

1-9-2020

Desarrollo de un sistema de adquisición, transmisión y monitoreo para una red de sensores de precipitación

Edgar Felipe Zapata Díaz
Universidad de La Salle, Bogotá

Jhon Alejandro Angel Rodriguez
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion



Part of the [Other Engineering Commons](#)

Citación recomendada

Zapata Díaz, E. F., & Angel Rodriguez, J. A. (2020). Desarrollo de un sistema de adquisición, transmisión y monitoreo para una red de sensores de precipitación. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/275

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería en Automatización by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN, TRANSMISIÓN Y MONITOREO
PARA UNA RED DE SENSORES DE PRECIPITACIÓN.

EDGAR FELIPE ZAPATA DIAZ
JHON ALEJANDRO ANGEL RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN
2020

EDGAR FELIPE ZAPATA DIAZ
JHON ALEJANDRO ANGEL RODRÍGUEZ

TRABAJO DE GRADO

ING. PHD MAXIMILIANO BUENO LÓPEZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director: ING. Ph.D. Maximiliano Bueno L.

ING. Ph.D. Jorge Eliecer Rangel D.

ING. Efraín Bernal Á.

Bogotá,
09, enero, 2020

Agradecimientos

“Dedico este primer logro a Dios por colmar mi familia de bendiciones y llenarme de sabiduría para realizar este trabajo de grado, agradezco a mis padres que con su ayuda y dedicación he podido llegar hasta donde estoy, además, agradezco a cada persona que he encontrado en mi camino desde el inicio de mi carrera hasta el final ya que han sido indispensables en esta etapa universitaria y en mi vida por que llenaron mi vida conocimientos, espero llenar a mi familia de satisfacción y orgullo con la culminación de esta carrera”

Edgar Felipe Zapata Díaz

“Agradecido principalmente con Dios, con mi familia y con aquellas personas que de alguna u otra manera han aportado en mi crecimiento personal y profesional, a todos ellos quiero dedicar esta meta alcanzada y seguir llenándolos de orgullo, porque gracias a su constante apoyo puedo culminar esta etapa”

Jhon Alejandro Ángel Rodríguez

Lista de contenidos

Resumen.....	11
Introducción	12
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos	13
Justificación	14
Capítulo 1.....	15
1.1 Transmisión de datos.....	15
1.1.1 Definición.....	15
1.1.2 Medios de transmisión de datos	15
1.1.3 Transmisión de datos por radiofrecuencia	16
1.2 Antena.....	26
1.2.1 Definición	26
1.2.2 Características.....	26
1.2.3 Funcionamiento	26
1.2.4 Tipos de antena	27
1.3 Topologías de red	32
1.4 Marco legal	33
Capítulo 2.....	37
2.1 Módulo de comunicación	37
2.2 Procedimiento de cumplimiento del módulo con los estándares.....	44
Capítulo 3.....	50
3.1 Pluviómetro	50
3.1.1 Calibración del pluviómetro.....	55
3.1.2 Curvas de calibración	56
Capítulo 4.....	61
4.1 Diseño de la red.....	61
4.1.1 Diseño de red propuesto.....	61
4.1.2 Interferencias	62
4.1.3 Cálculos diseño de red	64
4.1.4 Pruebas de comunicación.....	67

4.2 Arquitectura de la red.....	67
4.3 Circuito de transmisión de datos.....	69
Capítulo 5.....	75
5.1 Desarrollo aplicativo.....	75
5.2 Definición de actores.....	75
5.3 Requerimientos funcionales.....	75
5.4 Requerimientos no funcionales.....	77
5.5 Diagrama casos de uso.....	77
5.6 Diagramas de flujo.....	78
5.7 Diseño página web.....	78
5.7.1 Configuración protocolo MQTT.....	83
5.7.2 Configuración Uniform Server.....	88
Capítulo 6.....	91
6.1 Implementación.....	91
6.1.1 Sistema antiguo.....	91
6.1.2 Sistema nuevo implementado.....	93
6.1.3 Notas.....	98
Conclusiones.....	99
Bibliografía y referencias.....	100
Anexos.....	105
Anexo A. Especificaciones SX1278.....	105
Anexo B. Diagrama de flujo Receptor - Arduino.....	108
Anexo C. Diagrama de flujo Transmisor - Arduino.....	111
Anexo D. Diagrama de flujo Intensidad Pluviométrica - Phytón.....	112
Anexo E. Diagrama de flujo pestaña Página web Inicial.....	113
Anexo F. Diagrama de flujo pestaña Página web Precipitación acumulada actual por día.....	114
Anexo G. Diagrama de flujo pestaña Página web Precipitación anual.....	115
Anexo H. Diagrama de flujo pestaña Página web Base de datos.....	116

Lista de figuras

Figura 1 Transmisión direccional	16
Figura 2 Transmisión direccional	16
Figura 3 Diagrama proceso del transmisor en la transmisión de datos	17
Figura 4 Modulación transmisión de información análoga en AM y FM	18
Figura 5 Modulación transmisión de información digital ASK, FSK y PSK.....	19
Figura 6 Modulación LoRa	20
Figura 7 Relación velocidad y distancia transmisión de datos	21
Figura 8 Modulación DSSS.....	22
Figura 9 Diagrama proceso del receptor en la transmisión de datos	22
Figura 10 Antena de resorte o Spring	27
Figura 11 Zona de Fresnel.....	28
Figura 12 Modo de Transmisión Simplex.....	29
Figura 13 Modo de Transmisión Half-Duplex.....	29
Figura 14 Modo de Transmisión Full-Duplex	29
Figura 15 Topologías de red. (a) Estrella, (b) Malla, (c) Árbol, (d) Anillo	33
Figura 16 Antena analizador de espectro	44
Figura 17 Espectro señal transmisor.....	45
Figura 18 Estación meteorológica Davis Instruments 6152/6162 Vantage Pro2	51
Figura 19 Partes del pluviómetro	51
Figura 20 Balancín del pluviómetro.....	52
Figura 21 HAIKE HK-200	57
Figura 22 Nodos de red	62
Figura 23 Esquema de red de sensores WSN	69
Figura 24 Node MCU – ESP8266	69
Figura 25 Diagrama ESP8266	70
Figura 26 Pines Node MCU	71
Figura 27 Distribución de los pines Lora Ra01	72
Figura 28 Esquemático sistema receptor de la transmisión de datos y datalogger ..	73
Figura 29 Esquemático sistema de transmisión.....	73
Figura 30 Diagrama Maestro-Esclavo.....	74
Figura 31 Montaje de las cajas circuitos de transmisión de datos	74
Figura 32 Diagrama casos de uso Aplicación Web.....	78
Figura 33 Detección de lluvia en el sector	79
Figura 34 Graficas precipitación acumulada e intensidad diaria	80
Figura 35 Registro histórico	80
Figura 36 Precipitación anual.....	81
Figura 37 Localización de los sensores	82
Figura 38 Datos diseñadores de la página web	82

Figura 39 Diagrama de comunicación protocolo MQTT	83
Figura 40 Esquemático proyecto CloudMQTT	84
Figura 41 Planes ofrecidos por CLOUDMQTT	84
Figura 42 Plan gratuito Cute Cat.....	85
Figura 43 Creación instancia CLOUDMQTT	86
Figura 44 Detalles de la instancia creada con toda su información general relacionada.	86
Figura 45 Detalles de Usuario y ACLs	87
Figura 46 Definición de usuarios y de reglas ACL	87
Figura 47 Registros instancia campus en Cloud MQTT.....	88
Figura 48 Uniform Server.....	89
Figura 49 Instalación de pluviómetros Universidad Nacional.....	91
Figura 50 Conexión pluviómetros - HOBO Pendant Event DataLogger.....	92
Figura 51 Esquemático de conexión HOBO Pendant Event DataLogger	92
Figura 52 Soporte Cajas del transmisor y receptor	94
Figura 53 Cajas impermeables	94
Figura 54 Parte interna de la caja impermeable	95
Figura 55 Sistema de activación y funcionamiento del sistema electrónico.....	96
Figura 56 Toma regulada.....	96
Figura 57 Prueba precipitación acumulada - Grafica	97
Figura 58 Prueba precipitación acumulada - Datos	97

