Arduino* nano 1, este módulo esta alimentado con los 5 voltios y GND que el *Arduino* proporciona.
- El Sensor LVDT DC-EC 250 se conecta a los terminales IN+ y IN- del módulo Step up.
- El módulo Step up tiene conectado los terminales OUT+ y OUT- a los terminales A0 y A1 del módulo ADS 1118 respectivamente.
- El módulo ADS 1118 tiene conectado los terminales SCK, MISO y MOSI a los terminales SCK, MISO y MOSI del *Arduino* nano 2, este módulo esta alimentado con los 5 voltios y GND que la fuente proporciona.

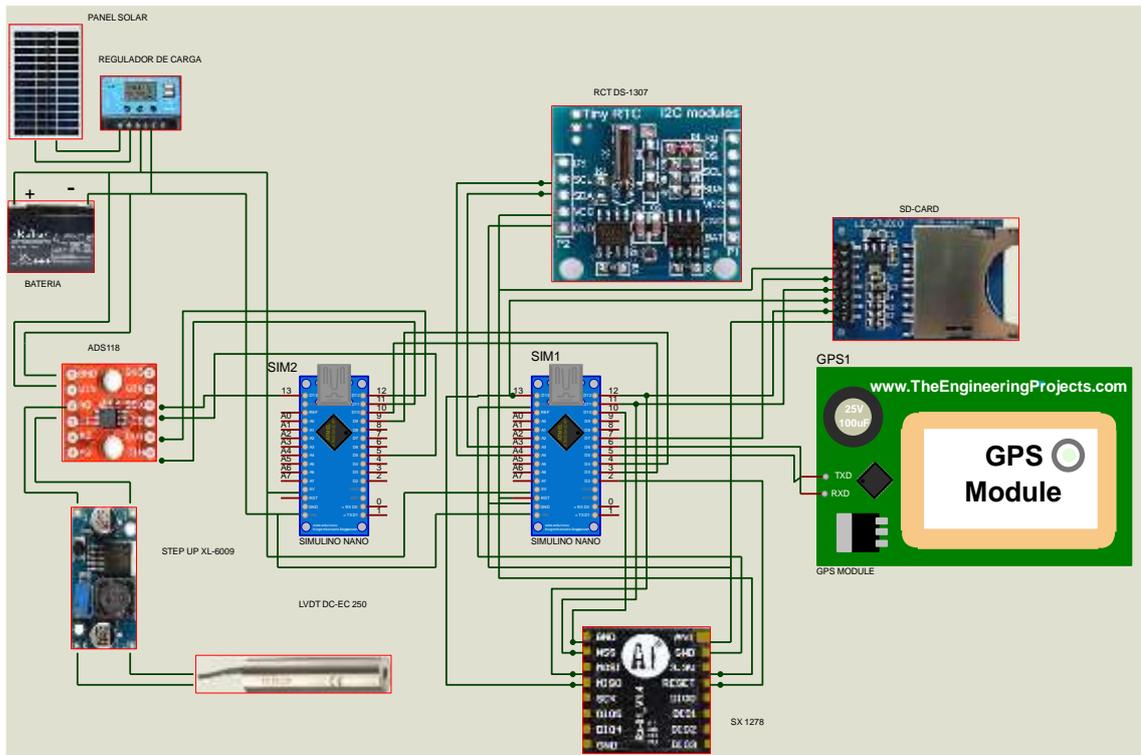


Figura 35-3: Esquema de conexión del nodo sensor.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Se imprimió el diseño del circuito en PCB para plasmarlo a la placa de fibra, en donde los conectores de los componentes se unen por soldadura. Los elementos insertados en el nodo se muestran en la Figura 18-3.

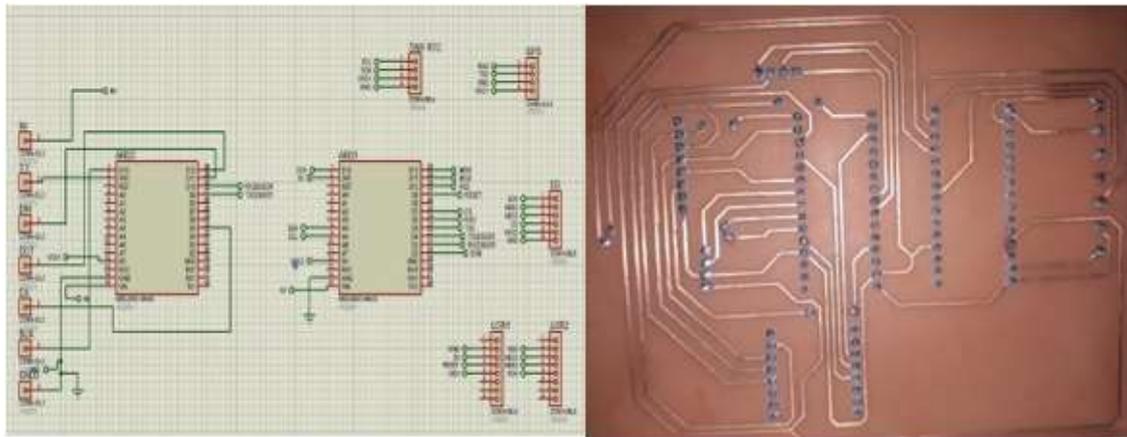


Figura 36-3: Diseño de la placa del nodo sensor y sus componentes.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.6.2. Esquema de conexión del nodo coordinador

La Figura 19-3 indica el esquema de conexión del nodo coordinador. Está formado por: un módulo LoRa sx1278 y un ESP8266. El componente fundamental es el *NodeMCU* ya que permite

la conectividad a Internet a través de la tecnología *WiFi*, para así poder almacenar nuestra información en la plataforma IoT. Las conexiones para este nodo son las siguientes:

El Módulo LoRa sx1278 tiene conectado:

- el terminal MISO con el terminal D6
- el terminal MOSI con el terminal D7
- el terminal NSS con el terminal D8
- el terminal D5 con el terminal SCK
- el terminal *RESET* con el terminal D2
- el terminal DI00 con el terminal D1 del módulo *ESP8266* a través de los terminales que posee

Además, el módulo LoRa esta alimentado con los 3.3 voltios y GND que el módulo *ESP8266* proporciona.

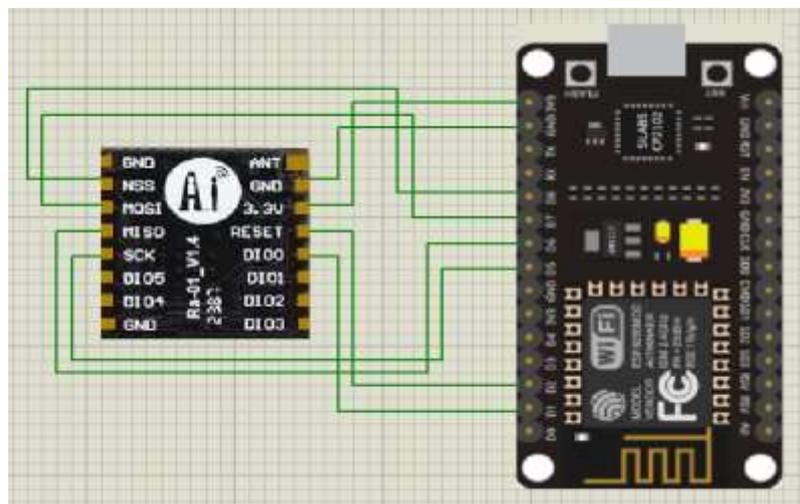


Figura 37-3: Esquema de conexión del nodo coordinador.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.7. Selección del *software* para el prototipo MVRT

Para el funcionamiento del prototipo se requieren *software* que puedan controlar los componentes electrónicos antes mencionados, a continuación, se describen los requerimientos previos, luego los programas y plataformas utilizados.

3.7.1. *Requerimientos software del prototipo MVRT*

Se establecen los requerimientos de *software* de los nodos sensor y nodo coordinador del prototipo.

3.7.1.1. *Requerimientos software del nodo sensor*

- Recolectar las variaciones radiales diarias del tallo de árbol y efectuar su conversión a voltaje, a unidades de micras para cada medición.
- Obtener la ubicación en longitud y latitud, además de la hora y fecha en el nodo sensor por cada medición.
- Enviar los datos de las fluctuaciones diarias al nodo coordinador mediante la comunicación LoRaWAN.

3.7.1.2. *Requerimientos software del nodo coordinador*

- Receptar los datos que son emitidos por el nodo sensor a través de la comunicación LoRaWAN.
- Enviar los datos de las fluctuaciones diarias, coordenadas geográficas, fecha y hora de cada medición al nodo de almacenamiento y visualización para poder ser analizado en cualquier parte del mundo por medio del acceso a internet.

3.7.2. *Software de desarrollo para el prototipo MVRT*

Se describen los programas y plataformas a emplear en el funcionamiento, configuración y control del prototipo.

3.7.2.1. *Arduino IDE 1.8.13*

Es un *software* de código abierto que se utiliza principalmente para escribir y compilar el código en el módulo *Arduino*. Está fácilmente disponible para sistemas operativos como *MAC*, *Windows*, *Linux* y se ejecuta en la plataforma *Java* que viene con funciones y comandos incorporados que juegan un papel vital para depurar, editar y compilar el código en el entorno. El entorno IDE contiene principalmente dos partes básicas: Editor y Compilador, donde el primero se usa para escribir el código requerido y luego se usa para compilar y cargar el código en el módulo *Arduino* dado. Este entorno es compatible con los lenguajes C y C++.

El entorno de desarrollo integrado de *Arduino*, o *software Arduino (IDE)*, contiene un editor de texto para escribir código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones comunes y una serie de menús. Se conecta al *hardware Arduino* y *Genuine* para cargar programas y comunicarse con ellos (Divya, 2020, p. 232).

3.7.2.2. *ThingSpeak*

Es una plataforma *open source* aplicada al Internet de las cosas (IoT), permite recolectar datos y almacenarlos en la nube, provee aplicaciones que permiten analizar y visualizar datos para realizar algún tipo de acción. Los datos pueden provenir de sensores conectados a *Arduino*, *Raspberry*, *Beagle Black* u algún otro *hardware* o aplicación (Chico, 2017, p.55)

3.7.2.3. *IFTTT*

Es una herramienta web y una aplicación a la vez que funciona con la idea de automatizar aplicaciones habilitadas en dispositivos inteligentes. Sus siglas en ingles corresponden a “*if this then that*” lo cual se traduce en “si esto, entonces eso”. IFTTT funciona de la siguiente manera: los usuarios son guiados a través de un proceso para hacer *scripts* simples, también conocidos como “*Applets*” o “*Recetas*”, donde algún tipo de evento en un dispositivo o servicio activa automáticamente una acción en otro. Para el proyecto se usará como evento a suscitarse la llegada de una petición web desde la plataforma *ThingSpeak* hacia el canal *Maker Webhooks* que integra IFTTT para habilitar la acción de generar las notificaciones (Chico, 2017, p.62).

3.7.3. *Configuración de los módulos de comunicación*

Para configurar cada módulo, se instaló en el entorno del *software Arduino IDE* la librería LoRa con los comandos predeterminados necesarios para la comunicación tanto del transmisor, como del receptor.

3.7.3.1. *Transmisor*

Por medio del canal de comunicación denominado *Sender*, la tecnología LoRa inicializa la comunicación y utiliza la condición LoRa.Begin () constituida bajo el parámetro de frecuencia de 433 MHz, obteniendo así señales únicamente del componente configurable a la misma frecuencia operativa. En el Anexo D se puede observar los códigos utilizados en el módulo transmisor.

3.7.3.2. Receptor

La tecnología LoRa utiliza para la recepción de los datos la interfaz de canal de comunicación denominada Receiver, donde se requiere que exista una comunicación permanente para recepción y transmisión de datos, la cual se realiza por medio de la función `LoRa.parsePacket`. En el Anexo E se puede ver el código empleado para la comunicación a través de los dispositivos LoRa RA01 Sx1278.

3.7.4. Diagrama de flujo del nodo sensor

Para el desarrollo del prototipo se emplea la interfaz *Arduino IDE* 1.8.13 basado en lenguaje C++, este IDE es gratuito y está disponible para sistemas operativos *Windows*, *Linux* y *Mac*, además permite la edición rápida de código. En el diagrama de flujo que se observa en el Grafico 1-3, se describe los pasos que se ejecutaron para el prototipo; el cual empieza:

- Establecer las variables que se van a emplear en el desarrollo del proceso.
- Inicializar la tarjeta de desarrollo.
- Declarar entradas y salidas de las tarjetas de desarrollo.
- Adquisición y lectura de los valores que proporciona el sensor LVDT y módulo GPS.
- Si existe datos del sensor y GPS, almacenarlos en tarjeta SD.
- Si no existe datos realizar un nuevo proceso de adquisición y lectura de datos.
- Generar trama de datos para su transmisión, en la Figura 20-3 se expone la estructura de la trama a enviarse.
- Establecer tiempos de transmisión, para él envío de las tramas.
- Envío de trama a través del módulo de comunicación con tecnología LoRaWAN y reanudar adquisición y lectura de datos.

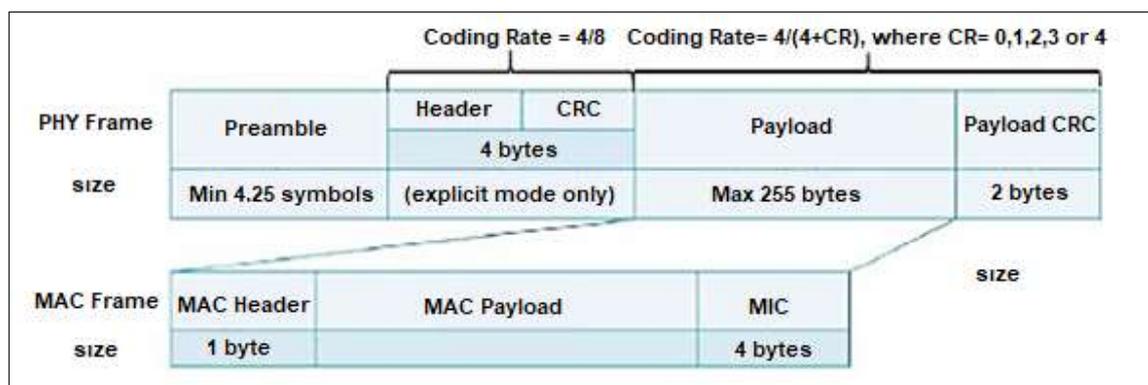


Figura 38-3: Estructura de la trama a transmitirse por comunicación RF.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

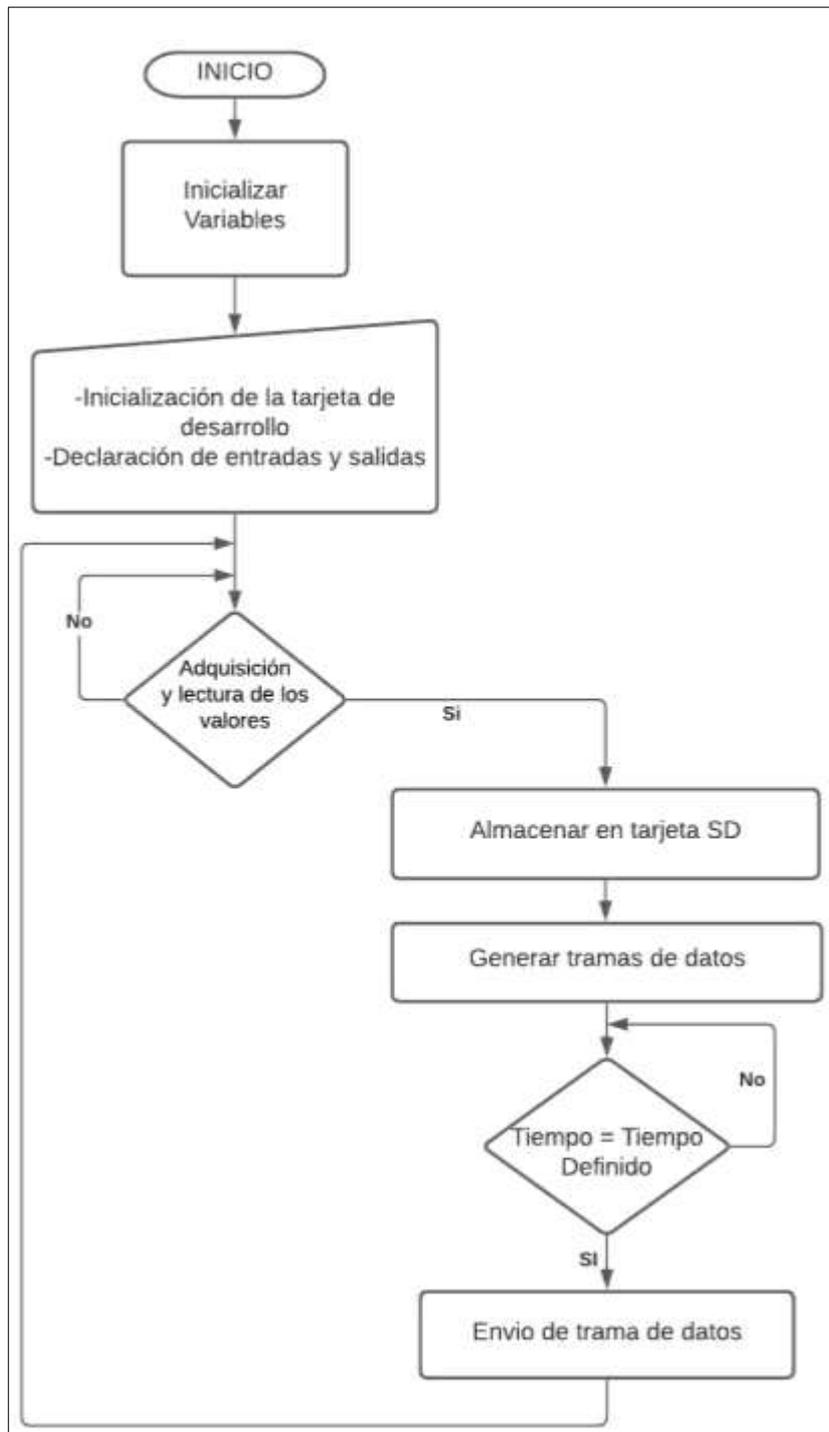


Gráfico 1-3: Diagrama de flujo del prototipo MVRT.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.7.5. Diagrama de flujo del nodo coordinador

