

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA IOT DE BAJO COSTO BASADO EN
LPWAN PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. JOSÉ MANUEL PEÑALOZA VELÁSQUEZ

Bach. RONALD YUPANQUI GONZALO

TACNA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA IOT DE BAJO COSTO BASADO EN
LPWAN PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS”**

Tesis sustentada y aprobada el 01 de junio de 2022; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE: Mag. ANIBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA

SECRETARIO: Mtro. MARKO JESÚS POLO CAMACHO

VOCAL: Mag. MARCO ANTONIO COLOMA YUNGANINA

ASESOR: Mag. HUGO JAVIER RIVERA HERRERA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo *José Manuel Peñaloza Velásquez*, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70453478.

Yo *Ronald Yupanqui Gonzalo*, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 48110522.

Declaro bajo juramento que:

1. Somos autores de la Tesis titulada:

“Diseño de un sistema iot de bajo costo basado en Ipwan para cultivos hidropónicos”.

La misma que presento para optar:

El título de ingeniero electrónico

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a la universidad y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 01 de junio de 2021



Bach. José Manuel Peñaloza Velásquez

DNI. 70453478



Bach. Ronald Yupanqui Gonzalo

DNI. 48110522

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar, por acompañarme siempre en todo momento a pesar de las dificultades y supo encaminarme por el sendero de la fe.

A mis padres, por depositar su confianza en mí y brindarme su apoyo sin condición alguna en toda mi formación tanto espiritual como académica.

A mis abuelos que me acompañan siempre desde el cielo. Siempre están presente en mi corazón.

A mis hermanos, por brindarme su apoyo emocional durante mi formación académica.

José Manuel Peñaloza Velásquez

Es para mí una gran satisfacción poder dedicar a mi familia con mucha alegría, el esmero y trabajo que me lo he ganado.

A mi padre Jose Yupanqui e Salome Gonzalo, porque ellos son la fuerza y motivación de mi vida.

A mis hermanas y hermano Monica, Gina y Jackson, porque son la razón de sentirme inspirado y motivado orgullosamente de ser lo que seré.

Ronald Yupanqui Gonzalo

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darme la oportunidad de realizar este proyecto, a la vida por darme muchos retos para así poder llegar a cabalidad a la cúspide de este trabajo académico.

A la distinguida Universidad Privada de Tacna y profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica por su paciencia y soporte académico durante mi etapa estudiantil.

A mis verdaderos amigos por sus consejos alentadores durante mi etapa universitaria.

José Manuel Peñaloza Velásquez

Agradezco a Dios por la oportunidad, el reto que se me presentó en esta culminación a nivel profesional en mi vida y también por la Salud.

A la Universidad Privada de Tacna que me dio la oportunidad de ser alguien en la vida, a los docentes por su tiempo y consejos que eran muy importante para mi vida.

A mi asesor por el tiempo, la dedicación y la paciencia en la elaboración de esta tesis.

Ronald Yupanqui Gonzalo

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADO	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problema específico.....	2
1.3. Justificación e Importancia de la Investigación	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de Estudios	5
2.1.1. Antecedentes internacionales	5
2.1.2. Antecedentes nacionales	6
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. Cultivo de fresas	8
2.2.2. Hidroponía	9
2.2.2.1. Sistema “Raíz flotante”	10
2.2.2.2. Sistema NFT.....	11
2.2.2.3. Cultivo en sustrato	12
2.2.3. Internet de las Cosas	15
2.2.3.1. Arquitectura IoT	16
2.2.3.2. Estándar ISO/IEC 30141.....	17
2.2.4. Redes de sensores inalámbricas	18
2.2.5. Industria 4.0	21
2.2.6. Low Power Wide Area Network (LPWAN).....	22

2.2.6.1.	Redes LPWAN.....	22
2.2.6.2.	Comparación entre tecnología LPWAN.....	28
2.2.6.3.	Redes LoRaWAN.....	30
2.2.6.4.	Capa física.....	37
2.2.7.	Sensores.....	50
2.2.8.	LILYGO TTGO ESP32 SX1276 LoRa 868/915 MHz.	54
2.3.	Definición de términos.....	57
CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO.....		59
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	59
3.4.	Operacionalización de variables.....	60
3.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	61
3.5.1.	Técnicas de recolección de los datos.....	61
3.5.2.	Instrumentos para la recolección de los datos.....	61
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		63
4.1.	Requerimiento de diseño.....	63
4.1.1.	Características de la ubicación de red de sensores.....	63
4.1.2.	Requerimiento climático y de riego del cultivo hidropónico.....	65
4.2.	Descripción del sistema de monitoreo del cultivo hidropónico.....	69
4.2.1.	Cálculo de cobertura de radio.....	70
4.2.2.	Arquitectura de red propuesta.....	74
4.2.2.1.	Elementos finales.....	75
4.2.2.2.	Estación base.....	78
4.2.2.3.	Servidor de red.....	79
4.2.3.	Equipamiento de los nodos.....	80
4.2.4.	Configuración y Programación del sistema IoT.....	81
4.3.	Diseño de ingeniería.....	108
4.3.1.	Distancia máxima de cobertura con modelo Okumura-Hata.....	108
4.3.2.	Sistema físico de monitoreo.....	109
4.3.3.	Resultados de las mediciones de parámetros del sistema hidropónico....	110
4.3.4.	Supervisión con dispositivo móvil.....	114
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		117
CONCLUSIONES.....		118
RECOMENDACIONES.....		119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		120
ANEXOS.....		123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas en hidroponía.....	9
Tabla 2. Comparativa de cultivos tradicionales versus sin suelo	10
Tabla 3. Resumen de las características de algunos los sustratos más comunes en hidroponía y cultivo sin suelo	13
Tabla 4. Comparativa entre las redes de LPWAN	28
Tabla 5. Ventajas importantes de implementar una red LoRaWAN	31
Tabla 6. Comparación de las especificaciones de LoRa para Europa y América del Norte donde se utiliza las bandas ISM	32
Tabla 7. Características de los estándares 802.11	35
Tabla 8. Características de la modulación LoRa	39
Tabla 9. Función B y SF	42
Tabla 10. Operacionalización de variable.....	60
Tabla 11. Formula de solución nutritiva para cultivo de fresa	67
Tabla 12. Comparativa de variables	68
Tabla 13. Parámetros técnicos del microprocesador SX1276	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un sistema de raíz flotante.....	11
Figura 2. Esquema de un sistema NFT	12
Figura 3. Esquema de un cultivo en sustrato.....	13
Figura 4. Tipos de redes sobre internet de las cosas	16
Figura 5. Arquitectura IoT de 3 capas.....	17
Figura 6. Componente de una red.....	18
Figura 7. Estructura de nodo sensor o nodo final	19
Figura 8. Tipos de sensores	21
Figura 9. Las revoluciones industriales a lo largo de la historia	22
Figura 10. Redes LPWAN	23
Figura 11. Arquitectura de la red Sigfox	24
Figura 12. Arquitectura de red LTE-M	26
Figura 13. Arquitectura de la red NB-IoT	27
Figura 14. Arquitectura de la red LoRaWAN.....	28
Figura 15. Comparativa entre las tecnologías LPWAN	30
Figura 16. Pila de tecnología LoRaWAN	33
Figura 17. Capa MAC.....	33
Figura 18. Flujo de datos en las capas del modelo OSI.....	34
Figura 19. Evolución del estándar 802.11	35
Figura 20. Capa clase A.....	36
Figura 21. Capa clase B.....	37
Figura 22. Capa clase C.....	37
Figura 23. Asignación de frecuencia en la modulación Lora.....	38
Figura 24. Modulación CCS	40
Figura 25. Ejemplo de modulación LoRa.....	41
Figura 26. Demodulación LoRa.....	41
Figura 27. Topología en la que las puertas de enlace retransmiten mensajes entre los dispositivos finales y un servidor de red central.....	45
Figura 28. Arquitectura en estrella de LoRaWAN	45
Figura 29. Certificación reglamentaria LoRaWAN dependiendo del país.....	47
Figura 30. Consumo de energía de las clases a, b y c	48
Figura 31. Relación entre el factor de dispersión, el tiempo aire para la modulación LoRa y el consumo de energía.....	49
Figura 32. Potencia de consumo en vuelo de datos acorde a SF	49

Figura 33. Seguridad de LoRaWAN	50
Figura 34. NTC y su característica de la curva	51
Figura 35. Sensor de temperatura y humedad relativa	52
Figura 36. Sensor MLX90614.....	53
Figura 37. Sensor PH-4502C	54
Figura 38. Microcontrolador SEMTECH SX1276.....	55
Figura 39. Placa de desarrollo TTGO LoRa32-OLED.....	56
Figura 40. Diagrama de pines del módulo TTGO ESP32 SX127X LoRa 868/915 MHz	57
Figura 41. Ubicación del área de implementación en toma satelital	63
Figura 42. Señalización del campo de pruebas.....	64
Figura 43. Temperatura máxima o mínima en Tacna del año 2020 y 2021	65
Figura 44. Niveles de comodidad de la humedad en Calana, Tacna	66
Figura 45. Sistema raíz flotante.....	67
Figura 46. Diagrama de bloques de un sistema IoT de bajo costo basaba en LPWAN para cultivos hidropónicos	70
Figura 47. Diagrama con dispositivos ubicados en el Nodo Final y el Gateway LoraWan	71
Figura 48. Presupuesto de alcance de enlace	72
Figura 49. Esquema del sistema propuesto	75
Figura 50. Tipos de sensores usados en el sistema IoT del cultivo hidropónico	76
Figura 51. Convertidor ADC del sensor pH	77
Figura 52. Conexión de los sensores a la tarjeta TTGO LoRa32 SX1276 del nodo sensor final.....	77
Figura 53. Comunicación entre las dos tarjetas TTGO LoRa32 SX1276	78
Figura 54. Prueba de radioenlace de la tarjeta TTGO LoRa32 SX1276	79
Figura 55. Plataforma Ubidots mediante una computadora y celular	80
Figura 56. Diagrama de conexión de las tarjetas con los sensores	80
Figura 57. Diagrama de flujo del transmisor del Sistema IoT.....	82
Figura 58. Diagrama de flujo del receptor del Sistema IoT	83
Figura 59. Descarga del software Arduino IDE	84
Figura 60. Descarga completa del Arduino IDE.....	84
Figura 61. Instalación completa del Arduino IDE	85
Figura 62. Agrega las adicionales tarjetas.....	85
Figura 63. Página oficial GitHub.....	86
Figura 64. Instalación correcta de los paquetes ESP32	86
Figura 65. Instalación de los paquetes de ESP32	87

Figura 66. Tipos de placas ESP32	87
Figura 67. Programación del módulo Transmisor e incluyendo las librerías	88
Figura 68. Definición de pines	89
Figura 69. Definición de la banda de frecuencia compatible con la región.....	89
Figura 70. Definición del pin ADC y variable float.....	90
Figura 71. Inicio de la función Setup	90
Figura 72. Inicio de la función Loop.....	91
Figura 73. Comando de Impresión de los valores obtenidos en el terminal serial.....	91
Figura 74. Inicio de la secuencia de envío de paquete hacia el Gateway	92
Figura 75. Puerto serial en funcionamiento	92
Figura 76. Inclusión de librerías SPI, LoRa, Wifi y UbidotsEs32Mqtt	93
Figura 77. Definición de pines de TTGO LoRa32-OLED	93
Figura 78. Definición de la banda de frecuencia 915E6.....	94
Figura 79. Variables String e Int	94
Figura 80. Definición de enlace de la red Wifi y generación de las variables.....	95
Figura 81. Actuador auxiliar.....	95
Figura 82. Inicio la función void setup.....	96
Figura 83. Enlace de comunicación a la librería LoRa.....	97
Figura 84. Conexión a la plataforma Ubidots.....	97
Figura 85. Gestión de paquetes enviados	98
Figura 86. Definir variables para ocupar el String.....	98
Figura 87. Proceso de subString	99
Figura 88. Impresión del texto en la pantalla monitor Puerto serial del Arduino IDE	99
Figura 89. Cambio de valores de String a Float.....	99
Figura 90. Código para enviar los datos a la plataforma.....	100
Figura 91. Acceso a la plataforma Ubidots	101
Figura 92. Creación de la cuenta gratuita.....	101
Figura 93. Creación de la cuenta en Ubidots.....	102
Figura 94. Creación de los dashboards	102
Figura 95. Widgets de Ubidots	103
Figura 96. Default token	103
Figura 97. Tipos de Variables.....	104
Figura 98. Asignación de las variables	104
Figura 99. Widget de la temperatura	105
Figura 100. Widget de la humedad.....	105
Figura 101. Widget del objeto.....	106
Figura 102. Widget del ambiente.....	106

Figura 103. Widget indicador.....	107
Figura 104. Widget de grafico de línea.....	108
Figura 105. Sistema IoT físico del monitoreo para el cultivo hidropónico.....	109
Figura 106. Comparación de la temperatura de referencia con la temperatura procesada	111
Figura 107. Comparación de la humedad de referencia con la humedad procesada.....	112
Figura 108. Temperatura de la planta procesada	113
Figura 109. Nivel de pH procesada	114
Figura 110. Aplicativo móvil de la plataforma Ubidots	115
Figura 111. Prueba de la latencia del enlace y del estado de los paquetes enviados.....	116

RESUMEN

El presente proyecto de titulación “Diseño de un sistema IoT de bajo costo basado en LPWAN para cultivos hidropónicos” puntualiza el diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de cultivos hidropónicos. El enfoque principal de la tesis fue la configuración y programación del hardware a futuro. Para ello se utilizó la placa de desarrollo TTGO LORA32 que implementa la tecnología Lora, la misma contiene el chip SX1276 basado en ESP32 de alta confiabilidad y larga distancia de transmisión. La tecnología de redes LPWAN a lo largo del entorno industrial 4.0 permite acercar a IoT al usuario. De la misma manera se está convirtiendo en uno de los pilares en implementación de comunicaciones inalámbricas de larga distancia que no requieren un gran ancho de banda. Sin embargo, hoy en día están presentes las tecnologías como Sigfox, LoRa, LTE-M y NB-IoT, cada una de estas redes da una solución a cada una necesidad específica en diferentes ámbitos de trabajo. Entonces la red LoRa cubre el requisito en este proyecto, que garantiza bajo consumo, largo alcance y bajo ancho de banda. Tiene como finalidad conectar diversos sensores de forma remota alimentados por una fuente de alimentación de una duración mayoritaria para que finalmente se establezca conexión a Internet a través de un Gateway, de la misma manera se usa una antena para obtener un alcance deseado con una radio Lora lista para usarla. LoRaWAN del LPWAN está compuesto por un protocolo MAC e integra una capa física que se basa en la modulación LoRa, también la capa de acceso al medio (MAC) es una arquitectura de red abierta regulada por LoRa Alliance.

Para realizar las mediciones se aplica los sensores de temperatura y humedad, temperatura del objeto o ambiente y el pH de cultivo hidropónico ayudara a monitorear el desarrollo del crecimiento de la plántula de la fresa. Para finalizar la plataforma Ubidots facilita la interacción de datos recogidos de los sensores estratégicamente ubicados en el cultivo hidropónico, estos mismos son almacenados en la nube y luego transmitidos a un servidor con el objetivo de estar disponible para cualquier dispositivo en la red en cualquier parte del mundo.

Palabras claves: Internet de las cosas; lpwan; hidroponía; plataforma ubidots.

ABSTRACT

The present titling project "Design of an LPWAN-based IoT system for hydroponic crops" highlights the design of a network of wireless sensors for monitoring hydroponic crops. The main focus of the thesis was the configuration and programming of future hardware. The TTGO LORA32 development board that implements the Lora technology was used, it contains the ESP32-based SX1276 chip of high reliability and long transmission distance. LPWAN networking technology across the industrial 4.0 environment enables bringing IoT closer to the user. In the same way it is becoming one of the pillars in the implementation of long-distance wireless communications that do not require a large bandwidth. However, today technologies such as Sigfox, LoRa, LTE-M and NB-IoT are present, each of these networks gives a solution to each specific need in different areas of work. Then the LoRa network covers the requirement in this project, which ensures low power, long range and low bandwidth. It aims to connect various sensors remotely powered by a power supply of a majority duration so that finally a connection to the Internet is established through a Gateway, in the same way an antenna is used to obtain a desired range with a ready-to-use Lora radio. LoRaWAN of the LPWAN is composed of a MAC protocol and integrates a physical layer that is based on LoRa modulation, also the media access layer (MAC) is an open network architecture regulated by LoRa Alliance. To measure temperature and humidity sensors are applied, temperature of the object or environment and the pH of the hydroponic crop will help to monitor the development of the strawberry seedling growth. To finalize the Ubidots platform will facilitate the interaction of point data collected from sensors strategically located in hydroponic cultivation, these are stored in the cloud and then transmitted to a server in order to be available to any device on the network anywhere in the world.

Key words: Internet of Things; lpwan; hydroponics; ubidots platform.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el cultivo de las fresas es común en la ciudad de Tacna, se realiza sobre una superficie arenosa con nutrientes y sistemas de riego básico y también un clima desfavorable por las variaciones a lo largo del año, por ende, se mantiene por una baja productividad de crecimiento y cosecha para los agricultores.

La ciudad de Tacna presenta un potencial de crecimiento de hectáreas para cultivo de fresas cada día, de la misma manera posee alto potencial para implementación de tecnología satisfaciendo las necesidades del desarrollo de la fruta.

La tecnología y la digitalización son los pilares en innovación para afrontar cualquier reto económico, sanitario, ecológico o social, tal y como se han demostrado algunas de las sobresalientes innovaciones tecnológicas para el control de COVID-19.

La tesis propone solucionar este fenómeno de las variaciones de temperatura, humedad y el fluido suministrado con el diseño de un sistema IoT de monitoreo del cultivo hidropónico. Esta implementación será una herramienta esencial para el control de crecimiento del cultivo de fresa.

La organización de esta tesis fue la siguiente: El capítulo I: Planteamiento del problema”, examina la problemática agrícola actual en la ciudad de Tacna. Muestra la formulación del problema, justificación, objetivos e hipótesis que tiene la tesis. El capítulo II: Marco teórico, señala los resúmenes de investigaciones pasadas como una referencia sobre el tema, luego se desglosa los fundamentos de la tesis para entender. El capítulo III: Marco metodológico, contiene el tipo de investigación y diseño de la investigación y la operacionalización de variables. El capítulo IV: Resultados, presenta el desarrollo de la configuración, programación del sistema IoT y las pruebas del sistema, para finalmente obtener los resultados de la investigación. El capítulo V: Discusiones de la investigación, finalizando con las Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La agricultura es una de las principales actividades que se desarrolla a nivel nacional. Según el Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI) (2020), durante el primer trimestre del año 2020, la actividad creció en un 2,9%, frente al decrecimiento de otras como la pesca, producción minera, manufactura, electricidad, gas y agua.

Esta ratio, aun así, se ve limitada por la escasez de terrenos, agua y el poco uso de tecnologías de control y de la información en el proceso productivo. Los agricultores necesitan estar permanentemente en sus fundos realizando tareas que podrían estar automatizadas, lo que incrementaría su producción, disminuiría sus costos finales y elevaría su calidad de vida.

Frente a esta realidad, surge como alternativa el cultivo hidropónico, el cual no requiere de espacios muy grandes, donde tampoco es necesario tener suelos idóneos para el cultivo. No obstante, el uso de tecnologías de información y comunicación de bajo costo para el control de parámetros y que permita su uso masificado, se sigue constituyendo en una tarea por resolver.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

De la descripción del problema, se formula la siguiente pregunta:
¿Cómo el diseño de un sistema IoT de bajo costo basado en LPWAN influye en los cultivos hidropónicos?

1.2.2. Problema específico

- A ¿Cómo el diseño de un sistema electrónico basado en Internet de las cosas (IoT) facilitará el monitoreo de los datos de un cultivo hidropónico?
- B ¿Cómo el diseño de una estación base facilitará el almacenamiento de los datos recogidos del campo de trabajo en una base de datos?
- C ¿Cómo la implementación de un sistema IoT ayudará a mejorar el cultivo hidropónico y facilitará su integración tecnológica?

1.3. Justificación e Importancia de la Investigación

El presente diseño propone una solución para el monitoreo a distancia de los parámetros de un cultivo hidropónico, utilizando tecnologías de información; también sirve como una herramienta tecnológica en los campos de cultivos hidropónicos.

Desde el punto de **vista tecnológico**, este diseño facilitará la comunicación segura entre el sector de cultivos con el agricultor en la zona de trabajo, también mejorará la inspección humana en las áreas de cultivos, ya que el diseño permitirá monitorear de modo remoto los parámetros del cultivo seleccionado.

Desde el punto de **vista social**, La agricultura hidropónica es una actividad agrícola que crece, aumenta, procesa y distribuye productos agrícolas sin necesidad de tener grandes áreas de terreno o un gran número de recursos humanos. Es una forma de promover empleo dentro de una misma comunidad, para superar la pobreza y la difícil situación de habitabilidad que presenta este sector.

Desde el punto de **vista económico**, disminuirá los costos de comunicación de radio enlace usando la tecnología LPWAN que es una banda no licenciada, también para la implementación del diseño no requiere una excesiva inversión y esta permita un mayor ingreso económico a los agricultores.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema IoT de bajo costo basado en LPWAN para cultivos hidropónicos.

1.4.2. Objetivos Específicos

A Diseñar un sistema electrónico basado en Internet de las cosas (IoT), para el monitoreo de los datos de un cultivo hidropónico.

- B Diseñar una estación base para el almacenamiento de los datos recogidos del campo de trabajo en una base de datos.
- C Implementar un sistema IoT que mejore el cultivo hidropónico y facilite su integración tecnológica.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. Antecedentes internacionales

Tapias, J. (2021) en su trabajo de titulación “Análisis Del Estado Del Arte Del Internet De Las Cosas Aplicado A Cultivos Aeropónicos E Hidropónicos A Nivel Nacional E Internacional”, manifestó lo siguiente:

El presente trabajo propone un estudio y análisis de la aplicación de las tecnologías de IoT en cultivos aeropónicos e hidropónicos a nivel internacional y nacional que permita determinar los beneficios y los nuevos desafíos que se pueden generar a partir de la aplicación de tecnologías IoT en cultivos aeropónicos e hidropónicos (p.10).

Ladino, E. (2020) en su trabajo de titulación “AGROIOT: Prototipo de un sistema WEB para el monitoreo de productos agrícolas en cultivos urbanos” manifestó que:

El diseño e implementación de un prototipo funcional para el monitoreo de cultivos agrícolas urbanos, mediante la integración de un sistema electrónico y un sistema WEB, aplicando internet de las cosas (IoT), para la comunidad de Yomasa, se obtuvo como resultado una estructura tipo invernadero con todas las características electrónicas de medición transmitiendo datos en tiempo real a una página WEB (p.11)

Hinojosa, S. (2019) en su trabajo de investigación denominado “Diseño de una arquitectura IoT para el control de sistemas hidropónicos”, manifestó lo siguiente:

Los principales objetivos de este trabajo son: acercar al usuario doméstico los cultivos hidropónicos y crear un sistema capaz de monitorizar los datos del cultivo (niveles de temperatura, Ph, humedad, etc) permitiendo al hidroponicultor saber en qué

condiciones se encuentra el sistema en cada momento y de esta manera, ayudarle a tomar decisiones para optimizar el rendimiento y calidad de su cosecha” (p.1).

Carrión C. (2018) en su trabajo de titulación “Evaluación del rango de transmisión de LoRa para redes de sensores inalámbricos con LoRaWAN en ambientes urbanos” demuestra que la tecnología LoRa propuso lo siguiente:

Un estudio de la tecnología LoRa y protocolo de red LoRaWAN usando el kit de evaluación LoRa 900 de Microchip; cuyo propósito es obtener un modelo empírico de pérdidas de trayectoria basado los valores de RSSI, que se obtuvieron en las campañas de medición. Las mediciones se realizaron en tres sectores representativos de la ciudad de Cuenca: Centro Histórico, Totoracocha y Oro Verde. Se demostró mediante un análisis estadístico que no es necesario variar el modelo de pérdidas de trayectoria tomando en cuenta las configuraciones de transmisión, ya que se encuentran relacionadas. Además, como trabajo previo se encontró que para valores menores a -110 dBm de RSSI, estos no son fiables. Los resultados arrojan que el sector del Centro Histórico tiene una cobertura confiable hasta los 200 metros; mientras que, en el resto de sectores se obtuvo un alcance máximo confiable de 500 metros aproximadamente. El desempeño de LoRaWAN depende de varios factores como: diferencia de elevación, tipo de obstáculos en la trayectoria de la señal y distancia entre el transmisor y receptor.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Aguilar S. (2020) en su trabajo de titulación “Diseño de una solución basada en el internet de las cosas (IoT) empleando LoRaWAN para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú” propuso una solución tecnológica basada en Internet de las Cosas en colaboración con LoRaWAN para mejorar el nivel actual de monitoreo y control de cultivos agrícolas en el distrito de Pachacutec, indicando que:

Se definió la arquitectura de red, estableciéndose las características técnicas de los sensores agrícolas, circuito de control de riego, equipamiento de comunicaciones y servicios en la nube requeridos, para lo cual se analizan 3 alternativas en cada caso.

Asimismo, se determinó la banda de frecuencia de operación para la tecnología LoRaWAN en el Perú y los requerimientos de energía para las estaciones de monitoreo en campo.

Se realizó el cálculo de enlace para los dispositivos LoRaWAN en el área de estudio, obteniéndose las pérdidas de propagación mediante el modelo Okumura-Hata, la distancia de enlace máxima y la cobertura en el terreno.

Así también, se utilizó un simulador de cobertura con el cual se logran resultados similares, validándose los cálculos obtenidos. Se elaboró una simulación de la solución propuesta, para lo cual se simula un nodo final LoRaWAN y se utilizan un servidor LoRaWAN e IoT alojadas en nubes computacionales. Asimismo, se desarrolló un aplicativo móvil para sistema Android, que permite ingresar al sistema, registros almacenados y gráficos con la información (p.ii).

Según Tomanguilla, V. (2019) en su trabajo de tesis “Diseño e implementación de una arquitectura IOT de bajo costo aplicada al control remoto de hogares”, manifestó que:

El diseño del sistema se ha realizado teniendo en cuenta ciertos criterios, tales como el costo y la complejidad en la implementación. Para dar cumplimiento a dichos criterios se ha seleccionado adecuadamente el hardware, el cual permita una solución de bajo costo accesible para nuestra realidad; así como también se ha estudiado cuidadosamente la complejidad de los conocimientos empleados para el desarrollo del mismo, de tal manera de que éste sea sencillo de implementar. Se han realizado múltiples ensayos para probar el desempeño del sistema en un ambiente real, es decir en una vivienda habitada por potenciales usuarios, de tal manera que se pueda identificar posibles errores

y poder corregirlos oportunamente. El propósito de las mismas fue lograr un sistema lo más estable posible.

Palacios, (2017) en su tesis nombrada “Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de cultivos nativos utilizando internet del todo y redes FOG” precisa que:

Es posible disminuir las pérdidas en los cultivos, mediante el control de parámetros estables de cultivos nativos (variantes según la especie), haciendo uso de la agricultura de precisión (histogramas), esta reducción estimada se logra gracias a que al tener nuestros parámetros monitoreados y controlados será más fácil evitar que la causa de la pérdida se haga presente. (p.142)

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Cultivo de fresas

La fresa es una especie de hortícola que en el transcurso de la historia se ha cultivado desde varios siglos en Europa, Asia y los Estados Unidos de América, en el presente en nuestro país el cultivo de fresa se ha venido incrementando, donde el Perú ocupó el puesto 26° lugar de producción en el mundo, esto se debe que hay una buena condición de clima y suelo adecuado para el establecimiento de este cultivo.

En la ciudad de Tacna el cultivo de fresa tiene un potencial de 1800 hectáreas para el cultivo de frambuesas y fresas, esto es demandante ya que trae beneficios como la generación de puestos de trabajo y de mejorar la expectativa de vida de los integrantes de la cadena productiva.

Para obtener una producción comercial de alto beneficio y reducir los peligros de producción, es razonable idear un plan de contingencia para minimizar esos problemas de producción no deseadas, se requerida una cierta inversión para implementar un sistema de tecnología adecuado.

En el caso de cultivo de fresa hay varios métodos de producción, una de ellas es el sistema de cultivo hidropónico que minimizara la mala producción del

producto, este sistema facilita en ciertos aspectos el desarrollo correcto de la fresa.

2.2.2. Hidroponía

La palabra Hidroponía procede de las palabras griegas *hyros* (agua) y *ponos* (cultivo, labor). Por su parte, el diccionario de la Real Academia Española de la Lengua lo define como: “cultivo de plantas de solución acuosa, por lo general algún soporte como arena, grava, etc” (Samperio, 2005, p. 895).

Las ventajas de la hidroponía se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Ventajas en hidroponía

Ventajas técnicas	Ventajas económicas	Ventajas ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el consumo hídrico. • Disminuye el periodo vegetativo, aumentando el número de cosechas por año. • Más altos rendimientos por unidad de superficies. • Alto control del pH. • Humedad uniforme • Mejor drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de mano de obra. • Ausencia del control de maleza. • Bajo costo en control de plagas. • Mayor precio y calidad de la cosecha. • Se pueden producir varias cosechas al año. • No hay gasto de maquinaria agrícola (no requiere de arado ni implementos para suelo). • La recuperación de lo invertido es a corto plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo nivel de contaminación con plaguicidas. • Utilización de zonas desérticas inutilizadas para agricultura tradicional. • Se puede utilizar en espacios urbanos. • Se puede utilizar subproductos como sustratos. • Gran ahorro del consumo de agua. • Mayor limpieza e higiene.

Nota. Se demuestra las ventajas técnicas, las ventajas económicas y ventajas ambientales. Obtenido de Gálvez y Ramírez (2020).

La comparativa de cultivo tradicional entre el suelo y sin suelo se especifica en la tabla 2.

Tabla 2

Comparativa de cultivos tradicionales versus sin suelo

	Sobre Suelo	Sin suelo
Nutrición de planta	Muy variable difícil de controlar	Controlada, estable fácil de chequear y corregir.
Espaciamiento	Limitado a la fertilidad	Densidades mayores, mejor uso del espacio.
Control de malezas	Presencia de malezas	<i>Prácticamente inexistentes</i>
Enfermedades y patógenos del suelo y nematodos	<i>Enfermedades del suelo</i>	No existe patógenos del suelo
Agua	Plantas sufren estrés ineficientes uso del agua	No existe estrés hídrico perdida casi nula

Nota. Comparativas del cultivo sobre el suelo y sin suelo. Obtenido de Gálvez y Ramírez (2020).

2.2.2.1. Sistema “Raíz flotante”

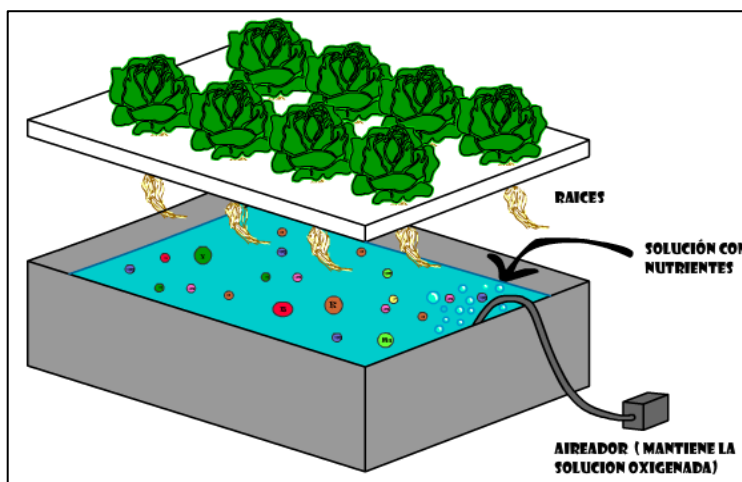
Las plantas están soportadas por una estructura flotante, como láminas de poliestireno perforado, por ejemplo, están por encima de la solución nutritiva con raíces sumergidas y esto se muestra en la Figura 1. Este sistema es apto para hortalizas de hoja, también es una práctica de agricultura ordinaria.

Las plantas hidropónicas han evolucionado gracias a las aportaciones e investigaciones de una serie de investigadores, que han desarrollado nuevas actualizaciones a la innovación de este elemento. Es

importante tener en cuenta que la hidroponía nunca dejará de crecer (Castañares J.,2020).

Figura 1

Esquema de un sistema de raíz flotante



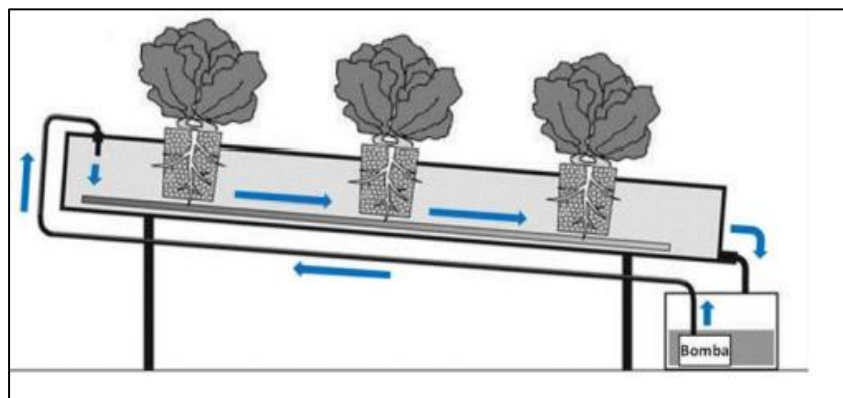
Nota. Representación del sistema raíz flotante.

Obtenido de Castañares (2020).

Esencialmente, esta técnica consiste en cultivar nuestras plantas en grandes superficies de poliestireno que se mantienen a flote en contenedores con una solución nutritiva frecuentemente oxidada. Este sistema permite la producción automatizada y, si tiene las herramientas adecuadas, requerirá un mantenimiento mínimo (como el control de plagas) y se acelera el tiempo de cosecha de la mayoría de los cultivos (Castañares J.,2020).

2.2.2.2. Sistema NFT

El nombre de este sistema proviene de la palabra inglesa “Nutrient Film Technique”. Una fina placa de solución nutritiva (0,5-1,0 cm) fluye a través de un tubo perforado en su parte superior, de manera que se introduce la planta. (Castañares J.,2020).

Figura 2*Esquema de un sistema NFT*

Nota. Representación de un sistema de técnica de la película de nutrientes. Obtenido de Castañares (2020).