Lista de tablas

Tabla 1 Modulación LORA (Ancho de Banda vs SF)	20
Tabla 2 Bandas de frecuencia en comunicaciones	23
Tabla 3 Modos de transmisión de datos	29
Tabla 4 Normas marco legal	34
Tabla 5 Comparación módulos de comunicación	38
Tabla 6 Comparación características modulo	41
Tabla 7 Comparación de tecnologías	46
Tabla 8 Comparación microcontroladores	48
Tabla 9 Clasificación intensidad de precipitación.....	50
Tabla 10 Parámetros pluviómetro Davis Instruments.....	54
Tabla 11 Características bomba HAIKE HK-200	56
Tabla 12 Método de Aforo - Caudal promedio	57
Tabla 13 Pruebas a diferentes caudales curvas de calibración	58
Tabla 14 Intensidad vs Error medio	59
Tabla 15 Bandas restringidas según la ANE.....	63
Tabla 16 Resumen de cada zona con los cálculos de red	65
Tabla 17 Pruebas transmisión de datos.....	67
Tabla 18 Descripción Actores	75
Tabla 19 Conjunto de requerimientos funcionales	76
Tabla 20 Definición de requerimientos funcionales.....	76
Tabla 21 Definición de requerimientos funcionales.....	77
Tabla 22 Cuadro de cargas.....	95
Tabla 23 Rango de operación del SX1278	105
Tabla 24 Especificaciones de la potencia de consumo del SX1278	106

Lista de abreviaturas

AM: Modulación por amplitud

ASK: Modulación por desplazamiento de amplitud

CHIRP: Compressed High Intensity Radar Pulse

CSS: Chirp Spread Spectrum

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

FM: Modulación por frecuencia

FSK: Modulación por desplazamiento de frecuencia

IOT: Internet of things

LORA: Long Range Modulation

PSK: Modulación por desplazamiento de fase

PSOCK: Dispositivos de comunicación de bajo costo y altas precisiones

SF: Factor de propagación

WPAN: Wireless Personal Area Network

WSN: Wireless sensor network

Resumen

En la actualidad se han realizado avances en cuanto a los protocolos de comunicación, redes, almacenamiento de datos en la nube, sensórica, entre muchas otras tecnologías, para facilitar la ejecución de procesos en beneficio de la sociedad, un ejemplo de ello se da en la industria y en estudios meteorológicos en donde es necesario efectuar control, supervisión y visualización de diversas variables para poder obtener un registro detallado de datos con los cuales se pueda realizar un análisis de la precipitación de un área.

Frente al desarrollo de la industria de automatización se ha establecido la importancia de tener un puesto de control y supervisión con el fin de realizar seguimiento y visualización de los procesos en tiempo real. Antes de la llegada de este tipo de sensórica y tecnología inalámbrica a los estudios meteorológicos, sus procesos se basaban en la obtención de datos a través de estaciones meteorológicas y barcos en el mar. En la actualidad cualquier persona desde algún dispositivo electrónico como el celular puede observar datos o registros climatológicos que le han permitido un mayor manejo y conocimiento del comportamiento del mundo.

La Universidad Nacional de Colombia posee una red de pluviómetros en el campus de la ciudad de Bogotá. Con esta red se encuentran en desarrollo varios estudios para entender la dinámica de la precipitación en Bogotá con el objetivo de evaluar de manera precisa y clara los procesos de lluvia-escorrentía, además, de los efectos sobre la red de drenaje urbano en la ciudad. La red requiere un sistema de monitoreo y visualización de los datos que pueda ser utilizado por investigadores de diferentes áreas y en esta parte donde la experiencia de la Universidad de La Salle en estos temas se articula con la necesidad planteada para dar una solución rápida y eficiente. El sistema de monitoreo inalámbrico abarca aproximadamente un radio de dos kilómetros de distancia desde el lugar de adquisición de las señales con el fin de realizar una adecuada supervisión y visualización de los datos

Palabras Clave: Monitoreo, sensor, controlador, pluviómetro, protocolos de comunicación

Introducción

El IOT o internet de las cosas representa actualmente una parte esencial del avance tecnológico ya que posee la capacidad para la integración de una red que permita la comunicación de eventos que en la vida cotidiana puedan ser automatizados para realizar procesos de manera rápida y eficaz, es por ello que es esencial la obtención de datos por sensores como lo son en este caso pluviómetros para el estudio de variables meteorológicas que mejoren el proceso de análisis de modelos de lluvia-escorrentía.

En el presente documento se realiza el análisis respectivo para la implementación de una red de sensores WSN (Pluviómetros) en la universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (UN), para su posterior uso por parte de los profesores, investigadores y estudiantes del campus. Para esto se evalúan las distintas posibilidades de la transmisión de datos seleccionando el módulo de comunicación adecuado según su costo beneficio y adicionalmente se realiza el diseño de una página web para la visualización de estos datos y tendencias que permitan conocer el comportamiento pluvial en la ciudad de Bogotá.

Con base en el diseño de red se implementa y se realizan las pruebas necesarias para corroborar que se efectúa la transmisión de los datos adecuadamente sin obstrucciones de distintas frecuencias o algún otro tipo de interferencias.

En cada uno de los capítulos que componen el presente documento se encuentra explicado el proceso de selección de módulos para una adecuada transmisión de datos, el diseño de la red de sensores, el diseño y funcionamiento de la página web para la visualización de datos. Finalmente se generan las conclusiones respectivas de los objetivos propuestos.

Objetivo general

Desarrollar un sistema de adquisición, transmisión y monitoreo para una red de sensores de precipitación dispuestos por la Universidad nacional de Bogotá D.C.

Objetivos específicos

- Diseñar de una red de sensores WSN.
- Caracterizar el sensor para la red de sensores
- Diseñar e implementar una estación central para la captura de información de la red de sensores que permita el posterior análisis por parte de la Universidad Nacional.
- Desarrollar un aplicativo y base de datos de la información recibida por el sistema de redes de sensores de precipitación.

Justificación

En la actualidad obtener los datos generados en dispositivos como los pluviómetros representa retrasos para el análisis de estos al depender de su recolección haciendo que el sistema pierda eficiencia, es por ello, que La Universidad Nacional de Colombia requiere capturar datos de sensores de precipitación por medio de la transmisión de estos mediante una red WSN hacia una estación central, en la cual se tendrá el control del registro de los datos de los sensores. Dichos pluviómetros requieren de un análisis para el escalado de la señal y de su calibración ya que basado en esto se obtendrá el error del sensor para corroborar que este cumpla con los límites propuestos por el fabricante. Por medio de un aplicativo se realiza el monitoreo desde una estación central de las señales proporcionadas por los pluviómetros en un rango de 2 km teniendo en cuenta la infraestructura del campus, es decir la línea de vista, el posicionamiento de los sensores, interferencias, además de cumplir con la potencia y frecuencia legales en Colombia, con el fin de facilitar la obtención de datos pluviométricos para que el campus pueda realizar un estudio de la precipitación en Bogotá D.C y asociar esta información a modelos de lluvia-escorrentía.

Capítulo 1

1.1 Transmisión de datos

Para la ejecución de este proyecto es importante entender el funcionamiento de la transmisión de datos, es por ello que en este capítulo se describe qué es la transmisión de datos, los tipos de transmisiones que se pueden realizar, las ventajas y desventajas que pueden presentar cada uno y algunas de las posibles complicaciones que se generarían en este tipo de transmisiones.

Se tienen en cuenta estas temáticas con el fin de tener un conocimiento sólido sobre el cual cimentar la elección del tipo de comunicación a utilizar para el envío de datos.

1.1.1 Definición

Según (Cidead, 2011) la transmisión de datos se define como el proceso de envío de información entre un transmisor y un receptor en un medio con el objetivo de disminuir los tiempos de entrega de información.

1.1.2 Medios de transmisión de datos

Existen diversos medios de transmisión de datos, entre los que se encuentran los sistemas guiados y los sistemas no guiados, es decir los que realizan una transmisión por cable y los que lo realizan sin este medio.

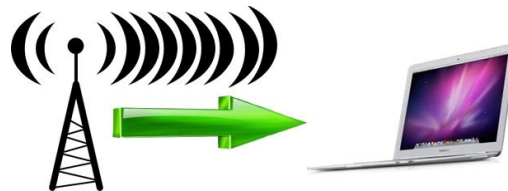
En el presente proyecto la transmisión utilizada está basada en un sistema no guiado, donde las señales que envían la información son propagadas libremente a través del medio, que en este caso es el aire. Para realizar de manera adecuada la transmisión de datos se deben utilizar antenas las cuales irradian y reciben energía electromagnética en el medio. (Ternero, 2005)

En el medio de transmisión no guiado existen las transmisiones direccionales y las transmisiones omnidireccionales.

En el trabajo de (Marin, 2018) se define la transmisión direccional la cual se basa en que la energía emitida del transmisor es concentrada en un solo punto y la antena receptora capta la energía de ese punto para lo cual se requiere que las antenas se encuentren

alineadas. Mientras la frecuencia de transmisión sea alta, la concentración la energía será direccionada en una dirección. En la transmisión omnidireccional la energía emitida por el transmisor es disipada en todas las direcciones y la antena receptora capta la energía de varias direcciones.