De igual manera que en el nodo sensor, se empleó la interfaz *Arduino IDE 1.8.13* para configurar la tarjeta de desarrollo *ESP 8266*. En el diagrama de flujo que se observa en el Gráfico 2-3, se describe los pasos que se ejecutaron para el prototipo:

- Establecer las variables que se van a emplear en el desarrollo del proceso.
- Declarar entradas y salidas de la tarjeta de desarrollo.
- Inicializar el módulo *ESP 8266*.
- Configuración de conexión del módulo *ESP 8266* a la red *WiFi*.
- Conexión a la red y Acceso a internet.
- Si la conexión y acceso a internet es exitosa, enviar notificación y datos de inicio de sistemas a los dispositivos y aplicaciones configuradas.
- Si existe error de conexión y acceso a la red, reanudar procedimiento.
- Recepción de trama a través del módulo de comunicación con tecnología LoRaWAN.
- Envío de notificación alerta y dato a la plataforma IoT
- Agregar datos al campo gráfico y de localización de la plataforma IoT.
- Visualización de los datos agregados, en donde se indica la localización y la variación del crecimiento radial del tallo
- Definir rango de crecimiento del tallo.
- Si cumple el rango de crecimiento, envió de notificación a la plataforma IFTTT.
- Si no cumple con el rango de crecimiento, seguir comparando con los nuevos valores receptados.
- Recepción de notificación en el *Smartphone*.

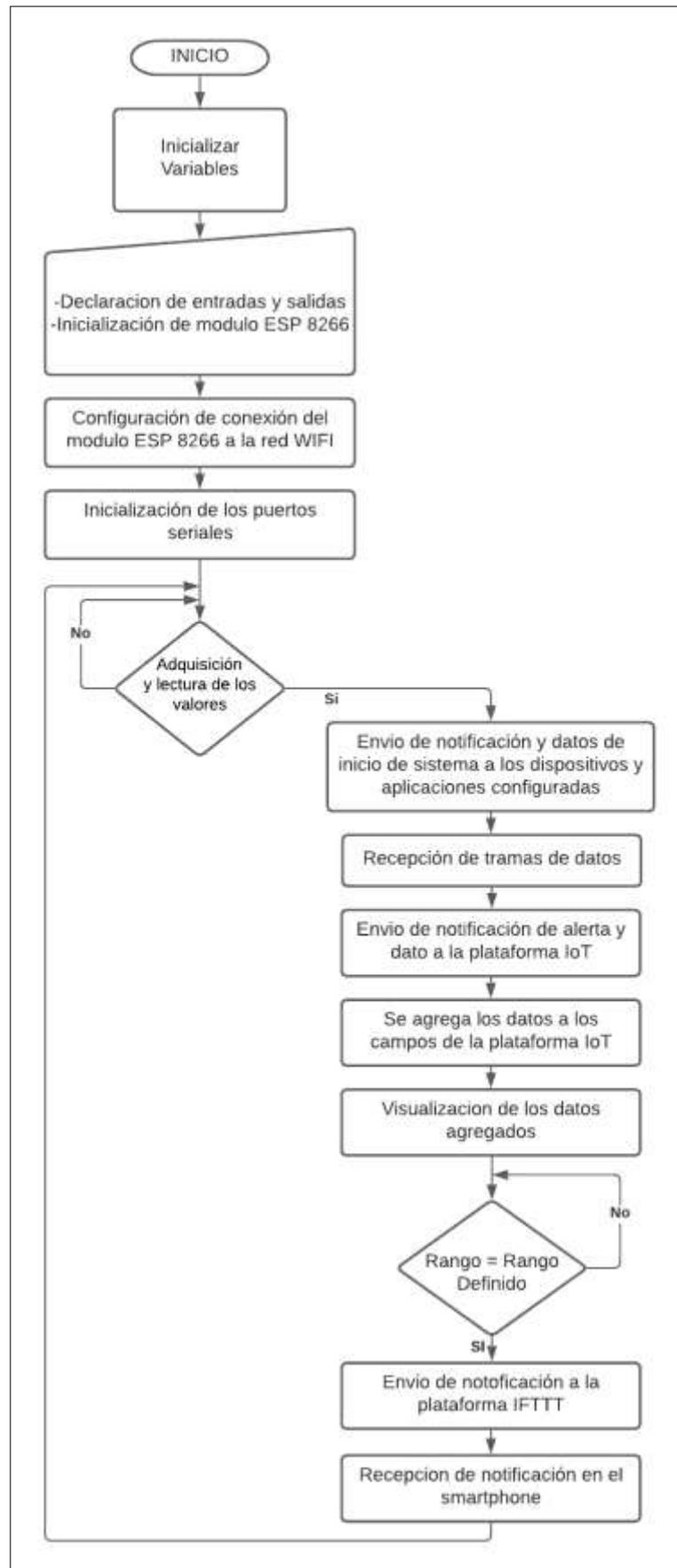


Gráfico 2-3: Diagrama de flujo del prototipo MVRT.
 Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.7.6. Plataforma de visualización y Alerta

La plataforma *ThingSpeak* se emplea para enviar datos a la nube desde cualquier dispositivo que pueda acceder a Internet, el servidor web puede configurar tareas y alarmas en tiempo real a través de herramientas de visualización. Mediante esta aplicación se puede generar o colocar y conectar cualquier elemento con una determinada tecnología, ya que permite interconectar una amplia gama de componentes de comunicación (CANTUÑA, 2019, p. 55).

3.7.6.1. Configuración de la plataforma *ThingSpeak*

Antes de comenzar a usar esta plataforma es necesario registrarse creando una cuenta, esto se lo puede hacer ingresando a la página oficial <https://thingspeak.com/> y accediendo al apartado *Sing Up*. Como el prototipo enviará un dato a la plataforma cada vez que se active un sensor, este se deberá almacenar y mostrar mediante un gráfico. Para poder almacenar y mostrar datos es necesario crear un canal en *ThingSpeak* el cual estará vinculado al prototipo. Cada canal de *ThingSpeak* puede abarcar 8 campos diferentes, para este caso solo se hará uso de un campo. Una vez creado el canal y su campo estarán listos para recibir datos, cada canal creado tiene una clave denominada *API key* que lo identifica. Como él envió de datos a través del módulo *NodeMCU ESP8266*, se hace mediante uso de las peticiones *API Request* que integra la plataforma, siendo ésta una manera fácil de enviar datos a *ThingSpeak* desde el módulo mediante peticiones web por comandos AT a través de librerías de conexión para enlazarse a la red inalámbrica. Los datos obtenidos se muestran dinámicamente de forma gráfica en el servidor web. Por este motivo, se ha creado una cuenta enfocada al proyecto en la plataforma *ThingsSpeak*. Los datos son registrados por los sensores y registrados por variables dentro del nodo. Cada variable registrada permite editar unidades de medida y ubicaciones geográficas como se muestra en la Figura 21-3 (Chico, 2017, pp.55-59).

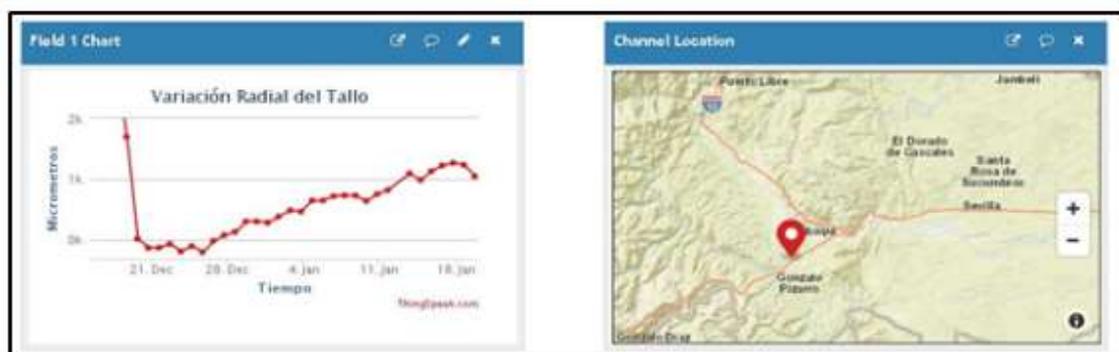


Figura 39-3: Visualización de las variables: Variación radial y ubicación geográfica en *ThingsSpeak*

Fuente: *ThingSpeak*

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.7.6.2. Configuración de la aplicación IFTTT

Para acceder a los servicios de IFTTT es necesario registrarse, para esto nos dirigimos a la página principal <https://ifttt.com> y damos clic en *Sing Up*, esto se lo puede realizar también desde la propia aplicación. Una vez creada la cuenta se requiere conectarse al canal *Maker Webhooks*, este canal nos permite trabajar con dispositivos o aplicaciones que pueden crear o recibir peticiones web como es *ThingSpeak*. Al abrir la URL mencionada del canal *Maker* se podrá observar la clave del canal vinculado y el formato del enlace que se debe tener para generar las solicitudes Web desde *ThingSpeak*. Una vez ingresada la palabra de la acción en este caso “Conectado”, tendremos listo el enlace de solicitud el cual debe copiarse en *ThingSpeak* para que la plataforma active el evento en la aplicación. Para la configuración de la aplicación se realiza lo siguiente: Desde la pantalla principal dirigirse *My Applets*, en la siguiente pantalla tocar sobre el símbolo “+” para crear un *Applet* y después buscar el canal de *Maker Webhooks*. Como paso siguiente se coloca el nombre del evento de la misma manera que se colocó en la página de IFTTT en este caso la palabra “Conectado”, después se selecciona la acción a realizar, la opción elegida son las notificaciones del sistema con el fin de generar una notificación que contenga el texto que se desee mostrar cuando éste se active (ver Figura 22-3) (CHICO, 2017, p. 65).

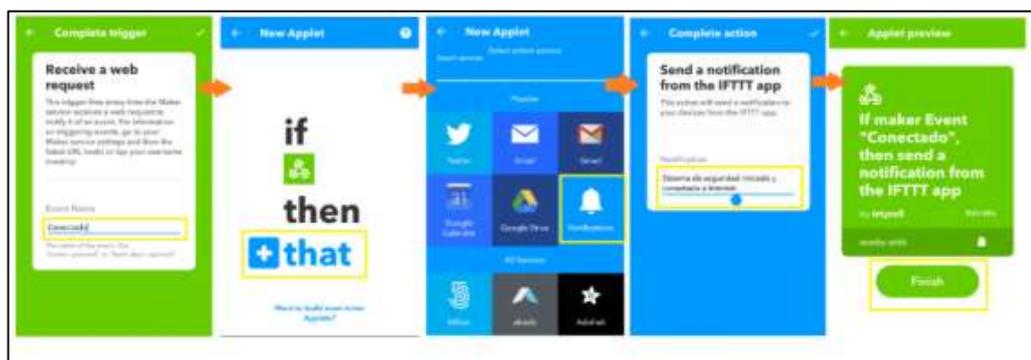


Figura 40-3: Creación de la acción de generar notificaciones.

Fuente: IFTTT.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

3.7.6.3. Vinculación de la plataforma ThingSpeak a la aplicación IFTTT

Una vez creado el *Applet* en la aplicación de IFTTT, se hará uso del formato de la solicitud web de *Maker Webhooks* mostrada en la Figura 36-3, este debe copiarse y pegarse en la aplicación *ThingHTTP* de la plataforma IoT. Para esto debe crearse un nuevo *ThingHTTP*, renombrarlo y pegar el enlace como se muestra en la Figura 23-3 (CHICO, 2017, p. 66).

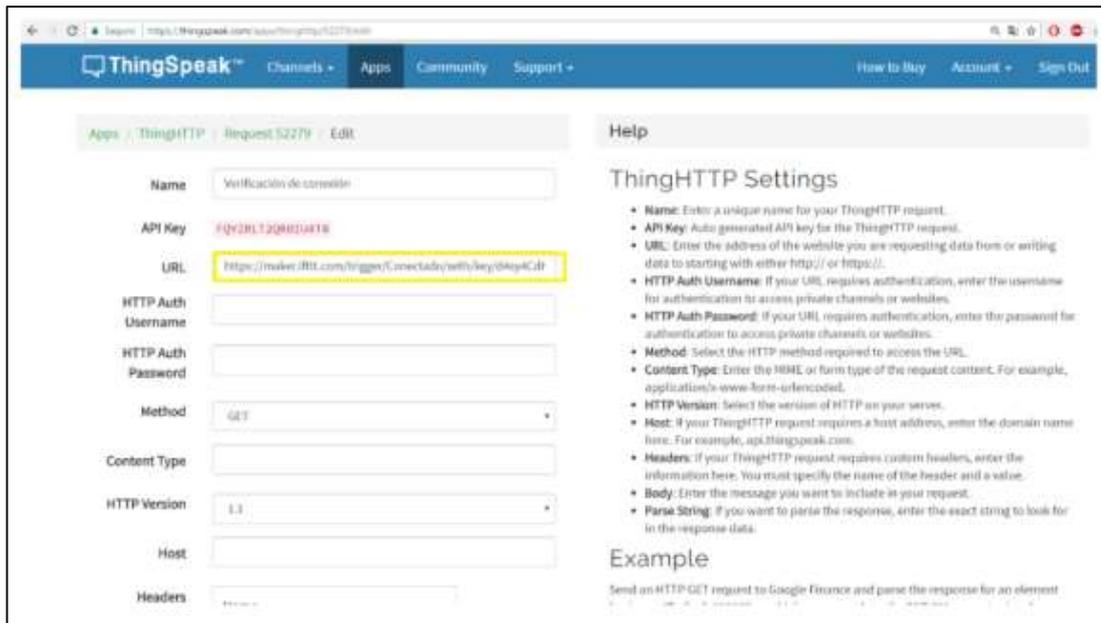


Figura 41-3: Creación de la solicitud web vinculado a IFTTT.

Fuente: IFTTT.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Al guardar se generará un *API Request* similar al que se usa para enviar datos desde el módulo *NodeMCU ESP8622* a la plataforma, ésta *API Request* es compatible con el módulo haciendo posible que este sea enviado mediante comandos AT (CHICO, 2017, p. 66).

3.7.6.4. Alerta del crecimiento.

Mediante la plataforma web denominada *IFTTT*, que enlaza con otros servidores webs para crear y programar acciones entre diferentes aplicaciones, se programa la alerta para que envíe una notificación al móvil cuando el sensor capte una variación cada mil micras al enlazarse con los datos recibidos en la plataforma *ThingSpeak*. En la Figura 24-3, se observa la captura del móvil al recibir la notificación de alerta.