El desplazamiento de la solución nutritiva dentro de las tuberías y hacia el tanque de fertilizante, se genera por gravedad, gracias a una inclinación del 4 o 5%. Una bomba moverá la solución nutritiva desde el tanque de almacenamiento hasta la parte superior de las tuberías.

Hay diferentes formas circulares, rectangulares, hexagonales, etc., en materiales de tubería (PVC y polipropileno) y medios a localizar tuberías (uno o más niveles). Es importante no permitir el pase de la luz en el interior, a fin de reducir el calentamiento de la solución.

La velocidad de circulación no debe ser excesiva para evitar que las plantas sean arrastradas por la solución y para su absorción por las raíces. Se recomienda un caudal de 1 a 2 litros/min. Al igual que en los sistemas de raíces flotantes, la técnica NFT se utiliza para las especies de hojas (Castañares J.,2020).

2.2.2.3. Cultivo en sustrato

El término "sustrato" se utiliza para definir cualquier material, de origen natural o sintético, que puede desplazar el suelo y realizar una función vegetativa. Los medios pueden ser una fuente de algunos nutrientes (generalmente orgánicos como compost, turba, etc.) o no (por ejemplo, perlita, musgo agrícola, lana de roca, etc.).

En el primer caso nos referimos a “cultivo sin suelo”, mientras que en el segundo caso a “hidroponía”, ya que el 100% de los nutrientes son aportados por la solución nutritiva (Castañares J.,2020).

Figura 3

Esquema de un cultivo en sustrato



Nota. Representación del esquema de cultivo en sustrato. Obtenido de Castañares (2020).

Es común trabajar con mezclas, combinando propiedades de más de un sustrato. En la Tabla 3 se da a conocer algunos de los sustratos que explica el origen, sus características y el uso. Esto ayudara en buscar la mejor condición del desarrollo de la planta y la asimilación de la solución nutritiva.

Tabla 3

Resumen de las características de algunos los sustratos más comunes en hidroponía y cultivo sin suelo

Sustrato	Origen	Características	Uso
Perlita	Se forma a partir de roca volcánica expandida a muy alta temperatura (1.000 a 1.200 °C)	Aporta poros de mayor tamaño que mejoran la aireación. La capacidad de retención de agua es limitada	Puede utilizarse sola o en mezclas en proporción de 40 a 50%

Tabla 3 (continuación)

Resumen de las características de algunos los sustratos más comunes en hidroponía y cultivo sin suelo

Sustrato	Origen	Características	Uso
Arena de río	Son arenas cuya granulometría oscila entre 0,5 y 2,0 mm, obtenidas de los lechos de los ríos.	Se trata de un material algo heterogéneo que con una buena capacidad de retención de agua.	Se utiliza en mezclas a razón de 30 a 40 %
Turba	Formada por restos vegetales en proceso de fosilización, obtenidos de turberas	Mejoran la capacidad de retención de agua. Presentan gran variabilidad y tienden a ser ácidas. Se degradan con facilidad	Se usa en mezclas en proporción de 30 a 40 %
Espuma fenólica	Es un sustrato inorgánico obtenido a partir de resina fenólica	Presenta un buen equilibrio entre capacidad de aireación y retención hídrica	Es empleada para la producción de los plantines, a partir de placas con divisiones y perforaciones
Cascara de arroz	Proviene de la industria del arroz. Es conveniente la desinfección antes de su uso	Mejora la capacidad de aireación de la mezcla	En mezclas en proporción de 10 a 20 %
Vermiculita	Es un mineral natural del grupo de las micas. Se extrae de minas y luego se procesa con la exposición a alta temperatura (800 °C) para eliminar impurezas	Por el menor tamaño de poros tiene una elevada capacidad de retención de agua.	Se emplea sola o en mezclas en proporción de 40 a 50%

Tabla 3 (continuación)

Resumen de las características de algunos los sustratos más comunes en hidroponía y cultivo sin suelo

Sustrato	Origen	Características	Uso
Corteza de pino	Proviene de la industria maderera	La capacidad de retención de agua es baja pero su aireación es elevada. Suelen ser materiales heterogéneos y se degradan. Es ligeramente ácida.	Se usa en mezclas en proporciones de 10 a 20 %

Nota. Tipos de alternativas de sustratos que se aplican en el cultivo para macetas, mangas, canaletas y entre otros. Obtenido de Castañares (2020).

2.2.3. Internet de las Cosas

Según Tapias (2021), el término “IoT” como tal, fue acuñado en 2009 por el profesor de MIT Kevin Ashton, quien usó por primera vez la expresión “internet of Things” de forma pública. Desde entonces el uso de este término ha ido creciendo de forma exponencial (p.30).

Acónimo en inglés (IoT), el Internet de las Cosas Internet de las cosas o IoT habla de la conexión de los objetos tecnológicos a internet y este concepto indudablemente se deriva del avance de la tecnología y la necesidad que esto trae de compartir y controlar las cosas que nos rodean (Parra, Guerrero, y Rico, 2017).

El internet de las cosas es el componente tecnológico fundamental sobre el cual el paradigma de la industria 4.0 (Cruz et al., 2015).

En los últimos años la tecnología IoT demostró que hubo un aumento de dispositivos conectados, para eso ha sido necesario en la aparición de nuevas tecnologías en las redes que sean aptos de interconectar una extremada cantidad de dispositivos electrónicos (Hernandez, S. 2020).

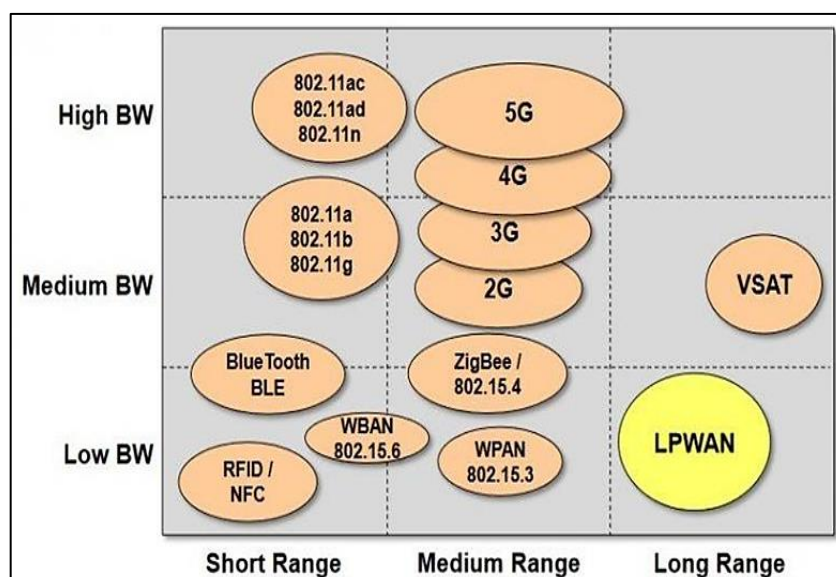
Para Tapias (2021), IoT se presenta de forma fuerte en los campos de redes basadas en protocolo IP, economía basada en capacidad de cómputo, miniaturización, análisis de datos y computación de la nube. Además, también

es usado en el sector de la salud, herramientas de aprendizaje, seguridad, optimización de procesos, agricultura, entre otros (p.30)

Como se visualiza en la figura 4 hay varios tipos de redes sobre el Internet de las Cosas con diferentes ventajas y desventajas, en exclusiva, la red LPWAN cubre con todos los requisitos para desarrollar el proyecto designado, capaz de transmitir o recibir de forma inalámbrica con pequeñas cantidades de datos de envío, pocas veces al día y de larga distancia.

Figura 4

Tipos de redes sobre internet de las cosas



Nota. Tecnologías de redes sobre el internet de las cosas. Obtenido de Hernandez (2020).

2.2.3.1. Arquitectura IoT

Hay diferentes propuestas para definir la arquitectura IoT pero se optó básicamente en 3 capas principales como se muestra en la figura 5.

- **Capa de percepción**

En esta capa se encuentran los elementos que interactúan con el ambiente.

- **Capa de red**

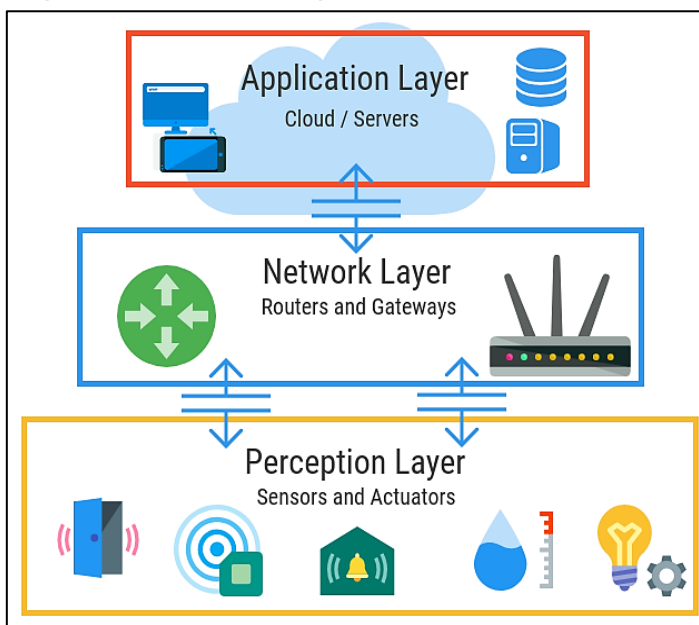
Es el medio por donde se transportan los datos en coordinación con la capa de aplicación.

- **Capa de aplicacion**

En esta capa se centra en el procesamiento y almacenamiento de los diferentes datos con servicios especializados para que finalmente se establezca la interacción con el usuario.

Figura 5

Arquitectura IoT de 3 capas



Nota. En la figura 5 se demuestra las capas básicas de la arquitectura IoT. Obtenido de Calihman (2019).

2.2.3.2. Estándar ISO/IEC 30141

El internet de las cosas está vigente en casi todo el mundo durante años. Sin embargo no había un estándar definido para Internet de las Cosas hasta el año 2018. La Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) publicaron en el año 2018 el primer estándar internacional denominado ISO/IEC 30141 que facilita una arquitectura de referencia de proyección para IOT que busca reforzar la

seguridad y la protección, consintiendo desplegar sistemas de confianza y respetuosos tanto con la privacidad como en el momento de afrontar un ciberataque. (ISOTools, 2018).

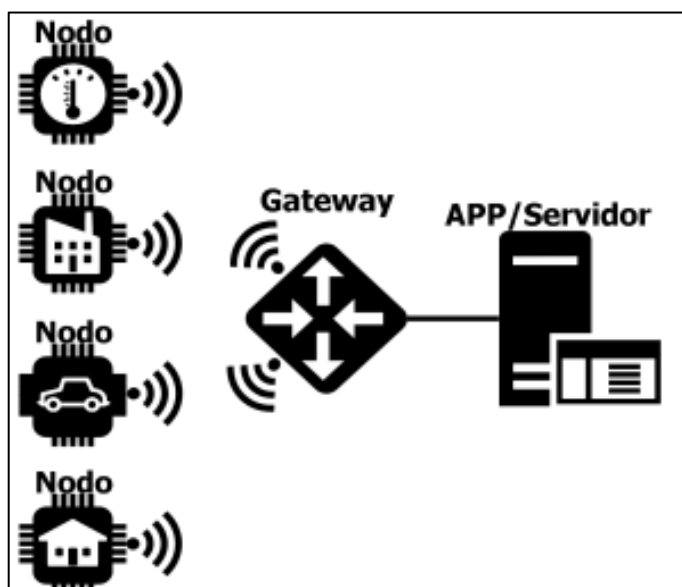
2.2.4. Redes de sensores inalámbricas

Se define como una red auto configurable que está integrada por una cierta cantidad de pequeños números de nodos sensores que están comunicados entre sí. La figura 6 muestra los componentes de una red inalámbrica.

En la red de sensores inalámbrica hay tres componentes básicos el nodo sensor o final, el Gateway y la estación base o servidor. Estos componentes funcionan en conjunto para realizar acciones de diferentes procesos de datos. Mediante los diferentes tipos de sensores de esta tecnología se obtiene la medición de variables físicas en un entorno determinado con gran detalle. Estas redes también realizan acciones mediante actuadores y procesamiento de datos comunicándose de manera inalámbrica con el Gateway a través de un transceptor (MET&FLU, 2019).

Figura 6

Componente de una red

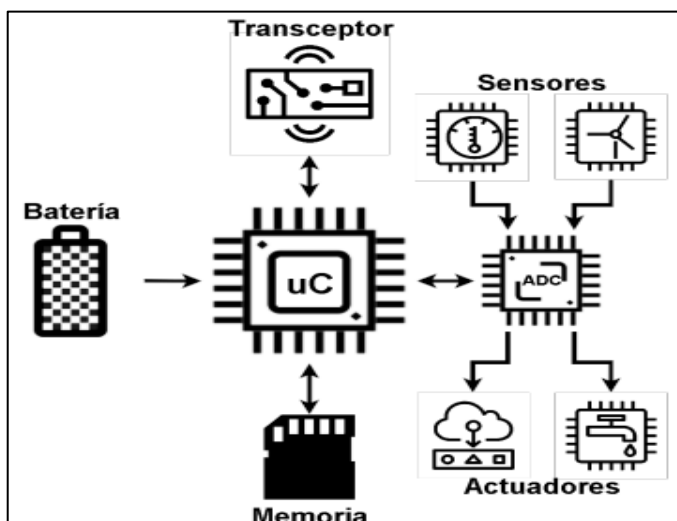


Nota. Esta figura muestra las componentes básicas de una red de sensores. Obtenido de: <https://cutt.ly/GGhDgld>

En la figura 7 se muestra la estructura de nodo sensor básico, esto se compone de una fuente de alimentación, un microcontrolador, una memoria interna o externa, un módulo de conexión o transceptor y una variedad de sensores y actuadores.

Figura 7

Estructura de nodo sensor o nodo final



Nota. En la figura se demuestra la estructura de un nodo final con sus respectivas partes. Obtenido de: <https://cutt.ly/GGhDgld>

a. Sensores

Los sensores son dispositivos de hardware que han sido construidos para capturar y leer la información del área donde quede instalada, con el fin de ser procesada. Pueden ser por ejemplo sensores de los teléfonos móviles, automóviles, la agricultura, el medio ambiente, aplicaciones médicas y entre otras muchas aplicaciones (Campaña S., 2018).

b. Transceptor

Es un dispositivo electrónico que permite la comunicación, envía y recibe datos para la conexión con otros dispositivos de los otros nodos. También trabajan en las bandas no comerciales en transmisiones de radio frecuencia (RF) entre 433 Mhz y 2.4 Ghz (Campaña S., 2018)

c. Memoria

El nodo sensor también está compuesto o integrado de un elemento que permite guardar la información que se captura durante el procesamiento de datos, en el caso de tratarse de memorias hay diferentes tipos como SD card, Memorias USB, Discos Duros y entre otras modelos (Campaña S., 2018).

d. Procesador

Es un dispositivo que tiene la capacidad de procesar, para poder efectuar un protocolo de comunicación deseado en la WSN. Es un chip o circuito integrado que hace parte de una tarjeta del nodo sensor (Campaña S., 2018).

e. Batería o suministro de energía

La batería es el elemento que permite suministrar energía para el funcionamiento eléctrico del nodo sensor. Hay diferentes tipos de fuente de energía como baterías recargables, baterías solares, alimentación con conectores USB y suministro de energía AC. La durabilidad de la batería depende del consumo del nodo sensor (Campaña S., 2018).

f. Nodos Sensores

Estos son diferentes dispositivos electrónicos que están configurados en el nivel de software y el hardware, luego usándolos para obtener información del entorno donde se instala la tecnología. El nodo sensor puede ser de diferentes formas de tamaño en el campo, en este caso, existen diferentes tipos de sensores para la agricultura, los medicamentos, la automatización industrial, la meteorología y otras aplicaciones. A través de los nodos, se puede realizar una

función específica, obtener la información necesaria del entorno, la toma de decisiones, la detección de comportamiento de posiciones inusuales (Campaña S., 2018).

En la figura 8 se demuestra alguno de los sensores que se usan en un nodo sensor o en varios nodos sensores, estos cumplen trabajos en diferentes campos dependiendo del uso específico.

Figura 8

Tipos de sensores



Nota. Tipos de sensores usados en las aplicaciones de un nodo sensor o final. Obtenido de Campaña (2018).

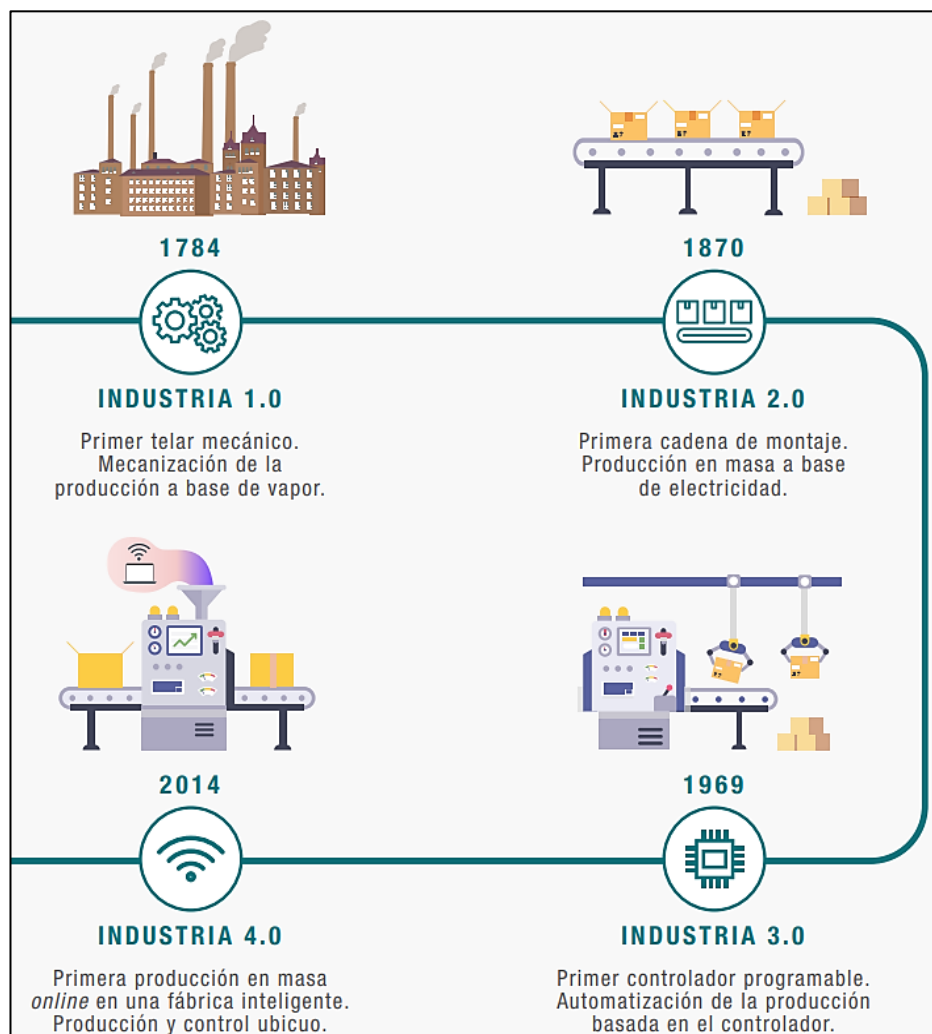
2.2.5. Industria 4.0

Como se visualiza en la figura 9, estas revoluciones muestran las mejoras en las operaciones de negocio y el crecimiento económico en la industria y en la sociedad, además esto paso por varios cambios en la evolución, la primera fue la mecánica movida por la energía generada por el agua y el vapor, la segunda la electricidad, la tercera la automatización basada en controlador y la cuarta en producción en masa online.

El concepto de la industria 4.0 representa la evolución desde el año 2014 hasta ahora, da referencia una industria inteligente, industria interconectada o ciber industria.

Figura 9

Las revoluciones industriales a lo largo de la historia



Nota. En la figura demuestra la revolución tecnológica en la industria 4.0. Obtenido de Deloitte (2016).

2.2.6. Low Power Wide Area Network (LPWAN)

2.2.6.1. Redes LPWAN

Las redes LPWAN de las siglas de Low Power Wide Área Network, se están convirtiendo en uno de los pilares de la implementación de las revoluciones industriales a lo largo de la historia de la Industria 4.0, es también una red alternativa frente a las tecnologías tradicionales como 2G, 3G o 4G (Hernández S.,2020).

Entre las características más destacadas de las redes LPWAN se destaca su gran cobertura, bajo costo y el consumo de energía, con lo cual garantiza obtener mediciones en tiempo real requerida por la productividad de los cultivos requerido para el monitoreo. Además, estas redes operan en las bandas de frecuencia sin licencia o con licencia. También permite lograr comunicaciones con un alcance mucho mayor a largas distancias y una velocidad de bits baja.

Las redes LPWAN no está diseñada para transferir grandes cantidades de datos, pero tiene una gran ventaja en la comunicación a larga distancias. Entonces, estos sirven para interconectar los dispositivos que requieren de mucho menos ancho de banda de comunicación, para esto hay diferentes aplicaciones que pueden ser:

- Ciudad inteligente
- Procesos Industriales
- Agricultura y ganadería
- Medicina general
- Dispositivos de uso personal y domesticas
- Tracking

Hay varios tipos de redes en la tecnología LPWAN que son el Sigfox, LTE-M, NB-IoT y LoRa que se observan en la figura 10. A continuación, se describen estas redes con sus respectivos conceptos para dar a conocer cuál es la red beneficiosa para el proyecto.

Figura 10

Redes LPWAN



Nota. Tipos de tecnologías de redes existentes en la actualidad de la LPWAN. Obtenido de Red GPS (2021).

Sigfox. Es principalmente para el desarrollo de las redes de Internet de las cosas (IoT), cuando el volumen de datos enviado es bajo, el rango operativo es grande y el consumo actual es muy baja. SigFox hace uso de la modulación por desviación de fase diferencial (D-BPSK) para que el mensaje tenga un ancho de banda fijo de 100 Hz y se envía con una velocidad de 100bps en Europa o 600bps en EE. UU., con un espectro de frecuencia sin licencia que está por debajo de 1 GHz. (Lavric, 2019).

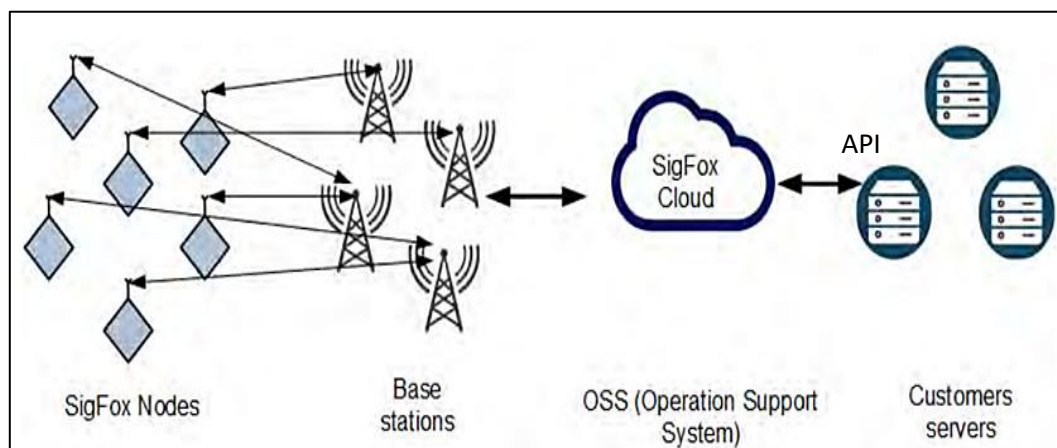
En cuanto a la tecnología utilizada, Sigfox utiliza dispositivos de corto alcance sin licencia (SRD860) y banda de frecuencia ISM (868 MHz en la región europea y 915 MHz en los Estados Unidos respectivamente) (Tsavalos, 2018).

Arquitectura de red Sigfox construye sus propias estaciones base para desplegar su red en todo el mundo. Debido a la frecuencia de banda utilizada, la propagación y la cobertura funcionan de manera bastante similar a los sistemas de redes celulares tradicionales (Tsavalos, 2018).

El sistema de la nube tiene integradas unas interfaces web para ingresar a sitios web en donde es posible acceder a dar de alta a los equipos y que también trabajan por una ID único, además esta permite el acceso de los clientes a los datos enviados por los sensores finales. También se puede trabajar con una APP y enlazarla o conectarla a la API de Sigfox (Hernández S.,2020).

Figura 11

Arquitectura de la red Sigfox



Nota. Estructura y comunicación de la Arquitectura de la red Sigfox. Obtenido de Lavric (2019).

LTE-M. Es una tecnología de red móvil 4G Y que también está complementado el 2G y 3G. En la actualidad esta tecnología permite la transmisión de paquetes, imágenes, textos y voz.

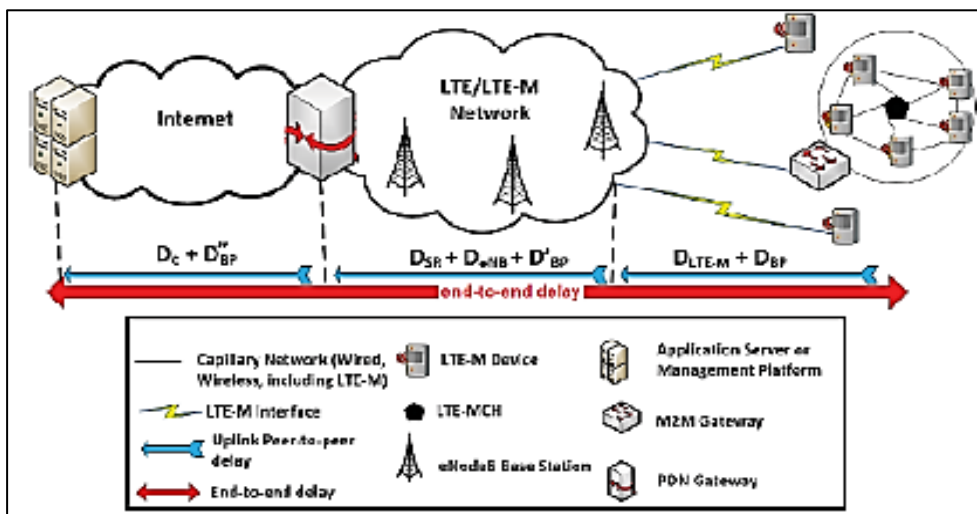
Fue estandarizado en el año 2016 por la 3GPP en la Reléase 13 al igual que la red NB-IoT esto permite una integración a un costo muy bajo, la tecnología ofrece seguridad y privacidad, también soporta los fabricantes de redes móviles y módulos de comunicación funcionando en la actualidad (Hernández S.,2020). La tecnología LTE-M usa principales características que:

- Trabaja en la modulación QPSK.
- Trabaja en las bandas de frecuencia LTE con la respectiva licencia.
- Trabaja con un ancho de banda de 1.4 MHz.
- Con una velocidad máxima de datos de 1 Mbps.
- Alcanza 5 km en las áreas rurales y 1 km en las áreas urbanas.
- En el suministro de energía o la batería trabaja con una vida útil hasta 10 años.
- Permite el funcionamiento a tiempo real de las aplicaciones.
- Está Preparada para dispositivos en movimiento.
- Soporta el trabajo de voz a través de VoLTE.

La Arquitectura de red La LTE-M esta optimizada para soportar IoT y se basa a la red LTE. Los dispositivos realizan un enlace con el gateway si se esta recopilando las informaciones de varios dispositivos o tambien directamente a las estaciones base(eNodeB), tambien realizan el procedimiento de recopilacion de informacion y luego la hace llegar a la internet. La arquitectura de la tecnologia se representa en la figura 12 (Hernández S.,2020).

Figura 12

Arquitectura de red LTE-M



Nota. Estructura y comunicación de la Arquitectura de la red LTE-M. Obtenido de Hernández (2020).

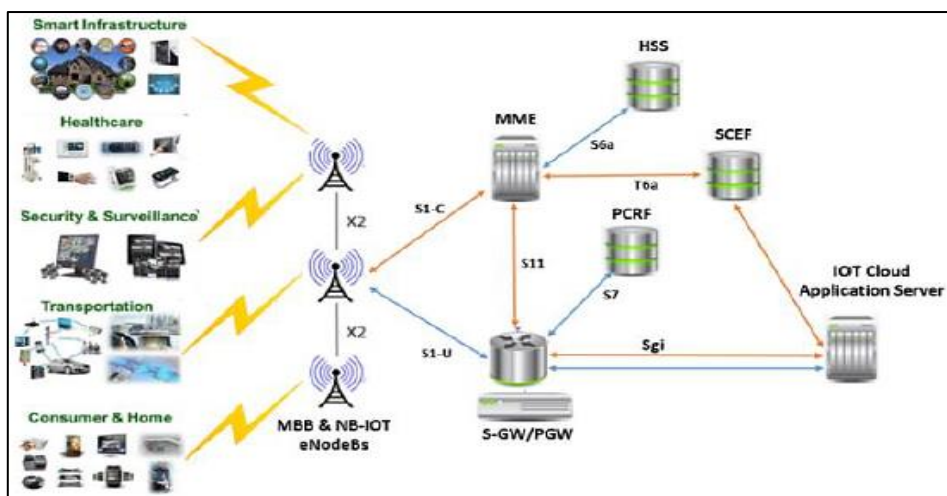
NB-IoT. La tecnología NB-IoT se expresa como banda estrecha para el internet de las cosas que puede entenderse con GSM y LTE en la banda de frecuencia con licencia de la versión reléase 13 de la especificación 3GPP. Mediante la licencia puede soportar conexiones excesivas, esto quiere decir que no comparte el espectro requerido ni tiene algunas condiciones del ciclo de trabajo (Hernández S.,2020). Las principales características de esta tecnología son que:

- Trabaja en la modulación QPSK.
- Trabaja con las bandas de frecuencias LTE con licencia requerida y en 2G.
- Trabaja en el ancho de banda 200 KHz.
- Tiene velocidad máxima de datos 100 kbps.
- Alcanza desde 1 km en las áreas urbanas y 10 km en las áreas rurales.
- Tiene portabilidad total para la conexión.
- Tiene Sensibilidad de -142 dBm

La Arquitectura de red de la tecnología NB-IoT se muestra en la figura 13. Está basada en la arquitectura de la red LTE y está relacionada a la EPC (Evolved Packet Core), puede soportar las conexiones masivas de los dispositivos logrando así las transmisiones cortas de los datos esto ayuda a perfeccionar el plano de control y del usuario (Hernández S.,2020).

Figura 13

Arquitectura de la red NB-IoT



Nota. Estructura y comunicación de la Arquitectura de la red NB-IoT. Obtenido de Hernández (2020).

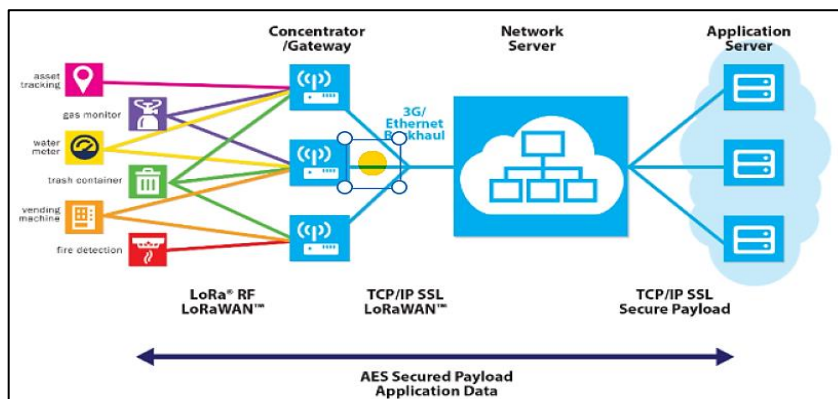
LoRaWAN. es un protocolo de red que usa la tecnología LoRa para la comunicación y administración de los dispositivos, también es la capa de acceso al medio de comunicación y se desarrolla de forma abierta por LoRa Alliance, también la tecnología Lora es de tipo de modulación en radiofrecuencia y su fabricante o propietario es Semtech (Hernández S.,2020). Sus principales características son:

- Trabaja en la modulación Chirp Spread Spectrum.
- La red opera en las bandas ISM sin licencia.
- Las bandas de trabajo son de 868 MHz para Europa, 915 MHz en América y 433 MHz en Asia.
- Trabaja en el ancho de banda de 250kHz y 125kHz.
- Funciona a velocidad máxima de datos de 50 kbps.
- Distancia de trabajo a 5 km urbano y 20 km rural eso depende de la potencia transmisor o receptor.
- El consumo de energía es mínimo.

LoRaWAN utiliza la arquitectura de red tipo estrella para la conexión de un solo salto, estas redes son posibles de implementar y también gestionar

porque no requiere enrutamiento, esta arquitectura se visualiza en la figura 14 (Hernández S.,2020).

Figura 14
Arquitectura de la red LoRaWAN



Nota. Estructura y comunicación de la Arquitectura de la red LoRaWAN. Obtenido de Caballero (2020).

2.2.6.2. Comparación entre tecnología LPWAN

Cada una de las redes de LPWAN garantiza las soluciones a diferentes necesidades específicas en el trabajo de las comunicaciones, dado que sus comportamientos o forma de trabajo no son iguales, en la tabla 4 se puede visualizar una comparativa de todas las características de las diferentes redes de la LPWAN.

Tabla 4

Comparativa entre las redes de LPWAN

Tecnologías	Sigfox	LoRaWAN	LTE-M	NB-IoT
Modulación	BPSK	CSS	QPSK	QPSK
Frecuencia (MHz)	Bandas ISM sin licencia 868 MHz(Europa), 915 MHz(America del Norte) y 433 MHz (Asia).	Bandas ISM sin licencia 868 MHz(Europa), 915 MHz(America del Norte) y 433 MHz(Asia).	Bandas de frecuencia LTE con licencia.	Bandas de frecuencia LTE con licencia y 2G.