Figura 1 Transmisión direccional



Fuente: (Atom, 2012) [Figura]. Recuperado de:
<http://mediosdetransmisionnoguiados.blogspot.com/>

Figura 2 Transmisión omnidireccional



Fuente: (Atom, 2012) [Figura]. Recuperado de:
<http://mediosdetransmisionnoguiados.blogspot.com/>

1.1.3 Transmisión de datos por radiofrecuencia

TRANSMISOR

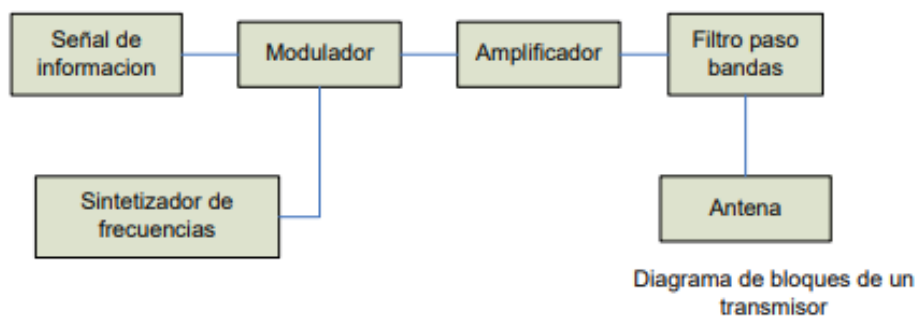
El transmisor dentro del proceso de transmisión de datos tiene como función la generación, la modulación y la amplificación de la señal de información con el fin de que el receptor obtenga la información enviada, teniendo en cuenta características como lo

son la frecuencia de transmisión, la potencia de emisión, las emisiones no deseadas, entre otros. (Rivas B. , 2013).

Existen 2 tipos de transmisores de datos, los transmisores homodinos los cuales utilizan modulación AM y los transmisores heterodinos que utilizan modulación FM, siendo estos últimos los que más se utilizan en el mercado.

El diagrama de funcionamiento del transmisor en él envío de datos se puede observar en la Figura 3.

Figura 3 Diagrama proceso del transmisor en la transmisión de datos



Fuente: (Bravo, 2010) [Figura]. Recuperado de:

https://profesores.virtual.uniandes.edu.co/~isis1301/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=recursos:06_modulacion.pdf

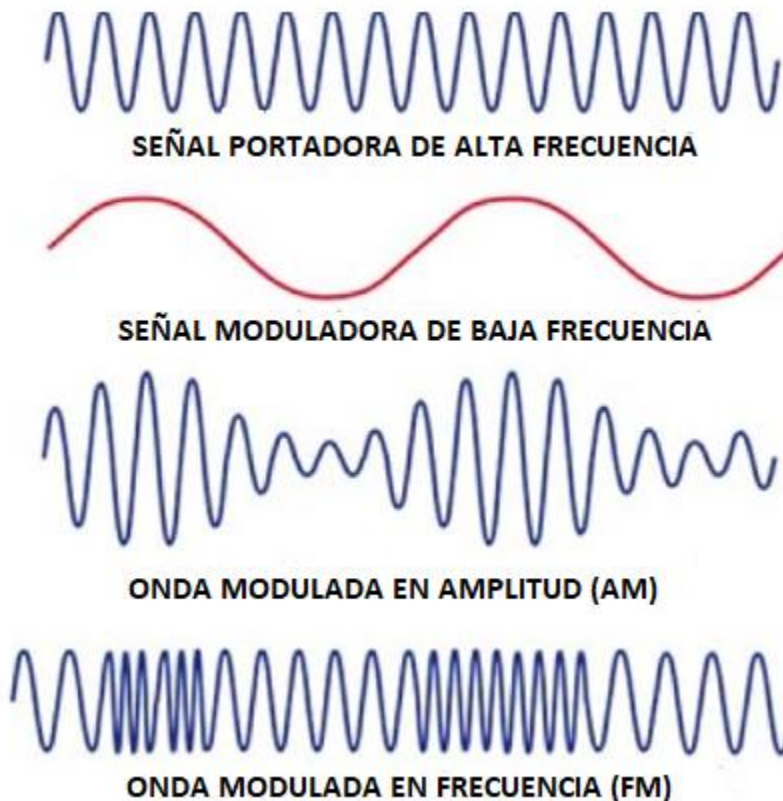
El sintetizador de frecuencia mantiene la frecuencia fija a la cual se realiza la transmisión de datos y el objetivo del filtro pasa bandas es eliminar los ruidos que puedan tener la señal, conociendo así la frecuencia fija a la cual se transmiten los datos.

La modulación es el proceso de sobreponer la señal que tiene la información de los datos a enviar sobre una onda portadora alterando alguna de sus características que pueden ser amplitud o frecuencia, con el fin de obtener una onda modulada que lleve la información al receptor, aprovechando el canal de comunicaciones en cuanto a la cantidad de datos a enviar. (Rivas B. , 2013).

Existen diversos tipos de modulación según el manejo de la información ya sea digital o analógica cuando ésta es codificada para la señal portadora. A continuación, se encuentran las modulaciones cuando se realiza la transmisión de la información de manera analógica:

En la modulación AM se realiza el cambio de la de amplitud de la señal portadora en función de la amplitud de la señal moduladora. Se considera una modulación de baja caída por usar radiodifusión. (Bravo, 2010). En el trabajo (Suarez, 2015) define la modulación FM en la variación de la frecuencia portadora en función de los cambios de amplitud y frecuencia de la señal a transmitir. La frecuencia de ciclos cambia mientras la amplitud de la onda es la misma.

Figura 4 Modulación transmisión de información analógica en AM y FM

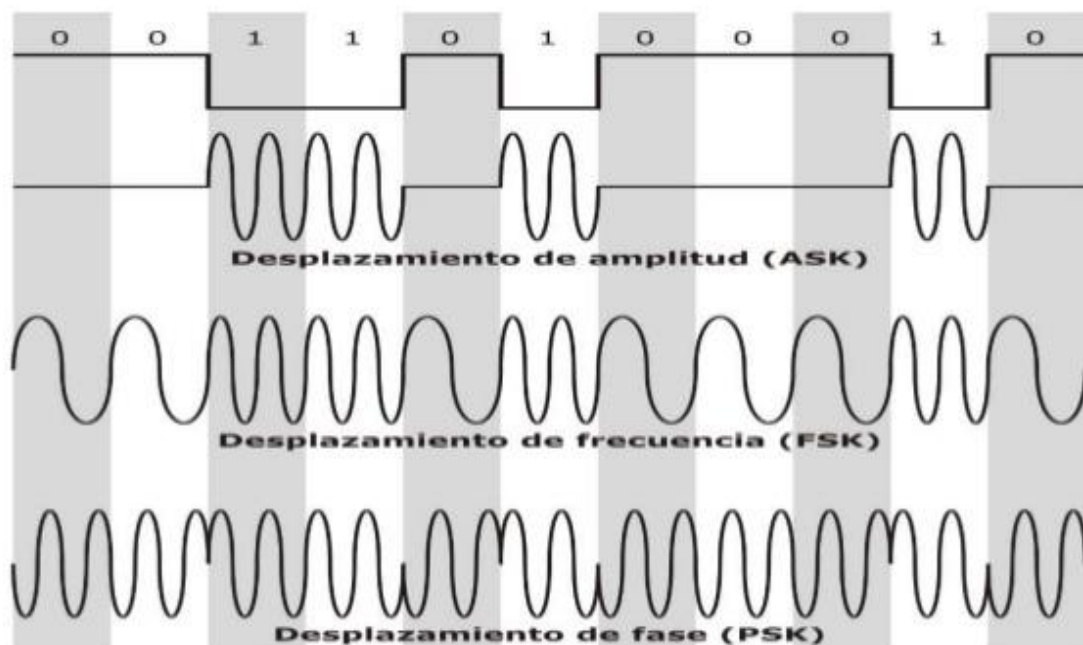


Fuente: Elaborado por autores.