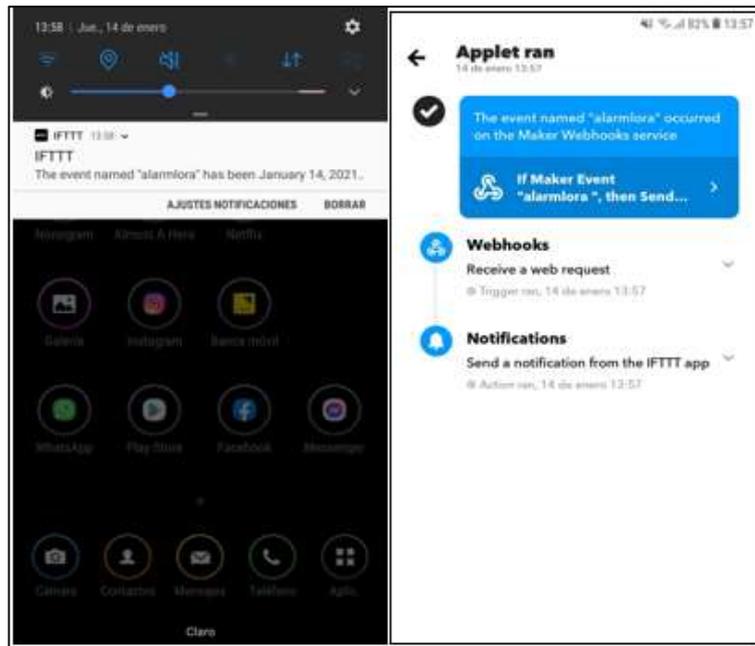


Figura 42-3: Alerta de las variaciones radiales del tronco.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

3.8. Diseño y fabricación del case para el prototipo MVRT

El prototipo MVRT está formado por los componentes denominados: nodo Coordinador y nodo sensor, los mismos que fueron diseñados en *SolidWorks 2019* bajo parámetros y características de miniaturización mediante un proceso de impresión 3D, con un tipo de polímero termoplástico denominado filamento de ABS (*Acrilonitrilo Butadieno Estireno*) para cada una de las carcasas.

3.8.1. Caja de protección del nodo sensor

La carcasa que resguarda al nodo sensor posee las siguientes dimensiones: 22 cm de largo por 14cm de ancho por 6.5 cm de alto y un grosor de 2 mm, las muescas tienen 1 cm de largo por 0.5cm de ancho, su tapa tiene 22 cm de largo por 14cm de ancho y un grosor de 2 mm, como se muestra en la Figura 25-3, en la que se observa una vista3D de la parte exterior de la caja. En la Figura 26-3 se muestra la carcasa del nodo sensor terminada y ensamblada.

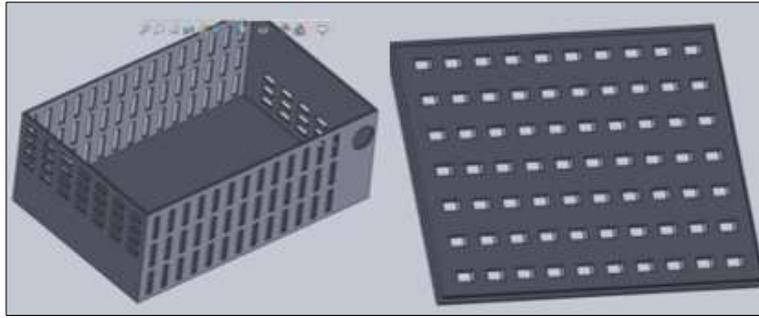


Figura 43-3: Caja de protección del nodo sensor.
 Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

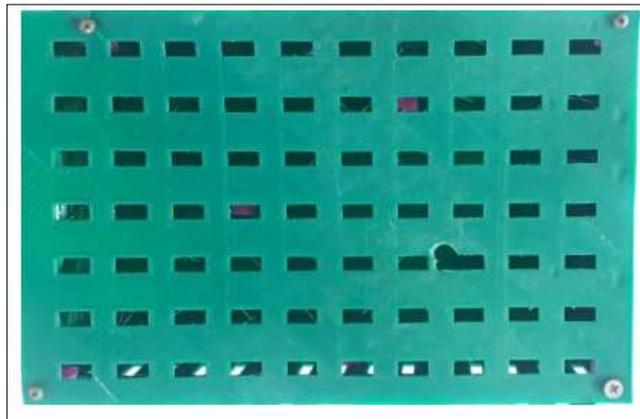


Figura 26-3: Caja de protección del nodo sensor terminada.
 Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

3.8.2. *Caja de protección del nodo coordinador*

La carcasa que resguarda al nodo coordinador posee las siguientes dimensiones: 10 cm de largo por 6 cm de ancho por 5 cm de alto y un grosor de 2 mm, las muescas tienen 3 cm de largo por 1 cm de ancho, su tapa tiene 10 cm de largo por 6 cm de ancho y un grosor de 2 mm, como se muestra en la Figura 27-3, en la que se observa una vista3D de la parte exterior de la caja. En la Figura 28-3 se muestra la carcasa del nodo coordinador terminada y ensamblada.

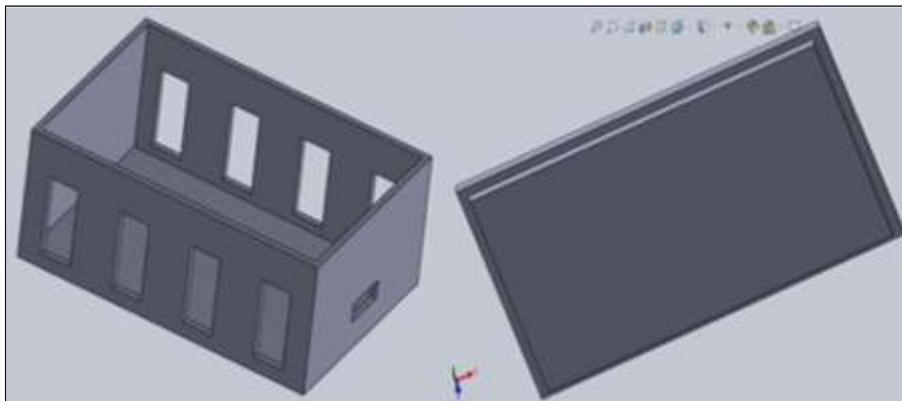


Figura 27-3: Caja de protección del nodo coordinador.
 Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020



Figura 28-3: Caja de protección del nodo coordinador terminada
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

CAPÍTULO IV

4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Introducción

Este capítulo detalla los resultados obtenidos de las pruebas ejecutadas con los dispositivos que conforman el prototipo del prototipo MVRT, se realizaron once pruebas divididas en 3 grupos: caracterización del nodo sensor, de la comunicación inalámbrica y almacenamiento, finalmente el funcionamiento del prototipo.

4.2. Caracterización del nodo sensor

La siguiente evaluación corresponde a los sensores, para comprobar que el prototipo no incorpore un error adicional al sensor y presente estabilidad para lo cual se realizaron las siguientes pruebas: caracterización de las mediciones del sensor, módulo GPS y repetitividad. En la Figura 1-4 se observa el nodo sensor con sus componentes incorporados en la carcasa para brindar una protección adicional.

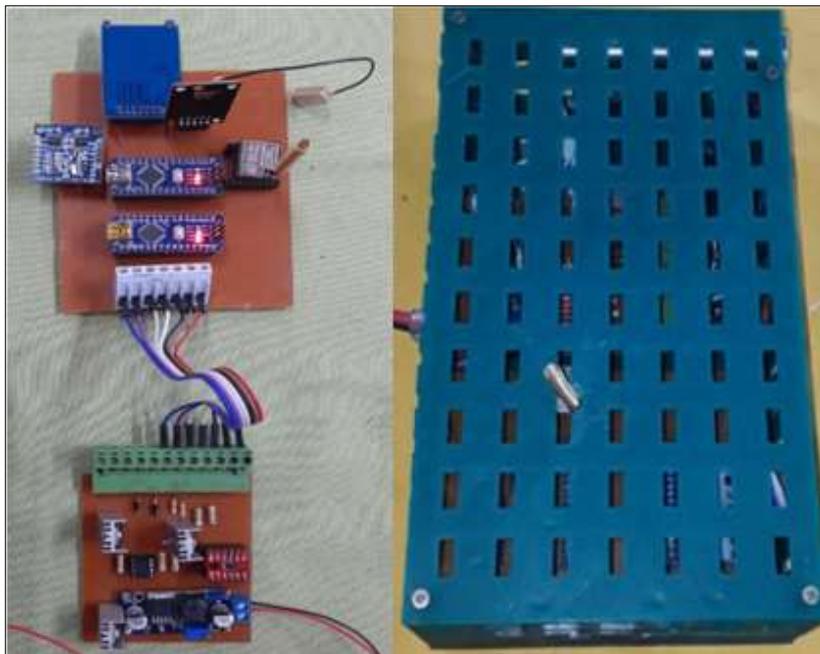


Figura 1-4: Componentes (izquierda) y nodo sensor implementado (derecha).
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

4.2.1. Caracterización de mediciones realizadas por el sensor LVDT

Esta prueba se realizó para determinar si el prototipo no incorpora un error adicional al sensor, el cual viene calibrado de fábrica como se describe en el (Anexo B), se compararon los valores del sensor del prototipo con un micrómetro de marca Mitutoyo, que posee un rango de medición de 0 a 25mm y una precisión de 0.01mm como se muestra en la Figura 2-4. Se compara las mediciones obtenidas en la Tabla 2-4, donde se tomaron 10 muestras del instrumento de medición patrón micrómetro, con respecto al sensor LVDT que tiene una precisión de 0.001mm en base a la ficha técnica proporcionada por el fabricante (Anexo B).



Figura 2-4: Micrómetro Mitutoyo
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Tabla 1-4: Comparación de los datos obtenidos del sensor LVDT del prototipo MVRT con un micrómetro

N° de muestras	Micrómetro (mm)	Sensor (mm)	Margen de error (mm)
1	6	5.9900	0.01
2	5.55	5.5451	0.01
3	4.33	4.3287	0.0013
4	4.18	4.1792	0.0008
5	3.90	3.8979	0.0021
6	3.78	3.7801	-0.0001
7	3.46	3.4598	0.0002
8	2.77	2.7697	0.0003
9	2.12	2.1201	-0.0001
10	1.16	1.1598	0.0002

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De la Tabla 1-4 se observa que el margen de error obtenido de las mediciones, no sobrepasan el error de 0.01mm perteneciente al equipo patrón de referencia. De la prueba realizada se concluye que el prototipo diseñado no incorpora un error adicional al sensor y que es idóneo para medir las fluctuaciones de crecimiento del tallo, satisfaciendo los requerimientos del prototipo.

4.2.2. Caracterización de mediciones realizadas por el Módulo GPS

El objetivo de esta prueba es determinar si el prototipo no incorporar error al módulo GPS, se comparó los valores del módulo NEO 6M del prototipo con el equipo patrón Google Maps con un margen de error de 2 metros. Se tomaron 5 muestras del nodo sensor en diferentes ubicaciones.

Tabla 2-4: Comparación de los datos obtenidos del módulo GPS del prototipo MVRT con el equipo patrón Google Maps.

N° de muestras	Google Maps Android (Latitud - Longitud)	GPS NEO 6M (Latitud - Longitud)	Margen de error (m)
1	0.0200555, -77.3786944	0.0200555, -77.3786946	1.40
2	0.0201453, -77.3786873	0.0201452, -77.3786874	1.30
3	0.0202508, -77.3786901	0.0202509, -77.3786902	1.50
4	0.0206604, -77.3784414	0.0206615, -77.3784420	1.65
5	0.0202456, -77.3781325	0.0202449, -77.3781330	1.27

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De la Tabla 2-4, el margen de error obtenido de las mediciones, no sobrepasan los 2 metros con respecto al equipo patrón de referencia. De la prueba realizada se concluye que el prototipo diseñado no incorpora un error adicional y que es idóneo para el posicionamiento geográfico del nodo sensor.

4.2.3. Repetitividad del nodo sensor

Esta prueba se realizó para poder determinar la estabilidad del prototipo, mediante el coeficiente de variación el cual no debe ser mayor al 7% según (Dane, 2008, p. 5), se tomó 20 muestras del parámetro supervisado durante 16 minutos, los datos recopilados son almacenados en la plataforma IoT y exportados a Excel para su respectivo análisis.

Tabla 3-4: Valores obtenidos para la repetitividad del nodo sensor

N° de muestra	Hora (hh-mm-ss)	Desplazamiento (micras)
1	19:59:28	736.37000
2	20:00:05	736.37000
3	20:01:09	735.77002
4	20:01:58	735.77002
5	20:02:29	736.37001
6	20:03:49	735.77002
7	20:04:24	735.77002
8	20:05:34	736.37002

9	20:06:21	736.37001
10	20:06:54	739.57001
11	20:07:39	739.77002
12	20:08:14	742.16998
13	20:08:49	742.16998
14	20:10:11	742.16998
15	20:10:44	742.37000
16	20:12:07	735.16998
17	20:12:41	735.16998
18	20:13:32	735.16998
19	20:14:52	736.96997
20	20:15:27	736.96997
Media		737.63900
Desviación Estándar		2.64385
Coefficiente de variación		0.4 %

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Los datos del sensor de desplazamiento tienen un coeficiente de variación de 0.4 %, según se observa en la Tabla 3-4, con los resultados obtenidos se concluye que el prototipo MVRT presenta una variabilidad mínima no mayor al 7%, por lo tanto, el prototipo es estable según (Dane, 2008, p. 5).

4.3. Caracterización de la comunicación inalámbrica

Se realizaron tres pruebas las cuales tienen el propósito de determinar la máxima distancia operativa, los datos enviados y recibidos no presenten pérdidas; los valores de intensidad de señal en recepción obtenidos estén dentro de los rangos definidos de comunicación LoRa.

4.3.1. Alcance de la comunicación RF entre los nodos

El objetivo de esta prueba es determinar la máxima distancia operativa entre los nodos. La prueba se realiza tomando 3 muestras separando los módulos a intervalos de 250 metros hasta que no se pueda recibir la señal y se determine la calidad de la misma. Los rangos de distancia en los que funciona la comunicación de la tecnología utilizada se clasifican como: óptima de 0 a 250 m, sin falla, pérdida de comunicación o paquetes, de 250 a 575 m la comunicación es aceptable y estable, de 575 a 750 m es baja, hay algo de retraso, pero no hay pérdida de paquetes, y de 750 a 1500 m sin funcionamiento, no hay comunicación entre nodos como se muestra en la Tabla 4-4, la medición se realizó empleando Google Maps, ubicando los nodos sensor y coordinador, en la vía de acceso hacia Nobeth productos de Finca como se muestra en la Figura 3-4, debido a que presenta condiciones adecuadas para valorar su funcionamiento.

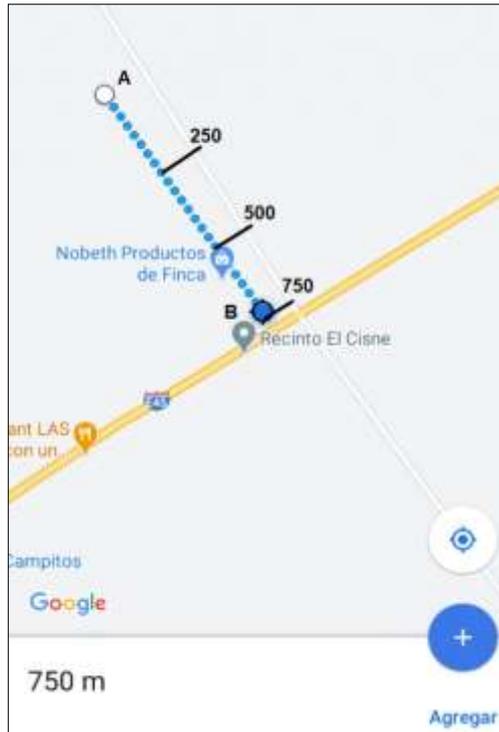


Figura 3-4: Prueba de alcance de la comunicación RF sin interferencia
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

En la Figura 4-4 se observa el alcance de comunicación con interferencia. El nodo coordinador se encuentra en el punto A y el nodo sensor en el punto B dentro de una casa, alcanzando una distancia de 280m sin línea de vista.

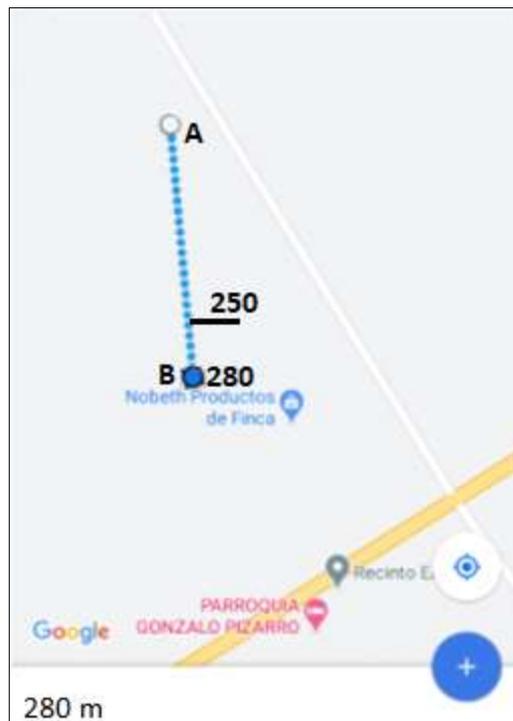


Figura 4-4: Prueba de alcance de la comunicación RF con interferencia
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Tabla 4-4: Distancia de comunicación entre nodos del prototipo.