Tabla 4 (continuación)

Comparativa entre las redes de LPWAN

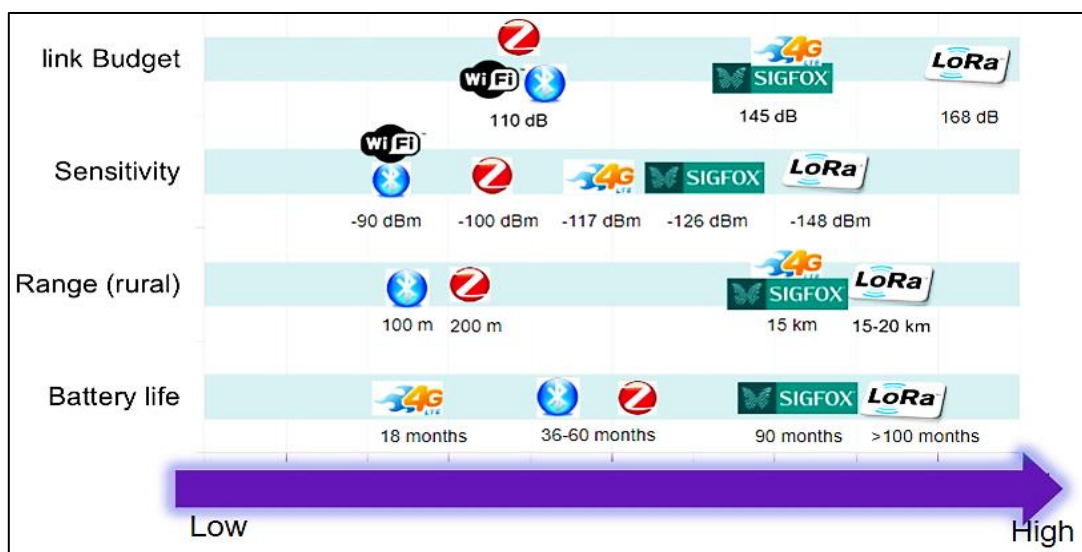
Tecnologías	Sigfox	LoRaWAN	LTE-M	NB-IoT
Ancho de Banda	100 Hz	250 kHz-125 kHz	1,4 MHz	200 kHz
Velocidad de datos maxima	100 bps	50 kbps	1 Mbps	100 kbps
Bidireccional	Half-duplex	Half-duplex	Full-duplex	Half-duplex
Maximo mensajes/día	140 (UpLink) 4 (DownLink)	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Maxima carga útil (bytes)	12 bytes(UL) 8 bytes (DL)	243 bytes	27.2 (DL) 62.5 (UL)	1600 bytes
Distancia	10 km (urbano) 40 km (rural)	5 km (urbano) 20 km (rural)	1 km (urbano) 5 km (rural)	1 km (urbano) 10 km (rural)
Duracion de bateria (Suministro de carga)	20 años	15 años	10 años	10 años
Inmunidad a interferencias	Muy alto	Muy alto	Medio	Bajo
Autenticacion y encriptacion	No	Si(AES 128b)	Sí(LTE)	Si(LTE)
Tasa de datos adaptativa	No	Si	No	No
Handover de los dispositivos finales	No se conectan a una sola estacion base	No se conectan a una sola estacion base	Se conectan a una sola estacion base.	Se conectan a una sola estacion base.
Comunicación en tiempo real.	No	No	Si	No
Localización	Si(RSSI)	Si(TDOA)	Sí	No
Permite red privada	No	Si	No	No
Estandarizacion	ETSI de la red basada en Sigfox.	LoRa-Alliance	3GPP	3GPP
Servicio	Pagado	Gratuito / Pagado	Pagado	Pagado

Nota. Esta tabla demuestra la comparación las características de las diferentes redes LPWAN. Obtenido de Hernández 2020.

En la figura 15 se aprecia la comparación entre las tecnologías de las redes LPWAN, teniendo en cuenta el enlace, sensibilidad, rango y duración de la batería en el eje vertical y la versatilidad en el eje horizontal. Mediante las características y la versatilidad se puede elegir la tecnología o red requerida.

Figura 15

Comparativa entre las tecnologías LPWAN



Nota. Características principales de las tecnologías LPWAN. Obtenido de Surfing the Big Data Wave on a LoRaWAN IoT Device (2017).

Para concretar las redes LPWAN que se analizan en esta investigación y que están introduciéndose en Perú son Sigfox y LoRaWAN. LoRaWAN presenta ventajas frente al Sigfox por los niveles de seguridad, de brindar un servicio gratuito y su bidireccionalidad (Mekki, 2017).

Mediante la tabla 4 y La figura 15 se puede concluir también que la red apropiada es la LoRaWAN ya que cubre con las necesidades del proyecto, presenta múltiples ventajas como el costo del servicio, privacidad, duración de la batería, distancia de conexión y entre otros aspectos de conformidad para el proyecto.

2.2.6.3. Redes LoRaWAN


Es una de las redes diseñada con características para su uso en soluciones de Internet de las Cosas. Realiza la comunicación directa con diferentes dispositivos finales sin la necesidad de un elemento intermedio, esa manera de operar facilita una comunicación básica entre elementos.

LoRaWAN destaca algunas ventajas importantes como se muestra en la tabla 5. LoRaWAN concreta el protocolo de comunicación y la arquitectura del

sistema para la red, mientras Lora permite el enlace de comunicación de largo alcance.

Tabla 5

Ventajas importantes de implementar una red LoRaWAN

 Largo alcance	 Batería de larga duración	 Alta capacidad	 Bajo costo
<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura profunda en interiores (incluidos edificios de varios pisos). • Diseño de red con topología en estrella. 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizado para bajo consumo. • Vida útil de hasta 10 años. • Hasta 10x versus Cellular M2M. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad Alta – millones de mensajes por estación base / 31naámb. • Interoperabilidad multiusuario. • Implementaciones de redes públicas o privadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura mínima. • Nodo final de bajo costo. • Software de código abierto.
 Geolocalización	 FUOTA	 Roaming	 Seguridad
<ul style="list-style-type: none"> • Interior / exterior. • Preciso sin necesidad de GPS. • Sin impacto en la duración de la batería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Actualizaciones de firmware por aire para aplicaciones y la pila LoRaWAN. 	<ul style="list-style-type: none"> • Roaming: Traspasos continuos de una red a otra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cifrado AES-128 integrado de extremo a extremo. • Único ID • Aplicación • Red

Nota. La tabla se muestra las ventajas de la red LoRaWAN. Obtenido de SEMTECH (2019).

Lora es una tecnología patentada por la corporación Semtech, esta funciona en la banda ISM. La asignación de frecuencia y reglamentación varían por región y eso se muestra en la tabla 6, donde se asigna la frecuencia 868

MHz para Europa y la frecuencia de 915 MHz para América del Norte. Asia tiene diferentes requisitos configurados (SEMTECH, 2019).

Tabla 6

Comparación de las especificaciones de LoRa para Europa y América del Norte donde se utiliza las bandas ISM

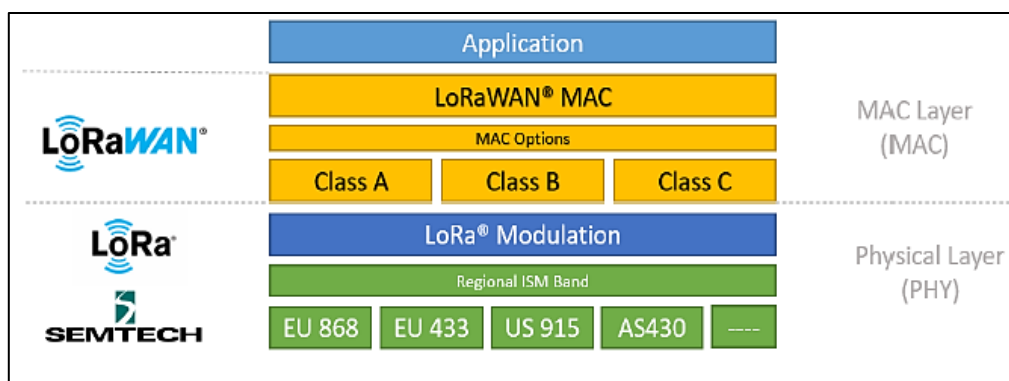
Parámetros	Europa	América del Norte
Banda de frecuencia	867-869 MHz	902-928 MHz
Canales	10	64+8+8
Canal banda ancha ascendente.	125/250 kHz	125/500 kHz
Canal banda ancha descendente.	125 kHz	500 kHz
Tx encendido	+14 dBm	+20 dBm típ
Tx desconectado	+14 dBm	+27 dBm
Spreading factor up	7-12	7-10
Velocidad de datos	250 bps – 50 kbps	980 bps – 21.9 kbps
Link budget UP	155 dB	154 dB
Link budget DOWN	155 dB	157 dB

Nota. La tabla muestra la comparativa de las bandas de frecuencia de Europa y América del Norte. Obtenido de LoRa Alliance (2015).

Es importante recalcar en la distinción entre el estándar LoRaWAN y LoRa. Se aprecia en la figura 16, que no son términos intercambiables en este caso. LoRa define en la capa física la modulación y en LoRaWAN es una definición de protocolo MAC que gestiona el rendimiento técnico que admite baja potencia, largo alcance y alta capacidad en redes LPWAN. En general el estándar de comunicación y la arquitectura del sistema determina el rendimiento de la tecnología en el área de comunicación requerida para el proyecto (SEMTECH, 2019).

Figura 16

Pila de tecnología LoRaWAN

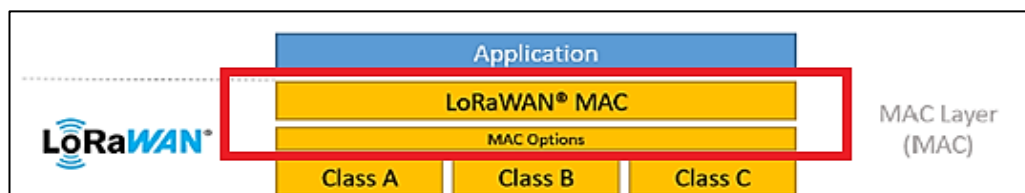


Nota. En la figura demuestra las capas de LoRa con LoRaWAN. Obtenido de SEMTECH (2019).

La capa MAC. Como se muestra en la figura 17 se le conoce como Control de Acceso Media, LoRaWAN MAC se encarga de conectar diferentes dispositivos LoRa, gestionando sus canales y parámetros de conexiones del canal, ancho de banda, cifrado de datos, etc. Esta también se puede dar a conocer en la figura 17 la gestión de control con el modelo OSI en el nivel 3 en la red (2CIGroup, 2021). Basado también en el modelo OSI, en la capa 1 del nivel físico se encuentra la tecnología LoRa, como se explica esta tecnología permite el envío y la recepción en un enlace de punto a punto.

Figura 17

Capa MAC



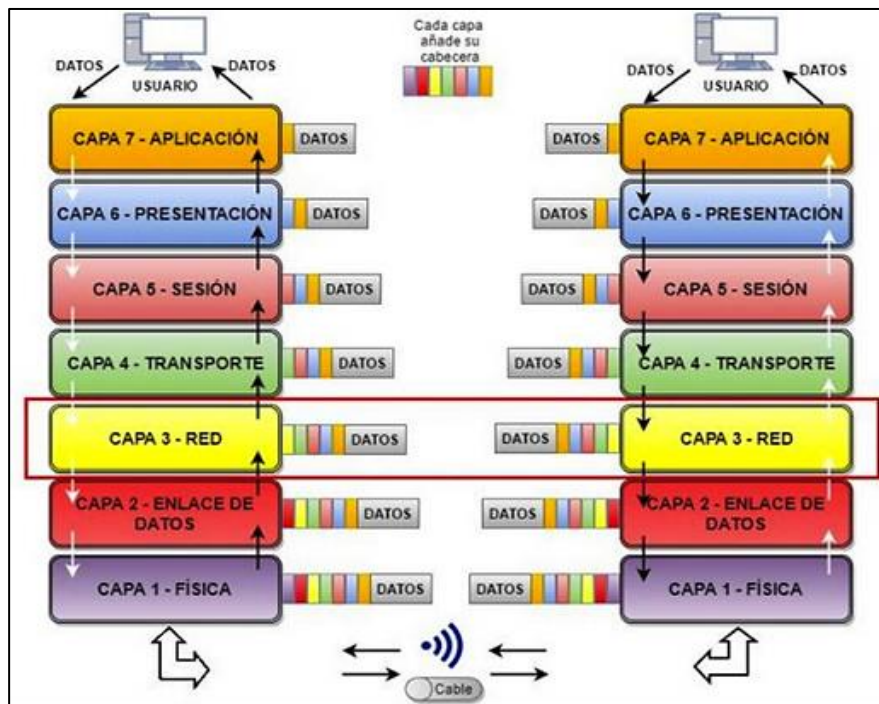
Nota. Etapas del LoRaWAN para el nivel físico. Obtenido de SEMTECH (2019).

Como se visualiza en la figura 18, el modelo OSI da referencia de los protocolos de comunicación en las redes de datos. Fue creado en el año 1980 por la Organización Internacional de Normalización (ISO); este modelo tiene

siete capas de son la aplicación, presentación, sesión, Transporte, Red, Datos y Físicas (Olivares J.,2020).

Figura 18

Flujo de datos en las capas del modelo OSI



Nota. Modelo OSI como ejemplo para LoRaWAN. Obtenido de Carrión (2018).

El grupo de estándares IEEE 802.11. Describe la capa física y MAC de redes inalámbricas WLAN locales, en Polonia comúnmente es conocidas como Wi-Fi. Incluye cuatro protocolos independientes a, b, g y n, el protocolo 802.11 a/b/g/n fue el primer protocolo ampliamente utilizado y esto se visualiza en la figura 18, estos estándares están considerados como indentificadores de canales y frecuencia, es por donde se conectara los host a la WLAN (Mora A. y Macias R., 2021).

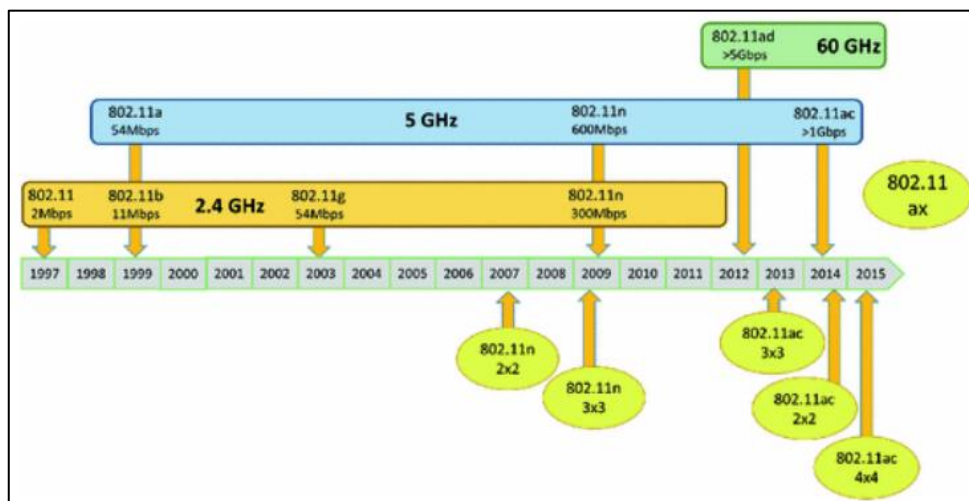
Las características de los estándares se presenta en la Tabla 7. Esto demuestra la velocidad máxima de envío y recepción, la operación en la banda de frecuencia y la compatibilidad entre ellos.

En la figura 19 se puede apreciar la evolución del estándar 802.11 en la historia de las comunicaciones inalámbricas.

Tabla 7*Características de los estándares 802.11*

Estándar	Velocidad máxima	Banda Frecuencia	Compatible con modelos anteriores
IEEE 802.11 ^a	Hasta 54 Mb/s.	5 GHz	No
IEEE 802.11b	Hasta 11 Mb/s	2.4 GHz	No
IEEE 802.11g	Hasta 54 Mb/s	2.4 GHz	802.11b
IEEE 802.11n	150 Mb/s hasta 600 Mb/s	2.4 GHz o 5GHz	802.11 ^a /b/g

Nota. Estandares que regula las comunicaciones inalámbricas .Obtenido de Mora y Macias (2021).

Figura 19*Evolución del estándar 802.11*

Nota. Tipos de estandares usados en la historia para las comunicaciones inalámbricas. Obtenido de Mora y Macias (2021).

En las Clases. Los nodos finales de LoRaWAN se clasifican en tres categorías clase A, B y C para que los dispositivos funcionen y esto se demuestra en la figura 16. Todos los dispositivos de LoRaWAN deben entrar en funcionamiento en la clase A, mientras que CLASE B y CLASE C son extensiones de los dispositivos de la CLASE A. Los dispositivos de la clase C tienen que admitir los tres modos de funcionamiento, en estos modos de funcionamiento los dispositivos se comunican en la red.

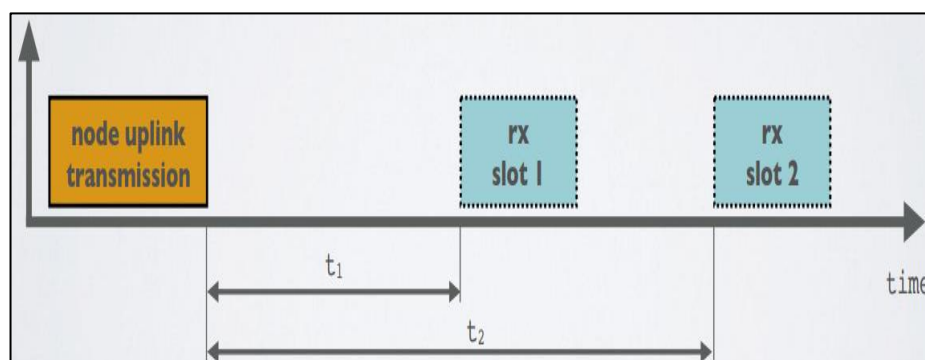
Los dispositivos finales de clase A que se muestran en la Figura 20, tienen dos ranuras para transmisión de enlace descendente después de una transmisión de enlace ascendente, por lo tanto, dispositivos finales consumen la energía más baja para sus operaciones en comparación con otras clases.

La ventana de transmisión de enlace ascendente está dedicada por dispositivo final de acuerdo con lo que necesita de una manera similar al protocolo Aloha.

Ofrece la cantidad de ahorro de energía debido a que solo entra en modo escucha después de enviar un paquete dato hacia el Gateway, por eso es ideal para dispositivos que usan una batería más compacta (Planes A.,2020).

Figura 20

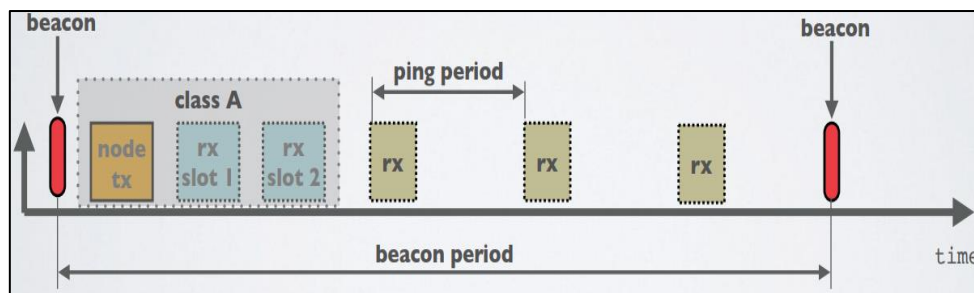
Capa clase A



Nota. La comunicación la inicia el dispositivo final, el cual envía un mensaje de enlace ascendente en cualquier momento. Obtenido de:

<https://cutt.ly/ZGjx1Rf>

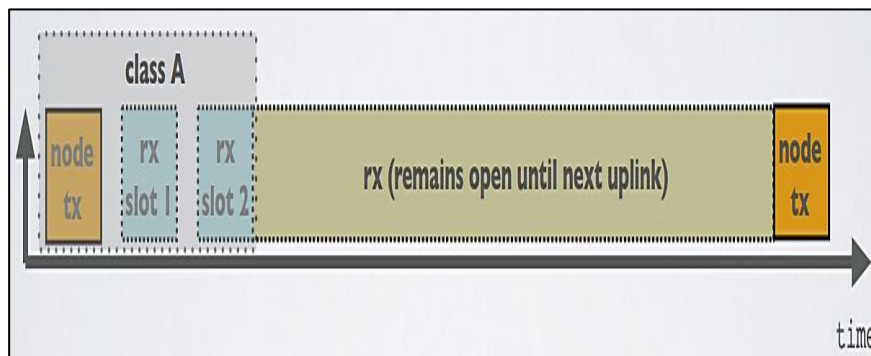
En la clase B que se muestra en la Figura 21, se realiza una modificación en términos de ranuras de recepción. Una ventana de transmisión de enlace descendente más (ranura de ping) se puede dedicar por la pasarela de acuerdo con su necesidad en un tiempo predefinido y sincronizado usando marcos de baliza. Las ventanas de recepción son establecidas en unos tiempos determinados (Planes A.,2020).

Figura 21*Capa clase B*

Nota. Son bidireccionales, con ventanas de recepción programadas..

Obtenido de: <https://cutt.ly/ZGjx1Rf>

En los dispositivos de clase C que se visualiza en la figura 22 siempre tienen su radio encendida casi todo el tiempo, también están “escuchando” mensajes de enlace descendente. La única vez que no pueden recibir es cuando están transmitiendo un mensaje. Está diseñado para dispositivos alimentados por la red como actuadores, que deben poder controlarse en todo momento. (Planes A.,2020).

Figura 22*Capa clase C*

Nota. Su comunicación es de baja latencia, pero consume más energía comparado con los dispositivos de clase A. Obtenido de:

<https://cutt.ly/ZGjx1Rf>

2.2.6.4. Capa física

Los dispositivos finales cambian de canal con una secuencia pseudoaleatoria y variando la velocidad de datos disponibles. La capa física se

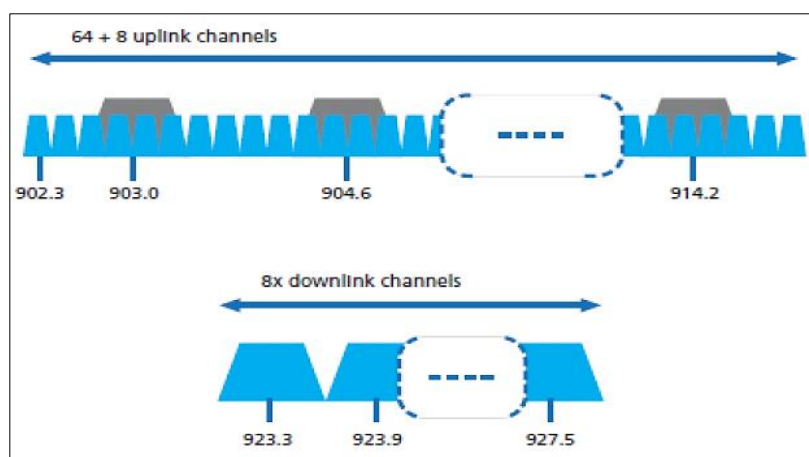
basa en la modulación de espectro expandido, con velocidades de 0.3 kbps hasta 50 kbps.

Modulación LoRa. Es una técnica en modulación de espectro ensanchado derivada de la tecnología Chirp Spread Spectrum (CSS) que permite comunicaciones de largo alcance, además esta técnica ofrece sensibilidad y velocidad de datos. Opera en un canal de ancho de banda fijo de 125 KHz o 500 KHz para canales de enlace ascendente) y 500 KHz (para canales de enlace descendente. También, utiliza elementos de dispersión ortogonales ya que ayuda a ampliar la vida útil de la batería o fuente de energía de los nodos finales conectados y también las velocidades de datos de un nodo final individual (SEMTECH, 2019).

En las características de la modulación del LoRa para cada región se define y esta detallada como un documento en LoRa Alliance que ya está estandarizado. Para América del Norte tiene 64 canales para enlace ascendente LoRa de 125 kHz, centrado en un ráster de 200 kHz como se detalla en la figura 23. También hay 8 canales de enlace ascendente de 500 kHz, así como también para el enlace descendente de 500 kHz. En las puertas de enlace pueden tener hasta 64 canales de enlace ascendente de 125 kHz, para el enlace ascendente y descendente con 8 canales de 500 kHz. La puerta de enlace se le conoce como macro puerta de enlace de solo para aplicaciones al aire libre (SEMTECH, 2019).

Figura 23

Asignación de frecuencia en la modulación Lora



Nota. Asignación de la frecuencia estandarizada. Obtenido de SEMTECH (2019).

Las características o parámetros de la modulación LoRa se presentan en la tabla 8.

La ortogonalidad en los factores de dispersión permite la transmisión de múltiples señales LoRa que están en la misma frecuencia de canal y en la misma franja horario.

Tabla 8

Características de la modulación LoRa

Velocidad de datos (DR)	Extensión Factor (SF)	Canal frecuencia	Enlace ascendente o enlace descendente	Tasa de bits (bits/seg)	Usuario máximo Tamaño de la carga útil (bytes)
0	SF10	125kHz	Ascendente	980	11
1	SF9	125kHz	Ascendente	1760	53
2	SF8	125kHz	Ascendente	3125	125
3	SF7	125kHz	Ascendente	5470	242
4	SF8	125kHz	Ascendente	12500	242
5-7					
8	SF12	500 kHz	Descendente	980	53
9	SF11	500kHz	Descendente	1760	129
10	SF10	500 kHz	Descendente	3125	242
11	SF9	500kHz	Descendente	5470	242
12	SF8	500kHz	Descendente	12500	242
13	SF8	500kHz	Descendente	21900	242

Nota. Asignación de la modulación LoRa con Stream Factor. Obtenido de SEMTECH (2019).

El Chirp Spread Spectrum (CSS). Semtech brinda una alternativa bajo costo y consumo para codificar y decodificar. La CSS es una técnica de espectro ensanchado que utiliza pulsos de chirp modulados en frecuencia lineal de la banda ancha para codificar la información y tiene una ventaja en la compensación de sincronización y frecuencia entre el transmisor y el receptor que son equivalentes (SEMTECH, 2019).

Las características de esta técnica son:

- **Chirp**, señal de barrido, su frecuencia cambia a una velocidad fija.
- **Up-Chirp**, chirrido alto, va desde la frecuencia más baja a las más alta.

- **Down- Chirp**, chirrido bajo, va desde la frecuencia más alta y disminuye con el tiempo.

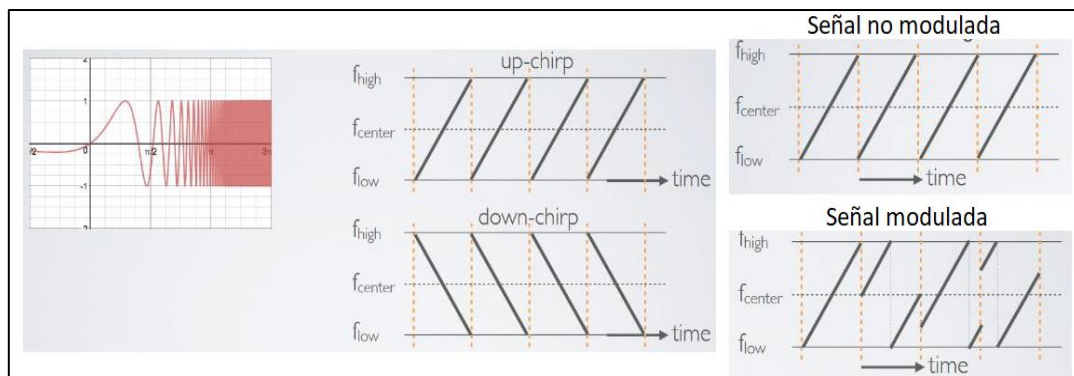
LoRa es un esquema de modulación de espectro ensanchado que se basa en la modulación Chirp Spread Spectrum (CSS), que permite la comunicación de datos de largo alcance. CSS es una técnica de espectro ensanchado que utiliza pulsos de chirp modulados en frecuencia lineal de banda ancha para codificar la información.

Chirrido hacia abajo.

Comienza con su frecuencia más alta y las frecuencias disminuyen con el tiempo. Cuando se alcanza la frecuencia más baja, vuelve a saltar a su frecuencia más alta y el proceso comienza de nuevo. La modulación LoRa se visualiza en la figura 24.

Figura 24

Espectro extendido de chirrido



Nota. Transmisión de datos que tiene una serie de señales moduladas y no moduladas. Disponible en: <https://cutt.ly/0GjRsOo>

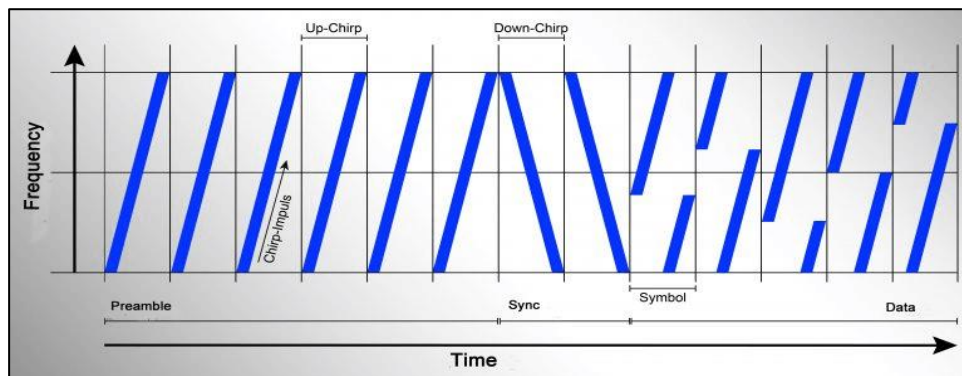
LoRa representa modulación y demodulación posible de aplicarse tanto en terminales como en puertos. Hay un módulo de radio en el transceptor y el receptor.

Cuando se procesa un mensaje LoRa, se transmite un chirrido constante de preámbulo largo para permitir la detección de la señal LoRa. Son 6 tonos de realce enviados como símbolos de apertura

En La figura 25 se visualiza un ejemplo de la señal transmitida utilizando modulación LoRa, Aplicando el CCS.

Figura 25

Ejemplo de modulación LoRa

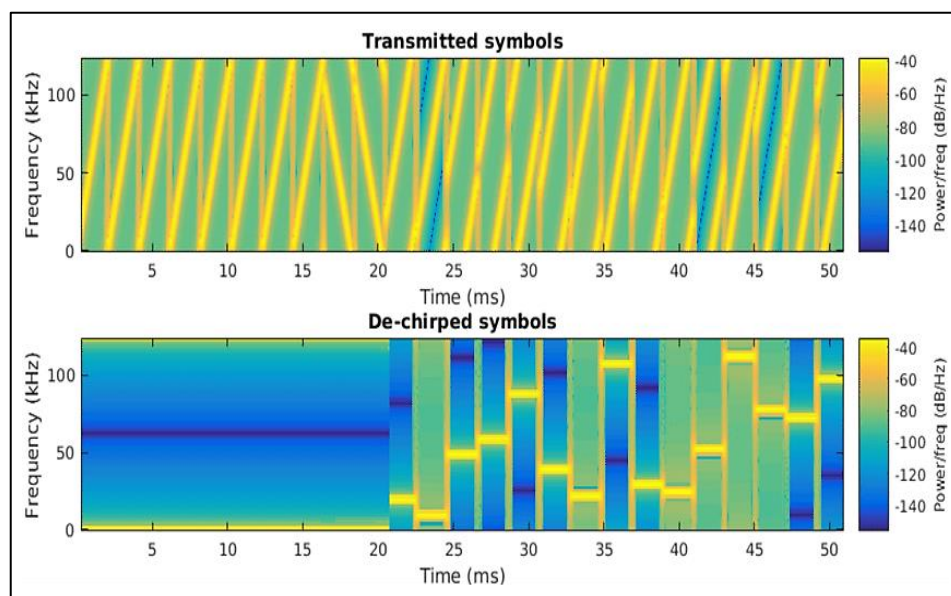


Nota. Señal transmitida. Disponible en: <https://cutt.ly/0GjRsOo>.

En la demodulación Lora que se muestra en la figura 26 ocurre lo contrario, que el primer paso es eliminar el sonido agudo de la señal, para luego averiguar los símbolos que transmitió el remitente.

Figura 26

Demodulación LoRa



Nota. Señal recibida por el transmisor. Disponible en:

<https://cutt.ly/0GjRsOo>

Ancho de Banda. El aumento permite una tasa de datos más alta reduciendo el tiempo de transmisión. Los valores definidos para la modulación son 125 kHz, 250 kHz y 500 kHz. Menos ancho de banda permite a la comunicación ser más rápida ya que disminuye el tiempo de bit y a la vez aumenta la capacidad de canal. Como se puede apreciar en la tabla 9 la función entre B y SF.

Tabla 9

Función B y SF

SF	125 kHz	250 kHz	500 kHz
6	9,4 kb/s	18,8 kb/s	37,5 kb/s
12	0,293 kb/s	0,588 kb/s	1,17 kb/s

Nota. En la tabla se visualiza en función del ancho de banda y Spreading Factor más usados. Obtenido de LoRa Alliance (2015).

Tasa de bit, tasa de símbolo y Factor de ensanchado. Según Heredia, M. 2021. La velocidad de chip (R_C) significa la cantidad de vibración o ciclo de onda por segundo de la señal de código utilizada. Está estrechamente vinculado al ancho de banda de la señal para:

$$BW = R_C \quad (1)$$

La tasa de símbolo (R_s) representa la velocidad a la que se envía la información y está relacionada con la velocidad del chip a través del factor de propagación (SF) En ella determina la cantidad de bits utilizados para codificar un símbolo. Un chirp de LoRa está dividido en 2^{SF} pasos o chips. (Heredia, M. 2021).

$$R_s = \frac{BW}{2^{SF}} \quad (2)$$

Determina también la relación señal-ruido (SNR) afectando a la sensibilidad del receptor. Utiliza la siguiente formula:

$$S = 174 + 10 \log_{10}(BW) + NF + SNR \quad (3)$$

Donde:

S= Sensibilidad del receptor

NF= Figura de Ruido al receptor

SNR= Relación señal a ruido

Cuando el factor de potencia aumenta, la velocidad de transferencia será menor pero mayor será la inmunidad al ruido y el receptor es más sensitivo.

Teorema de Shannon Harley. Todos los tipos de las técnicas de espectro ensanchado se asientan fundamentalmente en el Teorema de Shannon-Hartley inicialmente propuesto y establecido por Harry Nyquist y Ralph Hartley, modificado últimamente por Claude Shannon. Ese teorema establece que la información máxima tasa de transmisión con un ancho de banda específico, sujeto a aditivos ruido gaussiano blanco. (Price E. 2012).