Cuando se realiza transmisión de la información de manera digital se utilizan las siguientes modulaciones:

Según (Game, 2017) en la modulación ASK (Figura 4a) se realiza el cambio de amplitud entre una señal analógica basados en una señal digital, donde cada vez que exista un 0 en la señal digital, la señal portadora o resultante mantendrá su amplitud, pero cuando se encuentre un 1 en la señal digital, esta variara su amplitud. Este tipo de modulación es utilizada para evitar problemas que pueden afectar la señal como lo son la atenuación, la distorsión y el ruido. A su vez en la modulación PSK (Figura 4c) “la señal de entrada es una señal digital binaria y son posibles un número limitado de fases de salida.” (Suarez, 2015). Mientras en la modulación FSK (Figura 4b) “la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía, entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica.” (Suarez, 2015)

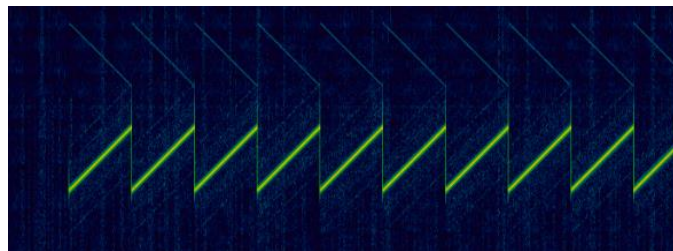
Figura 5 Modulación transmisión de información digital ASK, FSK y PSK



Fuente: (Peña, Rosario, & Herrera, 2012) [Figura]. Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/JuanHerreraBenitez/digital-analogo>

Existe otro tipo de modulación la cual es evidenciada en (LoRaWAN, 2019) y es utilizada por los módulos LORA, la cual consiste en el envío de una trama donde el mensaje es multiplicado por una señal que varía continuamente en la frecuencia. Para ello se envía una frecuencia continua y lineal entre un rango de banda definidos por una frecuencia de inicio y final, para posteriormente una vez esta llegue a su final, se resetee tomando el valor de la frecuencia de inicio para realizar el “barrido”, como se observa a en la Figura 6.

Figura 6 Modulación LoRa



Fuente: (Solera, 2018) [Figura]. Recuperado de: <https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/modulaci%C3%B3n-lora-4ad74cabd59e>

Cuando el ancho de banda es aumentado y el SF es disminuido, se va a realizar una comunicación más rápida para la transferencia de datos, en la Tabla 1 se observan las distintas tasas de transferencia que se pueden encontrar variando los valores de SF y el ancho de banda.

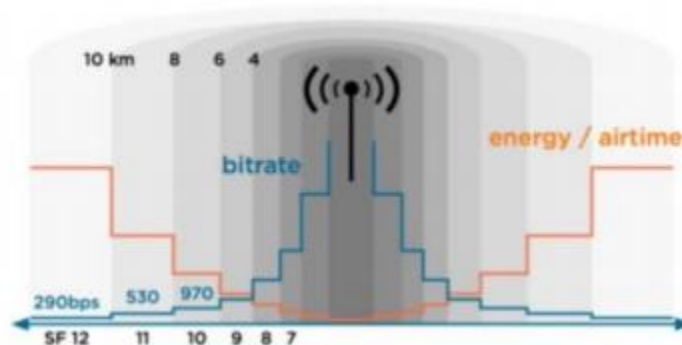
Tabla 1 Modulación LORA (Ancho de Banda vs SF)

SF	Ancho de Banda		
	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

Fuente: (Wenner, 2017) [Tabla]. Recuperado de: <https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/modulaci%C3%B3n-lora-4ad74cabd59e>

También es de considerar que entre mayor sea la distancia entre el nodo transmisor y el receptor, menor será el factor de propagación, es decir que, entre mayor distancia, será menor la tasa de bits que se pueden transmitir, lo cual se puede observar en la Figura 7.

Figura 7 Relación velocidad y distancia transmisión de datos



Fuente: (USECHE, 2018) [Figura]. Recuperado de:

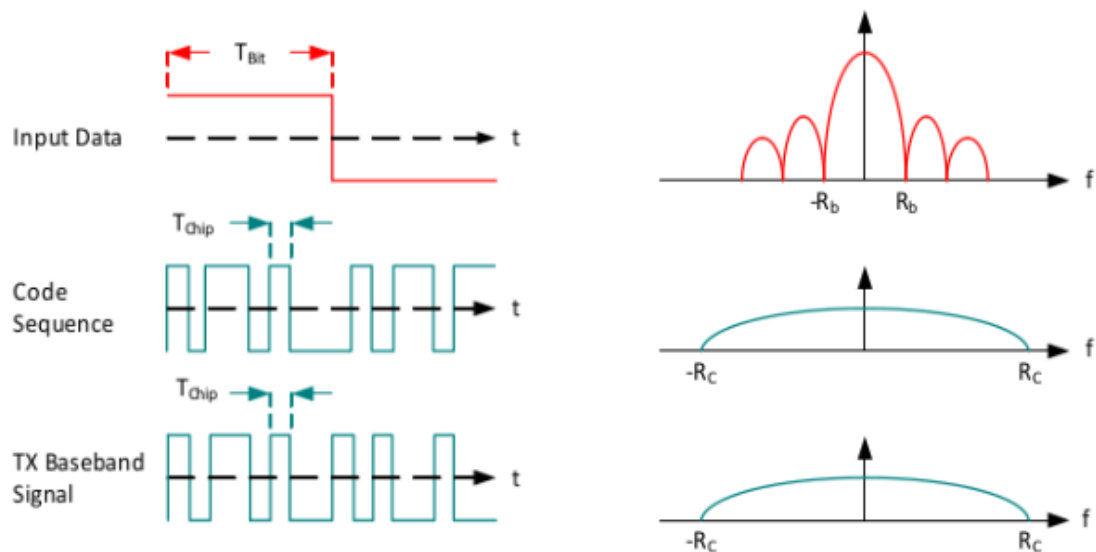
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13388/1/TrianaUsecheJordanCamilo2018.pdf>

A continuación, se denominan algunas modulaciones que son utilizadas como base para la modulación utilizada por el módulo LORA dando una breve descripción de los mismos.

La modulación DSSS (Figura 8) está definida como el método de modulación más usado en el espectro expandido, su funcionamiento según (Solera, 2018) está basado en una secuencia de código que debe contener tanto el transmisor como el receptor, la cual multiplica la señal que conlleva el mensaje, con el fin de obtener la señal modulada en la portadora y evitar el tipo de interferencias que pueda ser realizada por usuarios que quieran interceptar el mensaje.

La modulación CHIRP requiere de baja potencia para la transmisión de los datos y es robusta a factores de ruido. LORA utiliza la modulación de CSS la cual “*utiliza una señal sinusoidal de frecuencia modulada en banda ancha que aumenta o disminuye con el tiempo.*” (Solera, 2018) Este tipo de modulación llega al mercado por LORA, siendo utilizado en aplicaciones que requieran baja velocidad de datos. (Solera, 2018)

Figura 8 Modulación DSSS

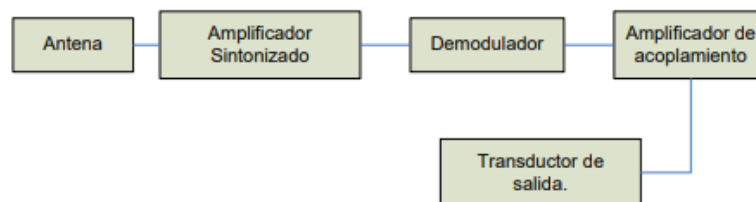


Fuente: (Solera, 2018) [Figura]. Recuperado de: <https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/modulaci%C3%B3n-lora-4ad74cabd59e>

RECEPTOR

El receptor cumple un papel fundamental durante la transmisión de datos ya que este se encarga de recibir las señales enviadas por el transmisor por medio de una antena para posteriormente demodular la señal. En la Figura 9 se puede observar un diagrama donde se encuentra representado el funcionamiento del receptor durante la transmisión de datos. (Rivas B. , 2013)

Figura 9 Diagrama proceso del receptor en la transmisión de datos



Fuente: (Bravo, 2010) [Figura]. Recuperado de: https://profesores.virtual.uniandes.edu.co/~isis1301/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=recursos:06_modulacion.pdf

Existen 4 métodos de transmisión de datos, *la transmisión asincrónica* se basa en que la temporización para el envío de datos se encuentra determinada en la forma en que se envía la cadena de caracteres, la cual se encuentra compuesta por un carácter inicial que determina el inicio de la cadena y al final se encuentra un carácter para dar la terminación de la cadena, esto permite determinar el tiempo de temporización y la obtención del conjunto de caracteres que definen los datos a transmitir en el receptor. (Bravo, 2010). En la *transmisión sincrónica* se limita la velocidad del envío de datos y antes de transmitir el conjunto de bits que llevan la información, se realiza el envío de una señal entre el transmisor y el receptor para reconocer la línea por la cual van a ser enviados los datos. (Bravo, 2010). Durante la *transmisión en serie* los bits se encuentran uno detrás del otro por un mismo canal de transmisión, dentro de las desventajas que se encuentran es el tiempo de transmisión que conlleva llevar todos los bits de información entre el transmisor y el receptor, esto quiere decir que entre mayor sea la distancia entre el transmisor y el receptor, mayor será el tiempo que llegue la información a su destino. (Bravo, 2010) Por último, en la *transmisión en paralelo* la transferencia de las cadenas de bits se realiza por medio de varios canales lo cual permite mayor velocidad que la transmisión en serie. (Bravo, 2010)

En la Tabla 2 se puede observar las bandas de frecuencia en comunicaciones estandarizadas de manera global, en este proyecto se utiliza la banda de frecuencia UHF por la frecuencia utilizada por los módulos de comunicación.