Distancia (m)	Calidad de la Señal
0-250	Optima
250-575	Aceptable
575-750	Baja
750-1500	No operacional

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De la tabla 4-4, se observa que la distancia máxima aceptable de comunicación entre el nodo sensor y el nodo coordinador es de 575 m con línea de vista y sin interferencias.

4.3.2. Prueba de integridad de datos

Esta prueba se ejecutó para verificar que los datos enviados y recibidos entre el nodo sensor y coordinador no presenten pérdidas. Se lo realizó supervisando los puertos de comunicación serial de los nodos sensor y coordinador mediante Arduino IDE, colocados a una distancia de 256 m entre ellos durante un periodo de dos horas en la Figura 5-4 se observa una evidencia de las pruebas realizadas.

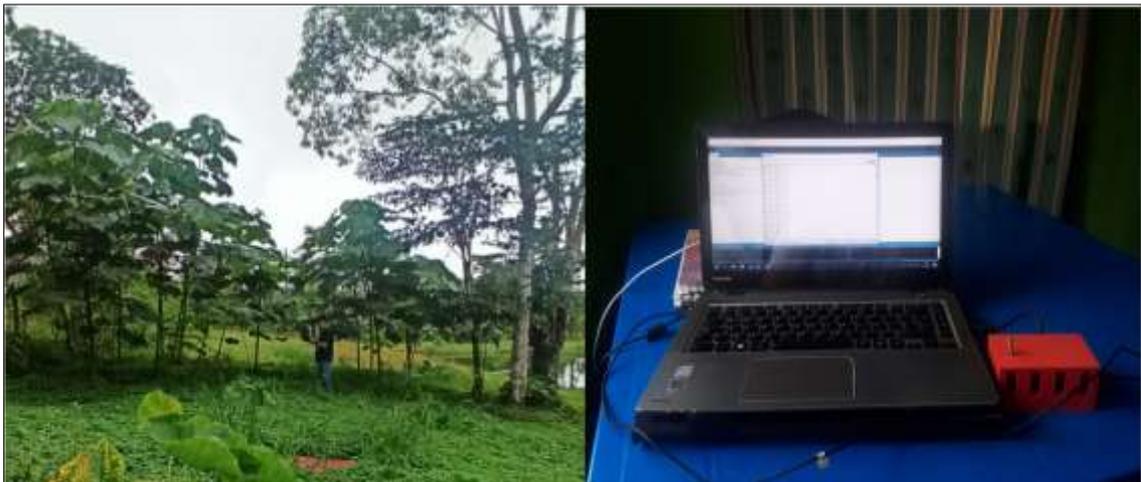


Figura 5-4: Evidencia de las pruebas de comunicación realizadas con el nodo sensor (izquierda) y el nodo coordinador (derecha)

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De la Figura 6-4 se muestra la información enviada del nodo sensor al nodo coordinador a través de la comunicación LoRa, que luego de la supervisión realizada y en base a la comparación de los resultados obtenidos, se confirma que la información transmitida y recibida es correcta, asegurando integridad en los datos comunicados.

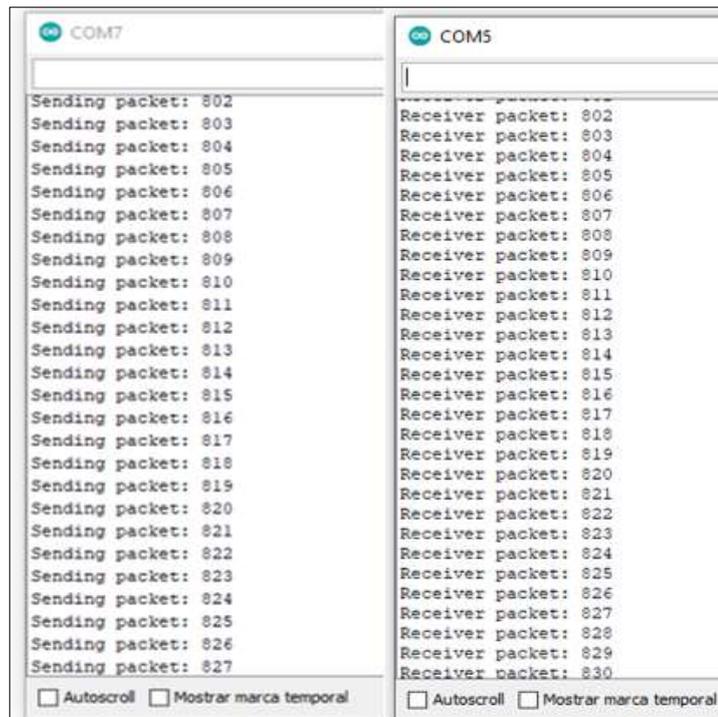


Figura 6-4: Datos enviados por el nodo sensor (izquierda) y datos recibidos el nodo coordinador (derecha)
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

4.3.3. *Parámetros de intensidad de la señal recibida (RSSI) y relación señal/ruido (SNR)*

El objetivo de esta prueba consiste en determinar que los valores máximos y mínimos obtenidos de las 14 muestras de RSSI y SNR dentro de las distancias de comunicación correspondientes a 250m, 500m y 575m no sobrepasen los rangos de RSSI (-30 dBm a -120 dBm) y SNR (-20dB a 10 dB) correspondientes a los rangos aceptables de funcionamiento LoRa, según (CHASILUISA, 2020, pp 74 -75).

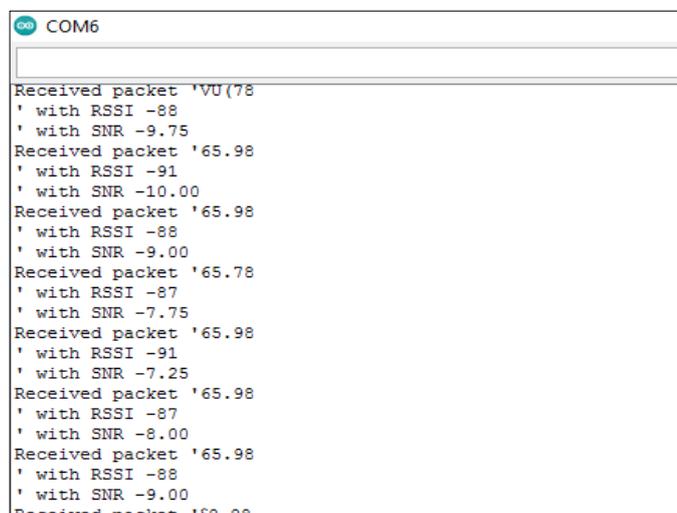


Figura 7-4: Valores RSSI y SNR supervisados en Arduino IDE
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De la Figura 7-4 se observa los valores de RSSI y SNR en el nodo coordinador a través de monitor serie de *Arduino IDE*, que gracias a las librerías de LoRa se pueden imprimir dichos parámetros.

Tabla 5-4: Valores de RSSI y SNR a diferentes rangos de distancia

250m		500m		575m	
RSSI (dBm)	SNR (dB)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
-87	-10.25	-87	-10	-88	-9.75
-89	-8	-88	-7.75	-91	-8.25
-85	-85	-88	-8.25	-89	-8.5
-86	-9.5	-88	-7.25	-91	-10
-88	-9	-90	-6.75	-87	-10
-87	-9	-88	-6.75	-89	-10
-87	-8.75	-90	-7.5	-89	-9.25
-86	-9.25	-86	-8.5	-92	-7.5
-88	-8.5	-90	-8.75	-91	-8.75
-87	-10.75	-88	-9.25	-92	-10.5
-86	-10.75	-90	-8	-94	-8.5
-88	-9.5	-87	-9.25	-89	-10.75
-85	-8	-91	-10	-88	-9.25
-88	-9.75	-88	-9	-91	-8.75

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De la prueba realizada, se observa en la Tabla 5-4 que a distancias de 250m se obtiene un máximo y mínimo de (-89dBm, -85dBm) en RSSI y (-10.75dB, -8dB) en SNR. Para 500m un máximo y mínimo de (-91dBm, -87dB) en RSSI y (-10dB, -6.75dB) en SNR. Para 575m un máximo y mínimo de (-94dBm, -88dB) en RSSI y (-10.75dB, -7.5dB) en SNR. Todos los valores máximos y mínimos obtenidos en cada distancia no sobrepasan el rango definido para SNR y RSSI para una correcta recepción de señal en comunicación Lora lo que, concluye que dichos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables de funcionamiento tanto para RSSI como SNR.

4.4. Caracterización de nodo coordinador

El propósito de esta prueba es verificar el correcto almacenamiento en la plataforma *ThingSpeak*, se realizaron dos pruebas: registro de datos, almacenamiento y visualización en la plataforma. En la Figura 8-4 se observa el nodo coordinador con sus componentes e implementado.



Figura 8-4: Componentes (izquierda) y nodo coordinador implementado (derecha).

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

4.4.1. Registro de datos en ThingSpeak

El propósito de esta prueba es verificar mediante la comparación de la información recibida en el nodo coordinador sea registrada correctamente en la plataforma *ThingSpeak*, a través de la captura de un grupo de nueve datos los cuales son supervisados en el puerto serial del nodo coordinador con monitor serie de *Arduino IDE* y la base de datos en la nube de la plataforma. En la Figura 9-4 se observa una captura de los datos enviados desde el nodo coordinador y de la llegada de los mismos.

COM7	JSON Feed
received packet '1521.92 Datos enviados a thingspeak ' with RSSI -91 ' with SNR 9.00	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:41:43-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28317</entry-id> <field1>1521.92006</field1> <field2 nil="true"/>
received packet '1290.39 Datos enviados a thingspeak ' with RSSI -87 ' with SNR 9.50	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:42:28-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28318</entry-id> <field1>1290.39001</field1> <field2 nil="true"/>
received packet '1178.83 Datos enviados a thingspeak ' with RSSI -91 ' with SNR 9.50	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:43:13-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28319</entry-id> <field1>1178.83996</field1> <field2 nil="true"/>
received packet '1039.07 Datos enviados a thingspeak ' with RSSI -90 ' with SNR 8.75	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:43:58-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28320</entry-id> <field1>1039.06995</field1> <field2 nil="true"/>
received packet '1284.00 Datos enviados a thingspeak ' with SNR 9.25	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:44:53-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28321</entry-id> <field1>1284.00006</field1> <field2 nil="true"/>
received packet '1074.04 Datos enviados a thingspeak ' with RSSI -91 ' with SNR 5.25	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:45:38-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28322</entry-id> <field1>996.89001</field1> <field2 nil="true"/>
received packet '996.89 Datos enviados a thingspeak ' with RSSI -91 ' with SNR 9.25	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:46:23-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28323</entry-id> <field1>1333.78003</field1> <field2 nil="true"/>
received packet '1333.78 Datos enviados a thingspeak ' with RSSI -91 ' with SNR 9.25	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:46:23-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28324</entry-id> <field1>1150.64001</field1> <field2 nil="true"/>
received packet '1150.64 Datos enviados a thingspeak ' with RSSI -91 ' with SNR 8.75	<created-at type="dateTime">2021-01-09T15:47:08-05:00</created-at> <entry-id type="Integer">28324</entry-id> <field1>1150.64001</field1> <field2 nil="true"/>

Figura 9-4: Evidencia de la prueba de registro de datos en el IDE de *Arduino* (izquierda) y en la plataforma *Thingspeak* (derecha).

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De la prueba realizada durante dos horas se concluye que la información enviada por el nodo coordinador a la plataforma *ThingSpeak* es registrada manteniendo un orden de llegada sin perdidas y en tiempo real.

4.4.2. Almacenamiento y visualización en la plataforma *ThingSpeak*

El objetivo es comprobar el almacenamiento y visualización de la información en la base de datos provista por *ThingSpeak*. La plataforma cuenta con ocho canales, cada canal dispone de una serie de campos para guardar datos. En la Figura 10-4 se muestra las diferentes opciones para obtener los respectivos datos guardados.

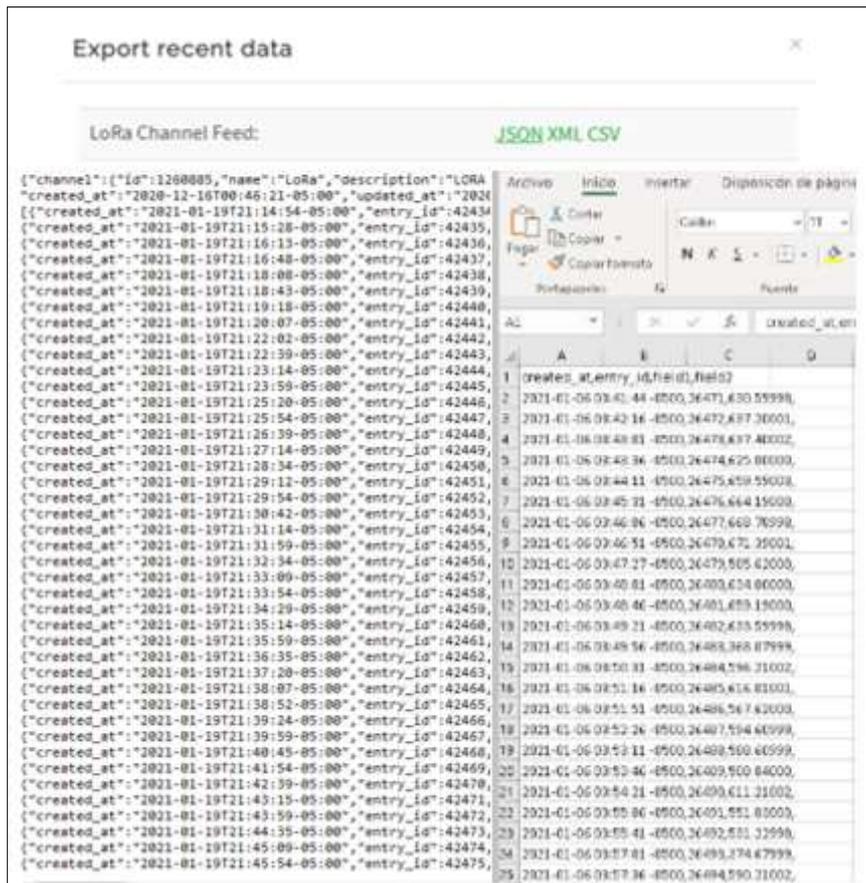


Figura 10-4: Información almacenados en la plataforma *ThingSpeak* con sus formatos de exportación.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

A continuación se exponen los campos que muestran los datos de manera dinámica y detallada de las fluctuaciones obtenidas en tiempo real de las dos horas de observación y la ubicación geográfica del prototipo, por lo cual se corrobora que se visualiza y almacena correctamente, como se muestra en la Figura 11-4.



Figura 11-4: Campos con la información del prototipo MVRT.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

4.5. Prueba de consumo energético del prototipo MVRT

La prueba consiste en determinar si el prototipo mantiene una fuente de alimentación continua para su funcionamiento, sumando las corrientes de los componentes del nodo sensor y coordinador para determinar el consumo máximo de corriente, como se muestra en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Cálculo de duración de la batería.

Nodo	Componente	Voltaje(V)	Corriente(mA)	Potencia(W)	
Sensor	Arduino Nano	5	60	0.4	
	Módulo Lora sx1278	3.3	1.8	0.006	
	Módulo GPS	5	55	0.28	
	SD Card	5	25	0.13	
	Sensor LDVT	±15	±20	0.6	
	Corriente Requerida del Nodo Sensor			181.8 mA	
Potencia Requerida del Nodo Sensor			1.416 W		
Coordinador	Node MCU8266	5	12	1	
	Módulo Lora sx1278	3.3	1.6	0.005	
	Corriente Requerida del Nodo Coordinador			13.6 mA	
	Potencia Requerida del Nodo Coordinador			1.005 W	
Consumo de potencia total del prototipo MVRT				2.421 W	
Consumo de corriente total del prototipo MVRT				195.4 mA	
Capacidad de la batería			9000mA		
Duración de la batería en Horas		(capacidad de la batería/consumo del dispositivo) (12*9000mA/12*181.8mA) = 50 horas			

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

En base a la Tabla 6-4 se determina que la batería puede alimentar al prototipo durante un tiempo de 50 horas continua, ya que el consumo de corriente del nodo sensor representa el 93% del total, por tal motivo se emplea un panel solar de 20W que tendrá un controlador de carga que mantendrá los niveles admisibles máximos y mínimos (12.7V - 11.6V) de la batería según (Damia, 2015), con esto se garantiza la autonomía del prototipo, cumpliendo con los requerimientos planteados.