También define la capacidad del canal de Shannon y la máxima velocidad de datos posible con un ancho de banda en presencia de interferencia de ruido. (Sahu R. 2021)

$$C = B \times \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (4)$$

En donde:

C= Capacidad de canal (bit/s)

B= Ancho de banda (Hz)

N= Ruido medio o potencia de interferencia (Watts)

S/N= Relación señal-ruido (SNR)

Solucionando la ecuación transformando de log2 a logaritmo natural, la nueva forma se deriva como:

$$\frac{C}{B} = 1,433 * \frac{S}{N} \quad (5)$$

Por último, considerando la insignificante presencia de ruido, debido a la muy comunicación de baja potencia (incluso por debajo del suelo de ruido) en la técnica de espectro ensanchado, la ecuación da como resultado:

$$\frac{C}{B} \approx \frac{S}{N} \quad (6)$$

En la modulación LoRa, CSS se utiliza como portador de información. Además, el tiempo y las compensaciones de frecuencia entre el transmisor y el receptor son equivalentes, lo que omite la complejidad para el diseño del receptor.

(Sahu R. 2021) fundamenta que el ancho de banda de frecuencia de la señal chirp es equivalente al ancho de banda espectral de la señal modulada. La relación entre la tasa de bits de los datos, la velocidad de los iconos y la velocidad del chip se puede expresar de la siguiente manera:

Si la tasa de modulación $=R_b$

Entonces:

$$R_b = SF * \frac{1}{\left[\frac{2^{SF}}{BW} \right]} \quad (7)$$

Donde,

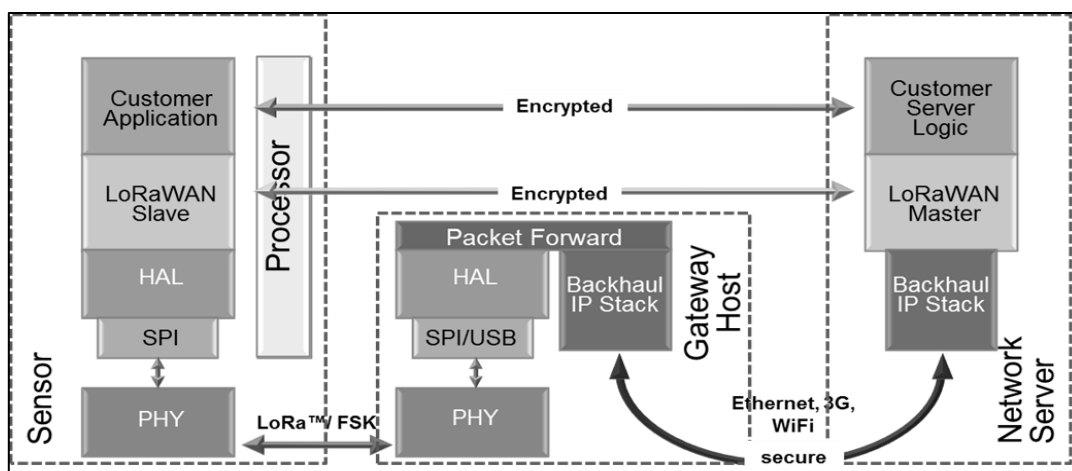
SF = Spreading Factor {7, 12}

BW = Ancho de banda de modulación [Hz]

Topología de red. En la figura 27 se visualiza las especificaciones de los parámetros de la capa física del dispositivo hasta la infraestructura LoRa y el protocolo LoRaWAN y, por lo tanto, proporciona una interoperabilidad perfecta entre los fabricantes. Las puertas de enlace están conectadas al servidor de red a través de conexiones IP estándar y actúan como un puente transparente, simplemente convirtiendo paquetes RF en paquetes IP y viceversa. (ALLIANCE L.,2017).

Figura 27

Topología en la que las puertas de enlace retransmiten mensajes entre los dispositivos finales y un servidor de red central



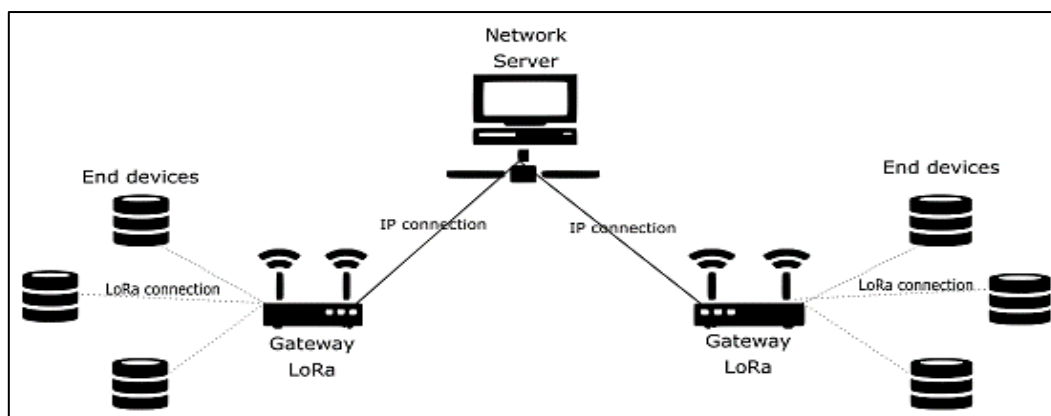
Nota. Estructura de la comunicación entre el sensor, Gateway y servidor. Obtenido de Lora-Alliance (2017).

Las redes LoRaWAN típicamente tienen una topología en estrella como se observa en la figura 28 en las cuales el Gateway retransmite mensajes entre los dispositivos finales y un servidor central, esto hace comunicación accesible para el usuario.

Los dispositivos finales establecerán una comunicación inalámbrica LoRa con el Gateway. A la vez el Gateway transmitirá toda la información o paquetes de datos de los dispositivos finales a todos los elementos que lo soliciten a través de la IP de dirección correcta.

Figura 28

Arquitectura en estrella de LoRaWAN



Nota. Comunicación inalámbrica tipo estrella entre el Gateway, el dispositivo final y el servidor. Obtenido de Carrión (2018).

Modelos de propagación de ondas. Hay varios métodos para comprender el enlace o propagación de una onda, esto dependen de la situación del trayecto de propagación respecto a los obstáculos, las propiedades físicas del medio, los detalles eléctricos del terreno, la frecuencia y polarización de las ondas. Analizando las soluciones compatibles de la propagación de las ondas a través de los medios reales se pueden estudiar mediante ecuaciones.

El Modelo de Okumura-Hata fue desarrollado este método para aplicaciones de radiocomunicaciones móviles. Okumura (2019) obtuvo “unas expresiones numéricas para la perdida básica de propagación, L_p , para medios urbanos, suburbanos y rurales sobre terreno poco ondulado” (p.42).

$$L_p = 69,55 + 26,16 \log_{10} f (\text{MHz}) - 13,86 \log_{10} (h_t (\text{m})) - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10} h_t (\text{m}) (\log_{10} d (\text{km})^b)) \quad (8)$$

Donde:

f : Frecuencia, en MHz en la gama $150 \leq f \leq 1500 \text{ MHz}$

h_t : Altura efectiva de la antena de Tx (m), en la gama $30 \leq h_t \leq 200 \text{ m}$

h_r : Altura sobre el suelo de la antena de Rx (m), en la gama $1 \leq h_r \leq 10 \text{ m}$.

d : Distancia (km)

$$b = 1 + (0,14 + 0,000187f + 0,00107h_t) [\log_{10}(0,05d)]^{0,8} \text{ si } d > 20 \text{ km} \quad (9)$$

$$b = 1, \text{ si } d \leq 20 \text{ km}$$

En el caso de la altura de la antena de recepción es $h_r \neq 1,5 \text{ m}$ se realiza una corrección en la altura de recepción $a(h_r)$

$$\text{Ciudad media-pequeña: } a(h_r) = (1,1 \log_{10} f - 0,7) h_r - (1,56 \log_{10} f - 0,8) \quad (10)$$

$$\text{Ciudad grande: } a(h_r) = 8,29 (\log_{10} 1,54 h_r)^2 - 1,1 \text{ si } f \leq 200 \text{ MHz}$$

$$a(h_r) = 3.2(\log_{10} 11,75h_r)^2 - 4,97 \quad \text{si } f > 200\text{MHz}$$

$$(11)$$

Para entornos suburbanos o rurales se introducen correcciones sobre la pérdida básica de propagación:

$$\text{Zona suburbana} \quad L_{ps} = L_p - 2[\log_{10} \left(\frac{f}{28}\right)]^2 - 5,4 \quad (12)$$

$$\text{Zona rural} \quad L_{pr} = L_p - 4,78(\log_{10} f)^2 + 18,33\log_{10} f - 40,94 \quad (13)$$

Las frecuencias inalámbricas de uso libre en Perú trabajan en frecuencia ISM, el enlace de comunicación o conexión puede llegar con distancias de 5km en ciudades hasta 20 km en campo abierto.

Esta tecnología LoRa usa una modulación llamada Chirped-FM que es idéntica a la FSK que es modulación por desplazamiento de frecuencia, pero la ventaja de esta tecnología Chirped-FM es que atraviesa paredes sin problemas y mayor alcance de enlace.

Las frecuencias de uso LoRaWAN en el mundo y el Perú se muestra en la Figura 29, esta muestra los parámetros de configuración asignada para la modulación.

Figura 29

Certificación reglamentaria LoRaWAN dependiendo del país

Spain (ES)	433.05 - 434.79 MHz	EU433	
	863 - 870 MHz	EU863-870	X
Paraguay (PY)	433.05 - 434.79 MHz	EU433	
	915 - 928 MHz	AU915-928 ³	
Peru (PE)	915 - 928 MHz	AU915-928 ³	
Philippines (PH)	915 - 918 MHz	AS923-3	

Nota. Estandarización de banda ancha para Perú de AU915 a 928.

Obtenido de LoRa Alliance (2020).

La Energía. El consumo depende de las clases a, b y c como se visualiza de manera sencilla en la figura 30, ya que cada clase trabaja de diferente manera ya dependiendo a la gestión de control de la LoRaWAN MAC.

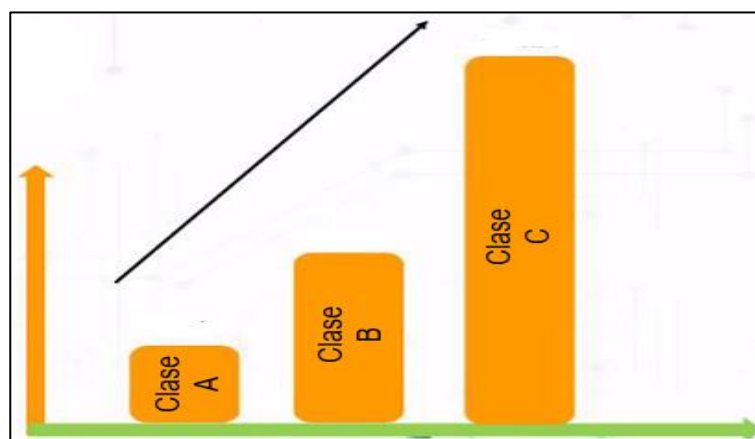
En la clase A son más eficientes en el consumo de energía, que quiere decir que pueden tener una duración de batería a largo plazo. Todos los dispositivos de la red LoRaWAN aceptan esta clase (MET y FLU, 2019).

En la clase B se genera más consumo de energía que la clase A, pero tiene menos latencia para los mensajes de enlace descendente es por eso que se genera un poco más de consumo de energía. En su mayoría, los dispositivos finales están en modo suspendido, que quiere decir que los dispositivos finales con ranura de recepción están programados (MET&FLU,2019).

En la clase C es donde se presenta mayor consumo de energía, porque la recepción está conectada constantemente y con una recepción máxima, en esta clase también suele funcionar con una fuente de alimentación pública (MET&FLU,2019).

Figura 30

Consumo de energía de las clases a, b y c



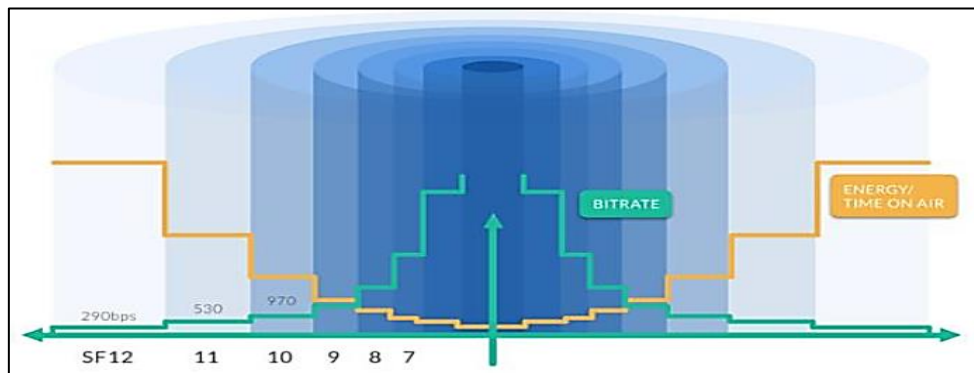
Nota. Demostración gráfica del consumo de energía de las clases. Obtenido de MET&FLU (2019).

También influye el Spreading Factor SF como se muestra en la figura 31 que controla la tasa de chirp y por lo tanto la velocidad de transmisión genera un consumo de energía, como se dijo en los argumentos anteriores Lora tiene 6 factores en general y son SF 7 a SF12. El principio constituye mayor SF se necesita más tiempo de transmisión, que quiere decir que genera mayor consumo de energía.

Spreading Factor usa un método de ortogonalidad, esto permite que las señales moduladas con diferentes factores de propagación y transmitidas en el mismo canal de frecuencia en los mismos tiempos no se interfieran entre sí.

Figura 31

Relación entre el factor de dispersión, el tiempo aire para la modulación LoRa y el consumo de energía



Nota. Representación gráfica del consumo de energía. Obtenido de The things network (2019).

En la figura 32 se detalla los parámetros de potencia del consumo de energía dependiendo al Spreading Factor (SF).

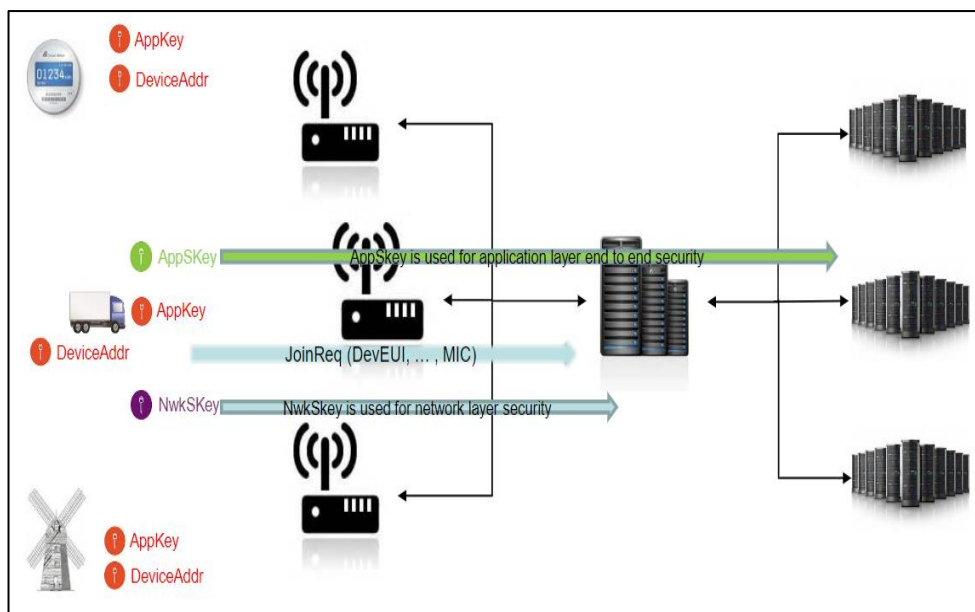
Figura 32

Potencia de consumo en vuelo de datos acorde a SF

	SF 7	SF12
MEASURED TRANSMIT TIME (ms)	51.6	1319
TRANSMIT TIME CALCULATED WITH AIRTIME TOOL (ms)	51.5	1318.9
ENERGY CONSUMED DURING TRANSMIT TIME (uWh)	1.75	44.1

Nota. Consumo de energía del Stream Factor. Obtenido de The things network (2019).

La Seguridad. En la comunicación muchos nodos están conectados y necesitan una sólida seguridad de extremo a extremo. Por tal motivo LoRaWAN ofrece diferentes capas de cifrado, con sus correspondientes claves, que hacen uso del algoritmo de cifrado AES128 para proteger las comunicaciones, como ejemplo se demuestra en la figura 33.

Figura 33**Seguridad de LoRaWAN**

Nota. Seguridad en la comunicación con LoRaWAN. Obtenido de Surfing the Big Data Wave on a LoRaWAN IoT Device (2017).

La autenticación mutua se establece entre un dispositivo LoRaWAN a otro LoRaWAN que es parte del proceso de unión a la red, este proceso asegura que solo los dispositivos autorizados se unirán a redes auténticas.

La protección de la integridad de los datos para no ser modificados o manipulados de manera no autorizada por terceros durante la transmisión.

La Confidencialidad que se implementa el cifrado de extremo a extremo para las cargas útiles de las aplicaciones intercambiadas entre los dispositivos finales y los servidores de aplicaciones, también esto garantiza una buena gestión de tráfico y no generarse alteraciones por terceros.

2.2.7. Sensores

Mediante sensores obtenemos la información requerida del mundo físico externo y la transformamos en una señal eléctrica que puede ser manipulada o modificada por la circuitería del controlador integrada en el sensor instalada. Existen diferentes tipos de sensores que cumplen roles de trabajo en diferentes áreas que soportan ambientes extremos ya dependiendo para el usuario, los sensores más utilizados son:

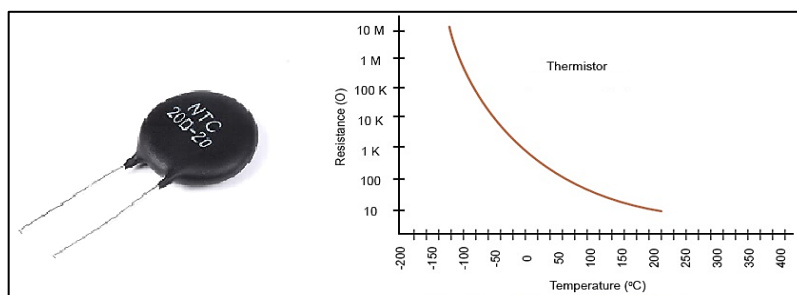
- Sensor PH
- Sensor de temperatura del agua
- Sensor de nivel de agua
- Sensor de sonido
- Sensor de movimiento
- Sensor de distancia
- Sensor de humedad y temperatura
- Sensor de luz infrarrojo
- Sensor de luz visible

Con estos tipos de sensores en el internet de las cosas (IoT) se están integrando en el mundo real y son instrumentos de suma importancia donde obtenemos o que proporciona información de prácticamente todo lo que es posible medir. Estos sensores cada vez se están interconectando más para interactuar con las personas hacia los objetos de maneras distintas. En esta implementación se optará en utilizar el sensor de temperatura y humedad, sensor de temperatura de la planta y sensor de PH.

Sensor de temperatura y humedad relativa. Es un sensor digital de temperatura y humedad relativa en bajo costo y fácil uso, Está compuesto de un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir la temperatura del aire en el área ubicada.

El sensor DHT11 como se explicó contiene un NTC/termistor para medir la temperatura. El termistor es una resistencia térmica, cuya resistencia cambia con la temperatura, este sensor suele estar compuesto por cerámicos semiconductoras o polímeros. La Coeficiente Negativa de Temperatura NTC, significa que la resistencia disminuye con el aumento de la temperatura, así como se muestra en la figura 34 (Uelectronics,2022).

Figura 34
NTC y su característica de la curva



Nota. Parámetros aplicados en el NTC. Obtenido de Uelectronics (2022).

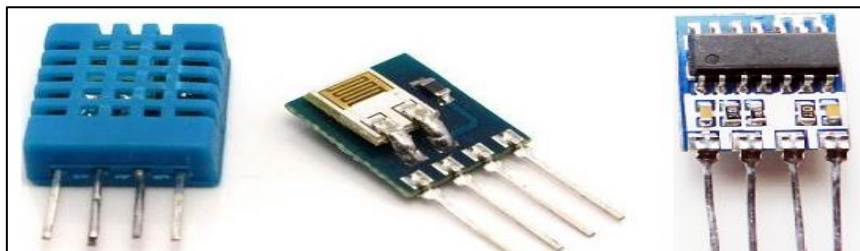
El proceso de lectura del componente de humedad tiene dos electrodos con un sustrato que retiene la humedad entre ellos. Los iones son liberados por el sustrato a medida que este absorbe el vapor de agua, lo que a su vez aumenta la conductividad entre los electrodos (Uelectronics,2022).

En el caso de la resistencia entre los electrodos es proporcional a la humedad relativa. Una mayor humedad relativa disminuye la resistencia entre los electrodos mientras disminuye la humedad relativa aumenta la resistencia entre los electrodos (Uelectronics,2022).

El sensor DHT11 que se visualiza en La figura 35 está compuesto por un pequeño PCB que está integrada por un IC de 8 bit, este IC mide y procesa la señal analógica con los coeficientes de calibración almacenados, hace la conversión requerida de analógica a digital y se obtiene una señal digital con la temperatura y la humedad (Uelectronics, 2022).

Figura 35

Sensor de temperatura y humedad relativa



Nota. La figura demuestra el sensor de temperatura y humedad relativa a manera interna y externa en hardware. Obtenido de Uelectronics (2022).

El Sensor de temperatura de la planta. Es un sensor infrarrojo que puede medir temperatura de un objeto a distancia sin contacto, en la cual el sensor está diseñado para ser sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto distante, el sensor puede obtener lecturas desde los parámetros de -70°C hasta 380°C , con una precisión de 0.5°C . Es aplicado en sistemas de control o monitoreo de aire acondicionado, la temperatura de piezas industriales o electrodomésticos (Uelectronics,2022).

El sensor MLX90614 como se visualiza en la figura 36 fabricado por la empresa Melexis, compone un chip de silicio con una fina membrana micro mecanizada, diseñada para ser sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto distante. Este sensor internamente tiene la etapa de amplificación, filtrador de ruido, procesador digital de señales que es un convertidor análogo digital ADC de 17 bits de resolución procedente de la membrana. En la salida del sensor su resultante es una interfaz de comunicación digital tipo SMBus, que es un subconjunto de protocolo I2C, además también se puede configurar la salida PWM de 10 bits (Uelectronics,2022).

Figura 36

Sensor MLX90614



Nota. La figura demuestra de manera de hardware el sensor de temperatura de la planta. Obtenido de Uelectronics (2022).

El sensor de pH. mide la acidez o la alcalinidad de la solución con ayuda de una sonda que es la que toma la lectura, El pH indica la concentración de iones hidronio H_3O^+ se presenta en determinadas sustancias o soluciones, el sensor es útil para utilizar en un jardín hidropónico, acuario, laboratorio y otras aplicaciones que conllevan la medición de la solución en este caso su calidad. El termino pH proviene de la “p” del símbolo matemático para logaritmo del inverso y el “H” del elemento químico “Hidrogeno” (Uelectronics,2022).

El kit completo sensor de pH se visualiza en La figura 37 permite medir de forma sencilla el líquido gracias a su placa controladora que ofrece un valor analógico proporcional a la medición y en su salida ofrece una señal analógica, también está compuesto de una sonda que es bastante frágil y está diseñada para mediciones puntuales no permanentes en este modelo, pero también hay otros modelos que si miden seguidamente (Uelectronics,2022).

Figura 37

Sensor de pH líquido PH-4502C

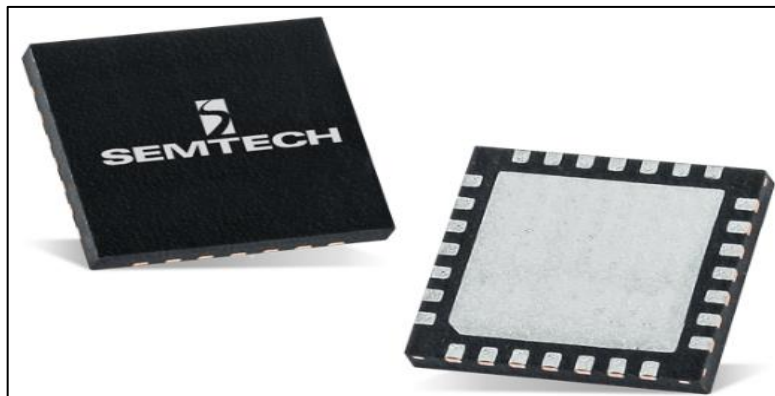


Nota. La figura demuestra el conector de sonda de electrodo BNC hidropónico para Sensor de PH y módulo de control de detección de valor de PH líquido. Obtenido de Uelectronics (2022).

2.2.8. LILYGO TTGO ESP32 SX1276 LoRa 868/915 MHz.

El dispositivo LILYGO TTGO ESP32 utiliza un chip principal denominado Lexin ESP32. Este procesador de doble núcleo Tensilica LX6 opera con una frecuencia de reloj de 240 MHz, con una potencia de cálculo de hasta 600 DMIPS.

Los módulos de largo alcance y baja potencia SX127X de Semtech cuentan con un modem de largo alcance LoRa que proporciona comunicación de espectro ensanchado de alcance ultra largo y alta inmunidad a las interferencias, y a la vez que minimiza el consumo de la energía.

Figura 38*Microcontrolador SEMTECH SX1276*

Nota. Los transceptores SX1276 cuentan con el módem de largo alcance LoRa. Obtenido de SEMTECH (2022).

Ventajas del microcontrolador:

- a. Mayor flexibilidad en la modificación de su programa de instrucciones.
- b. Reducción del tamaño.
- c. Aumento de prestaciones en el control de un determinado proceso de trabajo.
- d. Aumento de la fiabilidad de trabajo sin riesgo de errores o averías en el proceso requerido del trabajo.

Tabla 10*Parámetros técnicos de SX1276*

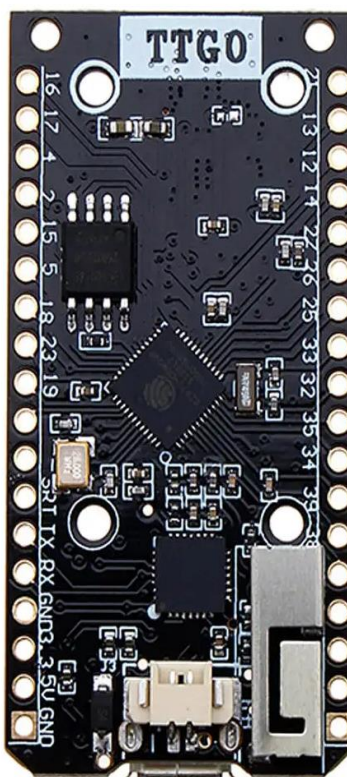
Parámetros técnicos	
Máximo presupuesto de enlace	168 dBm
Máxima potencia de transmisión	20 dBm
Menor sensibilidad del receptor	-148 dBm

Nota. Obtenido de DataSheet of WIRELESS, SENSING & TIMING SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver. Disponible en:

<https://cutt.ly/5G0nCvz>

Figura 39

Placa de desarrollo TTGO LoRa32-OLED



Nota. Representación a nivel de hardware la placa de desarrollo.

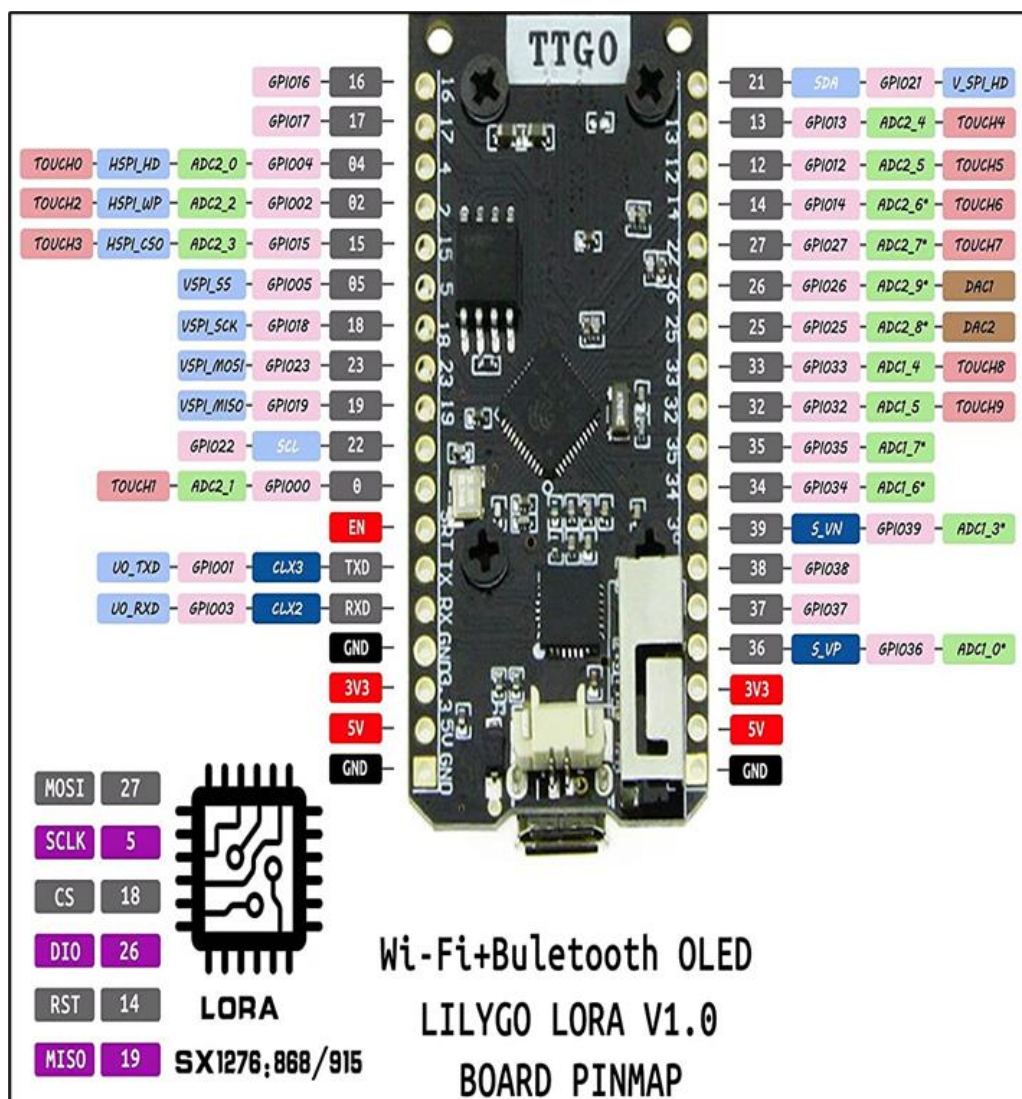
Disponible en <https://cutt.ly/NGQtEpl>

El dispositivo LILYGO TTGO SX1276 LoRa opera con la banda de frecuencia de 868/915 MHz contiene un chip SX1276 basado en la plataforma ESP32 WIFI, módem remoto LoRa, alta sensibilidad por encima de -148 dBm, potencia de salida de 20 dBm, alta confiabilidad, larga distancia de transmisión.

Los módulos de largo alcance y baja potencia SX127X de Semtech cuentan con un modem de largo alcance LoRa que proporciona comunicación de espectro ensanchado de alcance ultra largo y alta inmunidad a las interferencias, y a la vez que minimiza el consumo de la energía.

Figura 40

Diagrama de pines del módulo TTGO ESP32 SX127X LoRa 868/915 MHz



Nota. Demostración del Datasheet de la placa de desarrollo.

Disponble en: <https://cutt.ly/qGj4ku8>

En la figura 40 visualiza el módulo con sus respectivas conexiones de los pines, El módulo en la modulación trabaja a una frecuencia de 868/915 MHz para la comunicación.

2.3. Definición de términos

2.3.1. IoT

Se le conoce como el internet de las cosas, es un sistema que ha sido desplegado por el mundo actual, que se considera la base básica de la llamada cuarta revolución industrial. (Carrasco, 2020, p.4)

2.3.2. LPWAN

Se le conoce como por sus siglas Low Power Wide Area Network que es Redes de Baja Potencia y Área Ampliada, que son una serie de soluciones tecnológicas de comunicación inalámbrica para la conectividad de dispositivos propios del Internet de las Cosas. (Carrasco, 2020, p.4).

2.3.3. LoRaWAN

Es un estándar de LPWAN más utilizado, también está compuesta por la capa física para transmitir la información e integra el protocolo MAC que permite la configuración de una red. (Carrasco, 2020, p.6).

2.3.4. CSS

Es una técnica de modulación de Chirp Spread Spectrum, que cuenta con un control de acceso al medio que permite que varios dispositivos transceptores puedan conectarse con un solo Gateway o puerta de enlace. (Ortiz y Tunarozza, 2019, p.27).

2.3.5. Chirp

Son señales sinusoidales cuya frecuencia se incrementa o disminuye en el tiempo, para transmitir señales utilizando todo el ancho de banda asignado a cierto tiempo, el chirp es la señal de bajada o subida. (Aguilar S., 2020, p.42).

2.3.6. MAC

Protocolo de Control al acceso al medio se encarga de gestionar el control de transmisión y recepción. (Escobar D.,2020)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es Aplicada, que considera las bases teóricas que se han tenido en cuenta como base para desarrollar la investigación, validando dichas formulaciones y a su vez realizando nuevos aportes.

El Nivel de investigación es descriptivo correlacional, dado que se evaluará el sistema IoT LPWAN y el cultivo hidropónico, pueden relacionarse e influir sobre las técnicas de aprendizaje en campo de la electrónica, la programación y el proceso de crecimiento de cultivo hidropónico de las frutillas. En tal cual, la variable puede o no generar variabilidad, lo cual será medido en el presente estudio.

3.2. Diseño de la investigación

Por otro lado, el diseño del estudio fue experimental mediante el uso del software de simulación Arduino IDE y la plataforma el Ubidots IoT, este software y plataforma que se evaluó de manera de modo virtual la operatividad de radioenlace digital. Una ventaja de realizar este diseño experimental vía simulación con pocos recursos de hardware es que se simula en su mayoría adquiriendo los datos requeridos durante las mediciones de los sensores de manera accesible.

Considerando que la tesis planea el diseño de un sistema IoT de bajo costo, la tesis presenta un diseño prospectivo, es decir, propone aportes que pueden ser aplicados por diferentes entidades de usuarios en un futuro.

También se detalla el proceso de simulación del sistema IoT para el cultivo hidropónico, diseñando y haciendo la lógica de programación utilizando software de ingeniería como el Arduino IDE con el lenguaje C y además la plataforma Ubidots de IoT como herramienta de visualización de los resultados.