Tabla 2 Bandas de frecuencia en comunicaciones

Nombre	Frecuencia y Longitud de onda utilizada	Alcance	Tipo de señal, modulación utilizada y aplicaciones
VLF	3-30KHz / 10 – 100km	Global	Radiotelegrafía (ASK), Difusión global
LF	30-300KHz / 1-10km	1000-3000km	Radiodifusión de audio AM, telefonía Naval

MF	0.3-3MHz / 100m-1km	300-1000km	Radiodifusión de audio AM
HF	3-30MHz / 10-100m	100-300km	Radiodifusión de audio AM, BLU por ionosfera
VHF	30-300MHz / 1-10m	30-100km	Radiodifusión, Audio FM y TV, comunicación punto a punto.
UHF	300MHz-3GHz / 10cm-1m	30-100km	Difusión TV, Radioenlaces fijos y por satélite, telefonía móvil.
SHF	3-30GHz / 1-10cm	30-100km	Enlaces fijos y por satélite, distribución TV por satélite, Radar.
Milimétricas	30-300GHz / 1-10mm	10-30km	Sistemas militares, radiotelescopios, enlaces por satélites y entre satélites.
Sub-Milimétricas Infrarrojo lejano	300GHz-3THz / 0.1-1mm	<10km	Experimental.
Infrarrojo	3THz-300THz / 1-100µm	<10km	Comunicaciones de banda ancha por fibra óptica o laser.

Fuente: (Jambrina & Galocha Iraguen, 2010) [Tabla]. Recuperado de: http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/elcm/actual/pdf/BN_EC0911-Transmisores.pdf

La potencia de emisión viene definida por la potencia disipada del transmisor en el envío de datos al receptor, donde se encuentra definida la *potencia de la portadora* la cual es

el valor medio de la potencia sin que esta sea modulada y la *potencia media* la cual se obtiene al promediar la potencia disipada por el transmisor en un tiempo determinado. La potencia Isotrópica Radiada Equivalente (EIRP) es la densidad de potencia radiada en una dirección y viene dada por la ecuación 1. (Jambrina & Galocha Iraguen, 2010)

Ec. (1)

$$EIRP(dBm) = P_{rad}(dBm) + G_{antena}(dBi)$$

Donde P_{rad} es la potencia disipada por el transmisor en dBm y G_{antena} es la ganancia de la antena del transmisor.

Fuente: (Tricalcar, 2007)

Entre otros sistemas utilizados para la transmisión de datos se encuentra Zig-Bee el cual es un lenguaje o protocolo de comunicación que permite la intercomunicación entre dispositivos que sean compatibles con Zig-Bee, este trabaja normalmente en una red tipo WPAN, posee un rango de comunicaciones entre 10 y 75 m, al utilizar este tipo de protocolo de comunicación se recomienda para procesos en los que no se requiera el envío de gran información, la velocidad de envío es de hasta 250 Kbps, el consumo de los dispositivos es por medio de una batería por lo que es de bajo consumo y la topología de la red que se utiliza es en malla, lo que permite la facilidad de poseer más de dos conexiones en un nodo. Este tipo de módulos son ideales para conexiones punto a punto y multipunto, son permitidos hasta 65.000 nodos en una red, reduce los tiempos de espera en la transmisión de datos, pero tiene desventajas como la tasa de transferencia de datos la cual es baja y posee poca cobertura a comparación de otros sistemas ya que maneja redes inalámbricas de tipo WPAN. (Gutierrez, 2015),

El estándar GSM permite la transmisión de datos por medio de las redes que utilizan los celulares 2G, utiliza bandas de frecuencia entre 900 MHz y 1800 MHz, se permite un flujo máximo de transmisión de datos de 9.6 Kbps, se toma como una opción para la transmisión de datos de los sensores por lo que el flujo de datos que envía el sensor abarca menos del máximo permitido por este. Este tipo de transmisión cuenta con una cobertura extensa y un espectro armonizado, lo que quiere decir que a pesar de que los distintos países manejan diferentes bandas de frecuencia, existe la facilidad de

transmisión de datos entre las distintas redes utilizadas, aunque en muchas ocasiones el ancho de banda es lento, lo que lo hace susceptible a posibles interferencias en el momento del envío de datos. (Clark, 2018)

1.2 Antena

1.2.1 Definición

La antena es el dispositivo utilizado en las transmisiones por radiofrecuencia con el fin de emitir o recibir ondas electromagnéticas, en el caso del transmisor, este se encarga de transformar energía eléctrica en ondas electromagnéticas encargadas de transportar la información a ser enviada, mientras que el receptor realiza el proceso inverso, es decir se encarga de recibir estas ondas electromagnéticas, convertirlas en energía eléctrica que sea capaz de descifrar el mensaje enviado del receptor. (Canga, 2011)

1.2.2 Características

Las antenas deben dar a la onda que irradian una dirección y una polarización (es decir la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta) que les permita llegar al receptor, otro aspecto a tener en cuenta en las antenas, es el ancho de banda de la antena, donde se refiere al rango de frecuencias en el que se va a realizar una adecuada transmisión de datos. En las antenas se encuentra la ganancia directiva que es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección por la antena transmisora, con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena receptora. Las antenas omnidireccionales son aquellas donde la antena irradia ondas electromagnéticas en el plano horizontal, con el fin de hacer llegar la onda al receptor. La eficiencia de una antena viene dada por la relación entre la potencia que es irradiada y la potencia que es entregada a la antena. (Canga, 2011)

1.2.3 Funcionamiento

Cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor, se crea un campo magnético alrededor de ella lo que genera un campo electromagnético, una antena emisora tiene la capacidad de crear una onda estacionaria con el fin de ser transmitida, la cual es recibida por una antena receptora que cumple el papel de transductor con el

fin de transformar esta onda electromagnética en una onda eléctrica la cual permite la interpretación de los datos enviados a un usuario final.

Para que la antena pueda transmitir a una frecuencia específica debe de poder manipular $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda a transmitir. (Canga, 2011)

1.2.4 Tipos de antena

Existen diversos tipos de antena, entre las que se pueden encontrar las antenas con plano a tierra, las cuales son utilizadas para transmisiones de datos de punto a multipunto, tienen un bajo costo para su construcción y son utilizadas en aplicaciones donde la señal es irradiada verticalmente lo que permite capturar señales con facilidad de diversas direcciones. Las antenas Yagi basan su funcionamiento en la propagación de energía del campo electromagnético a través de los directores haciendo que mientras más directores tenga la antena mayor será su ganancia. La antena de plato parabólico es utilizada en aplicaciones donde la transmisión de datos requiere de gran ganancia, dentro de las desventajas, es que este tipo de antenas son de gran tamaño y están expuestas a malos funcionamientos ante efectos del viento. La antena de resorte o spring (Figura 10) es una antena conformada por cable o algún conductor que le permita funcionar como inductor, este tipo de antenas tienen un mejor RSSI si la antena se monta horizontalmente. (Canga, 2011) Esta es la antena a utilizar en este trabajo de grado para el proceso de transmisión de datos por su bajo costo y la facilidad para ser implementada en los módulos de comunicación.

Figura 10 Antena de resorte o Spring



Fuente: (Libre, 2019) [Figura]. Recuperado de:

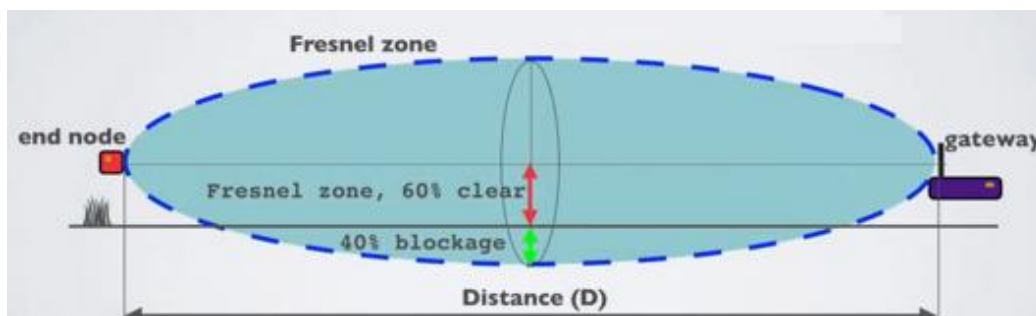
http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/elcm/actual/pdf/BN_EC0911-Transmisores.pdf

ZONA DE FRESNEL

Las ondas enviadas desde el transmisor a la antena receptora no necesariamente siguen el trayecto de la línea de vista, muchas veces este tipo de ondas pueden presentar fenómenos de absorción, atenuación, difracción, interferencia, refracción y reflexión. Es por ello que es necesario el método de Fresnel para realizar el diseño de la distribución de las antenas para el adecuado funcionamiento de la red. Según (Moreno, 2018) con el cálculo de las zonas de Fresnel, lo que se requiere es conocer el espacio que debe encontrarse libre entre la antena transmisora y receptora para realizar una adecuada transmisión de datos.