4.6. Funcionamiento del prototipo MVRT

El objetivo de esta prueba es comprobar el funcionamiento del prototipo, mediante el montaje de los nodos, sensor y coordinador del prototipo, además de la supervisión de las variaciones radiales diarias del tronco del árbol de balsa, determinando la máxima contracción diaria (MCD) y la tasa de crecimiento del tronco (TCT). Para el montaje el nodo sensor se instaló en un árbol de Balsa como lo sugiere las técnicas de medición de diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30m desde el suelo y el nodo coordinador se instaló cerca de un punto de acceso *WiFi* a una altura de 6 metros, estos se encuentran separados una distancia de 256 metros con línea de vista como se observa en la Figura 12-4 a través de *Google Earth*. La Tabla 7-4 muestra los datos de ubicación del prototipo MVRT, conformado por el nombre de la provincia, cantón y Sector.

Tabla 7-4: Ubicación del prototipo.

Provincia	Sucumbíos
Cantón	Gonzalo Pizarro
Sector	Gonzalo Pizarro
Referencia	Vía al Relleno Sanitario
Coordenadas	0°02'49"N - 77°19'22"O

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

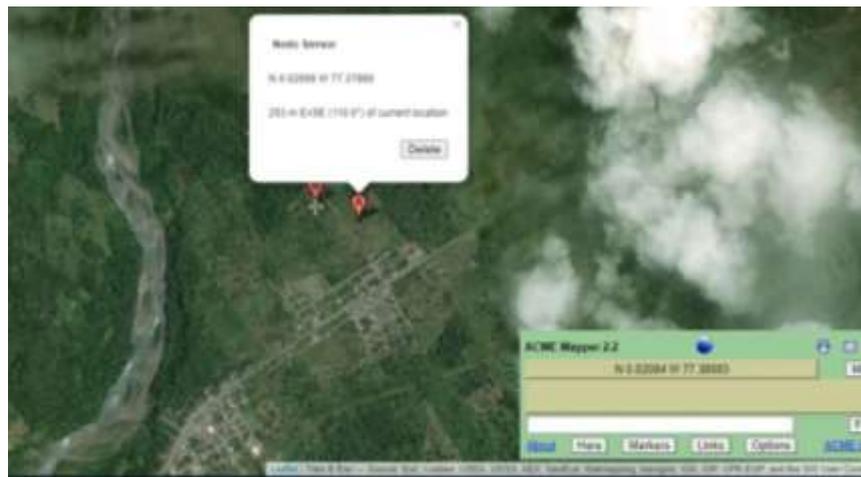


Figura 12-4: Ubicación de los nodos del prototipo MVRT.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

En la Figura 13-4, se muestra el prototipo implementado y en funcionamiento, en la parte superior se realiza la implementación del prototipo y en la parte inferior el prototipo ya implementado horas después.



Figura 13-4: Implementación del prototipo (arriba) y prototipo en funcionamiento (abajo)
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

En la supervisión que se realizó durante dieciocho días se tomó como muestra el promedio obtenido en 72h de monitoreo continuo para calcular los indicadores MCD y TCT, como se observa en el Gráfico 2-4.

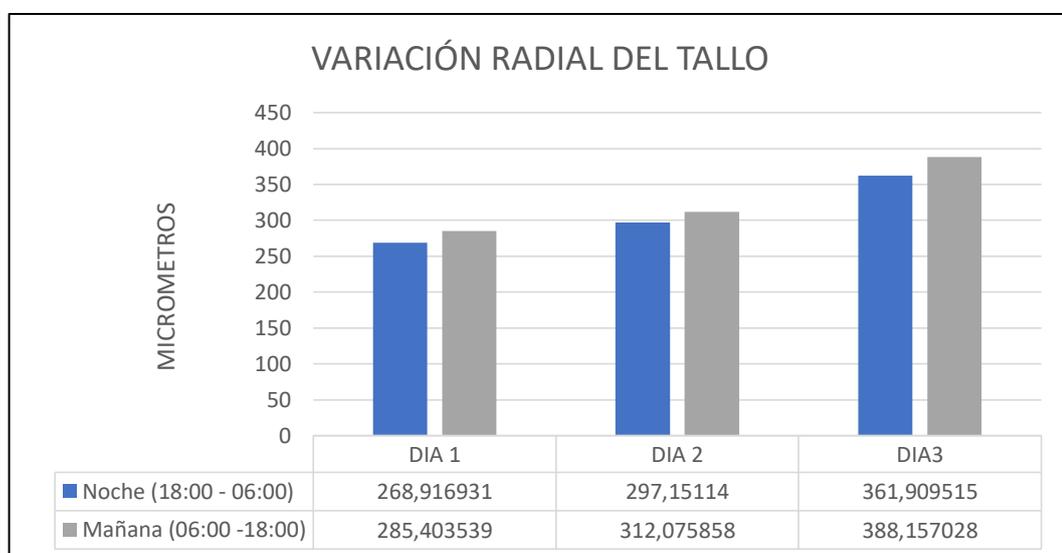


Gráfico 2-4: Indicador de la variación radial del tallo.
Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

De la Grafica 2-4 se muestra los valores promedio obtenidos en la noche y mañana de cada día representados en las columnas de color azul y gris respectivamente.

- Para el día 1 se registra un valor de 268,916931 micras en la noche y un incremento hasta 285,403539 micras en la mañana.
- Para el día 2 se registra un valor de hasta 297,15114 micras en la noche mientras que en la mañana aumenta hasta las 312,075858 micras.
- Para el día 3 la variación radial del tallo ha aumentado hasta las 361,909515 micras para la noche y terminando con 388,157028 micras en el crecimiento radial del tallo.

$$MCD = \text{Mañana} - \text{Noche} \quad (1-4)$$

$$MCD = 285.403539 \mu m - 268.916931 \mu m$$

$$MCD = 16,486608 \mu m$$

$$TCT = \text{Mañana 2} - \text{Mañana 1} \quad (2-4)$$

$$TCT = 312.075858 \mu m - 285.403539 \mu m$$

$$TCT = 26,672319 \mu m$$

Analizando los resultados obtenidos de la ecuación 1-4 y 2-4, se concluye que existe una dilatación en el día 1 de 16.486608 micras y una tasa de crecimiento en el tallo de 26.672319 micras entre el día 1 y día 2.



Gráfico 3-4: Visualización de los datos supervisados.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

El monitoreo empezó el 26 de diciembre del 2020 hasta el 13 de enero del 2021, en consecuencia, dentro de los 18 días se observa que el tallo tiene un crecimiento radial de 1090.37 micras. Cada punto en la Gráfica 3-4, representa un promedio diario de todos los datos monitoreados por el sensor y que se suben a la plataforma *Thingspeak*, la cual permite a su vez visualizar de forma ordenada e interactiva los datos para un mejor análisis de estos. Del montaje realizado y la

supervisión de las variaciones radiales diarias del tronco se determina que el prototipo en conjunto no presenta problemas en el funcionamiento, cumpliendo con los requerimientos planteados.

4.6.1. Escalabilidad de prototipo.

El propósito de esta prueba es determinar el número de nodos que soportaría la red de topología estrella con tecnología LoRaWAN mediante el análisis de la tasa de extracción de datos o DER (Data Extraction Rate), definida en la ecuación 3-4 como la división entre del número de paquetes recibidos y el número total de paquetes enviados. Se simuló tres redes de 20, 60 y 100 nodos finales conectados a una puerta de enlace en un tiempo de 30 minutos, basado en el simulador de red Omnet++ 5.4.1 con FloRa (Framework para LoRa) como se observa en la Figura 14-4

$$DER = \frac{\text{Paquetes recibidos}}{\text{Paquetes enviados}} \quad (3-4)$$

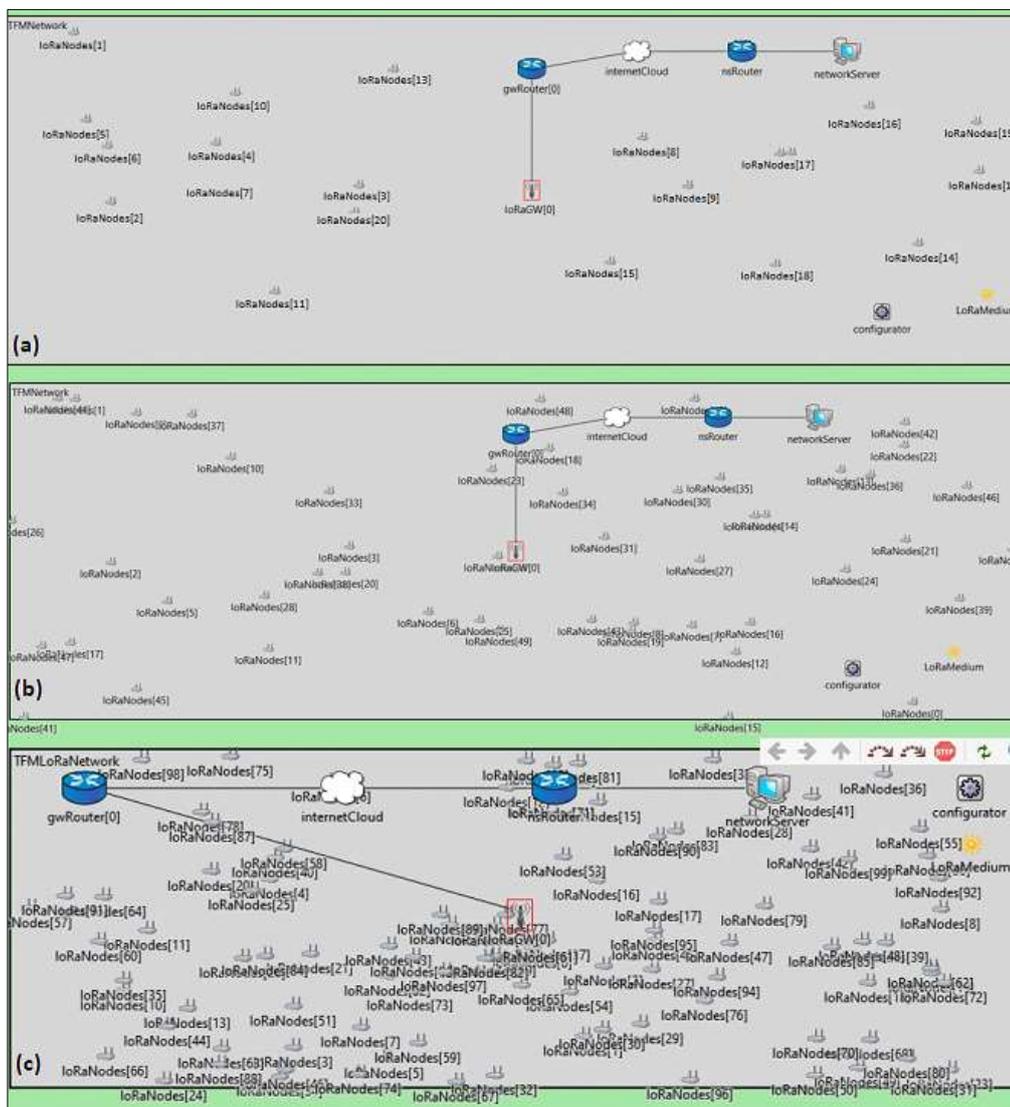


Figura 444-4: Simulación de topología estrella en entorno FLoRa con 20(a), 60(b), y 100(c) nodos.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

De la Tabla 8-4 se observan los datos obtenidos de la simulación FloRa, los cuales son: el total de paquetes enviados (donde cada nodo envía 240 paquetes), el total de paquetes recibidos correctamente por la puerta de enlace de la red y el número de colisiones producidas. El DER (*Data Extraction Rate*) se calculó mediante la relación establecida en la ecuación 3-4, donde este es un valor comprendido entre 0 y 1; cuanto más cerca este el valor de 1, más efectivo será el despliegue de la red LoRa, en una implementación perfecta, se esperaría un DER = 1, según (Dólera, 2019).

Tabla 8-4: Resultados de la simulación FLoRa.

Nodos	Paquetes Enviados	Paquetes Recibidos	Colisiones	DER
20	4800	4416	364	0.92
40	9600	8352	1177	0.87
60	14400	10368	3898	0.72
80	19200	12480	6259	0.65
100	24000	13440	10013	0.56

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Según la métrica DER señala que, para que una red se desarrolle en condiciones viables la tasa de extracción de datos no debe ser menor a 0.7, además se considerando que un valor de DER mayor a 0.9 sería lo más óptimo según (Dólera, 2019).

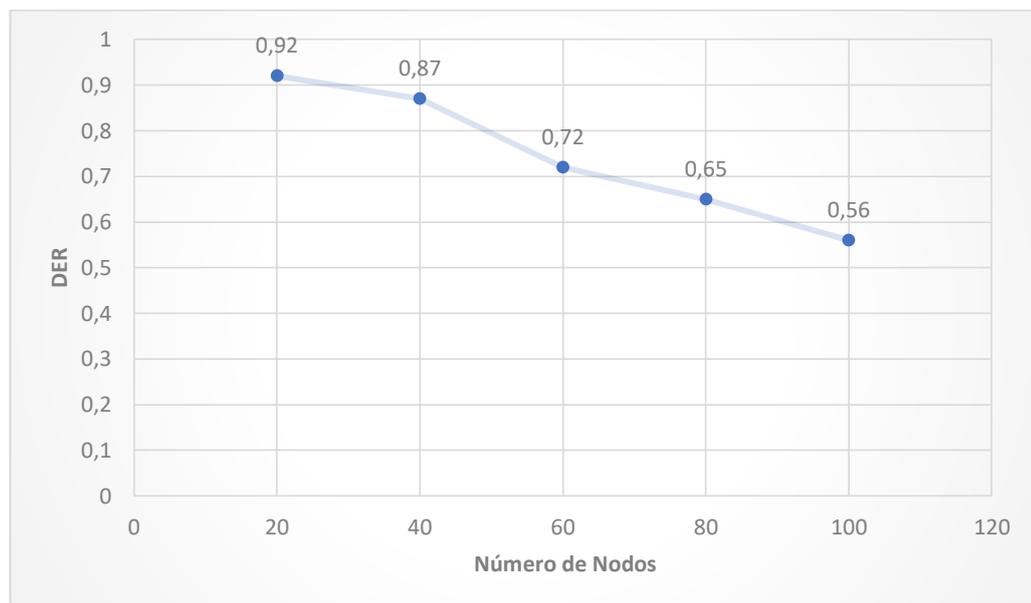


Gráfico 3-4: DER con respecto al número de nodos.

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020

Al analizar el Gráfico 1-4 se determina que bajo la métrica de la tasa de extracción de datos el número de nodos conectados correspondería a 60 nodos aproximadamente, considerando un DER mayor a 0.7, lo que garantiza que la red es viable. Al ir aumentando el número de nodos de la red, el DER tiende a disminuir debido que al tener más nodos el número de colisiones es mayor, lo que produciría mayor pérdida de paquetes.

4.7. Análisis económico del prototipo MVRT

La Tabla 9-4 enumera los presupuestos económicos de los distintos componentes que componen el prototipo MVRT implementado. Para obtener los resultados del análisis, se debe considerar el costo de todos los equipos adquiridos, algunos de los cuales incluyen los costos de transporte.

Tabla 9-4: Presupuesto económico del prototipo MVRT implementado.

Nodo del prototipo MVRT	Dispositivo Cantidad Costo	Cantidad	Costo
Nodo Sensor	Tarjeta de desarrollo Arduino nano	2	\$60
	Sensor LVDT	1	\$550
	Panel solar	1	\$80
	Regulador de voltaje solar	1	\$20
	Módulo Lora sx1278	1	\$30
	Explorer USB	1	\$10
	Sd card	1	\$10
	Batería seca 12v-9Ah	1	\$30
	Cables de conexión	1	\$5
	Ensamblaje	1	\$40
	Módulo GPS Neo 6	1	\$25
	Placa PCB	1	\$50
	Total, del Nodo Sensor		
Nodo Coordinador	Módulo Lora sx1278	1	\$30
	NodeMCU ESP 8266	1	\$15
	Cables de conexión	1	\$5
	Ensamblaje	1	\$10
	Total, del Nodo Coordinador		
Costo Total del prototipo MVRT			\$970

Realizado por: Cuenca, G. & Valdivieso, C. 2020.