3.3. Unidad de estudio

Población, para la presente tesis se consideró en la instalación del sistema en una hectárea del poblado de Piedra Blanca del distrito de Calana de la ciudad de Tacna. Se comprende el lugar óptimo para los cultivos de frutillas donde se encuentra instalado el sistema de cultivo hidropónico.

Muestra, el estudio o la unidad de análisis propiamente dicho, consiste en un sistema IoT de bajo costo digital para mejorar el acceso a los servicios de adquisición de datos de las mediciones de dichos sensores a utilizar en el cultivo hidropónico de fresas.

3.4. Operacionalización de variables

Tabla 10

Operacionalización de variable

Variable de estudio	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
Diseño de un sistema IoT de bajo costo basado en LPWAN para cultivos hidropónicos de las frutillas.	Es un sistema de telecomunicaciones que opera en la red LoRaWAN, está compuesto por un radioenlace digital para mantener el monitoreo de las mediciones del cultivo hidropónico a tiempo real o registrada en un banco de datos.	- Temperatura del ambiente.	°C
		- Humedad del ambiente.	%
		- Latencia de la red.	seg
		- Cobertura del radioenlace.	km

Nota. En la tabla se muestra la variable e indicadores con sus niveles.

3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de los datos

Se emplearon los siguientes métodos para la recolección de datos requeridos:

Técnica de análisis documental, en la cual se usó los documentos confiables ya existentes de páginas web similares. Se utilizaron manuales técnicos de proveedores de equipos de radiocomunicaciones relacionadas a la telecomunicación y IoT. Se participaron en charlas de capacitaciones de videoconferencias abarcados en el tema de redes LPWAN y la agricultura.

Técnica de observación experimental, el cual se efectuó mediante la simulación en Arduino IDE del monitor serial las mediciones y la transmisión y recepción de radioenlace LoRaWAN que forma parte del sistema IoT de bajo costo en la zona aplicada y se verificó las mediciones adquiridas por los sensores de medición instalados en el sistema propuesto.

3.5.2. Instrumentos para la recolección de los datos

Se utilizaron como fuentes secundarias:

Libros especializados: Sobre principios de tecnología de las cosas IoT, las Tecnologías LPWAN y el cultivo hidropónico.

Catálogos y manuales: Sobre especificaciones técnicas de ESP32 para la simulación, catálogos de fabricantes de antenas LoRa, sensores para el cultivo hidropónico. También se recurrió a los manuales de fabricantes de módulos de cultivos hidropónicos y estudios de la fresa en el Perú y del ministerio de agricultura.

Bibliotecas virtuales: Se descargó artículos especializados referidos a los temas de tecnologías IoT, como acceso a tesis de pregrado y posgrado nacionales disponibles en el Repositorio Nacional Digital de la Universidad Privada de Tacna. Repositorios internacionales de universidades de Colombia, Bolivia y Ecuador.

Dirección web: Se accedió a las direcciones URL de las recomendaciones de LoRa Alliance para sistemas de comunicación LoRa, La importancia de la IoT para diferentes aplicaciones.

Software: Se empleó el Arduino IDE para simulación de los datos procesados de los sensores y la comunicación LoRa, Fritzing para el diseño de conexiones de los componentes electrónicos utilizados y Google maps para determinar la posición cartográfica donde se desarrolló la aplicación.

3.6. Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos de la investigación consistió en la secuencia de actividades planificadas mediante el cual los datos individuales se agrupan y estructuran con el propósito de responder al problema de investigación.

Una vez analizado los resultados de la simulación del sistema propuesto, se explicó los efectos que producen dichos resultados como consecuencia del planteamiento efectuado, luego se realizó la interpretación de los resultados obtenidos.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones producto de los resultados obtenidos en la investigación aplicada.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Requerimiento de diseño

Tras diseñar la arquitectura, en este apartado se detallan los requisitos necesarios para cada bloque y los módulos que lo componen, seleccionando los elementos necesarios para el diseño del prototipo.

- Diseñar un módulo inteligente que monitoree variables de entorno.
- Diseñar una estación base que almacene los datos recogidos del campo de trabajo en una base de datos.
- Muestra de los valores medidos en tiempo real.

4.1.1. Características de la ubicación de red de sensores

El cultivo hidropónico de las fresas tuvo buenas perspectivas de producción si está en una buena ubicación, entonces se optó por la instalación en el centro poblado de Piedra Blanca en el distrito de Calana como se muestra en la figura 41 la toma satelital y la figura 42 visualiza la señalización del campo de pruebas.

Figura 41

Ubicación del área de implementación en toma satelital



Nota. Demostración geográfica de las pruebas realizadas con la distancia aplicada. Disponible en: <https://cutt.ly/4Gj5Eu0>

Figura 42

Señalización del campo de pruebas



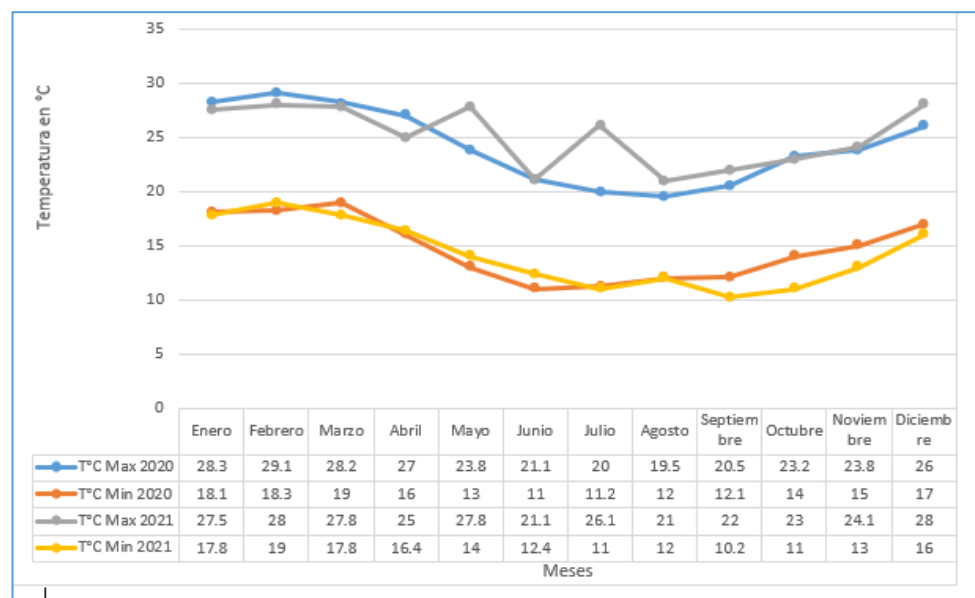
Nota. Demostración geográfica de las pruebas realizadas (2022).

Disponible en: <https://cutt.ly/4Gj5Eu0>

Esta zona presenta mayor producción de productos alimentarios como verduras o frutas, esto se debe por las zonas agrícolas y que además presenta una agradable temperatura, para más información se presenta en la figura 43 que detalla en los últimos años el comportamiento de la temperatura. La ubicación exacta como propuesta están con las coordenadas -17.96393077226077, -70.18712030263733.

Figura 43

Temperatura máxima o mínima en Tacna del año 2020 y 2021



Nota. Demostración del comportamiento de la temperatura en los años 2020 y 2021 en la ciudad de Tacna. Disponible en: <https://cutt.ly/YGkqhZC>

Las más altas se dieron en los meses de enero, febrero y marzo alcanzando un valor promedio mensual para la máxima y mínima de 29.1 °C y 18.1°C. En las temperaturas más bajas se presentaron en los meses de julio y agosto alcanzando un valor promedio mensual para la máxima y mínima de 19.5°C y 11°C.

4.1.2. Requerimiento climático y de riego del cultivo hidropónico

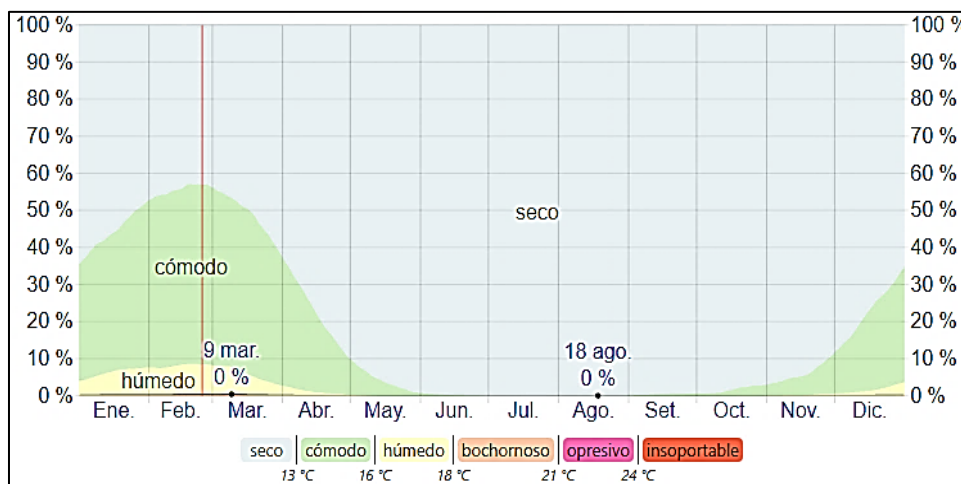
En el requerimiento climático se detalla que la producción de fresa depende de la humedad y la temperatura del área a realizar el cultivo.

En 2008, el Ministerio de Agricultura del Perú ha concluido “que un cultivo que se adapta a diferentes condiciones de temperatura, pero prefiere climas templados con temperaturas de 18 a 22 °C durante la fructificación y de 23 a 28 °C para el buen crecimiento vegetativo” (p.6).

Mediante estos parámetros y la figura 44 se verifica la medición correcta de la temperatura del área del cultivo hidropónico y de la temperatura de la planta.

Figura 44

Niveles de comodidad de la humedad en Calana, Tacna



Nota. Demostración del comportamiento de la humedad en el año 2021 en la ciudad de Tacna en Calana. Disponible en: <https://cutt.ly/YGkqhZC>

Otro de los factores o variables de medición es la humedad que también influye en el crecimiento y desarrollo del cultivo hidropónico para eso se optaría realizar e implementar esta variable que sirve para monitorear el estado del cultivo hidropónico y luego realizar el respectivo tratamiento. Como se puede visualizar en la figura 44, esta da a conocer los parámetros medidos de la humedad en el distrito de Calana de la ciudad de Tacna.

De acuerdo con Lema (2010), “más o menos adecuada es de 60% y 75%” (p.12). La humedad relativa cuando es excesiva permite la presencia de enfermedades, estas producen daños fisiológicos que repercuten en el crecimiento.

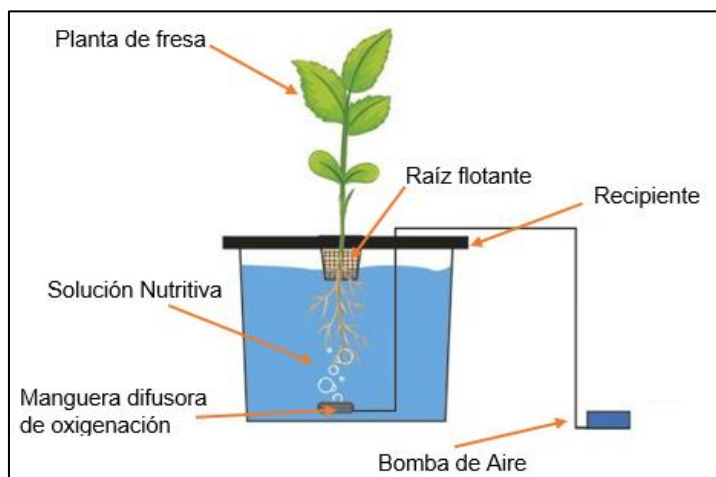
En el riego de cultivo hidropónico la técnica que se realizaba es el sistema raíz flotante y eso se demuestra en la figura 1 y figura 45 como descripción, por tanto, esto funcionaba mediante el fluido que esta mezclada con la solución nutritiva y además es oxigenada por una bomba de aire.

La solución nutritiva que se aplica está compuesta por varios fertilizantes, esta ayudara al crecimiento de la planta de fresa en su proceso de desarrollo al tiempo de 60 a 90 días. La fórmula de solución nutritiva para el cultivo

hidropónico se aplicaba mediante los resultados de la tabla 11, esto ayuda al crecimiento y desarrollo de las plantas o plántulas de fresa.

Figura 45

Sistema raíz flotante



Nota. Materiales utilizados en el sistema raíz flotante.

Tabla 11

Formula de solución nutritiva para cultivo de fresa

Fertilizantes	Ley (%)	Crecimiento g/m ³	Floración y Fructificación g/m ³
Nitrato Potasio	13.5N, 46 K2O	510,0	510,0
Nitrato amonio	31 N	100,0	50,0
Nitrato Calcio	15.5 N, 26 CaO	620,0	620,0
Fosfato Monopotásico	52 P2O5, 34 K2O	200,0	260,0
Sulfato Potasio	50 K2O, 18 S	0,0	100,0
Sulfato Magnesio	16 MgO, 13 S	3200	320,0
Quelato Hierro	6 Fe	30,0	35,0
Ácido bórico	18 B	2,50	2,50
Sulfato Manganeso	25 Mn	4,0	4,5
Sulfato Zinc	23 Zn	0,9	0,9
Sulfato Cobre	25 Cu	0,6	0,6
Molibdato Amonio	54 Mo	0,15	0,15

Nota. Esta tabla demuestra los elementos fertilizantes para la solución nutritiva. Obtenido de UNALM (2018).

En 2008, el Ministerio de Agricultura del Perú ha concluido también otro de los factores muy importantes que es “la fresa es un cultivo que requiere de fluidos líquidos con pH ligeramente ácido a neutro 6.0 a 7.0”. Con esta variable el sensor realizara la medición requerida del fluido añadida al cultivo hidropónico.

De acuerdo con los análisis e investigación que se realizó, se resume en una tabla 12 el rango del cuestionario de los expertos y los resultados obtenidos mediante la medición con los sensores, esto demuestra el rango de la variable óptima para el desarrollo y crecimiento de la plántula de fresa.

Tabla 12

Comparativa de variables

Factor	Rango de crecimiento	Rango		PH del líquido
		Rango normal según revisión bibliográfica	Rango óptimo	
Temperatura del aire	Etapas germinación de la frutilla	18 – 28 °C	25 – 27.5 °C	6-7
Día soleado	Frutilla hasta la terminación	18 – 28 °C	26 – 29 °C	6-7
Día nublado	Frutilla hasta la terminación	18 – 28 °C	23 – 25 °C	6-7
Temperatura del aire nocturno	Frutilla hasta la terminación	18 – 28 °C	18 – 20 °C	6-7
Humedad relativa	Germinación hasta el crecimiento temprano Etapas de la frutilla vegetativa hasta terminación.	60 – 75	50 – 78 %	6-7

Nota. Comparación teórico-práctica del factor y rango óptimo para el cultivo de frutillas.

4.2. Descripción del sistema de monitoreo del cultivo hidropónico

La red por implementar está conformada por componentes y sistemas que fueron configurados para múltiples funciones. Por consiguiente, un nodo puede ser configurado como host. Para evaluar el desempeño de LoRa se hizo un estudio para determinar las funciones a aplicar.

La placa de desarrollo LILYGO TTGO ESP32 posee el procesador de banda base Semtech SX1276 garantizando enlaces de radio LoRa de baja velocidad de datos a distancias largas. Admite 8 canales de enlace ascendente, 1 canal de enlace descendente, voltaje de alimentación de 5V, cuenta con una potencia TX hasta 20 dBm, sensibilidad RX hasta -139 dBm @ SF12, BW 125KHz.

Para su desarrollo se utilizó el lenguaje de programación C++. Las instrucciones se asimilaron a la problemática del sistema hidropónico.

Para la adquisición de datos los sensores midieron temperatura y humedad relativa, la temperatura de la planta, el pH del líquido.

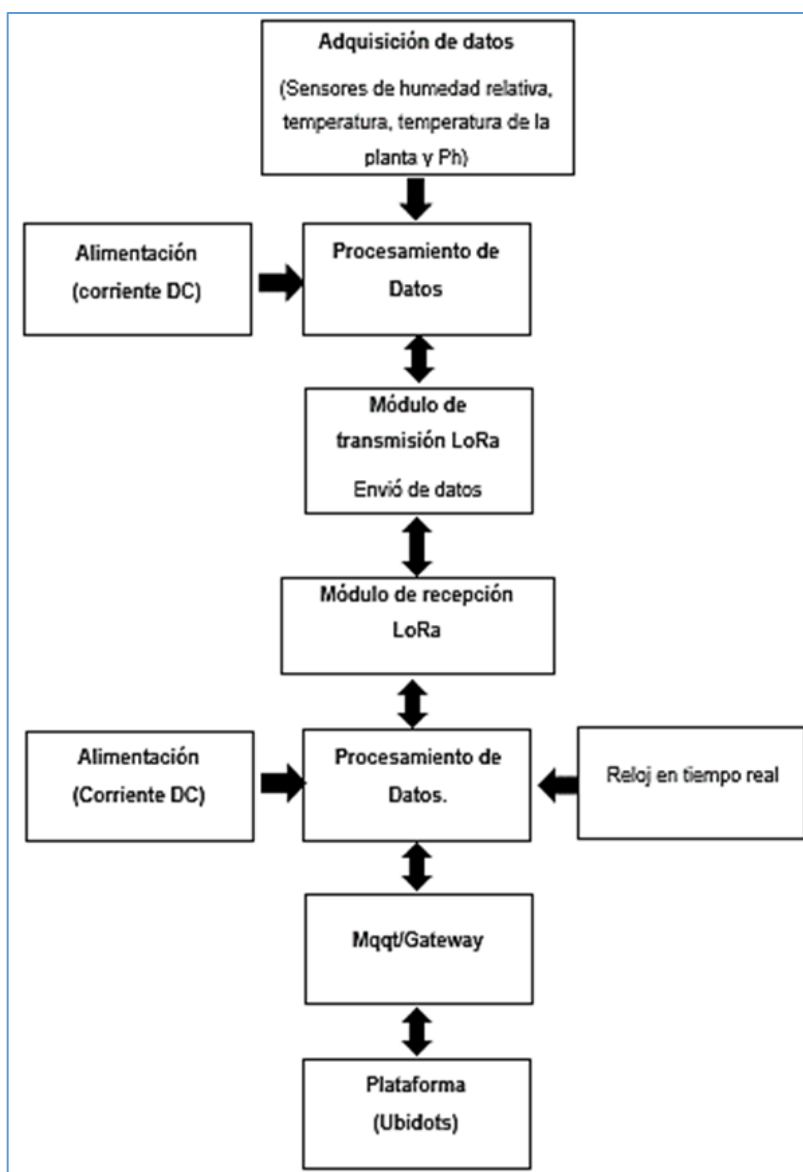
El módulo LoRa receptor envía el paquete de información usando el protocolo MQTT al Gateway y luego mandarla a la nube de la red en este caso a la internet, luego la recibe la plataforma Móvil Ubidots que visualizará las mediciones realizadas de los sensores, en la recepción de datos en la plataforma Ubidots en tiempo real.

Finalmente, la plataforma móvil Ubidots se enfoca en la gestión de un sistema a manera global. Esta plataforma permite capturar los datos obtenidos mediante los sensores, configurar el tablero, las alertas, conectarse con otras plataformas, usar herramientas de analítica y arrojar mapas de datos en tiempo real.

En la figura 46 se muestra el diagrama de bloques de un sistema IoT de bajo costo basado en LPWAN para cultivos hidropónicos.

Figura 46

Diagrama de bloques de un sistema IoT de bajo costo basaba en LPWAN para cultivos hidropónicos



Nota. Etapas compuestas del sistema propuesto.

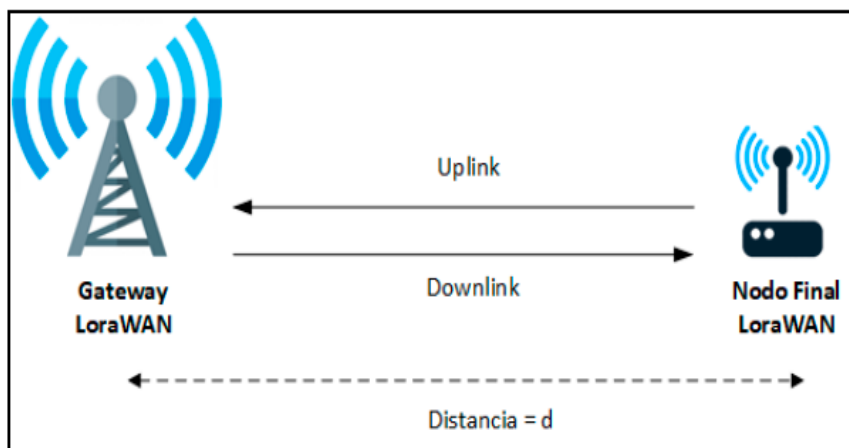
4.2.1. Cálculo de cobertura de radio

El cálculo de distancia de cobertura del nodo y la sede de recepción se efectúa empleando el modelo de propagación de Okumura-Hata. Para efectos del estudio, se consideró calcular la máxima distancia existente entre un nodo final LoRaWAN instalado en un campo de cultivo y el gateway LoRaWAN en el distrito de Calana, provincia de Tacna, a una potencia de recepción adecuada

para garantizar la comunicación entre ambos equipos. La Figura 47 muestra un diagrama de los dispositivos involucrados en la simulación.

Figura 47

Diagrama con dispositivos ubicados en el Nodo Final y el Gateway LoraWan



Nota. Radioenlace entre dispositivo ubicado en el campo de cultivo y la estación base. Disponible en: <https://cutt.ly/LG03ioN>

El microprocesador SX1276 contempla un rango de 137 a 1020 MHz con un factor de dispersión de 6-12, se estima el ancho de banda de 7.8 a 500 kHz, tasa de bit de 0.018 a 37.5 kbps y una sensibilidad de -111 a -148 dBm SEMTECH. (2018). En la tabla 13 se visualiza los parámetros del chip SX1276.

Tabla 13

Parámetros técnicos del microprocesador SX1276

	Rango de Frecuencia	Spreading Factor	Ancho de Banda	Bit rate	Sensibilidad
SX1276	137 - 1020 MHz	6-12	7,8 - 500 kHz	0,018- 37,5 kps	-111 a -148 dBm

Nota. Disponible en SEMTECH (2019).

Por consiguiente, con los parámetros técnicos realizamos cálculos para el presupuesto del enlace.

Sabemos que: Potencia máxima del transmisor = 20 dBm, Sensibilidad mínima del receptor = -148 dBm.

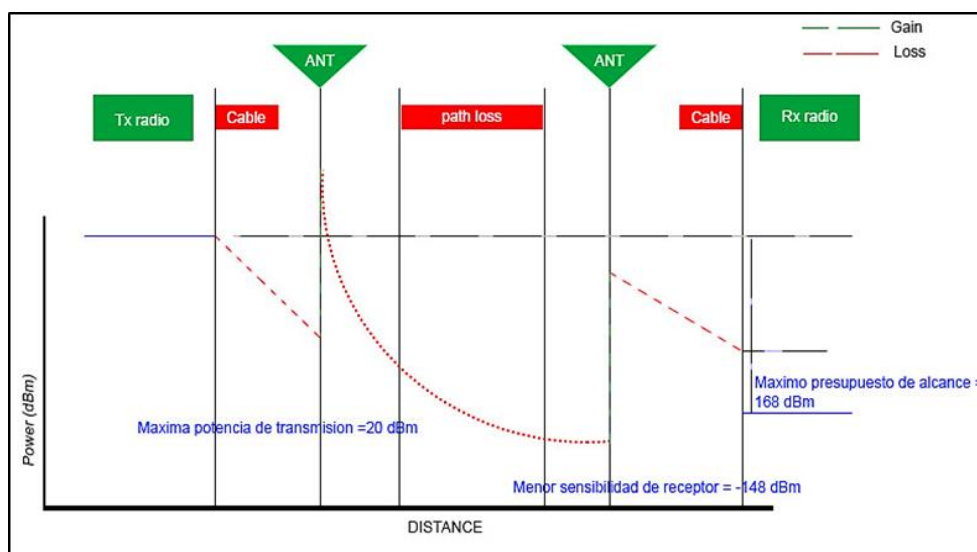
Por lo tanto, el presupuesto máximo del enlace se halla de tal manera:
 Presupuesto máximo del enlace = Potencia máxima del transmisor -
 Sensibilidad mínima del receptor

$$\text{Presupuesto de enlace máximo} = 20 - (-148) = 168 \text{ dBm.}$$

En la figura 48 se puede observar de manera visual el valor del presupuesto máximo de enlace.

Figura 48

Prepuesto de alcance de enlace



Nota. Con los datos del fabricante se halló el máximo presupuesto del enlace.

Cálculo de las pérdidas en el espacio libre

Se define a las pérdidas en la trayectoria en espacio libre (a veces llamadas pérdidas por distorsión), “como la pérdida incurrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta a través del vacío, sin energías de absorción o reflexión debidas a objetos cercanos” (Tomasi, pp. 783-784).

Se calculó en base al presupuesto del enlace o “link budget”, donde el valor de la potencia de recepción se estimó como valor medio de 129.5 dBm: Se utilizó la siguiente fórmula:

$$PRX_{dBm} = PTX_{dBm} + GTX_{dB} - LTX_{dB} - Lp_{dB} + GRX_{dB} - LRX_{dB}$$

Donde:

Lp: Pérdidas en el espacio libre (dB)

PTx: 20 dBm
 PRx: - 129.5 dBm
 GTx: 6 dB
 LTx: 1 dB
 GRx: 3 dB
 LRx: 1.5 dB

$$- 129.5 \text{ dBm} = 20 \text{ dBm} + 6 \text{ dB} - 1 \text{ dB} - L_p \text{ (dB)} + 3 \text{ dB} - 1,5 \text{ dB}$$

$$L_p \text{ (dB)} = 156 \text{ dB}$$

Distancia máxima de cobertura con modelo Okumura-Hata

Se calculó la distancia de enlace máxima entre una estación de monitoreo agrícola y la estación de recepción empleando el modelo Okumura-Hata. Se consideró como ambiente una "ciudad grande", debido a que es el peor escenario del modelo debido a las grandes pérdidas en el espacio libre. Se empleó la siguiente fórmula:

$$L_p = 69,55 + 26,16 * \log_{10} f - 13,82 * \log_{10} ht - [3.2[\log_{10}(11,75hr)]^2 - 4.97] + (44,9 - 6,55 * \log_{10} ht) * \log_{10} d$$

Donde:

f : frecuencia central de [915, 928] MHz = 921,5 MHz

h_t : Altura efectiva de la antena de transmisión (m), $h_t = 30$ m

h_r : Altura sobre el suelo de la antena de recepción (m), $h_r = 1$ m.

d : Distancia (km)

$$b = 1 \text{ para } d \leq 20 \text{ km}$$

En el caso de la altura de la antena de recepción es $h_r \neq 1,5$ m se realiza una corrección en la altura de recepción $a(h_r)$

Ciudad media-pequeña: $a(h_r) = 3.2(\log_{10} 11,75h_r)^2 - 4,97$

$$a(h_r) = 3.2[\log_{10}(11,75*1)]^2 - 4,97$$

$$a(h_r) = - 1,30$$

Dado que el distrito de Calana en la región Tacna, se considera un entorno suburbano, entonces se introduce una corrección sobre la pérdida básica de propagación:

$$\text{Zona suburbana} \quad L_{ps} = L_p - 2[\log_{10}\left(\frac{f}{28}\right)]^2 - 5,4$$

La pérdida en el espacio libre L_{ps} se calculó de la siguiente manera:

$$L_{ps} = L_p - 2[\log_{10}\left(\frac{f}{28}\right)]^2 - 5,4$$

Donde:

f: 921.5 MHz

L_p : 156 dB

$$L_{ps} = 156 - 2[\log_{10}\left(\frac{921,5}{28}\right)]^2 - 5,4$$

$$\mathbf{L_{ps} = 146 \text{ dB}}$$

Cálculo de la distancia máxima

La distancia máxima se calcula despejando "d" de la siguiente expresión matemática:

$$L_{ps} = 69,55 + 26,16\log_{10}f(\text{MHz}) - 13,86\log_{10}(h_t(\text{m})) - a(h_r) + (44,9 - 6,55\log_{10}h_t(\text{m}))(\log_{10}d(\text{km}))$$

$$146 = 69,55 + 26,16 \cdot \log(921,5) - 13,82 \cdot \log(30) + 1,30 + (44,9 - 6,55 \cdot \log(30)) \cdot \log(d)$$

$$146 = 69,55 + 77,55 - 20,41 + 1,30 + (44,9 - 9,67) \cdot \log(d)$$

$$35,23 \cdot \log(d) = 18,01$$

$$\log d(\text{km}) = 0.511$$

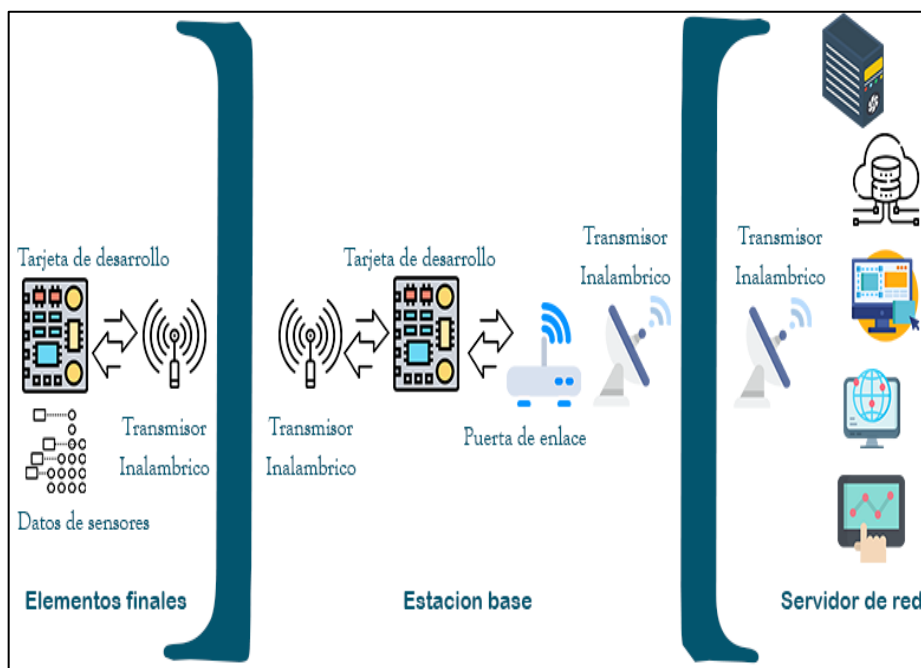
$$\mathbf{d = 3.24 \text{ km}}$$

4.2.2. Arquitectura de red propuesta

La solución propuesta está integrada por 1 nodo final y un gateway; así como del servidor LoRaWAN y una plataforma del internet de las cosas alojados en una nube informática. En el campo de cultivo se instaló una estación de monitoreo agrícola conteniendo un nodo final LoRaWAN, que contiene una red de sensores de monitoreo y un circuito de control de riego. La información transmitida por el nodo final es recibida por un gateway o pasarela situada en la estación de recepción con acceso a internet fijo y/o móvil. El gateway retransmite los mensajes del nodo hacia un servidor LoRaWAN en el cual se efectúa la autenticación, decodificación y transmisión de la carga útil rumbo a una plataforma IoT donde se ejecuta su almacenamiento y presentación a los agricultores a través de una aplicación móvil.

Figura 49

Esquema del sistema propuesto



Nota. Etapas compuestas del sistema propuesto desde la transmisión y recepción.

4.2.2.1. Elementos finales

Los elementos finales se componen de una red de sensores que interactúan con la tecnología inalámbrica Lora, tal como se visualiza en la parte derecha de la figura 49.

En la figura 50 se visualiza la tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 SX1276 a la cual estuvieron conectados los sensores DHT11, MLX90614 y el sensor de pH. El sensor de pH que se visualiza en la figura 50 estuvo compuesto por un circuito de conversión de ADC. Los sensores se encontraban instalados directamente con el módulo TTGO LoRa32-OLED, que en su conjunto se le conoce como nodo sensor final.

Figura 50

Tipos de sensores usados en el sistema IoT del cultivo hidropónico



Nota. Instalación del sensor MLX90614, DHT11 y pH en el area especificada del cultivo.

El módulo PH-4502C de control de detección de valor de PH líquido lleva un conector de sonda de electrodo BNC hidropónico para sensor de PH.

El sensor pH líquido en funcionamiento se visualiza en la figura 51.

Figura 51

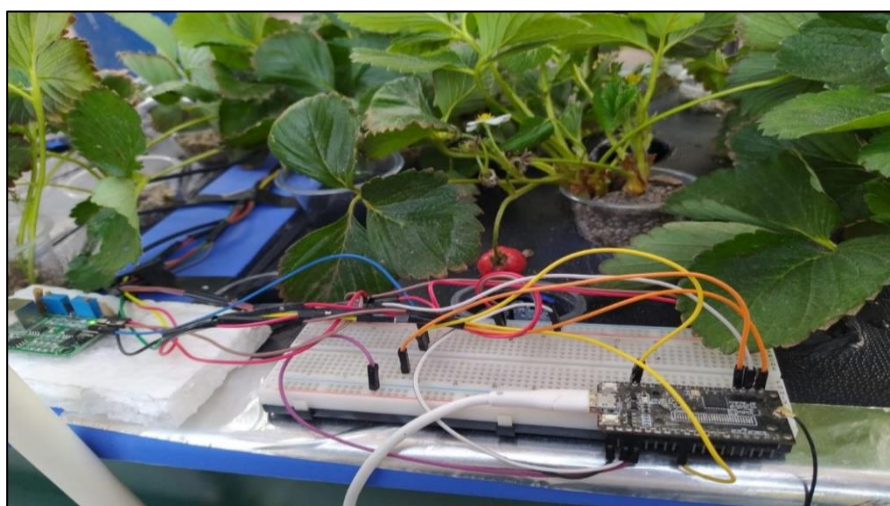
Sensor pH líquido



Nota. Módulo de control de detección de valor de PH líquido

Figura 52

Conexión de los sensores a la tarjeta TTGO LoRa32 SX1276 del nodo sensor final



Nota. La figura representa la instalación de los materiales del nodo final o elementos finales.

Mediante la tarjeta o módulo se realizó el procesamiento de datos para luego enviar mediante comunicación LoRa hacia la otra tarjeta, esto se demuestra en la figura 53.