En la Figura 11 se puede observar el diseño de una antena transmisora y receptora, donde se encuentra la zona de Fresnel y de donde se debe tener mínimo un 60% del radio libre para realizar una adecuada transmisión de datos.

Figura 11 Zona de Fresnel

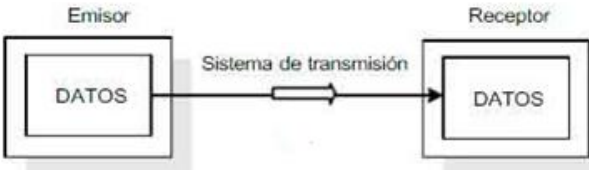
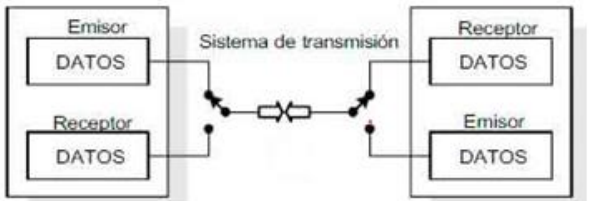
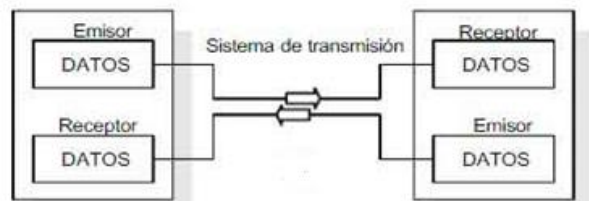


Fuente: (Moreno, 2018) [Figura]. Recuperado de: <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>

MODOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS

El sistema se encuentra clasificado según la direccionalidad en el que se realiza el envío de datos, dentro de los que se encuentran los modos de transmisión descritos en la tabla 3.

Tabla 3 Modos de transmisión de datos

Modo de transmisión de datos	Proceso
<p>Simplex: Este modo está basado en el envío de datos en un solo sentido, donde solo existe el transmisor y el receptor.</p>	<p><i>Figura 12 Modo de Transmisión Simplex</i></p> 
<p>Half-Duplex: En este modo se permite la transmisión de datos en ambos sentidos de manera alterna, es decir que mientras exista un envío de datos por el canal, no puede existir otro envío hasta que llegue a su destino.</p>	<p><i>Figura 13 Modo de Transmisión Half-Duplex</i></p> 
<p>Full-Duplex: En este modo se permite la transmisión de datos en ambos sentidos de forma simultánea, lo que permite más eficiencia en el envío y recepción de datos entre un transmisor y un receptor.</p>	<p><i>Figura 14 Modo de Transmisión Full-Duplex</i></p> 

Fuente: (Martínez, s.f.) [Tabla]. Recuperado de:

http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/35_modos_de_transmision_simplex_half_y_full_duplex.html

PARÁMETROS TRANSMISIÓN DE DATOS

Algunos parámetros importantes que deben ser tenidos en cuenta dentro de la transmisión de datos son:

Ancho de banda: Corresponde a el número de datos o de información que puede ser enviada a través de una conexión de red, entre mayor sea el ancho de banda, mayor será la velocidad de transmisión lo que hace más eficaz él envío de información.

Atenuación: Definido por la pérdida de potencia de una señal, la cual es afectada al transitar por cualquier medio de transmisión, lo que puede causar que el receptor no reciba adecuadamente la información transmitida.

Interferencia: Se refiere a la superposición de ondas, donde se pueden encontrar interferencias constructivas o interferencias destructivas. La interferencia constructiva es cuando existe la unión de dos ondas en fase obteniendo una de mayor amplitud; la interferencia destructiva es cuando existe la unión de dos ondas que no se encuentren en fase lo que causa que la onda resultante sea de menor amplitud.

Latencia: Se refiere al conjunto de retardos que existen en una red durante la propagación de los paquetes o cadenas de datos dentro de la red. (Garbarino, 2011)

Espectro radioeléctrico: Es el medio por el cual se transportan las ondas electromagnéticas durante una transmisión de datos en un rango de frecuencias especificado por los organismos que rigen cada país según la aplicación que se requiera. (MinTIC, Espectro Radioeléctrico, 2019)

Espectro ensanchado: Es la técnica para transmitir las señales de radio en el espacio de espectro de radioeléctrico definido previamente en enlaces que pueden ser punto a punto, a multipunto, a enlaces en zona urbana o sub-urbana, donde se encuentran ventajas como la reducción del ruido e interferencias. El ancho de banda se rige bajo una frecuencia definida y la transmisión se realiza entre este rango evitando posibles intercepciones que puedan realizar usuarios no identificados. (MinTIC, Espectro ensanchado, 2019)

Hope: Las comunicaciones de espectro ensanchado por salto de frecuencia utilizan un código pseudoaleatorio para distribuir el ancho de banda de los datos que se transmiten en un rango mucho más amplio de lo que es requerido por los datos. Debido a la naturaleza pseudoaleatoria de los transportistas seleccionados para transmisión, el

proceso de difusión debe ocurrir simultáneamente para recuperar la señal de datos transmitida. Esto requiere que el receptor tenga conocimiento sobre el instante en que el transmisor comenzó a transmitir y el retraso de propagación entre los dos.

Muchas señales de RF modernas utilizan técnicas de hopping para reducir la interferencia y mejorar la seguridad de los datos transmitidos en tiempo real. (RIGOL, 2018)

ASPECTOS A TENER EN CUENTA DURANTE LA TRANSMISIÓN DE DATOS

En la transmisión de datos es importante configurar la potencia de la señal para que esta pueda llegar al punto del receptor, es por ello que en algunas aplicaciones es necesario usar amplificadores de potencia, donde se amplifica la señal para que pueda llegar al receptor. Sin embargo, el uso de este tipo de amplificadores puede traer problemas ya que generan ruidos que pueden afectar el ancho de banda en la transmisión de datos en los distintos canales utilizados, tienen un costo elevado y normalmente se requiere más de un amplificador de potencia, es por ello que en algunos países puede ser ilegal el uso de amplificadores ya que existen ciertos límites de potencia para el espectro.

Al igual que los amplificadores, los repetidores realizan un papel similar, que es el de recibir una señal de baja potencia y retransmitirla con mayor potencia para que esta pueda llegar al receptor y de esta forma la transmisión alcance grandes distancias con poca degradación de la señal.

Los niveles de potencia de los dispositivos cuentan como unidad de medida el dBm o dBmW(decibelio-milivatio), donde 1 dB corresponde a 1 mW.

RSSI

El indicador de fuerza de la señal recibida (**RSSI**) es utilizado para medir el nivel de potencia de las señales que llegan desde un dispositivo cuando son utilizadas redes inalámbricas, es decir su intensidad, la escala para la medida son los dbm, donde 0 dbm son equivalentes a 1 mW, cuando este valor es negativo, significa perdida de señal, entre más negativo sea el número, mayor será la perdida. Para saber la calidad de la señal

recibida en un dispositivo, se debe tener en cuenta la intensidad de la señal con respecto al ruido.

Dentro de la escala del RSSI según Lora, se pueden mostrar a continuación las especificaciones:

El valor RSSI mínimo = -120 dBm

El valor RSSI para definir que la señal es fuerte y estable = -30 dBm

El valor RSSI para definir que la señal es débil e inestable = -120dBm

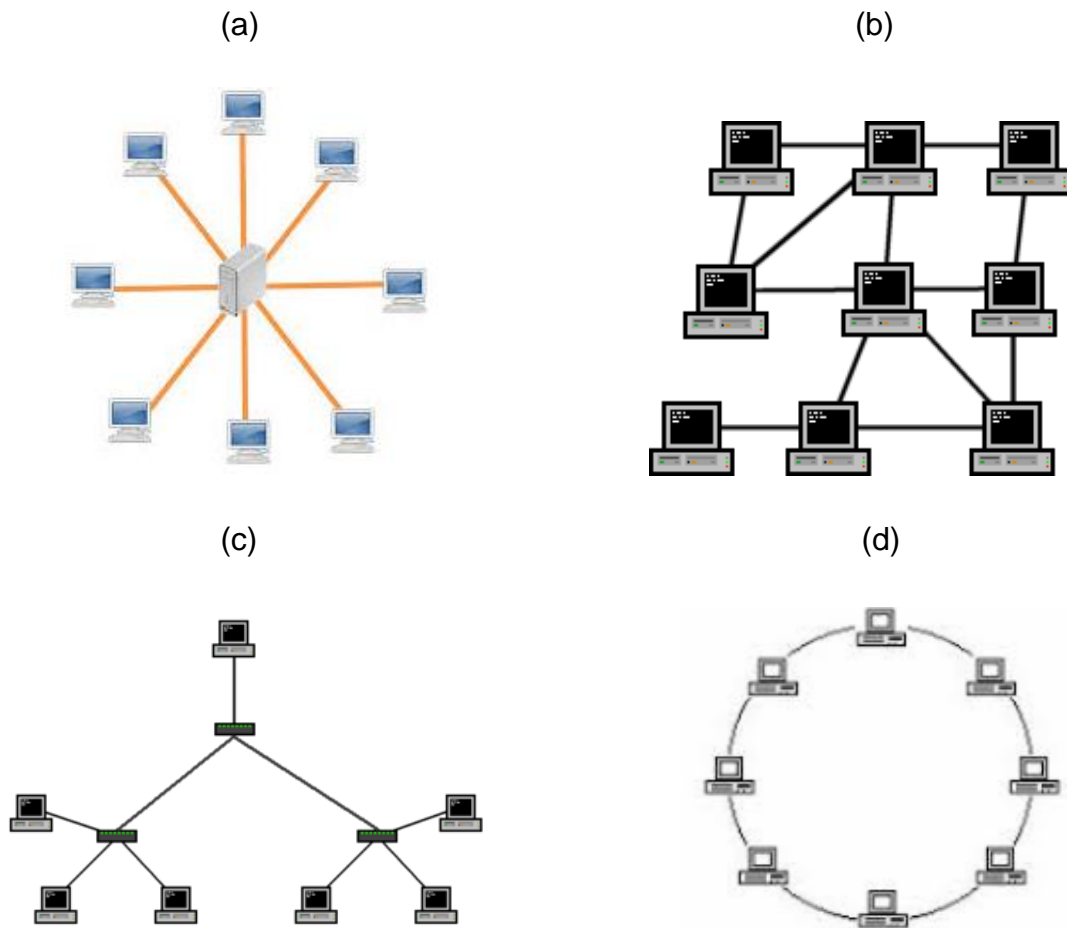
1.3 Topologías de red

La topología de red permite la distribución física y lógica de la conexión de los nodos de una red, En el trabajo de (Molina, 2019) se encuentran definidos distintos tipos de topologías, entre las que se encuentra la topología de estrella (Figura 15 - a) en donde todos los nodos se encuentran conectados a un nodo central encargado de la transmisión de los datos al servidor y donde los demás nodos no se pueden comunicar entre sí. Dentro de las ventajas que existe en este tipo de topología se encuentra que, si un nodo es desconectado, los demás siguen funcionando con normalidad mientras no sea el nodo central.

En la topología de malla (Figura 15 - b) todos los nodos se encuentran conectados entre sí, es por ello que la transmisión de datos puede ser realizada a cualquier nodo y trae como ventajas que la transmisión nunca puede ser interrumpida al menos que la red sea desconectada totalmente. Son redes costosas por la gran cantidad de cableado que debe ser utilizado para su montaje.

En la topología de árbol (Figura 15 - c) donde los nodos se conectan a un nodo central secundario y este a un nodo central, trae como ventaja la fácil expansión de la red, el nodo central cuenta con un repetidor que permite retransmitir los datos enviados, además de priorizar los nodos a los cuales se les desea enviar la información, por último la topología de anillo (Figura 15 - d) es una topología en donde cada nodo tiene una conexión de entrada y salida a otro nodo para la transmisión de datos, su arquitectura es sencilla y permite evitar pérdidas de información ante colisiones que puedan existir.

Figura 15 Topologías de red. (a) Estrella, (b) Malla, (c) Árbol, (d) Anillo



Fuente: (Molina, 2019) [Figura]. Recuperado de:

http://www.redtauros.com/Clases/Fundamentos_Red/02_Topologia_de_Red.pdf

ANE

Es la agencia encargada de la formulación de planes que se encuentre relacionados con el espectro radioeléctrico en cuanto a su control y vigilancia teniendo en cuenta las políticas sectoriales y nacionales.

1.4 Marco legal

En la Tabla 4 se encuentran definidas las normas que se rigen en Colombia con respecto al proceso de transmisión de datos y las cuales aplican en el presente proyecto.

Tabla 4 Normas marco legal

Organización	Norma/Artículo	Descripción
ANE	<p>Numeral 2 del anexo técnico de la resolución 181 de 2019.</p> <p>CONDICIONES TECNICAS Y OPERATIVAS GENERALES</p>	<p>Según la Resolución 181 en el ámbito para controles, telemandos o telemetría la potencia disipada por el emisor tiene que ser menor a 1 mW. Su aplicación está en la sección de la resolución de bandas de frecuencia de uso libre, puntualmente para telemetría o control remoto en la canalización 433.05 – 434.79 MHz donde se especifica que la P.R.A debe ser máxima de 1 mW.</p>
OMM	<p>Reglamento técnico, Volumen I: Normas meteorológicas de carácter general y prácticas – Artículo 2</p>	<p>En este artículo se encuentran las recomendaciones para sistemas de observación donde se encuentra el mantenimiento del sistema, la calibración de los sistemas e instrumentos, el control de los datos suministrados, entre otros.</p>
OMM	<p>Reglamento técnico, Volumen I: Normas meteorológicas de carácter general y prácticas – Artículo 7.</p> <p>CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL SISTEMA DE OBSERVACIÓN HIDROLÓGICA DE LA OMM</p>	<p>Donde se define un sistema coordinado de métodos, técnicas e instalaciones que permitirán realizar observaciones hidrológicas a escala, donde las observaciones de los elementos para fines hídricos deberían efectuarse a intervalos regulares y adecuados para tales elementos y fines.</p>

SISTEMA NACIONAL DE NORMALIZACION, CERTIFICACION Y METROLOGIA.	DECRETO 2269 DE 1993	Se define y estipula lo que es la normalización técnica, la certificación, la acreditación de laboratorios de prueba y ensayo, siendo puntual en como tener en cuenta la tolerancia, la incertidumbre y otras definiciones que van de la mano con los adecuados procesos de medición a realizar.
NTC-ISO 10012	Artículo 7.- CONFIRMACIÓN METROLOGICA Y REALIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE MEDICIÓN	Se especifica que la recalibración de la sensórica utilizada para la medición metrológica no es necesaria si el equipo ya se encuentra en un estado de calibración valido, donde se verifiquen las incertidumbres de medición y errores del equipo estén dentro de los limites admisibles dentro de los requisitos metrológicos.
LEY No.1341 del 30 julio 2009 del Ministerio de Tecnologías de información y las comunicaciones (MinTIC)	ARTÍCULO 6.- Definición de tic: Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (en adelante TIC)	Son el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios, que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento, transmisión de información como: voz, datos, texto, vídeo e imágenes.
LEY No.1341 del 30 julio 2009 del Ministerio de Tecnologías de información y las	ARTÍCULO 9	Se especifica que los productos deben estar diseñados para cumplir la función de tratamiento de la información y la comunicación, incluidas la transmisión y la presentación, y deben utilizar el

comunicaciones (MinTIC)		procesamiento electrónico para detectar, medir y/o registrar fenómenos físicos o para controlar un proceso físico.
LEY No.1341 del 30 julio 2009 del Ministerio de Tecnologías de información y las comunicaciones (MinTIC)	Artículo 11.- ACCESO AL USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	En este artículo se definen los permisos de uso del espectro respetando la neutralidad en la tecnología siempre y cuando esté coordinado con las políticas del Ministerio de Comunicaciones. Sin que este genere interferencias sobre otros servicios, sea compatible con las tendencias internacionales del mercado, no afecte la seguridad nacional, y contribuya al desarrollo sostenible.

Fuente: (OMM, 2017) [Tabla]. Recuperado de:

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5780

Capítulo 2

2.1 Módulo de comunicación

El módulo de comunicación consta de un transmisor el cual es el encargado de enviar la información requerida y de un receptor que obtiene la información para su posterior visualización. Esto en el sistema corresponde al envío de información obtenida por el pluviómetro a través de los módulos y a partir de estos datos obtener la información visualizada en una página web

En el mercado de módulos de comunicación PSOC se encuentran diferentes tipos según las necesidades del sistema, es por ello, que en el presente capítulo se comparan algunos módulos ofrecidos en el mercado que pueden ser utilizados para la transferencia de datos. Para ello, en la tabla 5 se realiza la comparación de las principales características que determinan el óptimo funcionamiento de los módulos en la transmisión de datos con el fin de seleccionar el módulo a utilizar, y finalmente aplicar las pruebas establecidas por la ANE para corroborar el cumplimiento del módulo con las normativas colombianas en cuanto al uso del espectro radioeléctrico.