Se determina que el costo total del prototipo implementado es de \$ 970, que comparado con un proceso manual de medición corresponde a un 60% menos y con respecto a un dispositivo comercial de similares características como el ZN11-T-2IP según (ZWEIFEL), se obtiene un 52% de ahorro, lo que implica que el prototipo es de bajo costo.

CONCLUSIONES

Se implementó un prototipo de red WSN que permite la monitorización de las variaciones del crecimiento radial en tallos de árboles, mismo que cuenta con una topología estrella, con un nodo sensor y un nodo coordinador que trabajan con protocolo LoRaWAN y *WiFi*. Emite una notificación de alerta desde la plataforma IoT hacia el móvil registrado cuando las variaciones sean mayores o igual a un determinado rango establecido.

Mediante la prueba de comunicación RF entre los nodos del prototipo, se comprueba que el alcance obtenido es de 575 metros en línea de vista y 280 metros sin línea de vista, con la antena espiral primavera la cual viene por defecto en el módulo de comunicación, además se determinó que todos los valores máximos y mínimos obtenidos en cada distancia (250m,500m,575m) no sobrepasan el rango definido para RSSI (-30 dBm a -120 dBm) y SNR (-20dB a 10 dB) para una correcta comunicación según los datos técnicos de LoRa .

Se diseñó la estructura adecuada para el prototipo propuesto, tomando en cuenta las condiciones ambientales en las que van a estar expuestos los dispositivos para la implementación del prototipo de monitoreo del crecimiento radial de tallos, el mismo que es capaz de recolectar datos para dar a conocer las fluctuaciones diarias, además de su autonomía y bajo consumo energético, por lo que su batería puede durar aproximadamente 50 horas continuas.

De las pruebas de funcionamiento realizado en 18 días se observó que el tallo árbol de Balsa tuvo un crecimiento radial de 1090.37 micras, con lo cual, se concluye que el árbol tiene un crecimiento acorde al tiempo de monitoreo tomando como referencia estudios realizados a la misma especie en Ecuador.

Por simulación se determinó que la topología estrella con tecnología LoRaWAN está en condiciones de integrar redes de hasta 60 nodos en base a la métrica DER (*Data Extraction Rate*) de 0.7 lo que garantiza que la red es viable y que permite supervisar bosques de hasta 6 hectáreas en línea recta.

Se determina que el prototipo implementado corresponde a un 60% de ahorro, con respecto a procesos manuales y un 52% comparado con dispositivos comerciales, esto implicaría que el prototipo implementado es de bajo costo.

RECOMENDACIONES

Ampliar la ventana de tiempo de ejecución de pruebas para así, en base a una mayor cantidad de datos obtenidos poder establecer mejoras de diseño e incluso llegar a patentar y producir el prototipo implementado.

Se recomienda estudiar la posibilidad de incorporar al prototipo nuevos parámetros de medición como la humedad, temperatura, altura del fuste los cuales influyen en gran medida en el crecimiento y comportamiento del árbol, lo que a futuro generaría una mejora en la calidad del árbol por el aumento de variables analizadas.

Para ampliar la distancia de alcance se recomienda reemplazar el módulo LoRa Ra-01 SX1278 del nodo coordinador por el módulo LoRa SX1301 puesto que el mismo brinda mejores prestaciones en cuanto a la potencia máxima de salida de 25dBm, con una antena por defecto de 5dBm de ganancia.

Para garantizar la seguridad de la información se recomienda estudiar las posibles vulnerabilidades en la encriptación AES 128 que brinda la tecnología LoRaWAN en la recepción y transmisión de datos en cada una de sus capas, orientada al IoT.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ADC	Analogic Digital Converter (Conversor Analógico/Digital)
AES	Advanced Encryption Standard (Estandar Avanzado De Encriptacion)
AGM	Absortion Glass Mat (Absorcion De Estera De Vidrio)
API	Application Programming Interface (Interfaz De Programación De Aplicaciones)
CSS	Chirp Spread Spectrum
DPSK	Differential Phase Shift Keying (Modulación Por Desplazamiento Diferencial De Fase)
FDMA	Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple Por División De Frecuencia)
FDT	Fluctuacion Diaria De Tronco
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying (Modulación Por Desplazamiento De Frecuencia Gausiana)
GPS	Sistema De Posicionamiento Global
GSM	Sistema Global De Comunicaciones Móviles
IDE	Integrated Development Environment (Entorno De Desarrollo Interactivo)
IEEE	Institute Of Electrical And Electronics Engineers (Instituto De Ingenieros Eléctricos Y Electrónicos)
IFTTT	If This Then That (Si Esto Entonces Lo Otro)
IoT	Internet Of Things (Internet De Las Cosas)
ISM	Industrial, Scientific And Medical Frequency Band (Banda De Frecuencia Para El Área Industrial, Científica Y Médica)
LAN	Local Area Network (Red De Área Local)
LoRa	Long Range Modulation (Modulación De Espectro Expandido)
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network (Red De Área Amplia De Baja Potencia)
LTE	Long Term Evolution (Evolución A Largo Plazo)
LVDT	Linear Variable Differential Transformer (Transformador Diferencial Lineal Variable)
MCD	Maxima Contraccion Diaria
MISO	Master Input Slave Output (Salidad De Datos Del Esclavo Y Entrada De Datos Al Máster)
MOSI	Master Output Slave Input (Salida De Datos Del Máster Y Entrada De Datos Del Esclavo)
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport (Protocolo De Comunicación M2M (Machine-To-Machine) De Tipo Message Queue.)
NB-IoT	Narrow Band Iot
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (Acceso Múltiple Por División De Frecuencia Ortogonal)
PCB	Printed Circuit Board (Placa De Circuito Impreso)
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying (Modulación De Onda Cuadrada De Portadora Suprimida)
RF	Radio Frequency (Radio Frecuencia)
RTC	Real Time Clock (Reloj En Tiempo Real)
SCK	Serial Clock (Reloj Serial)
SCL	Clock Line (Linea De Pulsos De Reloj)
SDA	System Data (Sistema De Datos)
SPI	Serial Peripheral Interface (Interfaz Perifereal Serial)

TCT	Tasa De Crecimiento Del Tronco
UNB	Banda Ultra Estrecha (Ultra Narrow Band)
WSN	Wireless Sensor Networks, (Redes De Sensores Inalambricos)

BIBLIOGRAFÍA

AGUERRE, Francisco; et al. Desarrollo de un dendrómetro prototipo para su aplicación en Redes de Sensores Inalámbricos. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay. 2013. [Consulta: 9 de Abril 2020]. Disponible en: <https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2013/AGR13/AGR13.pdf>

ANDRADE, Rodrigo de Oliviera. Conicit. [blog] [Consulta: 19 de Julio 2020]. Disponible en: http://www.conicit.go.cr/prensa/boletincyt/boletines_cyt/boletin_194/Scidevnet-3.aspx

ASADOBAY SINALUISA, María Isabel & PACA AUCANCELA, Adriana Estefanía. Propuesta de un Prototipo de Nodos Inteligentes Integrables a una Red Inalámbrica para Supervisión en Línea de Contaminantes del Aire. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. [Consulta: 13 de Abril de 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10963/1/98T00235.pdf>

BASANTES MORALES, Emilio Rodrigo. “Silvicultura y fisiología vegetal aplicada”. Universidad de las Fuerzas Armadas. [En línea], 2016. [Consulta: 28 de Febrero de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11686/1/Silvicultura.pdf>

BENJAMÍN, José Antonio & MASERA, Omar. “Madera y Bosques”. Redalyc. [blog], 2001. [Consulta: 28 de Junio de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>.

BORELLI, Simone. “Ciudades arbóreas del mundo”. FAO. [blog] 2020. [Consulta: 20 de Junio de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/urbanforestry/en/>.

CANTUÑA ESCALANTE, Katherine Lizeth & SATIÁN GUAMÁN, Daniela Fernanda. Análisis de Rendimiento de la Tecnología LoRaWAN Aplicado al Desarrollo de un Sistema de Monitoreo de Calidad de Aire en la Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol Riobamba (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. [Consulta: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11026/1/98T00246.pdf>

CARLBER, Lucas & SHAMON, Olivia. “*Integration Platforms*” LIU-IDA [blog]. [Consulta: 29 de Junio de 2020]. Disponible en: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1429403/FULLTEXT01.pdf%20pag%2013>

CERVANTES PORTERO, David. Aplicación de Comunicaciones Inalámbricas LPWAN para Detección de Incendios Forestales Basados en Sistemas IoT. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2018. [Consulta: 8 de Marzo de 2020]. Disponible en: http://oa.upm.es/53120/1/TFG_DAVID_CERVANTES_PORTERO.pdf.

CHASILUISA MACIAS, Richard Javier. Diseño Y Construcción De Un Sistema Automático De Control Y Monitorización Del Microclima De Un Invernadero Para El Cantón Penipe-Chimborazo. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Nacional De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. [Consulta: 11 de Enero de 2021]. Disponible en: http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7098/4/8.Trabajo_de_titulaci%C3%B3n%20%28%29.pdf

CHICO MORALES, Inti Javier. Sistema electrónico de seguridad que alerta y previene accidentes de bebés que ocurren cuando empiezan a moverse independientemente basado en la plataforma Arduino. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Técnica de Norte, Ibarra, Ecuador. 2017. [Consulta: 13 de Marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7390/1/04%20RED%2017%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>.

CHIPSKEY. *ADS1118 16-bit ADC* [blog]. [Consulta: 19 de Abril 2020]. Disponible en: <https://www.chipskey.cc/ads1118-16bit-adc-adc-spi-communication-module-development-board-p-5170.html>.

CRESPO, Enrique. *Arduino y LoRaWAN*. *Aprendiendoarduino* [blog]. [Consulta: 11 de Septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.aprendiendoarduino.com/2018/03/07/arduino-y-lorawan/#comments>.

CORVO, Helmut. *Topología de anillo: características, ventajas, desventajas* [blog]. [Consulta: 12 de Abril 2021]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/topologia-de-anillo/>.

Damia Solar. “Conoce el nivel de carga de una batería solar según su voltaje” [En Línea], 2015. [Consulta: 18 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/nivel-de-carga-bateria-solar-segun-su-voltaje_1

DANE, Estimación e interpretación del coeficiente de variación de la encuesta censal censo general 2005-CGRAL [blog]. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/censo/est_interp_coefvariacion.pdf.

DA PAZ TEIXEIRA, José Olavo. Una Red de Sensores para las Smart Cities. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Complutense Madrid, Madrid, España. 2015. [Consulta: 5 de Abril de 2020]. Disponible en: https://eprints.ucm.es/34796/1/Memoria_Final_TFM_Jose_Teixeira.pdf

DIAZ, Yanira; et al. “Fluctuaciones del diámetro del tronco como indicador de estrés en frutales y su uso en el manejo del riego”. ResearchGate [En línea], 2015. [Consulta: 21 de Noviembre de 2020]. ISSN 1819-4087. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/292552733_Fluctuaciones_del diametro_del tronco como como indicador del estres en frutales y su uso en el manejo del riego.

DIÉGUEZ, Ulises; et al. “Prácticas de dasometría”. ResearchGate [En línea], 2005. [Consulta: 20 de Marzo de 2020]. ISSN 84-96351-17-3. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Alberto_RojoAlboreca/publication/305640101_Practicas_de_dasometria/links/5797266408ae33e89faea3f8/Practicas-de-dasometria.pdf.

DIVYA, P; et al. “Arduino Based Obstacle Detecting System” SSRN [En línea], 2020. [Consulta: 26 de Junio de 2020]. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3621950

DÓLERA, Alberto Andreu. Modelado de Redes LoRaWAN Aplicadas a la Conservación Preventiva de Patrimonio Cultural. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 2019 [Consulta: 14 de Abril 2020]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/127816/Andreu%20-%20Modelado%20de%20redes%20LoRaWAN%20aplicadas%20a%20la%20conservaci%C3%B3n%20preventiva%20de%20patrimonio%20cultural.pdf?sequence=1>

DOUDOU, Li. “Tree growth patterns and diagnosis of water status based on trunk diameter fluctuations in fast-growing Populus tomentosa plantations” [En línea]. [Consulta: 20 de Agosto de 2020]. Disponible en: <https://sci-hub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377420307587>

FERNÁNDEZ, R; et al. “Redes Inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica” ResearchGate [En línea], 2009. [Consulta: 4 de Abril de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/260265697_Redex_Inalambricas_de_sensores_teoría_y_aplicación_práctica

FERNÁNDEZ, Yúbal. “Qué es IFTTT y cómo lo puedes utilizar para crear automatismos en tus aplicaciones” Xataka. [En línea], 2019. [Consulta: 28 de Enero de 2020]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-ifttt-como-puedes-utilizar-para-crear-automatismos-tus-aplicaciones>

FINDYSOLAR. *20W 18V Poly Solar Module* [blog]. [Consulta: 5 de junio 2020]. Disponible en: <http://www.findysolar.com/20W-18V-Photovoltaic-Panel.html>

FLOR BLANCO, Ivan. Diseño y desarrollo de un sistema de adquisición de datos autónomo basado en Arduino para su utilización en campo. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 2019. [Consulta: 10 de Abril de 2020]. Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/127264/ANEJOS.%20IvA%C2%A1n_de_la_Flor_Blanco.%20Septiembre_2019_15677080524968617416832106907182.pdf

GIRÓN, Moriana, et al. “El uso de la máxima contracción diaria del tronco como indicador en la programación del riego de la aceituna de mesa”. Idus [En línea]. [Consulta: 14 de junio 2020]. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/36158/EI%20uso%20de%20la%20m%C3%A1xima%20contracci%C3%B3n%20diaria%20del%20tronco.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20datos%20empleados%20para%20caracterizar,entre%20dos%20m%C3%A1ximos%20días%20consecutivos>

G.I.S. ibérica. *Barrenas Pressler* [blog]. [Consulta: 12 de Marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.gisiberica.com/BARRENAS%20FORESTALES/BS001.htm>

GUAÑA MOYA, Edison Javier. Diseño de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2016. [Consulta: 23 de Marzo de 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16809>.

GUILCAPI QUISNANCELA, Lisbeth Marcela & OROZCO VALENCIA Robert Mauricio. Diseño y construcción de un prototipo de red inalámbrica para la gestión y facturación

de comandas en tiempo real, aplicado en la implementación de bares-restaurantes inteligentes. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. [Consulta: 18 de Marzo de 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13763/1/98T00273.pdf>

GUSQUI BEJERANO, Yessenia Alexandra. Diseño de un prototipo de red WSN para el monitoreo del nivel de contaminación de CO₂ existente en el centro de la ciudad de Riobamba. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. [Consulta: 18 de Abril de 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8001>.