Figura 53

Comunicación entre las dos tarjetas TTGO LoRa32 SX1276



Nota. La figura demuestra la comunicación aplicando la tecnología LoRa de LPWAN.

4.2.2.2. Estación base

La estación base está compuesta por la tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 SX1276 que es el receptor y además esta enlazada con un Gateway usando el protocolo MQTT. La estación recibe y luego envía a la nube los paquetes de datos obtenidas de los sensores instalados en el módulo de cultivo hidropónico de plántulas de fresa.

El envío de paquetes a la nube se efectuó mediante un enlace de WIFI, esto significa que usa el modo de transmisión bi-direccional en el intercambio de información garantizando el envío de la información al usuario de manera más accesible mediante una computadora o teléfono.

Se realizó el test de operatividad del radioenlace utilizando una unidad móvil, recorriendo el trayecto de la estación base al Nodo Final LoraWan. Se debe indicar que la distancia entre la Estación Base y el Nodo final es de 270,74 m. También se recorrió mayores distancias alrededor del Nodo final con la finalidad de verificar la operatividad del radioenlace.

Figura 54

Prueba de radioenlace de la tarjeta TTGO LoRa32 SX1276



Nota. Verificando la operatividad del radioenlace para distancias mayores, en diferentes zonas.

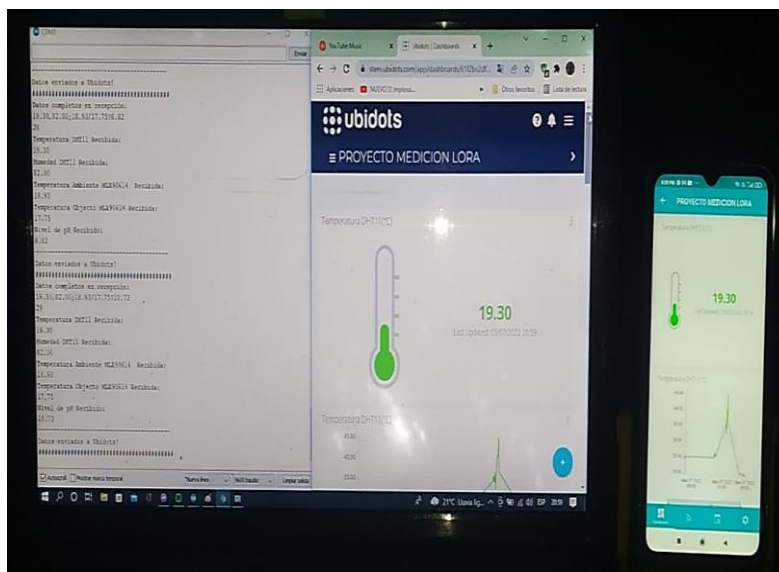
4.2.2.3. Servidor de red

Mediante la comunicación inalámbrica WIFI, el servidor de red se encargó de gestionar y enviar reportes gráficos o valorativos de las mediciones de los sensores que se encuentran monitoreando el campo de cultivo a una computadora o celular. Estas mediciones fueron esenciales para analizar el crecimiento o desarrollo de las plántulas de fresas.

La verificación de la temperatura del área, la humedad relativa, la temperatura del objeto o ambiente y el pH del líquido, fueron las variables que se visualizaron en la plataforma Ubidots y fueron esenciales para el monitoreo, tal como se observa en la figura 55.

Figura 55

Plataforma Ubidots mediante una computadora y smarphone



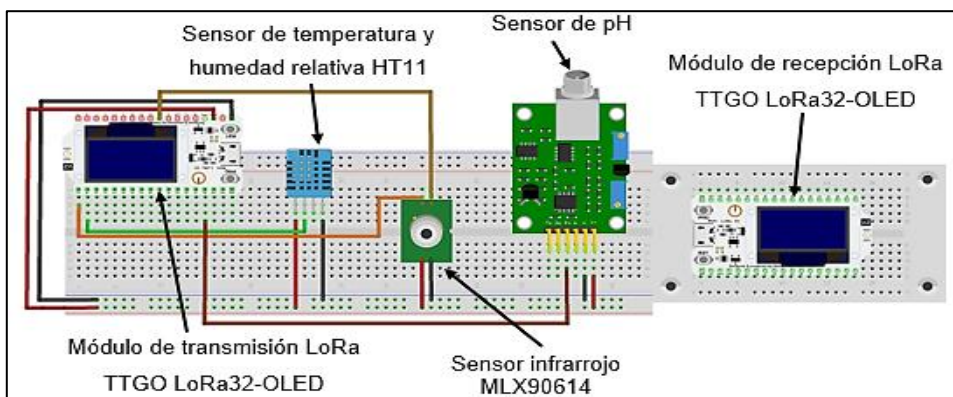
Nota. Adquisición de datos para el usuario. Disponible en:
<https://cutt.ly/1GISyy3>

4.2.3. Equipamiento de los nodos

El diagrama de conexiones que se visualiza en la figura 56, demuestra los materiales utilizados en el sistema IoT, con la importancia de utilizar las tarjetas o módulos de transmisión y recepción.

Figura 56

Diagrama de conexión de las tarjetas con los sensores



Nota. Materiales electrónicos utilizadas a nivel de hardware para el cultivo hidropónico.

4.2.4. Configuración y Programación del sistema IoT

Ubidots es un software y una plataforma de Internet sobre las cosas IoT, esto permitió el control total de cualquier ámbito de trabajo como por ejemplo configurar los tableros y alertas, también este software permite desarrollarse con el lenguaje C, C++ y Python.

El Arduino IDE es un software multiplataforma de código abierto, se usó para crear el programa con sus condiciones de comportamiento y subir al microcontrolador compatible, también permitió los lenguajes de programación C y C++, se empleó este software para programar los módulos Lora.

Los pasos que se realizaron para la configuración y programación del sistema IoT son los siguientes:

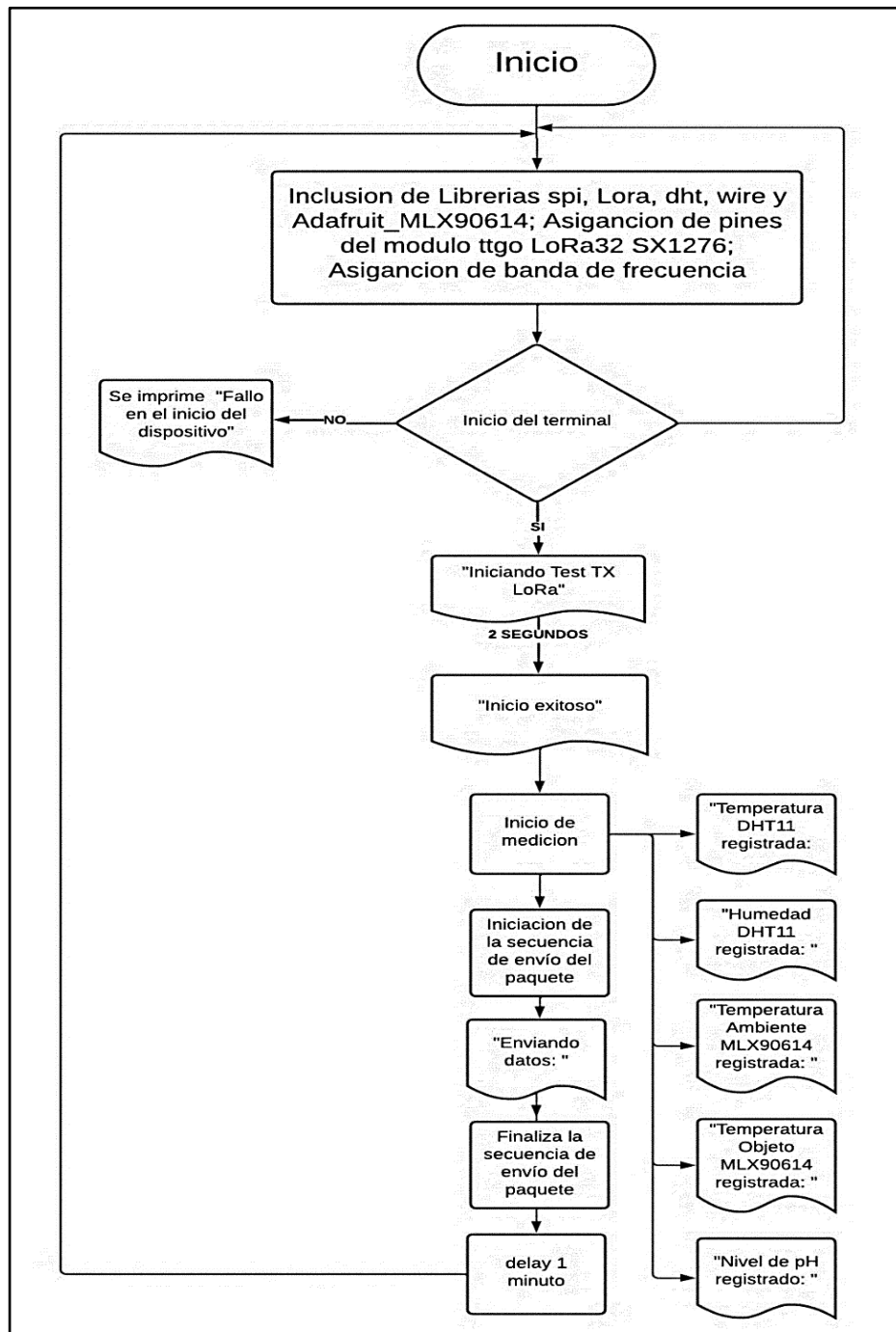
- a. Instalar el software Arduino IDE
- b. Generar el código del transmisor TTGO LoRa32-OLED.ver figura 56.
- c. Generar el código del receptor TTGO LoRa32-OLED. Ver figura 57.
- d. Crear la cuenta gratuita de la plataforma Ubidots.
- e. Diseñar la plataforma utilizando los widgets para las variables.
- f. Test de la comunicación LoRa.
- g. Mediciones de las variables.

En la figura 57 se visualiza el diagrama de flujo del transmisor. En la figura 58 se visualiza el diagrama de flujo de recepción.

Para su configuración se utilizaron librerías. Se iniciaron todas las configuraciones iniciales, el programa entra en ciclo principal, donde empieza la toma de datos provenientes de los equipos en campo.

Figura 57

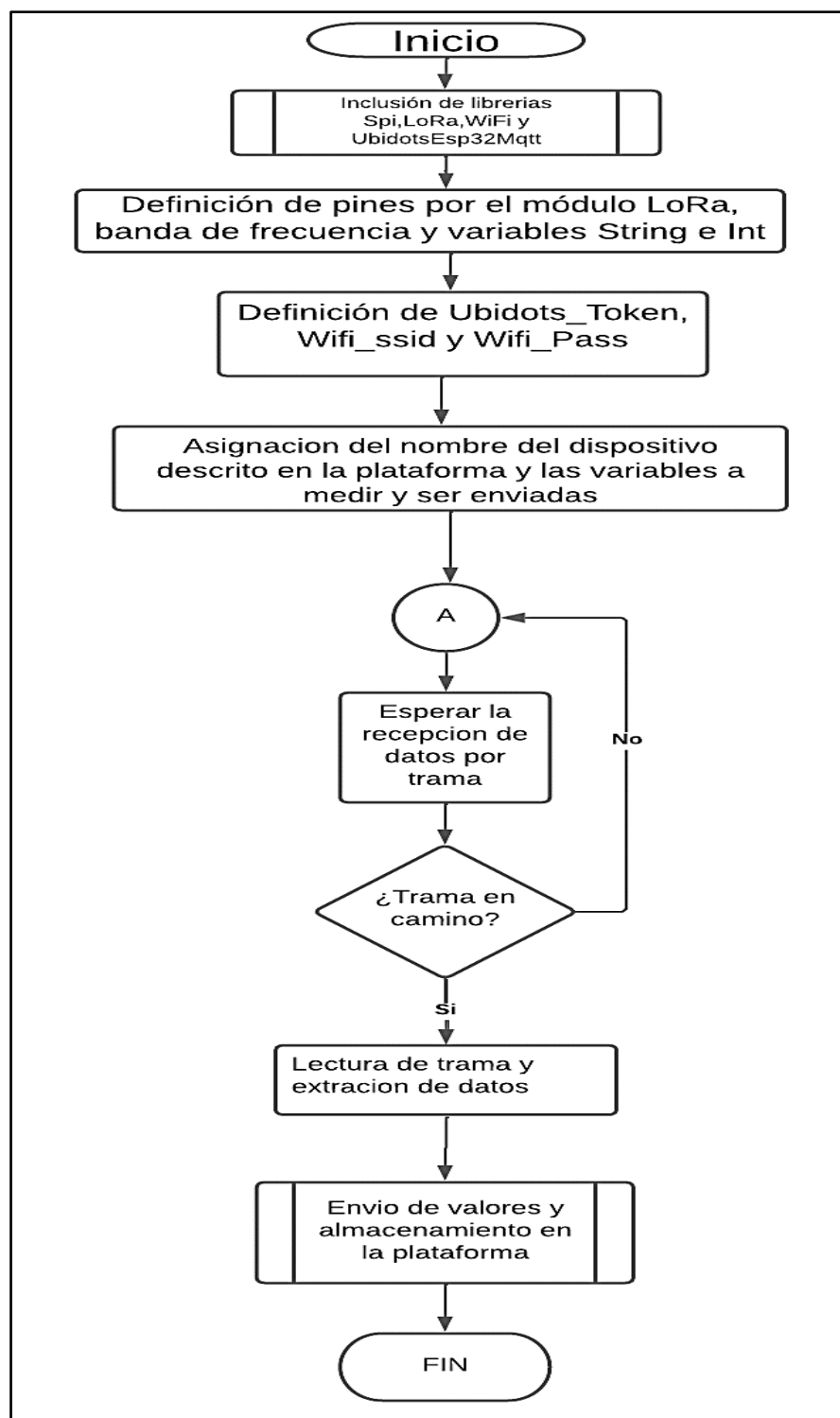
Diagrama de flujo del transmisor del Sistema IoT



Nota. Diagrama de bloques del nodo final que es el transmisor conectado con los sensores requeridos.

Figura 58

Diagrama de flujo del receptor del Sistema IoT



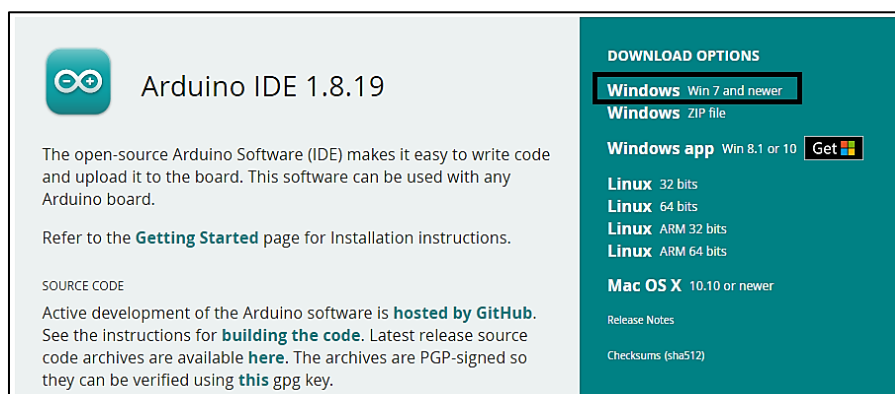
Nota: Diagrama de bloques del receptor aplicando el trabajo con la plataforma Ubidots.

Instalación y programación del Arduino IDE

El primer paso fue ingresar a la página oficial del Arduino IDE, luego instalar la versión compatible para la computadora, la versión del Arduino IDE está en constante actualización. En la figura 59 se demuestra la manera correcta de descargar del software Arduino IDE.

Figura 59

Descarga del software Arduino IDE



Arduino IDE 1.8.19

The open-source Arduino Software (IDE) makes it easy to write code and upload it to the board. This software can be used with any Arduino board.

Refer to the [Getting Started](#) page for Installation instructions.

SOURCE CODE

Active development of the Arduino software is [hosted by GitHub](#). See the instructions for [building the code](#). Latest release source code archives are available [here](#). The archives are PGP-signed so they can be verified using [this](#) gpg key.

DOWNLOAD OPTIONS

- Windows** Win 7 and newer
- Windows** ZIP file
- Windows app** Win 8.1 or 10 [Get](#)
- Linux** 32 bits
- Linux** 64 bits
- Linux** ARM 32 bits
- Linux** ARM 64 bits
- Mac OS X** 10.10 or newer

[Release Notes](#)

[Checksums \(sha512\)](#)

Nota. En la figura se muestra la descarga del Arduino IDE al sistema operativo requerido. Disponible en: <https://cutt.ly/TGIMTlz>

Luego en la figura 60 se selecciona **just download** para descargar la versión gratuita y luego se descarga con todos los paquetes de instalación de manera completa.

Figura 60

Descarga completa del Arduino IDE



PROFESSIONAL EDUCATION STORE Search on Arduino.cc SIGN IN

HARDWARE SOFTWARE CLOUD DOCUMENTATION COMMUNITY BLOG ABOUT

Support the Arduino IDE

Since the release 1.x release in March 2015, the Arduino IDE has been downloaded **59,521,932** times — impressive! Help its development with a donation.

\$3 \$5 \$10 \$25 \$50 Other

JUST DOWNLOAD **CONTRIBUTE & DOWNLOAD**

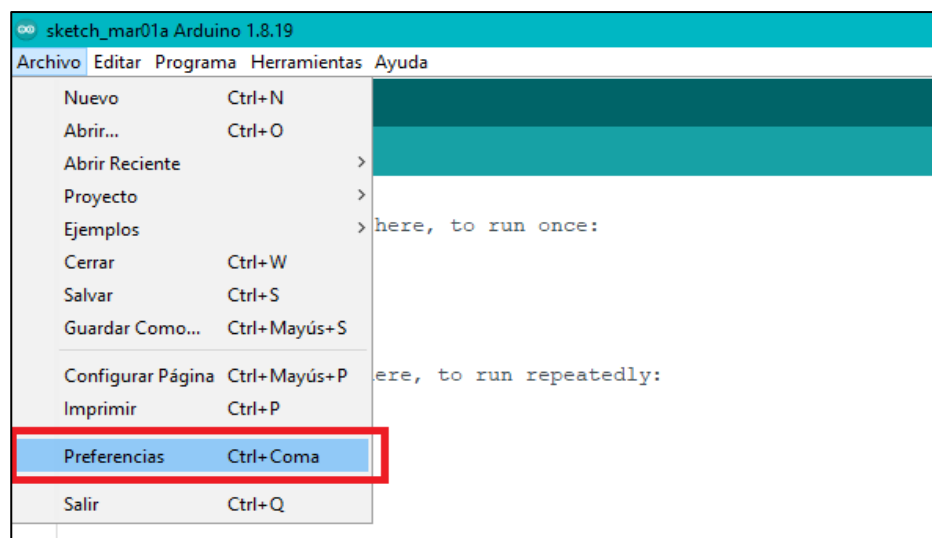
Help

Nota. Descarga gratuita del software. Disponible en: <https://cutt.ly/TGIMTlz>

Una vez completado la instalación del software Arduino IDE, se procedió a agregar los paquetes de gestor de placa ingresando a Archivo, luego a Preferencia tal como se ve en la figura 61. Este procedimiento se realizó por la falta de los paquetes de ESP32 y que además se requirió el uso de la placa TTGO LoRa32-OLED.

Figura 61

Instalación completa del Arduino IDE

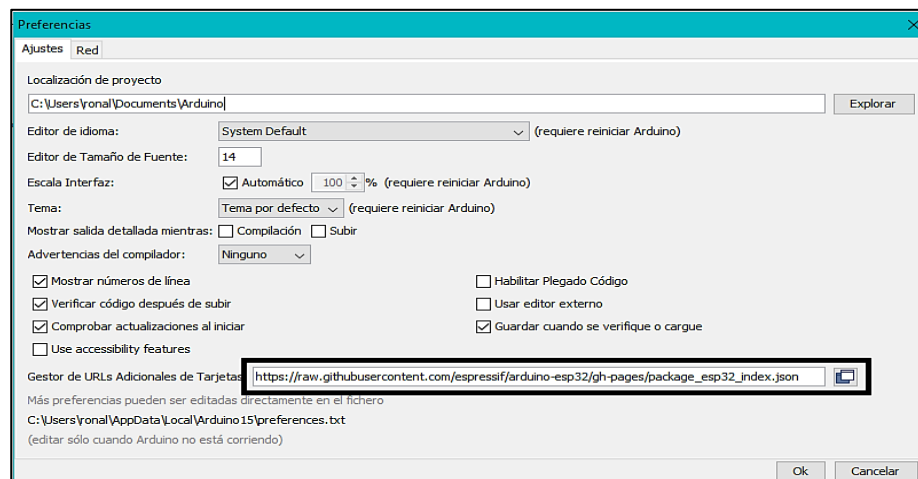


Nota. Instalaciones y luego las configuraciones en la ventana Preferencia.

En la figura 62 se muestra cómo se agregan los paquetes del gestor de placa. El texto agregado se obtuvo de la página GitHub.

Figura 62

Agrega las adicionales tarjetas

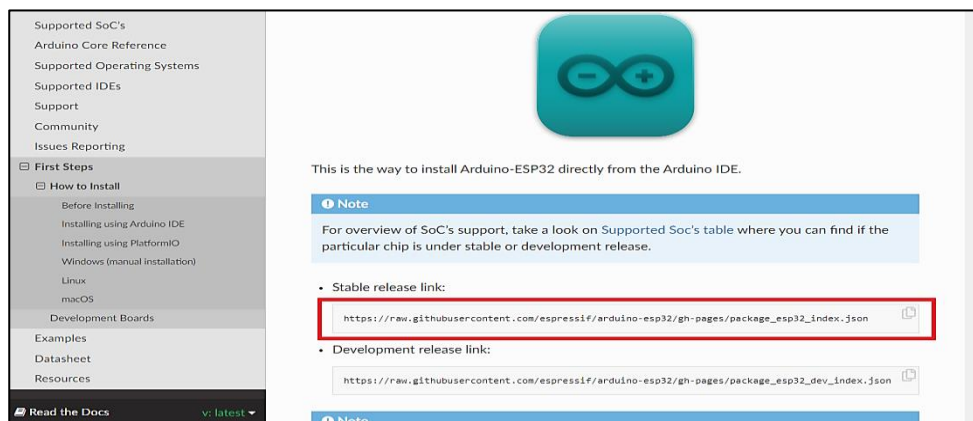


Nota. Integración y configuración de herramientas faltantes.

En la figura 63 se visualiza la página oficial GitHub, entonces se copia el link del texto que representa los paquetes de las placas ESP32 de diferentes modelos en la ventana Preferencias del gestor de placas del Arduino IDE.

Figura 63

Página oficial GitHub



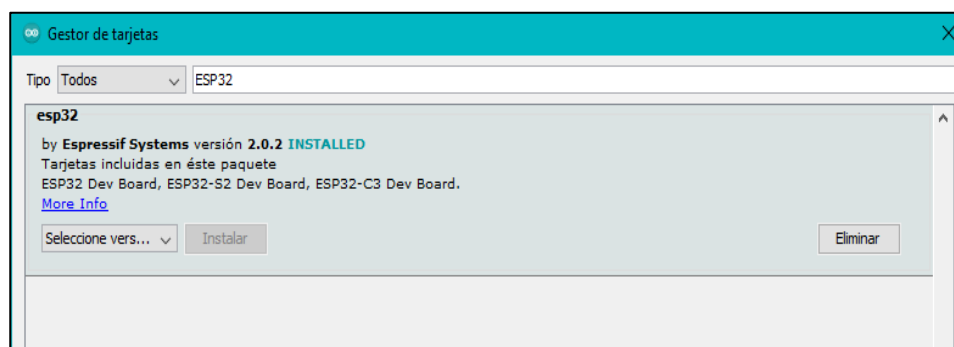
Nota. Adquisición de las herramientas o placas faltantes. Disponible en:

<https://cutt.ly/AGI9wNY>

Una vez agregada o instalada las placas faltantes de gestor de tarjetas, se buscó en la ventana gestor de placas los paquetes de ESP32 y luego se instaló como se muestra en la figura 64 la instalación correcta y completa de los paquetes requeridas para la programación de las placas TTGO LoRa32-OLED.

Figura 64

Instalación correcta de los paquetes ESP32

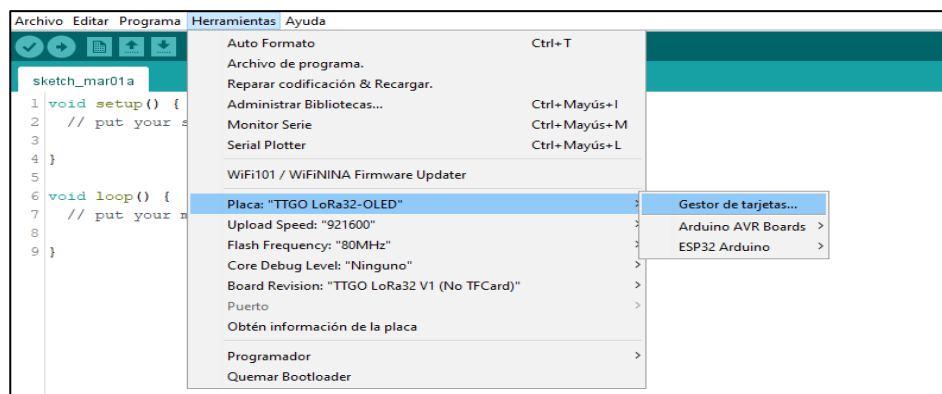


Nota. Instalación de las librerías de las placas ESP32.

Una vez realizado la instalación de los paquetes de ESP32, como se observa en la ventana ESP Arduino de las figuras 64 y 65, facilitando la programación y la asignación del modelo de placa que se utilizó para la programación requerida.

Figura 65

Instalación de los paquetes de ESP32

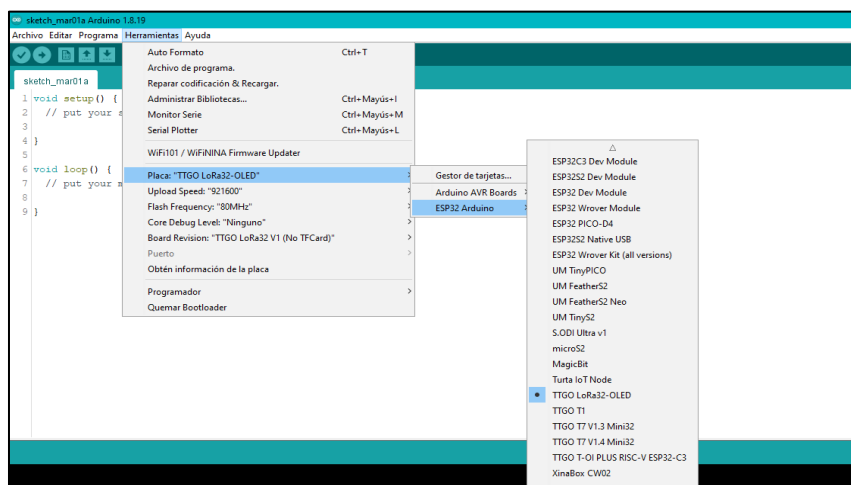


Nota. En la figura se visualiza al ingreso del Gestor de tarjetas con las herramientas instaladas.

La figura 66 muestra la selección de la placa TTGO LoRa32-OLED.

Figura 66

Tipos de placas ESP32



Nota. Selección de la placa TTGO LoRa32-OLED.

Configuración del nodo sensor

Para la configuración del Transmisor o nodo sensor, se utilizaron:

1. Tarjeta TTGO LoRa32 SX1276
2. Sensor DHT11
3. Sensor MLX90614
4. Sensor de pH
5. Antena LoRa de banda de frecuencia de 915 MHz

Las librerías utilizadas para el nodo sensor se ilustran en la figura 67.

Figura 67

Inclusión de las librerías

```
13 /*Incluimos las librerías a utilizar; las dos primeras para la conexión con red LoRa y el resto relacionado a los sensores*/
14 #include <SPI.h>
15 #include <LoRa.h>
16 #include "DHT.h"
17 #include <Wire.h>
18 #include <Adafruit_MLX90614.h>
19 // #include <Adafruit_I2CDevice.h>
```

Nota. Se Inicia la programación con las librerías correspondientes al proyecto.

En la figura 68 se visualiza la definición de los pines de conexión de la placa TTGO LoRa32-OLED. Se declaró las variables correctamente para las conexiones con los sensores.

Figura 68*Configuración de pines*

```

21 /*Definimos que el Pin de Datos del sensor estará conectado al pin 13 del TTGO LoRa32 SX1276*/
22 #define DHTPIN 13
23 /*Definimos que el tipo de sensor que estamos utilizando es un DHT11*/
24 #define DHTTYPE DHT11// DHT 11
25 /*Se actualizan algunos parámetros del DHT11 con los puntos definidos anteriormente*/
26 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
27 /*Definimos como mx a la lectura y función del sensor MLX90614*/
28 Adafruit_MLX90614 mx = Adafruit_MLX90614();
29 /*Definimos los pines usados por el modulo transceiver LoRa*/
30 #define SCK 5
31 #define MISO 19
32 #define MOSI 27
33 #define SS 18
34 #define RST 14
35 #define DIO0 26

```

Nota. Asignación de los periféricos.

Como se ilustra en la figura 69, se asignó la banda de frecuencia según los estándares de LoRa Alliance de AU915-928. En el caso de asignación de frecuencias de la banda ISM en el Perú, las placas TTGO LoRa32-OLED operan a la frecuencia de 915 MHz.

Figura 69*Definición de la banda de frecuencia compatible con la región*

```

37 /*Definimos la banda de frecuencia con lo que funciona el proyecto*/
38 //433E6 for Asia
39 //866E6 for Europe
40 //915E6 for North America
41 #define BAND 915E6

```

Nota. La figura muestra la asignación de frecuencia según los estándares de LoRa Alliance en AU915-928.

En la figura 70 se visualiza la definición del pin analógico para el sensor MLX90614, también se definió las variables Float como soporte de la medición del pH.

Figura 70

Definición del pin ADC y variable float

```

42 /*Definimos al pin ADC 0 como la entrada del pin de datos del sensor MLX906114*/
43 const int potPin=A0;
44 /*Definimos dos variables Float que nos darán soporte en la medición del pH*/
45 float ph;
46 float Value=0;
47

```

Nota. La figura muestra la programación de los puertos ADC para los sensores conectados.

Se inicio la función *Setup* con el monitor serie a 115200 baudios. En la línea 57 del código de la figura 71, se inició la librería SPI junto a los pines usados por el módulo transceiver LoRa. Luego, se configuró y anuló los pines SS, RST y DIO0 del módulo transceiver. En la línea 61 del código

se inició la conexión a la librería LoRa, añadiendo un aviso de fallo en caso de que no haya conexión establecida.

Figura 71

Inicio de la función Setup.

```

48 /*Iniciamos la función Setup()*/
49 void setup() {
50   /*Iniciamos el terminal Serial y nuestros sensores*/
51   Serial.begin(115200);
52   dht.begin();
53   mlx.begin();
54   /*Definimos que el pin de datos del sensor de pH es una ENTRADA*/
55   pinMode(potPin, INPUT);
56   /*Imprimimos una frase de inicio del módulo*/
57   Serial.println("Iniciando Test TX LoRa");
58   /*Iniciamos la librería SPI junto a los pines usados por el módulo transceiver LoRa*/
59   SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
60   /*Configuramos y anulamos los pines del módulo transceiver los pines SS, RST y DIO0*/
61   LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);
62   /*Iniciamos la conexión a la librería LoRa; en caso no se realice, se imprime un aviso de fallo*/
63   if (!LoRa.begin(BAND)) {
64     Serial.println("Fallo en el inicio del dispositivo");
65     while (1);
66   }
67   /*Una vez realizada la conexión, se procede a imprimir esta frase en el terminal Serial, agregamos
68   /*un retardo de 2 segundos*/
69   Serial.println("Inicio exitoso");
70   delay(2000);
71 }

```

Nota. En la figura se visualiza el proceso de conexión.

En las líneas de código de la figura 72 se inicia la función void loop, se procedió a imprimir una frase en el terminal serial al inicio del bucle mientras se realizaba la lectura de cada sensor DHT11, MLX90614 y el pH.

Figura 72

Inicio de la función Loop.

```

73 /*Iniciamos la función Loop()*/
74 void loop() {
75     /*Se procede a imprimir una frase en el terminal Serial al inicio del bucle*/
76     Serial.println("Iniciando medicion DHT11:");
77     /*Realizamos la lectura de Temperatura y Humedad del sensor DHT11*/
78     float temperatura= dht.readTemperature();
79     float humedad = dht.readHumidity();
80     /*Realizamos la lectura de Temperatura del Ambiente y del Objeto del sensor MLX90614*/
81     float temp_infra_amb = mlx.readAmbientTempC();
82     float temp_infra_obj = mlx.readObjectTempC();
83     /*Realizamos la lectura del nivel de pH del sensor*/
84     Value= analogRead(potPin);
85     float voltage=Value*(3.3/4095.0);
86     ph=(3.3*voltage);

```

Nota. En la figura se visualiza el proceso de lectura de los sensores y el proceso de cálculo de los datos.

En la figura 73 se muestra las instrucciones para la impresión de los valores obtenidos, tenemos 5 variables que representan los 3 sensores instalados en campo.

Figura 73

Comando de Impresión de los valores obtenidos en el terminal serial

```

88     /*Imprimimos los valores obtenidos en el terminal Serial*/
89     Serial.print("Temperatura DHT11 registrada: ");
90     Serial.print(temperatura);
91     Serial.println("°C");
92     Serial.print("Humedad DHT11 registrada: ");
93     Serial.print(humedad);
94     Serial.println("%");
95     Serial.print("Temperatura Ambiente MLX90614 registrada: ");
96     Serial.print(temp_infra_amb);
97     Serial.println("°C");
98     Serial.print("Temperatura Objeto MLX90614 registrada: ");
99     Serial.print(temp_infra_obj);
100    Serial.println("°C");
101    Serial.print("Nivel de pH registrado: ");
102    Serial.print(ph);
103    Serial.println("");
104    Serial.println("-----");
105

```

Nota. La figura visualiza la función de impresión de las 5 variables.

La figura 74 muestra el envío de paquete de datos de los sensores mediante una variable String, para terminar, imprimiendo mediante el código LoRa.