HERNÁNDEZ CABALLERO, Silvia. Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Abierta de Cataluña, España. 2020. p.1. [Consulta: 5 de Enero de 2021]. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>

JEFRIYANTO, Wilson, et al. “Development of LVDT (Linear Variable Differential Transformer) sensor as land displacement sensor”. En Journal of Physics: Conference Series [En Línea] 2020. [Consulta: 9 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1528/1/012041/pdf>

KESHTGARI, Manije & DELJOO, Amene. “A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology”. Scientific Research [En Línea]. 2012. [Consulta: 3 de abril de 2020]. Disponible en: [Consulta: 29 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>

KUMAR, Koma, et al. “An Effective Moisture Control based Modern Irrigation System (MIS) with Arduino Nano”. 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS). IEEE, [En Línea] 2019. [Consulta: 22 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://scihub.scihubtw.tw/https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8728446>

LÓPEZ, Magaly Nataly & QUIÑONEZ SINISTERRA, José Antonio. Diseño e Implementación de un Prototipo de una Red Inalámbrica con Nodos Inteligentes como Ayuda para el Manejo y Selección de Cultivos en Cielo Abierto. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. [Consulta: 22 de Abril

de 2020]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9152/5/98T00205.pdf>

LOZANO, Luis Alfredo, et al. “Estimación del crecimiento diamétrico, de *anacardium excelsum* (kunth) skeels, por medio de modelos no lineales, en bosques naturales del departamento del Tolima” [En Línea]. [Consulta: 22 de Febrero de 2021]. Disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a02.pdf>

MANOTAS CAMPOS, Jessica Julieth & MARTINEZ MARIN, Nicolas. Exploración de las Plataformas IoT en el Mercado para Fomentar el Conocimiento, buen uso y efectividad de los Dispositivos IoT. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano, Bogota, Colombia. 2018. [Consulta: 26 de Mayo de 2020]. Disponible en:
https://alejandria.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/1215/Documento_Trabajo_Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=

MANTECH. *Arduino Nano* [blog]. [Consulta: 16 de abril 2020]. Disponible en:
<http://www.mantech.co.za/datasheets/products/a000005-6s.pdf>

ARBOLEDA ACOSTA, Mauricio. “Estadísticas digitales Ecuador 2021 por Datareportal” BrandEC. [En Línea] 2021. [Consulta: 20 de Febrero de 2021]. Disponible en:
<https://www.hablemosdemarcas.com/estadisticas-digitales-ecuador-2021/>

MARTÍNEZ DE DIOS, Jose. “Sensores”. Universidad de Sevilla [En Línea]. [Consulta: 8 de Abril de 2020]. Disponible en: <http://www.esi2.us.es/~jdedios/assignaturas/Sensores.pdf>

MEDINA POWELL, Kenny Jossel. Desarrollo de un prototipo digital de un Dendrómetro, para el monitoreo del crecimiento radial del tallo en un árbol de Teca, para la empresa MLR-Forestal. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua. 2019. [Consulta: 24 de marzo 2020]. Disponible en: <http://ribuni.uni.edu.ni/2685/1/93268.pdf>

MEKKI, Kais; et al. “A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment”. ScienceDirect [En Línea] 2019. [Consulta: 5 de Abril de 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>

MÉNDEZ BLANCO, Pablo. Desarrollo de un Sistema de Transmisión de Vídeo con Módulos Wifi. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

2016. [Consulta: 23 de abril 2020]. Disponible en:
http://oa.upm.es/43935/1/TFG_PABLO_MENENDEZ_BLANCO.pdf

MORALES CADENA, Johmayra Cecibel. Diseño e implementación de un prototipo de sistema electrónico para vehículos en caso de asalto con dispositivos gps dentro del distrito metropolitano de Quito. (Trabajo de Titulación.) [En línea]. Universidad Tecnológica Israel, Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 17 de Julio de 2020]. Disponible en:
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/697/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-118.pdf>

MUST. “Manual Usuario Regulador Carga Solar PWM 10A”. Autosolar. [En Línea]. [Consulta: 16 de abril 2020]. Disponible en: <https://autosolar.es/pdf/MANUAL-REGULADOR-PWM10-20-30-MUST.pdf>

NINAZUNTA ANAGUANO, Mayra Celina. “Efecto de los vecinos más cercanos y el hábitat en el crecimiento y biomasa de la palma oligárquica *Iriartea deltoidea*” (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013. [Consulta: 3 de marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5769/T-PUCE-5925.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PALACIOS FRISANCHO, Gianmarco. Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de cultivos nativos utilizando Internet del Todo y redes Fog. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, P. 2017. [Consulta: 8 de Abril de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5945>

PALACIOS LLERENA, Marco Antonio. DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN BASADA EN REDES WSN Y ESPECIALIZADA EN MONITOREO DE PRODUCCIÓN DE ROSAS. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolqui, Ecuador. 2017. [Consulta: 1 de Abril de 2020]. Disponible en:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13549/1/T-ESPE-057415.pdf>

PURATA, Silvia; et al. “Manual para el Monitoreo Comunitario del Crecimiento de Árboles”. ResearchGate [En línea], 2016, [Consulta: 19 de Marzo de 2020]. ISSN 978-1-4951-9891-5. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/299462078_Manual_para_el_Monitoreo_Comunitario_del_Crecimiento_de_Arboles.

RAJU, Varada; et al. “An environmental pollution monitoring system using LORA”. International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS). IEEE, [En Línea] 2017. [Consulta: 25 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8390115>

REDLER, James. “Why Publishers & Brands Use Web Push Notifications to Grow Their Audiences”. Pushly, [En Línea] 2020. [Consulta: 2 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://blog.pushly.com/why-publishers-and-brands-leverage-web-push-notifications-to-grow-their-audiences>

ROCA GUILLÉN, Salvador. Tratamiento Automático de Datos de una Red de Sensores de Uso Agrícola. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia. 2015. [Consulta: 11 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5264/tfg643.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20%20%20p%C3%A1g.%2012>

ROQUE MAZA, Liliana Isabel & GRANDA REYES, Edgar Ramiro. “Diseño y construcción de nodos integrables a una red de tele medición de parámetros eléctricos para el sector industrial”. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2019. [Consulta: 21 de Octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13633/1/98T00271.pdf>

RUTA 401. *Características de una batería AGM y consejos para su cuidado* [blog]. 2019. [Consulta: 14 de Abril 2020]. Disponible en: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/caracteristicas-de-una-bateria-agm-y-consejos-para-su-cuidado>

SAIGUA, Carvajal, et al. Evaluación de las topologías físicas de WSN mediante la implementación de un prototipo de medición de variables ambientales para el G.E.A.A. – ESPOCH. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014. [Consulta: 6 de Abril de 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3241>

SANCHO CHILET, Héctor. Desarrollo de un sistema de localización y aplicación móvil para vehículos en aparcamientos. 2017. Tesis Doctoral, pp. 40-41

SCHAUBLE, Timm. *Simplepush* [blog]. [Consulta: 19 de abril 2020]. Disponible en: <https://simplepush.io/>

SONG, Yonghua; et al. “An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN”. ScienceDirect [En Línea] 2017. [Consulta: 7 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917306057>

TE connectivity. “DC-EC SERIES General purpose DC LVDT”. te [En Línea] 2019. [Consulta: 18 de abril 2020]. Disponible en: https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FDC-EC%7FA2%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_DC-EC_A2.pdf%7FCAT-LVDT0032

TEXAS INSTRUMENTS. “Analog-to-Digital Converter with Internal Reference and Temperature Sensor”. Physense [En Línea] 2015 [Consulta: 19 de abril 2020]. Disponible en: https://www.physense.eu/wp-content/uploads/2018/08/ADS1118_datasheet.pdf

VALAREZO TROYA, Wilder Fabian & CRIOLLO JARAMILLO, Andres Felipe. Diseño y estudio del uso de una red LPWAN (Low Power Wide Área Network) para la optimización de la medición, comunicación y corrección de errores, en el consumo de agua potable: Caso de estudio en urbanizaciones ubicadas en la periferia de la ciudad de Guayaquil. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2017. [Consulta: 14 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://dspace.espol.edu.ec/retrieve/129139/D-CD106475.pdf%20p16>

VALLE HERNÁNDEZ, Luis. “NodeMCU tutorial paso a paso desde cero”. Programarfacil. [En Línea] 2018. [Consulta: 14 de agosto 2020]. Disponible en: https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/#Conclusiones_tutorial_NodeMCU_desde_cero

VÁZQUEZ PIQUE, Martin & ALEJANO, R. “Efectos del clima sobre las variaciones diarias del radio del tronco y el crecimiento diametral de la encina durante siete años en una dehesa del suroeste de España (Huelva)”. Sociedad Española de Ciencias Naturales. [En Línea]. 2017. [Consulta: 10 de septiembre 2020]. Disponible en: <http://7cfe.congresoforestal.es/sites/default/files/actas/7CFE01-021.pdf>

VERA ANDREU, Sergio. Diseño de Redes IOT con Aplicaciones en la Gestión de Aparcamientos Urbanos y la Recopilación de Datos en Entorno Agrícola. (Trabajo de Titulación) [En Línea]. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2018. [Consulta: 7 de Abril de 2020]. Disponible en: http://oa.upm.es/51978/1/PFC_SERGIO_VERA_ANDREUr_2018.pdf

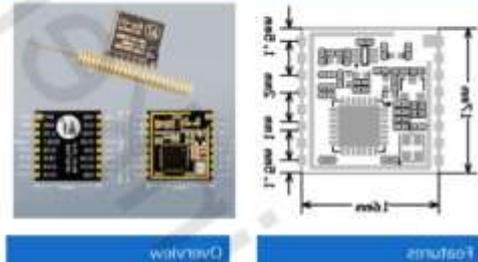
VINOGRAD, Guy. “Integrating with IFTTT – Cool, Useful, and Quite Easy”. LinkedIn [En Línea]. 2017. [Consulta: 23 de octubre 2020]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/integrating-ifttt-cool-useful-quite-easy-guy-vinograd/>

ZEA-CAMAÑO, Jorge Danilo, et al. “Improving the Modeling of the Height–Diameter Relationship of Tree Species with High Growth Variability: Robust Regression Analysis of *Ochroma pyramidale* (Balsa-Tree)”. Ecuadorforestal. [En línea], 2012. [Consulta: 12 de Marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.ecuadorforestal.org/download/contenido/balsa.pdf>

ZWEIFEL, Roman. “Point Dendrometer ZN12-T-2IP”. Natkon [En Línea]. 2014. [Consulta: 18 de noviembre 2020]. Disponible en: http://www.natkon.ch/pdf_files/Tech_Produkte/DatasheetZN12-T-2IP.pdf

ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET SX1278 RA-01 LORA MODULE



Product Specifications

Module Model	RA-01
Package	SMD-16
Size	13*16*(3.2 ± 0.1)mm
Interface	SPI
Programmable bit rate	CP to 300Kbps
Frequency Range	418-525 MHz
Antenna	Spring antenna with gain of 2.5 dBi
Max Transmit Power	18m1 dBm
Power (Typical Values)	TX:90mA, RX:12.0mA, Standby:1.5mA
	450mA@1.7V
Power Supply	TX:90mA, RX:12.0mA, Standby:1.5mA
	2.5-1.7V, Typical 3.3V
Operating Temperature	-40 °C ~ 85 °C
Storage Environment	-40 °C ~ 85 °C, W_{RH}
Weight	0.35g

Receive Sensitivity

Frequency	Spread factor	SNR	Sensitivity
477MHz	7	-7	-129
	10	-12	-134
	12	-20	-141
479MHz	7	-7	-126
	10	-12	-132
	12	-20	-141

Contact Us

Shenzhen Siyuan Technology Co., Ltd.
 Address: A11, Block C1, Building Industrial Park, Dapeng Bay, Dapeng, Shenzhen, China
 Website: www.siyuan-tech.com Fax: 86-755-85222088 E-mail: sy@siyuan-tech.com

Product Specifications

Module Model: RA-01
 Package: SMD-16
 Size: 13*16*(3.2 ± 0.1)mm
 Interface: SPI
 Programmable bit rate: CP to 300Kbps
 Frequency Range: 418-525 MHz
 Antenna: Spring antenna with gain of 2.5 dBi
 Max Transmit Power: 18m1 dBm

Power (Typical Values)
 TX:90mA, RX:12.0mA, Standby:1.5mA
 450mA@1.7V

Power Supply
 TX:90mA, RX:12.0mA, Standby:1.5mA
 2.5-1.7V, Typical 3.3V

Operating Temperature: -40 °C ~ 85 °C
Storage Environment: -40 °C ~ 85 °C, W_{RH}
Weight: 0.35g

Receive Sensitivity

Frequency	Spread factor	SNR	Sensitivity
477MHz	7	-7	-129
	10	-12	-134
	12	-20	-141
479MHz	7	-7	-126
	10	-12	-132
	12	-20	-141

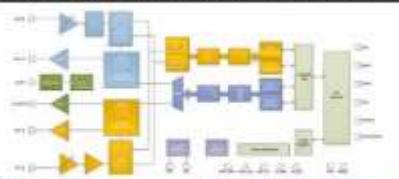
Contact Us

Shenzhen Siyuan Technology Co., Ltd.
 Address: A11, Block C1, Building Industrial Park, Dapeng Bay, Dapeng, Shenzhen, China
 Website: www.siyuan-tech.com Fax: 86-755-85222088 E-mail: sy@siyuan-tech.com



WIRELESS SENSING & TIMING DATASHEET

SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver



GENERAL DESCRIPTION

The SX1276/77/78/79 transceivers feature the LoRa™ long range modulation that provides ultra-long range spread spectrum communication and high interference immunity while minimizing current consumption.

Using Semtech's patented LoRa™ modulation technique, the SX1276/77/78/79 can achieve a sensitivity of over -140dBm using a low cost crystal and 50% of materials. The high sensitivity combined with the integrated +20 dBm power amplifier yields security meeting the budget making it optimal for any application requiring range or robustness.

LoRa™ also provides significant advantages in both tracking and security over conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between range, interference immunity and energy consumption.

These devices also support high performance GFSK modes for systems including wireless, 915MHz ISM. The SX1276/77/78/79 deliver exceptional phase noise, sensitivity, receive linearity and IP3 for application level current consumption from competing devices.

ORDERING INFORMATION

Part Number	Industry	MOQ	Multiple
SX1276AL707	188	3000	pieces
SX1277AL707	188	3000	pieces
SX1278AL707	188	3000	pieces
SX1279AL707	188	3000	pieces

- QFN 33 Package - Operating Range (-40~85°C)
- Pb-free, Halogen free, RoHS/REACH compliant product

KEY PRODUCT FEATURES

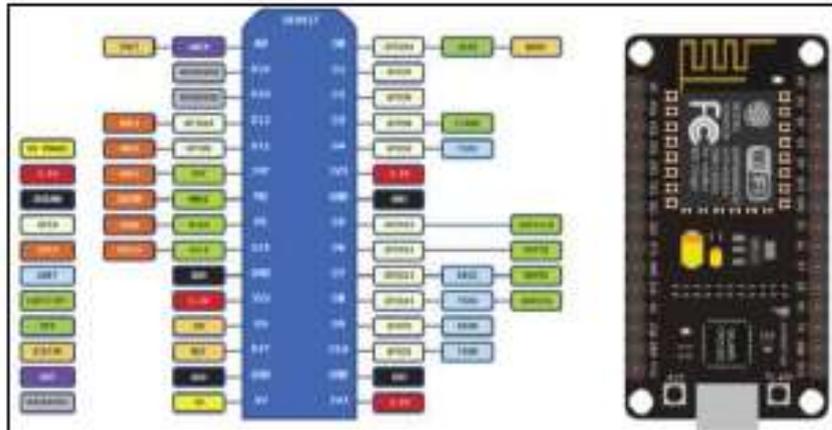
- LoRa™ Modem
- 18 dB maximum link budget
- +20 dBm - 100 mW (sat) RF output vs. V supply
- +14 dBm high efficiency PA
- Programmable bit rate up to 500 Kbps
- High sensitivity down to -140 dBm
- Buffer proof from start IP3 + 11 dBm
- Excellent blocking immunity
- Low IIS current of 9 mA, 200-nA register retention
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 51 Hz
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™/PSS GMSK modulation
- Built-in self-synchronizer for clock recovery
- Priority detection
- 127 dB Dynamic Range Noise
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-low APIC
- Current engine up to 256 bytes with CRC
- Built-in temperature sensor and low battery indicator

APPLICATIONS

- Automated Meter Reading
- Home and Building Automation
- Wireless Alarm and Security Systems
- Industrial Monitoring and Control
- Long-range Irrigation Systems

Rev. 4 - March 2019 Page 1 www.semtech.com

ANEXO C: ESP8266 NODE MCU



1.2. Specifications

Table 1-1. Specifications

Categories	Items	Parameters	
Wi-Fi	Certification	Wi-Fi Alliance	
	Protocols	802.11 b/g/n (HT20)	
	Frequency Range	2.4 GHz ~ 2.5 GHz (2400 MHz ~ 2483.5 MHz)	
	TX Power		802.11 b: +20 dBm
			802.11 g: +17 dBm
			802.11 n: +14 dBm
	Rx Sensitivity		802.11 b: -91 dBm (11 Mbps)
		802.11 g: -75 dBm (54 Mbps)	
		802.11 n: -72 dBm (MCS7)	
Antenna	PCB Trace, External, IPEX Connector, Ceramic Chip		
Hardware	GPU	Tensilica L106 32-bit processor	
	Peripheral Interface	UART/SPI/I2C/SMBUS/IR Remote Control	
		GPIO/ADC/PWM/LED Light & Button	
	Operating Voltage	3.3 V ~ 3.6 V	
	Operating Current	Average value: 80 mA	
	Operating Temperature Range	-40 °C ~ 125 °C	
	Package Size	QFN32-pin (5 mm x 5 mm)	
External Interface	-		
Software	Wi-Fi Mode	Station/SoftAP/SoftAP+Station	
	Security	WPA/WPA2	
	Encryption	WEP/TKIP/AES	
	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network)	
	Software Development	Supports Cloud Server Development / Firmware and SDK for fast no-chip programming	
	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP	
User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App		

Note:

The TX power can be configured based on the actual user scenario.

ANEXO D: CODIGO LORA TRANSCEIVER

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#define ss 10
#define rst 9
#define dio0 2

SoftwareSerial mySerial(8, 3); // RX, TX

//DECLARO VARIABLES
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 100;
float data = 0.00;
float data1;
String Byte;
int i;

//void Lora (float data)

void Lora (String data)
{
    digitalWrite(10, LOW);
    //SPI.begin();
    Serial.print("Sending packet: ");
    Serial.println(data);

    // send packet
    LoRa.beginPacket();
    digitalWrite(10, LOW);
    //LoRa.print("hello ");
    LoRa.println(data);
    LoRa.endPacket(true);

    //digitalWrite(10, LOW);
    SPI.end();
    // SPI.endTransaction();
}

void setup() {
    // Open serial communications and wait for port to open:
    Serial.begin(9600);

    while (!Serial) {
        ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
    }

    Serial.println("LoRa Sender");

    LoRa.setPins(ss, rst, dio0);

    if (!LoRa.begin(433E6)) {
        Serial.println("Starting LoRa failed!");
        while (5);
    }

    Serial.println("Goodnight moon!");

    // set the data rate for the SoftwareSerial port
    mySerial.begin(9600);
    mySerial.println("Hello, world!");
}

void loop() { // run over and over

    digitalWrite(10, LOW);
    if (mySerial.available()) {
        //char data1 = mySerial.read();
        //Serial.println(data);

        String Byte = mySerial.readStringUntil('\n');

        Serial.println(Byte);
        float data1 = Byte.toFloat();
        //Serial.println(data1);
        //delay(1000)
        unsigned long currentMillis = millis();

        if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
            // save the last time you blinked the LED
            previousMillis = currentMillis;
            float data = data1;
            for (i=1; i<=4; i++){
                Lora(Byte);
            }
        }
        delay(50);
    }
}
```

ANEXO E: CÓDIGO LORA RECEIVER

```
ANEXO A: CÓDIGO LORA RECEIVER

#include <SPI.h>
#include "Thingpeak.h"
#include <RF24.h>
#include <LoRa.h>

//-----VARIABLES GLOBALES-----

#define PIN 13
#define PIN 14
#define PIN 2

int continuation = 0;

const char *ssid = "Beats Cuernavaca";
const char *password = "cuernavaca2020";

unsigned long previousMillis = 0;

unsigned long channelID=1234567;
const char* WriteSpiKey="4480A9A8B880C8A97";

//----Puede pasar Datos a Thingpeak----

WiFiClient client;
void setup() {
  // Inicia Serial
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("");

  Serial.println("LoRa Receiver");

  LoRa.begin(100, PIN, PIN);

  if (!LoRa.begin(433Mhz)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  // Conexión WIFI
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED and continuation <=0) {
    //Cuanto tarda 50 si no se puede conectar lo cancela
    +continuation;
    delay(100);
    Serial.println("");
  }
  if (continuation <=0) {
    //para usar con ip fija
    IPAddress ip(192,168,100,50);
    IPAddress gateway(192,168,100,1);
    IPAddress subnet(255,255,255,0);
    WiFi.config(ip, gateway, subnet);

    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.println(WiFi.localIP());
  }
}

void loop() {
  Serial.println("");

```

```
    Serial.println("Error de conexión");
  }
  Thingpeak.begin(client);
}

//-----LOOP-----
void loop() {
  int w=0;
  unsigned long currentMillis = millis();

  if (currentMillis - previousMillis >= 5000) { //cada 5 segundos
    previousMillis = currentMillis;

    ***
    //int analog = analogRead(17);
    //float temp = analog*0.3722436217;

    float temp = a*5000;

    // try to parse packet
    int packetSize = LoRa.packetSize();
    if (packetSize) {
      // received a packet:
      Serial.print("Received packet: ");

      // read packet
      while (LoRa.available()) {
        //Serial.println(char(LoRa.read()));

        String temp = (String)LoRa.readStringUntil('\n');
        float temp = temp.toFloat();

        Serial.println(temp);

        Thingpeak.writeFloat(temp);
        Thingpeak.writeFloat(channelID,WriteSpiKey);
        Serial.println("Datos enviados a thingpeak");
      }
      // print REST of packet
      Serial.print(" with REST: ");
      Serial.println(LoRa.packetSize());
      Serial.print(" with END: ");
      Serial.println(LoRa.packetSize());
    }
  }
}
```

ANEXO F: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO GPS NEO 6M

Document information	
Title	NEO-6
Subtitle	u-blox 6 GPS Modules
Document type	Data Sheet
Document number	GPS_G6-HW-09005-E
Document status	

Document status information	
Objective	This document contains target values. Revised and supplementary data will be published later.
Specification	
Advance information	This document contains data based on early testing. Revised and supplementary data will be published later.
Preliminary	This document contains data from product verification. Revised and supplementary data may be published later.
Released	This document contains the final product specification.

This document applies to the following products:

Name	Type number	ROM/FLASH version	PCN reference
NEO-6S	NEO-6S-0-001	RCM7 D3	UBX-TN-11047-1
NEO-6C	NEO-6C-0-001	RCM7 D3	UBX-TN-11047-1
NEO-6M	NEO-6M-0-001	RCM7 D3	UBX-TN-11047-1
NEO-6P	NEO-6P-0-000	RCM6 D2	N/A
NEO-6V	NEO-6V-0-000	RCM7 D3	N/A
NEO-6T	NEO-6T-0-000	RCM7 D3	N/A

This document and the use of any information contained herein, is subject to the acceptance of the u-blox terms and conditions. They can be downloaded from www.u-blox.com.

u-blox makes no warranties based on the accuracy or completeness of the contents of this document and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. Reproduction, use or disclosure is prohibited without express permission in writing. Copyright © 2011, u-blox AG.

u-blox™ is a registered trademark of u-blox Holding AG in the EU and other countries. ARM® is the registered trademark of ARM Limited in the EU and other countries.

ARM

GPS_G6-HW-09005-E Page 2 of 25

Parameter		Specification															
Receiver type		50 Channels GPS L1 (frequency, C/A Code) SBAS, WAAS, EGNOS, MSAS															
Time-to-First-Fix ¹		<table border="1"> <thead> <tr> <th>no start</th> <th>no start</th> <th>no start</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cold Start²</td> <td>28 s</td> <td>27 s</td> </tr> <tr> <td>Warm Start²</td> <td>20 s</td> <td>27 s</td> </tr> <tr> <td>Hot Start²</td> <td>1 s</td> <td>1 s</td> </tr> <tr> <td>Added Start²</td> <td>1 s</td> <td><3 s</td> </tr> </tbody> </table>	no start	no start	no start	Cold Start ²	28 s	27 s	Warm Start ²	20 s	27 s	Hot Start ²	1 s	1 s	Added Start ²	1 s	<3 s
no start	no start	no start															
Cold Start ²	28 s	27 s															
Warm Start ²	20 s	27 s															
Hot Start ²	1 s	1 s															
Added Start ²	1 s	<3 s															
Sensitivity ³		<table border="1"> <thead> <tr> <th>no start</th> <th>no start</th> <th>no start</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tracking & Navigation</td> <td>-162 dBm</td> <td>-161 dBm</td> </tr> <tr> <td>Reacquisition⁴</td> <td>-160 dBm</td> <td>-160 dBm</td> </tr> <tr> <td>Cold Start (without setting)</td> <td>-160 dBm</td> <td>-161 dBm</td> </tr> <tr> <td>Hot Start</td> <td>-157 dBm</td> <td>-158 dBm</td> </tr> </tbody> </table>	no start	no start	no start	Tracking & Navigation	-162 dBm	-161 dBm	Reacquisition ⁴	-160 dBm	-160 dBm	Cold Start (without setting)	-160 dBm	-161 dBm	Hot Start	-157 dBm	-158 dBm
no start	no start	no start															
Tracking & Navigation	-162 dBm	-161 dBm															
Reacquisition ⁴	-160 dBm	-160 dBm															
Cold Start (without setting)	-160 dBm	-161 dBm															
Hot Start	-157 dBm	-158 dBm															
Maximum Navigation update rate		no start / no start															
Horizontal position accuracy ⁵		<table border="1"> <thead> <tr> <th>no start</th> <th>no start</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GPS</td> <td>5m</td> </tr> <tr> <td>SBAS</td> <td>2.0 m</td> </tr> <tr> <td>SBAS + RTK⁶</td> <td>< 1 m (2D, 95%)</td> </tr> <tr> <td>SBAS + RTK⁶</td> <td>< 2 m (2D, 99%)</td> </tr> </tbody> </table>	no start	no start	GPS	5m	SBAS	2.0 m	SBAS + RTK ⁶	< 1 m (2D, 95%)	SBAS + RTK ⁶	< 2 m (2D, 99%)					
no start	no start																
GPS	5m																
SBAS	2.0 m																
SBAS + RTK ⁶	< 1 m (2D, 95%)																
SBAS + RTK ⁶	< 2 m (2D, 99%)																
Configurable Timeout frequency range		no start / no start															
Accuracy for Timeout signal		<table border="1"> <thead> <tr> <th>no start</th> <th>no start</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.25 Hz to 1 kHz</td> <td>0.25 Hz to 10 MHz</td> </tr> </tbody> </table>	no start	no start	0.25 Hz to 1 kHz	0.25 Hz to 10 MHz											
no start	no start																
0.25 Hz to 1 kHz	0.25 Hz to 10 MHz																
Accuracy for Timeout signal		<table border="1"> <thead> <tr> <th>no start</th> <th>no start</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RMS</td> <td>30 ns</td> </tr> <tr> <td>90%</td> <td><60 ns</td> </tr> <tr> <td>Granularity</td> <td>25 ns</td> </tr> <tr> <td>Compensation⁷</td> <td>15 ns</td> </tr> </tbody> </table>	no start	no start	RMS	30 ns	90%	<60 ns	Granularity	25 ns	Compensation ⁷	15 ns					
no start	no start																
RMS	30 ns																
90%	<60 ns																
Granularity	25 ns																
Compensation ⁷	15 ns																
Velocity accuracy ⁸		0.1 m/s															
Heading accuracy ⁹		0.5 degrees															
Operational limits		<table border="1"> <thead> <tr> <th>no start</th> <th>no start</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dynamics</td> <td>5 G</td> </tr> <tr> <td>Altitude¹⁰</td> <td>50,000 m</td> </tr> <tr> <td>Velocity¹¹</td> <td>500 m/s</td> </tr> </tbody> </table>	no start	no start	Dynamics	5 G	Altitude ¹⁰	50,000 m	Velocity ¹¹	500 m/s							
no start	no start																
Dynamics	5 G																
Altitude ¹⁰	50,000 m																
Velocity ¹¹	500 m/s																

Table 2: NEO-6 GPS performance

¹ All satellites at -130 dBm
² Without setting
³ Dependent on setting, data connection speed and latency
⁴ Demonstrated with a good active antenna
⁵ For an average density of 5/s
⁶ CEP, 90%, 24 hours static, -130dBm, SBP, <3.5m
⁷ NEO-6P only
⁸ Demonstrated under following conditions: 24 hours, stationary, first 800 seconds of data discarded, HDOP < 1.5 during measurement period, strong signal. Continuous availability of valid SBAS correction data during full test period.
⁹ Quantization error information can be used with NEO-6T to compensate the granularity related error of the timeout signal
¹⁰ Assuming Airborne-c/kg platform

GPS_G6-HW-09005-E Page 6 of 25

ANEXO G: CÓDIGO DE SIMULACIÓN FLORA

```

package lorainetwork.simulations;

import inet.application.udppp.UDPBasicApp;
import inet.node.inet.Router;
import inet.node.internetcloud.InternetCloud;import
lorainetwork.LoRaPhy.LoRaMedium; import
lorainetwork.LoRaNode.LoRaNode;
import lorainetwork.LoRaNode.LoRaGW; import
inet.node.inet.StandardHost;import
inet.networklayer.configurator.IPv4.IPv4NetworkConfigurator;
import inet.node.ethernet.Eth1G;

@license(LGPL); network
IPNetwork
{
  parameters:
  int numberOfNodes = default(1); int
  numberOfGateways = default(1);int networkSizeK =
  default(500); int networkSizeV = default(500);
  @display("h=500,500");
  submodules:
    lorainodes[numberOfNodes]: LoRaNode {
      @display("p=83,167");
    }
    loRaGW[numberOfGateways]: LoRaGW {
      @display("p=270,548,256,112;1s-s");
    }
    loRaMedium: LoRaMedium {
      @display("p=862,76");
    }
    networkServer: StandardHost {
      parameters:
      @display("p=348,768,27,218092");
    }
    configurator: IPv4NetworkConfigurator {
      parameters:
      assignDisjunctSubnetAddresses = false;
      @display("p=463,77");
    }
    internetCloud: InternetCloud {
      @display("p=129,824,26,208");
    }
    gwRouter[numberOfGateways]: Router {
      @display("p=24,192861,27,218492");
    }
    nsRouter: Router {
      @display("p=233,456,26,208");
    }
    connections:
    networkServer.ethg+ <-> Eth1G <->
    nsRouter.ethg+;
    nsRouter.pppg+ <-> Eth1G <->
    internetCloud.pppg+;
    for i=0..numberOfGateways-1 { internetCloud.pppg+ <-> Eth1G <->
    gwRouter[i].pppg+;
    gwRouter[i].ethg+ <-> Eth1G <->

```

```

    loRaGW[i].ethg+;
  }
}
Archivo de configuración inicial de simulación de red

[General]
network = IPNetwork
prog-class = "cNetworkTester"

# network features
**loRaGW[0].numUDPApps = 1
**loRaGW[0].packetForwarder.localPort = 2000
**loRaGW[0].packetForwarder.destPort = 1000
**loRaGW[0].packetForwarder.destAddresses = "networkServer"
**loRaGW[1].numUDPApps = 1
**loRaGW[1].packetForwarder.localPort = 2000
**loRaGW[1].packetForwarder.destPort = 1000
**loRaGW[1].packetForwarder.destAddresses = "networkServer"
**networkServer.numUDPApps = 1
**networkServer.**evaluateADRinServer = false
**networkServer.udppp[0].typeName = "networkServerApp"
**networkServer.udppp[0].destAddress = "loRaGW[0]"
**networkServer.udppp[0].destPort = 1000
**networkServer.udppp[0].localPort = 1000
**networkServer.udppp[0].adMethod = $["avg"]
**numberOfNodes = $(numberOfNodes-100,100,200)
**numberOfPacketsToSend = 0 no means infinite number of packets
size-time-limit = 70 warmup-
period = 10 stat-time-resolution
= -11
**timeToFirstPacket = exponential(100s)
**timeToNextPacket = 1000s
**alphaChannelModel = false

# nodes features
**lorainodes[*]**.initFromDisplayString = false
**lorainodes[*]**.evaluateADRinNode = false
**lorainodes[*]**.initialLoRaSF = infuniform(7,12)
**lorainodes[*]**.initialLoRaBW = 125 kbit
**lorainodes[*]**.initialLoRaCR = 4

# random deployment of nodes in a square square area
**lorainodes[*]**.initialX = uniform(0m, 400m)
**lorainodes[*]**.initialY = uniform(0m, 400m)

[Configuración para un gateways]gateway
features
**numberOfGateways = 1
**loRaGW[0]**.initFromDisplayString = false
**loRaGW[0]**.initialX = 345muniform(0m, 500)
**loRaGW[0]**.initialY = 200m

[Configuración para dos gateways]
gateway features
**numberOfGateways = 2

```

```

**loRaGW[*]**.initFromDisplayString = false
**loRaGW[0]**.initialX = 380m
**loRaGW[0]**.initialY = 245m
**loRaGW[1]**.initialX = 320m
**loRaGW[1]**.initialY = 245m

#user consumption features
**lorainodes[*].LoRaNIC.radio.energyConsumerType =
"LoRaEnergyConsumer"
**lorainodes[*]**.energySourceModule =
"IdealIptEnergyStorage"
**lorainodes[*].LoRaNIC.radio.energyConsumer.configFile =
xmlDoc("energyConsumptionParameters.xml")

#general features
**sigma = 3.57
**constraintAreaMinX = 0m
**constraintAreaMinY = 0m**constraintAreaMinZ = 0m
**constraintAreaMaxX = 400m
**constraintAreaMaxY = 400m
**constraintAreaMaxZ = 0m

LoRaNetworkTest.**radio.separateTransmissionParts = false
LoRaNetworkTest.**radio.separateReceptionParts = false

**delayer.config = xmlDoc("cloudDelays.xml")
**radio.radioMediumModule = "LoRaMedium"
**LoRaMedium.pathLossType = "LoRaLogNormalShadowing"
**minInterferenceTime = 0s
**displayAddresses = false

```



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 07 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos: GILSON SANTIAGO CUENCA ROSERO CLAUDIO JOEL VALDIVIESO ARÉVALO	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	
Carrera: INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	
Título a optar: INGENIERO ELECTRÓNICO EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Firmado electrónicamente por: ELIZABETH FERNANDA AREVALO MEDINA