Figura 74

Inicio de la secuencia de envío de paquete hacia el Gateway

```

107 LoRa.beginPacket();
108 /*Ponemos los datos de los sensores dentro de una variable String*/
109 String payload = String(temperatura)+" "+String(humedad)+" "+String(temp_infra_amb)+" "+String(temp_infra_obj)+" "+String(ph);
110 /*Enviamos como paquete, la variable String definida*/
111 LoRa.print(payload);
112 /*Imprimimos en el terminal Serial los datos que se están enviando*/
113 Serial.print("Enviando datos: ");
114 Serial.println(payload);
115 /*Finaliza la secuencia de envío del paquete*/
116 LoRa.endPacket();
117 Serial.println("#####");
118 /*Agregamos de un retardo de 1 minuto*/
119 delay(60000);
120 }

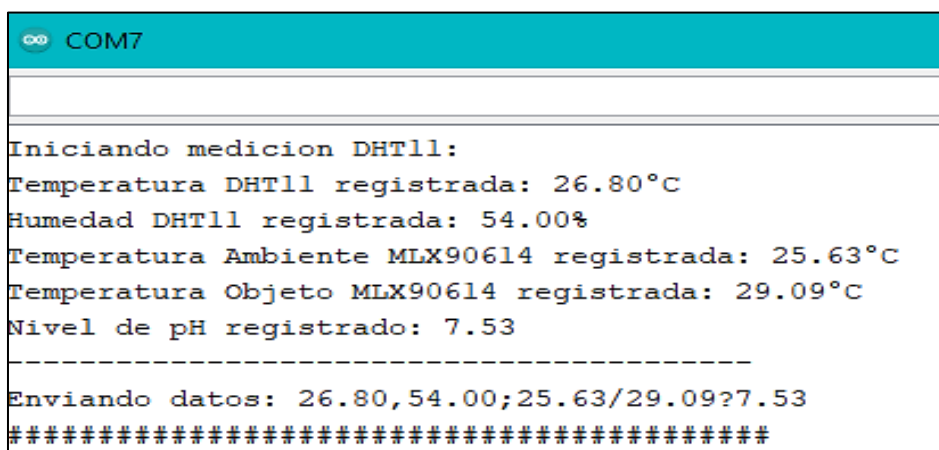
```

Nota. Envío de paquete comprimidos por el *string payload*.

Como resultado se obtuvieron datos imprimidos en el monitor del puerto serial del Arduino IDE, esto se demuestra en la figura 75, mostrando la lectura obtenida mediante las librerías y códigos usados en el programa de sketch. Estos paquetes de los datos comprimidos son enviados al receptor TTGO LoRa32-OLED.

Figura 75

Puerto serial en funcionamiento



```

COM7

Iniciando medicion DHT11:
Temperatura DHT11 registrada: 26.80°C
Humedad DHT11 registrada: 54.00%
Temperatura Ambiente MLX90614 registrada: 25.63°C
Temperatura Objeto MLX90614 registrada: 29.09°C
Nivel de pH registrado: 7.53

-----
Enviando datos: 26.80,54.00;25.63/29.09?7.53
#####

```

Nota. En la figura visualiza el monitor serial con los resultados de medición de manera concatenada.

Configuración de la estación base

En esta etapa se generó el código para el área de recepción y esto se muestra en la figura 76. El código comienza incluyendo las librerías SPI, LoRa, Wifi y UbidotsEsp32Mqtt, las cuales facilitaron la conexión hacia el servidor de la red.

Figura 76

Inclusión de librerías SPI, LoRa, Wifi y UbidotsEs32Mqtt

```
11 #include <SPI.h>
12 #include <LoRa.h>
13 #include <WiFi.h>
14 #include "UbidotsEsp32Mqtt.h"
```

Nota. Las librerías nos ayudaran para la implementación del nodo central.

Se trabajó con estas 4 librerías, indispensable para el funcionamiento correcto de la comunicación en los equipos. En las líneas de código de la figura 77 se definieron los pines de conexión del módulo TTGO LoRa32-OLED.

Figura 77

Definición de pines de TTGO LoRa32-OLED

```
/*Definimos los pines usados por el modulo transceiver LoRa*/
#define SCK 5
#define MISO 19
#define MOSI 27
#define SS 18
#define RST 14
#define DIO0 26
```

Nota. Asignación de los periféricos para bus SPI.

Para definir la banda de frecuencia y la comunicación con el otro módulo TTGO LoRa32-OLED, se asignó la banda de frecuencia 915 MHz tal como se mencionó en el marco teórico correspondiente a la certificación reglamentaria de LoRaWAN asignada en Perú.

Entonces, definimos el código para asignar a la banda de frecuencia de trabajo, tal como se ilustra en la figura 78.

Figura 78*Definición de la banda de frecuencia 915E6*

```

23 /*Definimos la banda de frecuencia con lo que funciona el proyecto*/
24 //433E6 for Asia
25 //866E6 for Europe
26 //915E6 for North America
27 #define BAND 915E6

```

Nota. La figura representa el trabajo en la banda de frecuencia según con los estándares de LoRa Alliance de AU915-928.

En la figura 79 se observa la definición de las variables String e Int, donde se enlazó con las líneas de códigos posteriores. Se trabajó con 6 variables String: LoRaData, temperatura, humedad, temp_amb y temp_obj y ph. Las variables Int se denominaron posición 1, posición 2, posición 3 y posición 4.

Figura 79*Variables String e Int*

```

29 /*Definimos variables String e Int para usarlas en el código
30 String LoRaData;
31 String temperatura;
32 String humedad;
33 String temp_amb;
34 String temp_obj;
35 String ph;
36 int posicion1;
37 int posicion2;
38 int posicion3;
39 int posicion4;

```

Nota. En la figura se definen las variables String según los parámetros medidos y las variables Int según la posición asignada.

En la figura 80 se observa la asignación de token derivado de la plataforma Ubidots. También se asignaron WIFI_SSID y WIFI_PASS para establecer conexión a la red. Se generaron los códigos VARIABLE_LABEL que se enlazaron con los widgets de la plataforma Ubidots. Const char es

un puntero no constante en el cual se almacena la dirección como por ejemplo la Wi-Fi SSID.

Figura 80

Definición de enlace de la red Wifi y generación de las variables

```

40 /*Definimos el uso del pin 13 del receptor, para su activación en caso llegué la aprobación desde la plataforma*/
41 const int led = 13;
42 /*Definimos el TOKEN de la plataforma, así como la red WiFi a la que nos procederemos a conectar*/
43 const char *UBIDOTS_TOKEN = "BBFF-DAhLEAmvMnamn7L2QxfzgzEwweL7U"; // Put here your Ubidots TOKEN
44 const char *WIFI_SSID = "Penalzoa"; // Put here your Wi-Fi SSID
45 const char *WIFI_PASS = "adcca24274c6"; // Put here your Wi-Fi password
46 /*Definimos el nombre del dispositivo descrito en la plataforma, así como las variables a medir y ser enviadas*/
47 const char *DEVICE_LABEL = "lorawan-work"; // Put here your Device label to which data will be published
48 const char *VARIABLE_LABEL_1 = "temperatura"; // Put here your Variable label to which data will be published
49 const char *VARIABLE_LABEL_2 = "humedad"; // Put here your Variable label to which data will be published
50 const char *VARIABLE_LABEL_3 = "ambiente"; // Put here your Variable label to which data will be published
51 const char *VARIABLE_LABEL_4 = "objeto"; // Put here your Variable label to which data will be published
52 const char *VARIABLE_LABEL_5 = "phlevel"; // Put here your Variable label to which data will be published
53 const char *VARIABLE_LABEL_6 = "control"; // Put here your Variable label to which data will be published
54 const int PUBLISH_FREQUENCY = 5000; // Update rate in milliseconds
55
56 unsigned long timer;
57 uint8_t analogPin = 34; // Pin used to read data from GPIO34 ADC_CH6.
58
59 Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN);

```

Nota. Configuración de las variables que se enlazaron con con la plataforma Ubidots.

En figura 81 se ilustra la asignación de un actuador auxiliar, la línea de código numero 66 representa la función que maneja los mensajes recibidos. En este caso el botón ubicado en el aplicativo móvil que emitirá una respuesta al momento de apagar o prender. El dispositivo programado lo interpretará como LOW o HIGH.

Figura 81*Actuador auxiliar*

```

63  * Auxiliar Functions
64  *****/
65
66  void callback(char *topic, byte *payload, unsigned int length)
67  {
68      Serial.print("Message arrived [");
69      Serial.print(topic);
70      Serial.print("] ");
71      for (int i = 0; i < length; i++)
72      {
73          Serial.print((char)payload[i]);
74          if ((char)payload[i] == '0')
75          {
76              Serial.println("Actuador apagado");
77              digitalWrite(led, LOW);
78              return;
79          }
80          if ((char)payload[i] == '1'){
81              Serial.println("Actuador encendido");
82              digitalWrite(led, HIGH);
83              return;
84          }
85      }
86  }

```

Nota. Asignación de funciones para el actuador auxiliar.

Se puede visualizar en la figura 82 el comando el void setup que inicia el proceso, luego se muestra el comando que imprimió en el monitor terminal serial el mensaje “Iniciando Test RX LoRa”. También, en el siguiente código se inició la librería SPI junto a los pines usados por el módulo transceiver LoRa, luego se anuló los pines del módulo transceiver SS, RST y DIO0 que no se utilizaran.

Figura 82*Inicio la función void setup*

```

92  /*Iniciamos la función Setup()*/
93  void setup() {
94      /*Iniciamos el terminal Serial e imprimimos una frase de inicio del proyecto*/
95      Serial.begin(9600);
96      Serial.println("Iniciando Test RX LoRa");
97      /*Definimos que el pin del accionador será una SALIDA y está en estado LOW*/
98      pinMode(led, OUTPUT);
99      digitalWrite(led, LOW);
100     /*Iniciamos la librería SPI junto a los pines usados por el módulo transceiver LoRa*/
101     SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
102     /*Configuramos y anulamos los pines del módulo transceiver los pines SS, RST y DIO0*/
103     LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);
104

```

Nota. En la figura inicia la secuencia de impresión, arranque de las librerías SPI.

En la figura 83 se muestra los comandos que definieron la conexión a la librería LoRa usando la banda de frecuencia asignada; en caso de no haber una conexión exitosa se imprime un mensaje en el monitor terminal serial “Fallo en el inicio del dispositivo” y si la conexión es exitosa se imprime “Inicio exitoso”. Para conexión a la red Wi-Fi se utilizó las funciones de reconexión y de suscripción.

Figura 83

Enlace de comunicación a la librería LoRa

```

105 /*Iniciamos la conexión a la librería LoRa usando la banda de frecuencia asignada; en caso no se realice, se imprime
106 if (!LoRa.begin(BAND)) {
107     Serial.println("Fallo en el inicio del dispositivo");
108     while (1);
109 }
110 /*En caso la conexión sea exitosa, se imprime la siguiente frase en el terminal Serial*/
111 Serial.println("Inicio exitoso");
112 /*Definimos funciones de conexión tanto a la red WiFi como funciones de reconexión y funciones de suscripción*/
113 ubidots.connectToWifi(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
114 ubidots.setCallback(callback);
115 ubidots.setup();
116 ubidots.reconnect();
117 ubidots.subscribeLastValue(DEVICE_LABEL, VARIABLE_LABEL_6);
118 timer = millis();
119 }

```

Nota. La figura muestra las funciones de conexión a la red WIFI de la plataforma Ubidots.

Para conectarse a la plataforma Ubidots, en la figura 84 se muestra cómo se enlazaron las variables con los widgets, donde estas variables componen los paquetes de las lecturas realizadas por los sensores.

Figura 84

Conexión a la plataforma Ubidots

```

121 /*Iniciamos la función Loop()*/
122 void loop() {
123     // put your main code here, to run repeatedly:
124     if (!ubidots.connected())
125     {
126         ubidots.reconnect();
127         ubidots.subscribeLastValue(DEVICE_LABEL, VARIABLE_LABEL_6);
128     }

```

Nota. Conexión y reconexión a la plataforma Ubidots.

En la figura 85 se muestra las líneas de código encargados de revisar si los paquetes fueron recibidos y si es así, se imprime en el puerto serial “Datos completos en la recepción”.

Figura 85

Gestión de paquetes enviados

```

129  /*Usamos el comando .parsePacket(), procedemos a revisar si el paquete fue recibido*/
130  int packetSize = LoRa.parsePacket();
131  /*Si se recibieron datos, se procede a realizar las siguientes acciones*/
132  if (packetSize) {
133      /*Se imprime los datos recibidos*/
134      Serial.println("Datos completos en recepción: ");
135  }

```

Nota. Comando de Impresión para confirmar la recepción de los datos.

Mientras la tecnología LoRa era usada, se procedió a definir la variable LoRa Data para que ocupe los valores tipo String que llegan de la tarjeta transmisora. El código se visualiza en la figura 86.

Figura 86

Definir variables para ocupar el String

```

136  /*Mientras la conexión usando la tecnología LoRa siga encendida, se pasará a realizar lo siguiente*/
137  while (LoRa.available()) {
138      /*La variable LoRaData la definimos para que ocupe los valores tipo String que llegan a la tarjeta*/
139      LoRaData = LoRa.readString();
140      /*Imprimimos la variable LoRaData en el terminal Serial*/
141      Serial.println(LoRaData);
142      Serial.println(LoRaData.length());

```

Nota. Asignación del String

En estas líneas de código de la figura 87 se ilustra como se procedió a extraer los valores usando el comando `substring` para las posiciones de manera ordenada. Cada posición está separada por un carácter.

Figura 87

Proceso de subString

```

143      /*Definimos que las variables  están incluidos en el String que se recepciona,
144      /*extraer esos valores usando .subString() */
145      posicion1 = LoRaData.indexOf(',');
146      posicion2 = LoRaData.indexOf(';');
147      posicion3 = LoRaData.indexOf('/');
148      posicion4 = LoRaData.indexOf('?');
149      temperatura=LoRaData.substring(0,posicion1);
150      humedad = LoRaData.substring(posicion1 +1,posicion2);
151      temp_amb = LoRaData.substring(posicion2 + 1,posicion3);
152      temp_obj = LoRaData.substring(posicion3 + 1,posicion4);
153      ph = LoRaData.substring(posicion4+1);

```

Nota. En la figura se visualiza el agrupamiento de la posición.

Los comandos de impresión para el terminal serial del monitor se muestran en la figura 88.

Figura 88

Comando de Impresión del texto en la pantalla monitor Puerto serial

```

155      Serial.println("Temperatura DHT11 Recibida: ");
156      Serial.println(temperatura);
157      Serial.println("Humedad DHT11 Recibida: ");
158      Serial.println(humedad);
159      Serial.println("Temperatura Ambiente MLX90614 Recibida: ");
160      Serial.println(temp_amb);
161      Serial.println("Temperatura Objecto MLX90614 Recibida: ");
162      Serial.println(temp_obj);
163      Serial.println("Nivel de pH Recibido: ");
164      Serial.println(ph);
165      Serial.println("-----");

```

Nota. Lectura visualizada con el comando println en el monitor serial.

En la figura 89 se observa cómo se convirtió los valores de String a Float para enviarlos a la plataforma.

Figura 89

Cambio de valores de String a Float

```

166      /*Hacemos el cambio de los valores de String a Float, para poder enviarlos a
167      float T1 = temperatura.toFloat();
168      float H1 = humedad.toFloat();
169      float A1 = temp_amb.toFloat();
170      float O1 = temp_obj.toFloat();
171      float P1 = ph.toFloat();
172

```

Nota. Conversión de las variables String a Float.

En la figura 90 se ilustra el comando de envío de los datos hacia la plataforma Ubidots.

Figura 90

Código para enviar los datos a la plataforma

```

173     /*Definimos que si los valores llegan buenas condiciones, procedemos a enviarlos a la plataforma*/
174     if(T1 != 0.00 && H1 != 0.00 && A1!= 0.00 && O1 != 0.00 && P1 != 0.00){
175         ubidots.add(VARIABLE_LABEL_1, T1); // Insert your variable Labels and the value to be sent
176         ubidots.add(VARIABLE_LABEL_2, H1); // Insert your variable Labels and the value to be sent
177         ubidots.add(VARIABLE_LABEL_3, A1); // Insert your variable Labels and the value to be sent
178         ubidots.add(VARIABLE_LABEL_4, O1); // Insert your variable Labels and the value to be sent
179         ubidots.add(VARIABLE_LABEL_5, P1);
180         ubidots.publish(DEVICE_LABEL);
181         timer = millis();
182         /*Imprimimos una frase indicando el envío*/
183         Serial.println("Datos enviados a Ubidots!");
184         Serial.println("#####");
185     }
186
187     /*En caso no lleguen en buenas condiciones, se procede a imprimir la siguiente frase*/
188     else{
189         Serial.println("Datos encontrados con error en Radiofrecuencia");
190         Serial.println("#####");
191     }
192
193 }
194 }
195 ubidots.loop();
196 }

```

Nota. En la figura los comandos realizan la corrección y envío a la plataforma Ubidots.

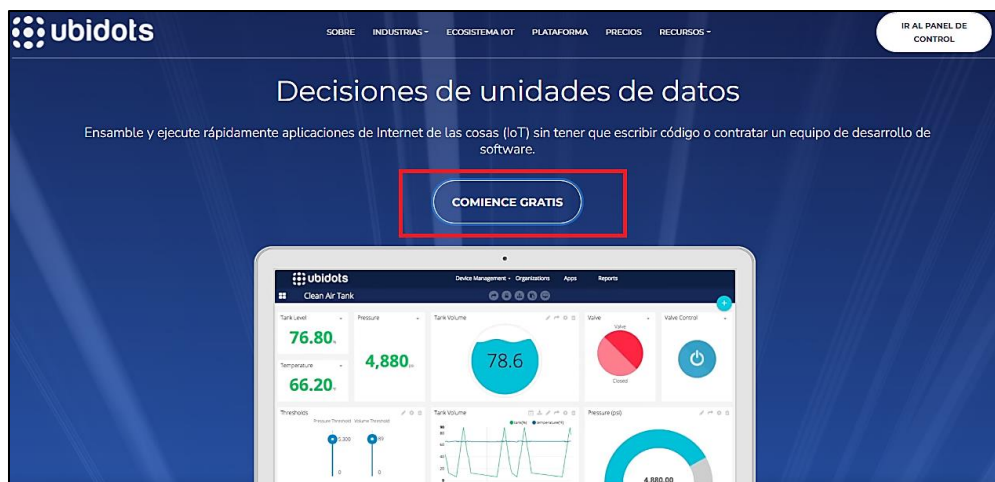
Plataforma Ubidots

La plataforma está diseñada para gestionar de manera sencilla y amigable. Tiene un dashboard que facilita la interacción con el usuario. Esto fue útil para el desarrollo del proyecto ya que cumplió una labor muy importante para el monitoreo del cultivo hidropónico.

Para usar la plataforma, el primer paso fue entrar a la página de Ubidots como se muestra en la Figura 91 y posteriormente se ilustra la creación de una cuenta gratuita.

Figura 91

Acceso a la plataforma Ubidots

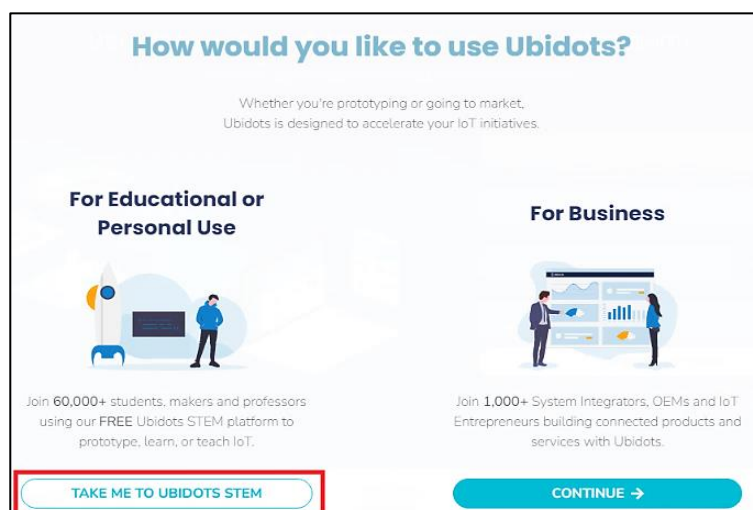


Nota. Se ingresa para generar una cuenta gratuita. Disponible en <https://cutt.ly/3GzW8Hm>

Hay dos métodos de acceso a la plataforma tal como se muestra la figura 92, uno es el método educativo y el otro empresarial. Se seleccionó el método educativo para crear la cuenta, dado que solo se requiere algunos widgets.

Figura 92

Creación de la cuenta gratuita



Nota: La cuenta gratuita dispone de los recursos necesarios.

Disponible en: <https://cutt.ly/3GzW8Hm>

En la figura 93 se muestra la creación de la cuenta gratuita completando el cuadro con los respectivos datos requeridos. Esta cuenta fue útil para enlazar con la aplicación Ubidots del Smartphone.

Figura 93

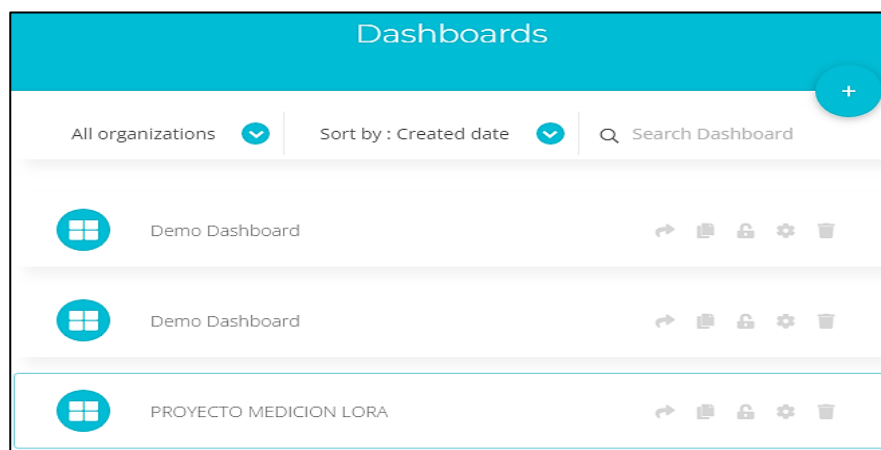
Creación de la cuenta en Ubidots

Nota. La figura representa la ventana a llenar con los datos respectivos.

En la figura 94 se muestra la creación del dashboard de la plataforma Ubidots.

Figura 94

Creación de los dashboards



Nota. Tomada de la plataforma Ubidots. Disponible en:

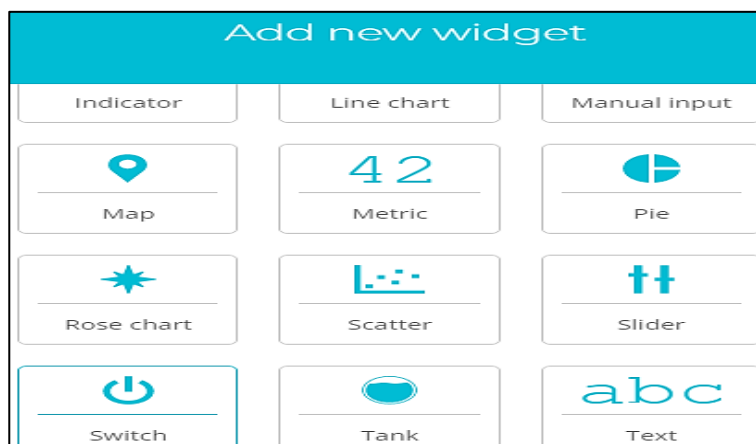
<https://cutt.ly/8GzY9ZE>

En la ventana de la figura 95 se usó algunos widgets como el termómetro, indicador, gráfico de línea. Estos widgets ayudaron a visualizar

el comportamiento de monitoreo de los cultivos hidropónicos. Cada widget ayudó a visualizar las variables de medición de los sensores utilizados en el nodo sensor.

Figura 95

Widgets de Ubidots



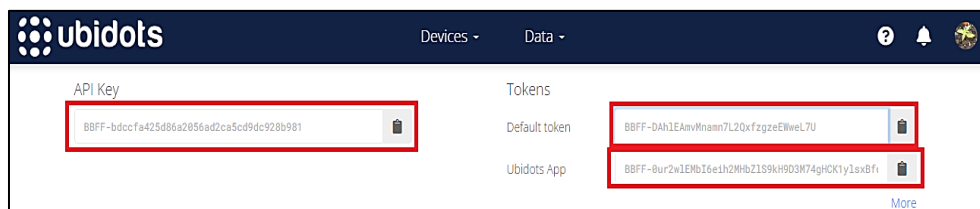
Nota. Tomada de la plataforma Ubidots que se configuró eligiendo el widget. Disponible en:

<https://cutt.ly/yGzUj4x>

En la figura 96 se muestra la creación automática del token. Este Default token ayudó a enlazar la plataforma Ubidots con el módulo receptor TTGO LoRa32-OLED.

Figura 96

Default token



Nota. En la figura se visualiza el token para enlazar con el programa archivo del Arduino IDE. Disponible en: <https://cutt.ly/wGzOZqS>

Las diferentes variables son entregadas por el receptor TTGO LoRa32-OLED mediante la comunicación del protocolo MQTT, estas

variables que se muestran en la figura 97 son de los distintos tipos de sensores que realizaron la lectura requerida, en este proceso seleccionamos cada variable enlazando con otros widgets de la plataforma.

Figura 97

Tipos de Variables



Nota. En la figura se precisa las variables se asignan a los widgets.

Las variables del código que se visualiza en la figura 98 fueron asignadas con las palabras lorawan-work, temperatura, humedad, ambiente, objeto, phlevel y control. Estas variables representaron las mediciones realizadas por los sensores.

Figura 98

Asignación de las variables

```
const char *DEVICE_LABEL = "lorawan-work";
const char *VARIABLE_LABEL_1 = "temperatura";
const char *VARIABLE_LABEL_2 = "humedad";
const char *VARIABLE_LABEL_3 = "ambiente";
const char *VARIABLE_LABEL_4 = "objeto";
const char *VARIABLE_LABEL_5 = "phlevel";
const char *VARIABLE_LABEL_6 = "control";
```

Nota. Tomada de sketch del Arduino IDE que demuestra las variables_label con el nombre asignado.

Asignamos la VARIABLE_LABEL_1 que estuvo representado con la palabra temperatura y se enlazó al widget termómetro, como se muestra en la figura 99. En el widget se visualizó la temperatura del DHT11 en °C.

Figura 99

Widget de la temperatura



Nota. El widget fue asignado con la variable temperatura.

La VARIABLE_LABEL_2 que está representado con la palabra humedad se enlaza al widget tanque, esto se muestra en la figura 100. Además, en el widget se visualizó la humedad en porcentaje.

Figura 100

Widget de la humedad



Nota. Widget asignado con la variable humedad.

A continuación, la figura 101 y 102 representan el widget del sensor MLX90614 que se enlaza con la VARIABLE_LABEL_3 para temperatura ambiente y la VARIABLE_LABEL_4 para temperatura objeto. Mediante estas ventanas se pudo visualizar las temperaturas del objeto de las plántulas de fresa y el ambiente del área instalada.

Figura 101

Widget del objeto



Nota. Widget asignado a la variable objeto.

Figura 102

Widget del ambiente



Nota. Widget asignado a la variable ambiente.

El widget indicador de la figura 103 estuvo enlazado con la VARIABLE_LABEL_5 del phlevel. Esta variable visualizó la composición de la acidez con la solución nutritiva.

Figura 103

Widget indicador

The image shows a configuration window for an indicator widget. The title bar is blue and says 'Indicador'. Below it are three main sections: 'Datos', 'Apariencia', and 'Formato de fecha'. In the 'Datos' section, a variable named 'phlevel (Cargando nombre del dispositivo...)' is selected and highlighted with a red box. In the 'Apariencia' section, the 'Nombre' field is set to 'Nivel de pH' and is also highlighted with a red box. Other settings include 'último valor' for aggregation, 'Establecido por tablero' for refresh rate, 'abrir sans' for font family, and 'Auto' for decimal points.

Nota. Widget indicador asignado a la Variable phlevel.

La Figura 104 representa el widget que se utilizó para todas las variables creadas. El establecimiento de conexión entre las cinco variables y los sensores instalados en campo permitieron mostrar y almacenar los datos, configurar la visualización y los campos de datos.

Figura 104*Widget de grafico de línea*

Nota. De esta figura se desprende la asignación del widget grafico de línea asignado a la variable temperatura.

4.3. Diseño de ingeniería

4.3.1. Distancia máxima de cobertura con modelo Okumura-Hata

La Recomendación UIT-R P.529 regula la distancia máxima de cobertura para sistemas móviles privados basado en el modelo Okumura-Hata.

De la figura 41 se obtuvo que la distancia de la Estación Base hacia el Nodo Final del campo de cultivo fue de **270.74 m**.

En el ítem 4.3.1. denominado Cálculo de cobertura de radio, se obtuvo que la distancia de cobertura máxima del radioenlace fue de **3.24 km**.

Análisis de resultados

Del resultado obtenido, **se pudo comprobar** que la cobertura máxima obtenida según el Modelo Okumura-Hata (3.24 km), fue mayor que la distancia entre la Estación Base -Nodo Final (270.74 m).

Con la finalidad de verificar la cobertura máxima obtenida, se hicieron pruebas de campo en una unidad móvil, tal como se muestra en la figura 54, **verificando la operatividad del radioenlace dentro del área de cobertura del Proyecto.**

4.3.2. Sistema físico de monitoreo

El sistema IoT LPWAN utilizado para el monitoreo del cultivo hidropónico propuesto se muestra en la figura 105.

Figura 105

Sistema IoT físico del monitoreo para el cultivo hidropónico



Nota. El sistema IoT LPWAN con los materiales propuestos.

El propósito fue probar la confiabilidad del monitoreo de los parámetros que requirió el cultivo hidropónico, por lo que se llevó un experimento que permite evidenciar este motivo.

Debemos indicar que, debido a las limitaciones presentadas en el proyecto, no se contó con una buena infraestructura y un equipamiento para realizar las pruebas dentro del invernadero. Cuando se creó el sistema físico, se simularon las posibles entradas y salidas del sistema diseñado.

El simulador consistió en dos plataformas TTGO Lora32-OLED con entradas para sensores digitales y análogas. La salida de la plataforma estaba integrada a un transceptor para enviar los paquetes de datos leídos por los sensores al monitorear la temperatura del ambiente, humedad del ambiente, temperatura de la planta y el pH del líquido del cultivo hidropónico.

Análisis de resultados

Efectuadas las pruebas, se pudo comprobar que la simulación permitió obtener los resultados esperados, verificando la confiabilidad del sistema de monitoreo desarrollado para el proyecto.

4.3.3. Resultados de las mediciones de los parámetros del sistema hidropónico

Temperatura DHT11

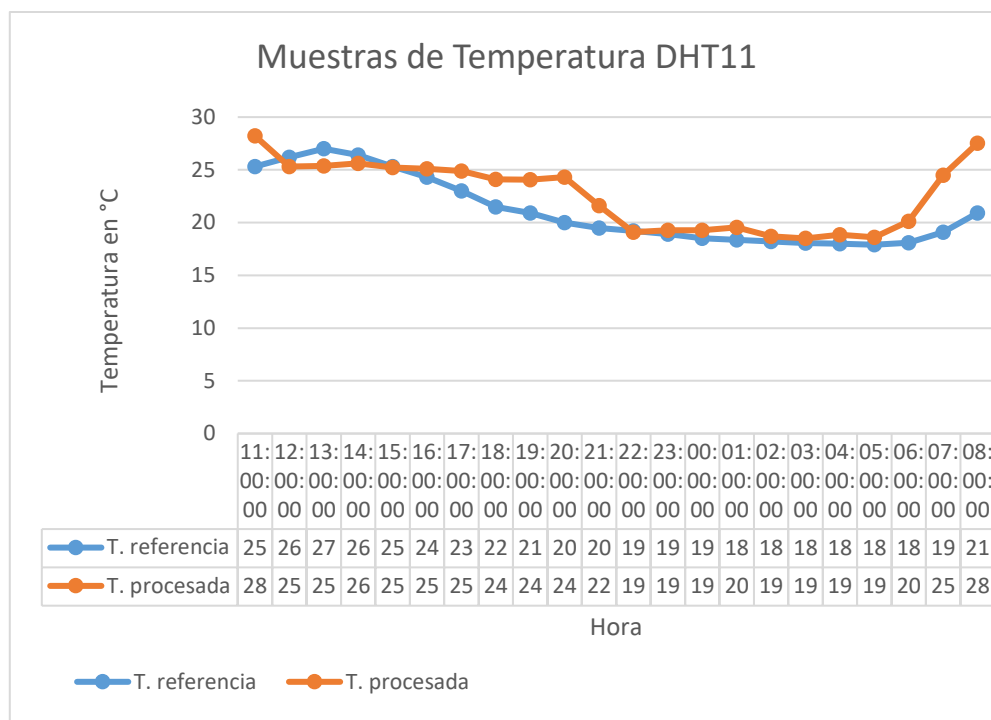
Para el primer caso se dio en la temporada de verano (mes de marzo), cuando la temperatura se eleva, la frutilla presentó un crecimiento anormal y eso requirió de un proceso de tratamiento emergente.

Como se visualiza en la figura 106, el sistema IoT con LPWAN respondió al escenario de trabajo, transmitiendo desde el Nodo Final hacia la plataforma Ubidots, los valores medidos de la temperatura.

Los valores referenciales de la temperatura fueron obtenidos de la página Weather Spark y los valores de la temperatura procesada fueron adquiridas de la plataforma Ubidots.

Figura 106

Comparación de la temperatura de referencia con la temperatura procesada



Nota. Datos adquiridos de Weather Spark y la plataforma Ubidots de IoT.

Análisis de resultados

Al comparar la temperatura de referencia y la procesada por el sistema desarrollado, se pudo visualizar que el rango de variación de la temperatura procesada presentó un valor mínimo de 18°C y un valor máximo de 28°C. Los valores obtenidos de temperatura están catalogados como valores de temperatura óptimo para el cultivo hidropónico de fresas en la etapa de fructificación.

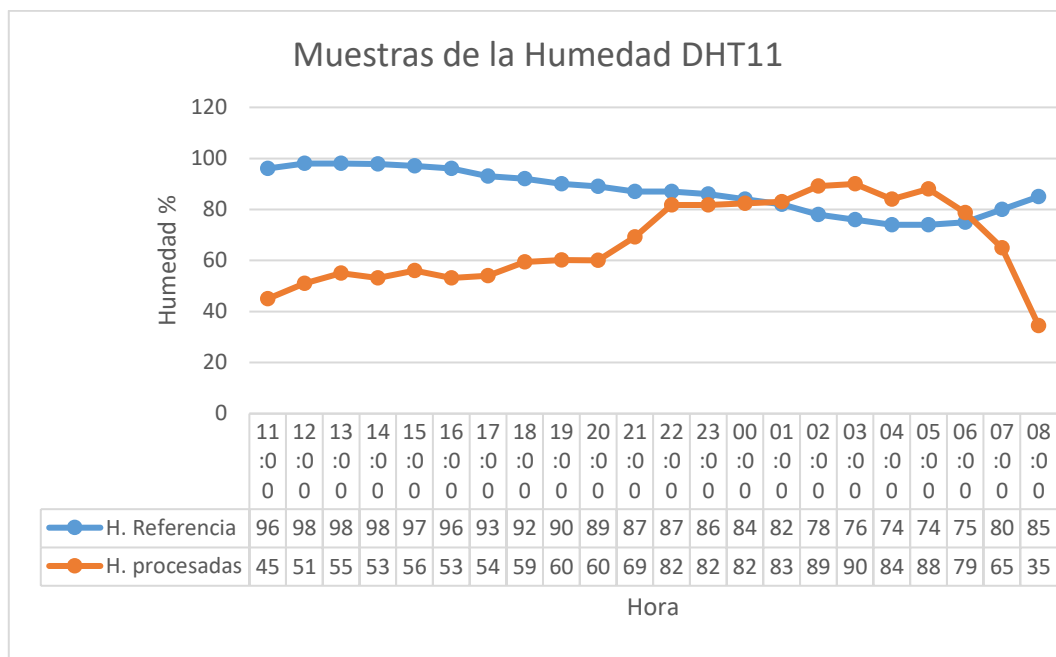
Humedad DHT11

Para el segundo caso se dio igual cuando en la temporada de verano (mes de marzo) la humedad relativa baja, la frutilla presentó un crecimiento anormal y eso requirió de un proceso de tratamiento del cultivo.

Como se observa en la figura 107, se detalla la comparación de los valores de humedad de referencia con los valores de humedad procesada obtenidas del sensor DHT.

Figura 107

Comparación de la humedad de referencia con la humedad procesada



Nota. Datos adquiridos de Weather Spark y la plataforma Ubidots de IoT.

Análisis de resultados

Los resultados obtenidos demostraron que los valores de la humedad procesada son un margen de 90% como máximo y 35% como mínimo. Según Lema (2010), “se considera aceptable que la variación de la humedad oscile entre el 60% y 75%” (p.12).

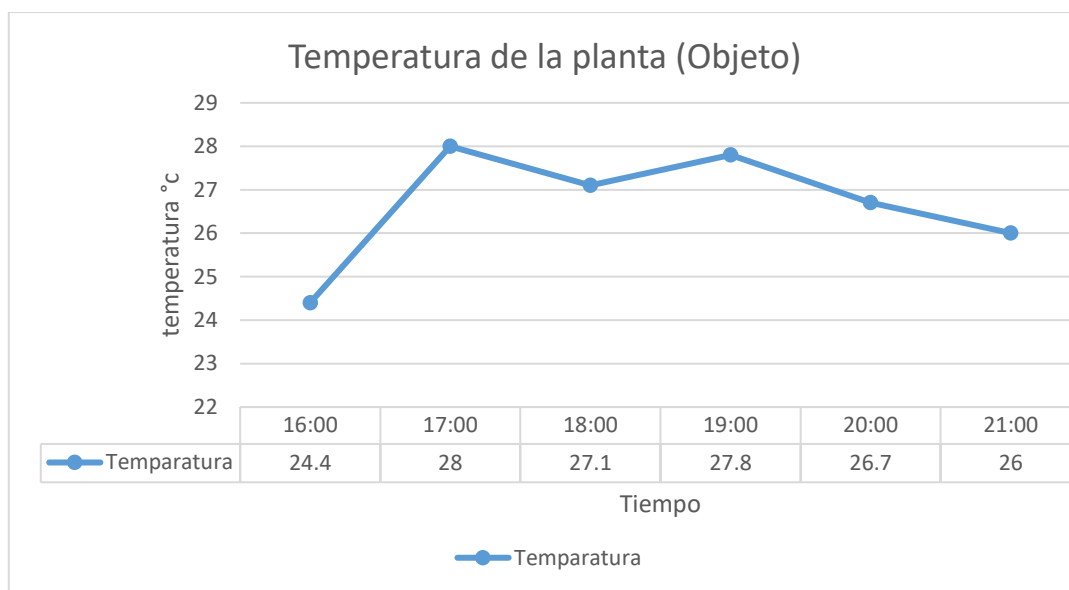
Esto implica que, si la humedad fuese mayor del 75% podría presentar enfermedades fisiológicas que repercuten el crecimiento de las frutillas del cultivo hidropónico, esto requiere atención de inmediato el cultivo hidropónico de fresas.

Temperatura MLX90614.

Para el tercer caso cuando en la temporada de verano (mes de marzo) la temperatura de la planta variaba con una leve disminución de las muestras, como se observa en la figura 108, se detalla las muestras procesadas por la plataforma ubidots.

Figura 108

Temperatura de la planta procesada



Nota. Datos adquiridos de la plataforma Ubidots de IoT.

Análisis de resultados

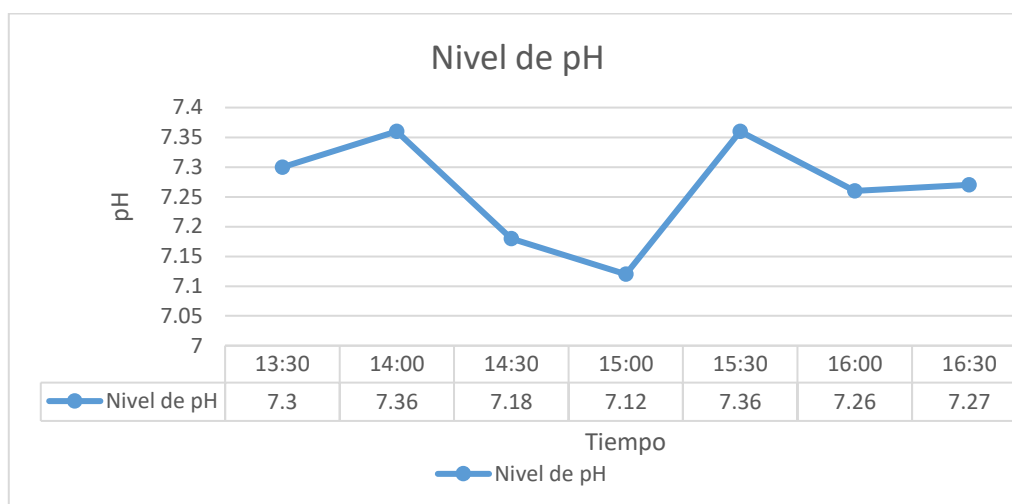
Los resultados rescatados en corto tiempo son obtenidos demostrando que los valores de la temperatura de la planta son con un margen de 28°C como máximo y 24.4°C como mínimo. Los valores obtenidos de temperatura están catalogados como parámetros óptimos para el cultivo hidropónico de fresas en la etapa de fructificación.

Nivel de pH

Para el cuarto caso cuando en la temporada de verano (mes de marzo) las muestras procesadas de la solución nutritiva del cultivo hidropónico se visualizan en la figura 109.

Figura 109

Nivel de pH procesada



Nota. Datos adquiridos de la plataforma Ubidots de IoT.

Análisis de resultados

Los resultados rescatados en corto tiempo son obtenidos demostrando que los valores del nivel de pH variaban con un valor mínimo 7.18 acidez y con un valor máximo de 7.36, estos resultados son importantes para comprender el estado de acidez de la solución nutritiva y luego realizar el respectivo arreglo del líquido.

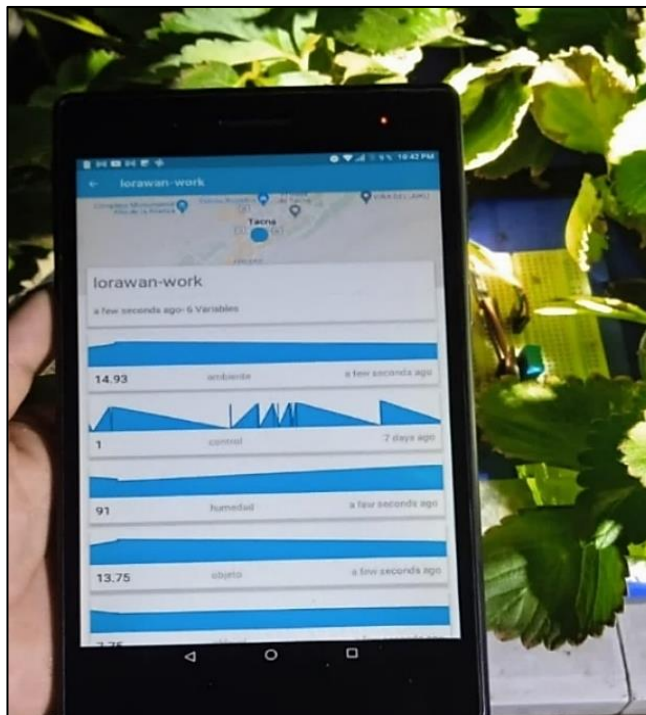
4.3.4. Supervisión con dispositivo móvil

Durante el monitoreo del cultivo de la fresa, se utilizó la aplicación de Ubidots disponible en dispositivos móviles en Playstore que empleen el sistema Android y que forma parte de la solución que resultó eficiente para el monitoreo del cultivo hidropónico.

La figura 110 muestra el monitoreo de los parámetros del cultivo hidropónico “en línea” utilizando la dirección URL del aplicativo.

Figura 110

Aplicativo móvil de la plataforma Ubidots



Nota. La figura muestra los parámetros del cultivo hidropónico con el aplicativo APP Ubidots para Android.

Análisis de resultados

Como resultado del uso del aplicativo móvil, se pudo monitorear en línea a través de un dispositivo móvil los parámetros de las plántulas de fresa y obtener las mediciones de dichos parámetros.

De la misma manera, el aplicativo fue de mucha utilidad. Ello nos permite prever y tomar las acciones ante cualquier problema que se presente dentro del ecosistema hidropónico, a fin de dar una solución inmediata.

Prueba de ping mediante red local

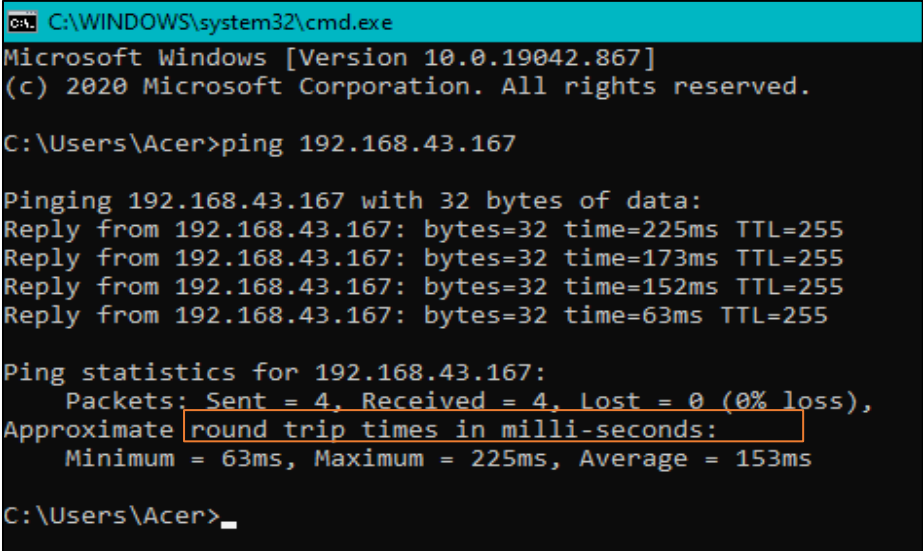
Se realizó esta prueba para determinar la eficiencia en el envío de los paquetes de datos y la latencia en el envío de los datos

Para esta prueba se hizo una conexión por el puerto de red a través de la interfaz WIFI de la placa de desarrollo TTGO LoRA32, conectada a la red con la **dirección IP 192.168.43.167** que nos permitió verificar la latencia del enlace.

La figura 111 muestra la pantalla que contiene la información del estado del envío de los paquetes enviados de prueba y de la latencia del enlace.

Figura 111

Prueba de la latencia del enlace y del estado de los paquetes enviados



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.19042.867]
(c) 2020 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Acer>ping 192.168.43.167

Pinging 192.168.43.167 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.43.167: bytes=32 time=225ms TTL=255
Reply from 192.168.43.167: bytes=32 time=173ms TTL=255
Reply from 192.168.43.167: bytes=32 time=152ms TTL=255
Reply from 192.168.43.167: bytes=32 time=63ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.43.167:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 63ms, Maximum = 225ms, Average = 153ms

C:\Users\Acer>
```

Nota. La figura 111 muestra el método ping utilizando el sistema operativo Windows.

Análisis de resultados

Por consiguiente, como resultado de la prueba, se obtuvo que el envío y recepción de 4 paquetes produjeron 0% paquetes perdidos.

El tiempo mínimo de ida y vuelta fue de 63 ms de cada paquete, de 225 ms como tiempo máximo y un promedio de 153 ms.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Estudios previos han señalado la importancia de la implementación del sistema IoT basada en la red LoRaWAN, para mejorar el nivel actual de monitoreo y optimización del rendimiento de calidad de la cosecha control de cultivos hidropónicos.

Los resultados de este estudio han demostrado la importancia de la tecnología LoRa aplicada a los cultivos hidropónicos, definiendo una arquitectura de red a base de nodos finales, nodo central y servidor web. El protocolo de red LoRaWAN, definiendo la banda de frecuencia de operación de 915 MHz sin licencia de funcionamiento, fácil funcionamiento y ahorro de energía.

La operatividad del radioenlace dentro del área del proyecto se pudo comprobar su viabilidad a través del modelo Okumura-Hata, resultado que coincide con lo señalado por Aguilar (2020). Los cálculos determinaron la distancia de enlace máximo y cobertura en el terreno.

Otro hallazgo importante que resaltar tal como lo hizo Hinojosa (2019) es el modelo de comunicación de internet de las cosas que promete transformar la agricultura. El estudio permitió al usuario acceder a estos dispositivos IoT y también a los datos para estimar variables tales como: temperatura, humedad relativa, nivel de pH, temperatura de objeto. Cabe señalar que hay un software de aplicación ejecutando en un dispositivo de puerta de enlace local actuando como intermediario entre el dispositivo y servicio en la nube Ubidots. Permitiendo seguridad en datos y traducción de protocolos.

En consecuencia, los resultados proporcionados por el sistema IoT basado en LPWAN permitieron identificar en la investigación un desarrollo de buenas prácticas para la línea de ingeniería y desarrolladores. Esto permite a las industrias de países de economías emergentes que logren avances tecnológicos significativos. Además, es importante resaltar que contar con este tipo de sistemas electrónicos ofrecen interconexiones de bajo costo y larga distancia.

CONCLUSIONES

El objetivo general de esta tesis se cumplió. El diseño de un sistema IoT utilizando la tecnología LPWAN para el monitoreo del cultivo hidropónico de las fresas permitió monitorear los parámetros del cultivo implementando un sistema de bajo costo, accesible en cualquier parte de ubicación de la zona de cobertura del radioenlace Estación Base – Nodo Final, cuya distancia máxima de 3,24 km fue obtenida por el Modelo Okumura-Hata para comunicaciones móviles privadas.

El sistema IoT con la tecnología LoRaWAN resultó ser una herramienta esencial para el monitoreo de los cultivos hidropónicos. La selección adecuada de los sensores de temperatura, humedad relativa, sensor infrarrojo de objetos y sensor de pH para la medición, y así también un actuador auxiliar, permitieron monitorear eficientemente los parámetros de nuestro cultivo hidropónico.

La estación base compuesta por la tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 SX1276 empleada como receptor y enlazada con un Gateway usando el protocolo MQTT, permitió enviar a la nube los paquetes de datos obtenidas de los sensores instalados en el módulo de cultivo hidropónico de plántulas de fresa. El envío de paquetes a la nube se efectuó mediante un enlace de WIFI.

Se pudo demostrar que la implementación del sistema IoT basado en la tecnología LoRaWAN en el proyecto, permitió una comunicación garantizada sin generar conflictos, así como la presentación de los datos recogidos por los sensores en una aplicación web gratuita utilizando la plataforma Ubidots.

RECOMENDACIONES

En el cultivo hidropónico se recomienda integrar un sistema de control y automatización para el proceso de crecimiento, luego acoplar el sistema de monitoreo, esto favorecerá en su totalidad el crecimiento del cultivo hidropónico.

Se podría mejorar la transmisión LoRa utilizando módulos de mayor potencia que abarcara una mayor cobertura sin generar gastos de servicios de conexión, también se podría buscar información externa para mejorar en la implementación.

Para verificar la comunicación LoRa de los módulos se recomienda hacer una prueba de cada módulo para verificar la comunicación. Se recomienda conectar de forma correcta la antena interfaz LoRa con su respectivo modulo para evitar que la recepción de la señal sea inestable.

Se recomienda ampliar el uso de la plataforma LoRaWAN en otras líneas de investigación, desarrollo e innovación que estén vinculadas al desarrollo de soluciones para ciudades inteligentes y soluciones para el agro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, S. (2020). *“Diseño de una solución basada en el Internet de las Cosas (IoT) empleando LORAWAN para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú”*. [Título de Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú].

Disponible en: <https://cutt.ly/wHw5L5z>

Ashton, K. (1999). *That Internet of the things*. *RFID Journal*.

Disponible en: <https://cutt.ly/IHewMc1>

Ballesta, J. (2018). *“Evaluación de tecnologías LoRaWAN para escenarios de Smart Cities”*. [Título de Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia].

Disponible en: <https://cutt.ly/UHep2qe>

Carrasco, E. (2020). *“Metodología para selección de tecnologías LPWAN para diversas aplicaciones de internet de las cosas”*. [Título de Ingeniero Civil Eléctrico, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile].

Disponible en: <https://cutt.ly/LHerNPR>

Carrión, C. (2018). *“Evaluación del rango de transmisión de LoRa para redes de sensores inalámbricos con LoRaWAN en ambientes urbanos”*. [Título de ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador].

Disponible en: <https://cutt.ly/PHw8K75>

Churata, J. (2019). *“Diseño de un sistema de monitoreo en tiempo real del índice de radiación ultravioleta, temperatura y humedad relativa para la región Puno”*. [Título de Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú].

Disponible en: <https://cutt.ly/EHee5B3>

Díaz, J. et al. (2019). *“Soluciones IoT con tecnología LoRaWAN”*. Universidad Nacional de la Plata, Río de La Plata, Argentina.

Disponible en: <https://cutt.ly/5Hw7zaC>

Fernández, M. y Uquillas, J. (2020). *“Análisis de desempeño del estándar LORAWAN para soluciones de Smart Campus, implementando un sistema de monitoreo IOT en la*

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. [Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador].

Disponible en: <https://cutt.ly/tHeakXd>

Hinojosa, S. (2019). *“Diseño de una arquitectura IoT para el control de sistemas hidropónicos”*. [Tesis de Grado de ingeniera Informática, Universidad Católica de Colombia, Ibagué, Colombia].

Disponible en: <https://cutt.ly/gHw03Mn>

ISOTools (2018). *Norma ISO/IEC 30141 sobre Internet de las Cosas (IoT)*

Disponible en: <https://cutt.ly/kHedesY>

Ladino, E. (2020). *“AGROIOT: Prototipo de un sistema WEB para el monitoreo de productos agrícolas en cultivos urbanos”*. [Tesis de título de ingeniero de Sistemas, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España].

Disponible en: <https://cutt.ly/jHw0k5b>

Ministerio de Agricultura (2008). *“Estudio de la fresa en el Perú y el Mundo”*. Dirección General de Información Agraria.

Disponible en: <https://cutt.ly/DHeutPd>

Monzo, R. (2019). *“Diseño de un sistema de monitorización remota de un depósito de agua mediante LoRa”*.

Disponible en: <https://cutt.ly/AHeuctv>

Palacios, G. (2017). *“Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de cultivos nativos utilizando internet del todo y redes FOG”*. [Título de Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú].

Disponible en: <https://cutt.ly/MHetKAF>

Semtech Corporation (2020). *“SX1276 Datasheet, SX1276/77/78/79 LoRa Features, p.24”*

Disponible en: <https://cutt.ly/EHewcS5>

Tapias, J. (2021). *“Análisis Del Estado Del Arte Del Internet De Las Cosas Aplicado A Cultivos Aeropónicos E Hidropónicos A Nivel Nacional E Internacional”*. [Título de Especialista en Redes de Nueva Generación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Unad, Ibagué, Colombia].

Disponible en: <https://cutt.ly/8Hw3W1i>

Tsavalos, N. y Hashem, A. (2018). “*Low Power Wide Area Network (LPWAN) Technologies for Industrial IoT Applications*”. [Tesis de Maestría, Universidad de Lund, Lund, Suecia.]

Disponible en: <https://cutt.ly/9HeiAGB>

Tomanguilla, V. (2019). “*Diseño e implementación de una arquitectura IOT de bajo costo aplicada al control remoto de hogares*”. [Título de ingeniero electrónico, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú].

Disponible en: <https://cutt.ly/rHw3N8o>

Unión Internacional de Telecomunicaciones (2002). “*Manual Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/decimétricas.*”

Disponible en: <https://cutt.ly/WHw6DKI>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Planteamiento de problema	Objetivo	Variable de estudio	Indicadores	Método
<p>Problema general ¿Cómo el diseño de un sistema IoT de bajo costo basado en LPWAN influye en los cultivos hidropónicos?</p> <p>Problemas específicos ¿Cómo el diseño de un sistema electrónico basado en Internet de las cosas (IoT) facilitará el monitoreo de los datos de un cultivo hidropónico? ¿Cómo el diseño de una estación base facilitará el almacenamiento de los datos recogidos del campo de trabajo en una base de datos? ¿Cómo la implementación de un sistema IoT ayudará a mejorar el cultivo hidropónico y facilitar su integración tecnológica?</p>	<p>Objetivo General Diseñar un sistema IoT de bajo costo basado en LPWAN para cultivos hidropónicos.</p> <p>Objetivos Específicos Diseñar un sistema electrónico basado en Internet de las cosas (IoT), para el monitoreo de los datos de un cultivo hidropónico. Diseñar una estación base para el almacenamiento de los datos recogidos del campo de trabajo en una base de datos. Implementar un sistema IoT que mejore el cultivo hidropónico y facilite su integración tecnológica.</p>	<p>Diseño de un sistema IoT de bajo costo basado en LPWAN para cultivos hidropónicos de las frutillas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura del ambiente. - Humedad del ambiente. - Latencia de la red. - Cobertura del radioenlace. 	<ul style="list-style-type: none"> - Empleo de la plataforma Ubidots. - Empleo de la plataforma Ubidots. - Método ping - Modelo Okumura-Hata

Anexo 2. Especificaciones técnicas del equipamiento

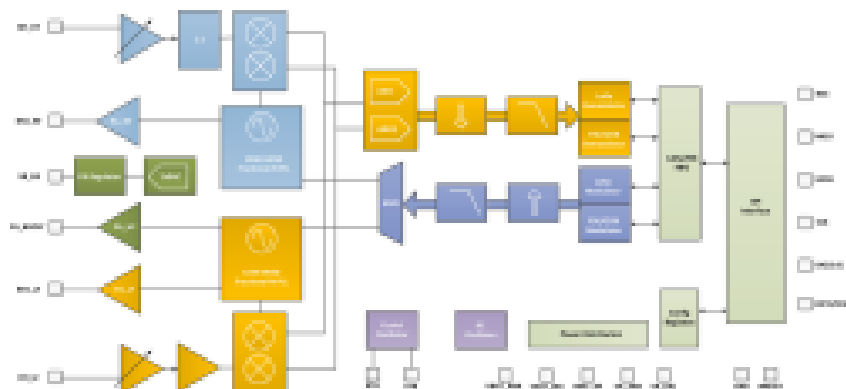


SX1276/77/78/79

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 modem that provides ultra-long range spread spectrum communication and high interference immunity whilst minimising current consumption.

Using Semtech's patented LoRa™ modulation technique SX1276/77/78/79 can achieve a sensitivity of over -148dBm using a low cost crystal and bill of materials. The high sensitivity combined with the integrated +20 dBm power amplifier yields industry leading link budget making it optimal for any application requiring range or robustness. LoRa™ also provides significant advantages in both blocking and selectivity over conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between range, interference immunity and energy consumption.

These devices also support high performance (G)FSK modes for systems including WMBus, IEEE802.15.4g. The SX1276/77/78/79 deliver exceptional phase noise, selectivity, receiver linearity and IIP3 for significantly lower current consumption than competing devices.

ORDERING INFORMATION

Part Number	Delivery	MOQ / Multiple
SX1276MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1277MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1278MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1279MLTRT	T&R	3000 pieces

- QFN 28 Package - Operating Range [-40;+85°C]
- Pb-free, Halogen free, RoHS/WEEE compliant product

KEY PRODUCT FEATURES

- LoRa™ Modem
- 168 dB maximum link budget
- +20 dBm - 100 mW constant RF output vs. V supply
- +14 dBm high efficiency PA
- Programmable bit rate up to 300 kbps
- High sensitivity: down to -148 dBm
- Bullet-proof front end: IIP3 = -11 dBm
- Excellent blocking immunity
- Low RX current of 9.9 mA, 200 nA register retention
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ and OOK modulation
- Built-in bit synchronizer for clock recovery
- Preamble detection
- 127 dB Dynamic Range RSSI
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC
- Packet 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

1. General Description

The SX1276/77/78/79 incorporates the LoRa™ spread spectrum modem which is capable of achieving significantly longer range than existing systems based on FSK or OOK modulation. At maximum data rates of LoRa™ the sensitivity is 8dB better than FSK, but using a low cost bill of materials with a 20ppm XTAL LoRa™ can improve receiver sensitivity by more than 20dB compared to FSK. LoRa™ also provides significant advances in selectivity and blocking performance, further improving communication reliability. For maximum flexibility the user may decide on the spread spectrum modulation bandwidth (BW), spreading factor (SF) and error correction rate (CR). Another benefit of the spread modulation is that each spreading factor is orthogonal - thus multiple transmitted signals can occupy the same channel without interfering. This also permits simple coexistence with existing FSK based systems. Standard GFSK, FSK, OOK, and GMSK modulation is also provided to allow compatibility with existing systems or standards such as wireless MBUS and IEEE 802.15.4g.

The SX1276 and SX1279 offer bandwidth options ranging from 7.8 kHz to 500 kHz with spreading factors ranging from 6 to 12, and covering all available frequency bands. The SX1277 offers the same bandwidth and frequency band options with spreading factors from 6 to 9. The SX1278 offers bandwidths and spreading factor options, but only covers the lower UHF bands.

1.1. Simplified Block Diagram

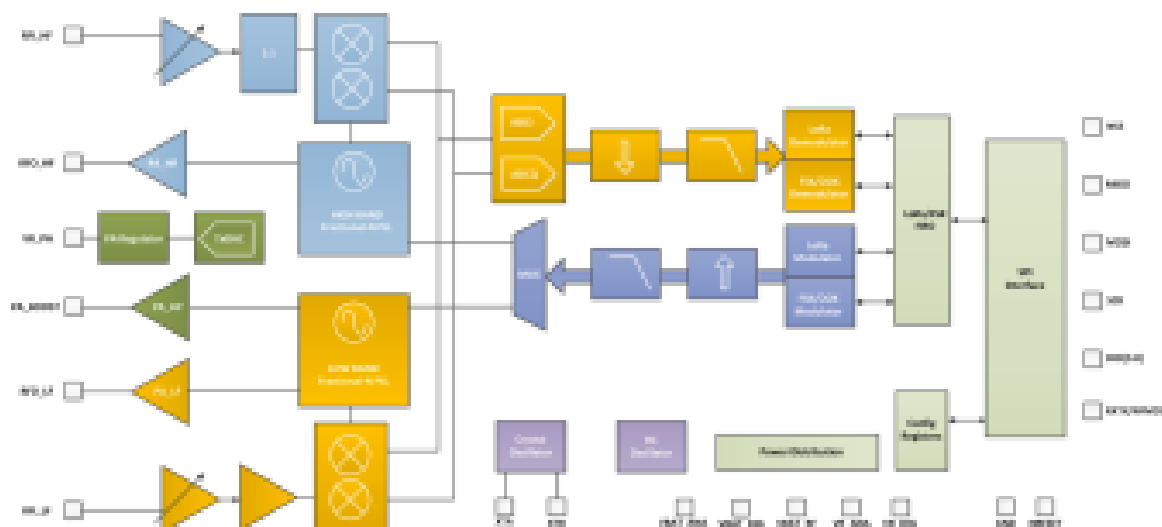


Figure 1. Block Diagram

2.5.3. FSK/OOK Mode Receiver

All receiver tests are performed with $RxBw = 10$ kHz (Single Side Bandwidth) as programmed in *RegRxBw*, receiving a PN15 sequence. Sensitivities are reported for a 0.1% BER (with Bit Synchronizer enabled), unless otherwise specified. Blocking tests are performed with an unmodulated interferer. The wanted signal power for the Blocking Immunity, ACR, IIP2, IIP3 and AMR tests is set 3 dB above the receiver sensitivity level.

Table 8 FSK/OOK Receiver Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RFS_F_LF	Direct tie of RFI and RFO pins, shared Rx, Tx paths FSK sensitivity, highest LNA gain. Bands 2&3	FDA = 5 kHz, BR = 1.2 kb/s FDA = 5 kHz, BR = 4.8 kb/s FDA = 40 kHz, BR = 38.4 kb/s* FDA = 20 kHz, BR = 38.4 kb/s** FDA = 62.5 kHz, BR = 250 kb/s***	-	-121	-	dBm
	Split RF paths, the RF switch insertion loss is not accounted for. Bands 2&3	FDA = 5 kHz, BR = 1.2 kb/s FDA = 5 kHz, BR = 4.8 kb/s FDA = 40 kHz, BR = 38.4 kb/s* FDA = 20 kHz, BR = 38.4 kb/s** FDA = 62.5 kHz, BR = 250 kb/s***	-	-123	-	dBm
RFS_F_HF	Direct tie of RFI and RFO pins, shared Rx, Tx paths FSK sensitivity, highest LNA gain. Band 1	FDA = 5 kHz, BR = 1.2 kb/s FDA = 5 kHz, BR = 4.8 kb/s FDA = 40 kHz, BR = 38.4 kb/s* FDA = 20 kHz, BR = 38.4 kb/s** FDA = 62.5 kHz, BR = 250 kb/s***	-	-119	-	dBm
	Split RF paths, LnaBoost is turned on, the RF switch insertion loss is not accounted for. Band 1	FDA = 5 kHz, BR = 1.2 kb/s FDA = 5 kHz, BR = 4.8 kb/s FDA = 40 kHz, BR = 38.4 kb/s* FDA = 20 kHz, BR = 38.4 kb/s** FDA = 62.5 kHz, BR = 250 kb/s***	-	-123	-	dBm
RFS_O	OOK sensitivity, highest LNA gain shared Rx, Tx paths	BR = 4.8 kb/s BR = 32 kb/s	-	-117	-	dBm
CCR	Co-Channel Rejection, FSK		-	-9	-	dB
ACR	Adjacent Channel Rejection	FDA = 5 kHz, BR=4.8kb/s Offset = +/- 25 kHz or +/- 50kHz Band 1 Band 2 Band 3	-	50 56 60	-	dB
BI_HF	Blocking Immunity, Band 1	Offset = +/- 1 MHz Offset = +/- 2 MHz Offset = +/- 10 MHz	-	71 76 84	-	dB
BI_LF	Blocking Immunity, Bands 2&3	Offset = +/- 1 MHz Offset = +/- 2 MHz Offset = +/- 10 MHz	-	71 72 78	-	dB

IP2	2nd order Input Intercept Point Unwanted tones are 20 MHz above the LO	Highest LNA gain	-	+35	-	dBm	
IP3_HF	3rd order Input Intercept point Unwanted tones are 1MHz and 1.995 MHz above the LO	Band 1 Highest LNA gain G1	-	-11	-	dBm	
		LNA gain G2, 5dB sensitivity hit	-	-6	-	dBm	
IP3_LF	3rd order Input Intercept point Unwanted tones are 1MHz and 1.995 MHz above the LO	Band 2 Highest LNA gain G1	-	-22	-	dBm	
		LNA gain G2, 2.5dB sensitivity hit	-	-15	-	dBm	
		Band 3 Highest LNA gain G1	-	-15	-	dBm	
		LNA gain G2, 2.5dB sensitivity hit	-	-11	-	dBm	
BW_SSB	Single Side channel filter BW	Programmable	2.7	-	250	kHz	
IMR	Image Rejection	Wanted signal 3dB over sensitivity BER=0.1%	-	50	-	dB	
IMA	Image Attenuation		-	57	-	dB	
DR_RSSI	RSSI Dynamic Range	AGC enabled	Min	-	-127	-	dBm
			Max	-	0	-	dBm

* $RxBw = 83 \text{ kHz}$ (Single Side Bandwidth)

** $RxBw = 50 \text{ kHz}$ (Single Side Bandwidth)

*** $RxBw = 250 \text{ kHz}$ (Single Side Bandwidth)

2.5.4. FSK/OOK Mode Transmitter

Table 9 Transmitter Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RF_OP	RF output power in 50 ohms on RFO pin (High efficiency PA).	Programmable with steps				
		Max	-	+14	-	dBm
		Min	-	-1	-	dBm
ΔRF_{OP_V}	RF output power stability on RFO pin versus voltage supply.	VDD = 2.5 V to 3.3 V	-	3	-	dB
		VDD = 1.8 V to 3.7 V	-	8	-	dB
RF_OPH	RF output power in 50 ohms, on PA_BOOST pin (Regulated PA).	Programmable with 1dB steps				
		Max	-	+17	-	dBm
		Min	-	+2	-	dBm
RF_OPH_MAX	Max RF output power, on PA_BOOST pin	High power mode	-	+20	-	dBm
ΔRF_{OPH_V}	RF output power stability on PA_BOOST pin versus voltage supply.	VDD = 2.4 V to 3.7 V	-	+/-1	-	dB
ΔRF_{OPH_T}	RF output power stability versus temperature on PA_BOOST pin.	From T = -40 °C to +85 °C	-	+/-1	-	dB