Tabla 5 Comparación módulos de comunicación

MÓDULO	PROTOCOLO	FRECUENCIA	SENSIBILIDAD	DISTANCIA APROXIMADA	POTENCIA	PRECIO	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES
NRF24L01	Protocolo SchockBurstTM	2,4GHz	-95dbm	Antena zig-zag se obtiene un alcance de 20 a 30 m. Con un amplificador y una antena externa anclada al módulo se obtiene un alcance de 700 a 1000 m.	20dBm	14,000	Velocidades de transmisión: 2.50 Kbps, 1Mbps, 2Mbps
AMB8355	Wireless	868MHz	-110dbm	15km	27dBm-500mw	565,000	Velocidades de transmisión: 19.2Kbps
Arduino MKRFOX 1200 (requiere suscripción)	SIGFOX,gsm	868MHz	-95dbm	zonas urbanas 3 y 10 km zonas rurales 30-50 km	14dBm	133,575	Velocidades de transmisión: 192Kbps
Pycom SiPy	SIGFOX, WIFI, Bluetooth	868MHz-922Mhz	-95dbm	1KM wireless sigfox: zonas urbanas 3 y 10 km zonas	14dBm 22dBm	99,633	Velocidades de transmisión: 192Kbps

				rurales 30-50 km			
Módulo XBEE 2.4GHZ Serie 2	Zigbee	2.4GHz	-95dbm	1.6 km	14 dBm	157,000	Velocidad de transmisión: 250 kbps
Módulo GSM/ GPRS/ GPS SIM808	TCP/IP, TCP/IP AT(CHIP)	GSM850 (869Mhz-849Mhz)	-159dbm	N/A	N/A	75,000	Velocidad de transmisión: 85.6 kbps
		EGSM900 (880Mhz-915Mhz)					
	PAP(GPRS)	DCS1800 (1710MHz-1880MHz)					
	GSM 07.10 MULTIPLEXING	PCS1900(1850MHz-1990MHz)					
Módulo Transmisor AFBR – 77D13SZ y modulo receptor AFBR-78D13SZ		4700 MHz	N/A	3km aproximadamente	3.7W	682,260	10.3125 Gb/s
Módulo Lora Ra-01	LORA	ISM:(410-525Mhz)433MHz	-148dBm	Antena alambre 2km-5km, antena direccional y	5 a 20 dBm	23,000	300kb/s programable

				ajustes en el radio 20km			
Módulo Lora Ra-02	LORA	ISM:(410-525Mhz)433M Hz	-148dBm	Antena alambre 2km-5km, antena direccional y ajustes en el radio 20km	5 a 20 dBm	25,000	300kb/s programable

Fuente: Elaborado por los autores.

En la tabla 6, se realizó la comparación de los módulos teniendo en cuenta los parámetros de distancia de transmisión, costo y velocidad de transmisión, con los siguientes rangos:

✓ Distancia Transmisión de datos:

De 1 a 5, donde 1 es que la distancia alcanzada por el módulo para hacer una transmisión de datos estable es mala y 5 es que la distancia alcanzada por el módulo para hacer una transmisión de datos estable es buena.

✓ Costo:

De 1 a 5, donde 1 es que el costo del módulo es elevado y 5 es que el costo del módulo es barato.

✓ Velocidad de transmisión:

De 1 a 5, donde 1 es una baja velocidad de transmisión de datos y 5 es una alta transmisión de datos.

Tabla 6 Comparación características modulo

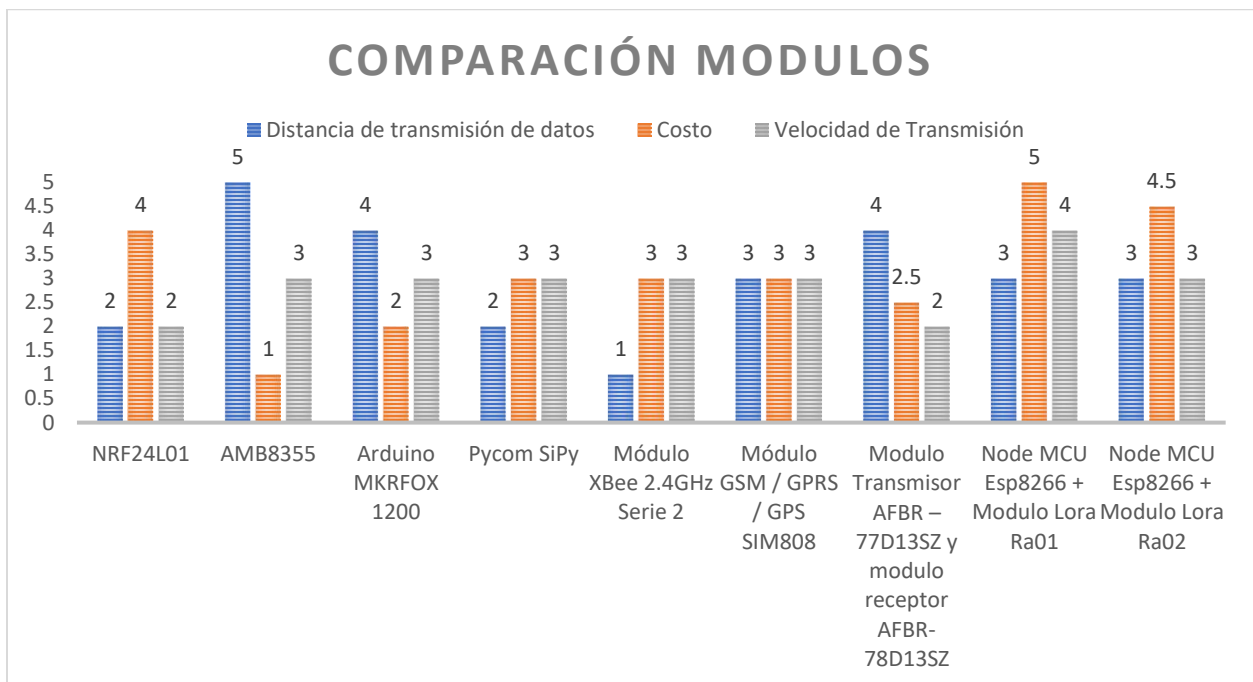
Modulo	Distancia de transmisión de datos	Costo	Velocidad de Transmisión
NRF24L01	2	4	2
AMB8355	5	1	3
Arduino MKRFOX 1200	4	2	3
Pycom SiPy	2	3	3
Módulo XBee 2.4GHz Serie 2	1	3	3
Módulo GSM / GPRS / GPS SIM808	3	3	3
Modulo Transmisor AFBR – 77D13SZ y	4	2.5	2

modulo receptor AFBR-78D13SZ			
Node MCU Esp8266 + Modulo Lora Ra01	3	5	4
Node MCU Esp8266 + Modulo Lora Ra02	3	4.5	3

Fuente: Elaborado por autores.

En la gráfica 1, se puede observar una gráfica donde se encuentra resumida la evaluación a los módulos bajo los criterios mencionados anteriormente:

Gráfica 1 Comparación de módulos



Fuente: Elaborado por autores.

Teniendo en cuenta lo descrito en la tabla 5, se selecciona el dispositivo lora Ra-01 ya que maneja el protocolo LORA lo cual brinda ventajas con respecto a los otros módulos, las cuales son principalmente el bajo consumo de energía, la facilidad en su

implementación debido a su arquitectura y la patente por su fabricante Semtech en cuanto a la modulación en la transmisión de datos y alta inmunidad a interferencias.

Para el manejo de frecuencias el módulo seleccionado tiene licencia FCC (comisión federal de comunicaciones), además maneja una banda ISM reservada internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industriales, científicas y médicas. También se destaca su elección, ya que se sabe que las frecuencias bajas tienen un mayor alcance, además de que estas frecuencias pueden penetrar obstrucciones en su línea de visión; los módulos que poseen frecuencias bajas tienen 2 posibilidades estas son 433Mhz y 868Mhz, la primera obtiene mayor alcance, pero así mismo podrá tener más señales que generen interferencias, sin embargo, el protocolo Lora posee una técnica de modulación que permite que sea robusta a estas interferencias. Además de esto podemos apreciar que su sensibilidad tiene uno de los niveles más bajos lo que nos permite que las señales a niveles muy bajos puedan ser leídas de la mejor manera permitiendo que tenga mayor alcance.

Frente a la distancia aproximada este módulo permite realizar transmisiones de 2 a 5km en zonas urbanas o suburbanas y además posee inmunidad contra obstáculos. Su nivel de potencia para esta aplicación tiene que ser menor a 10 mW a 1 metro de distancia de la antena receptora, lo cual cumple con el artículo dispuesto para el uso del espectro radioeléctrico de la agencia del espectro.

Finalmente hay que tener en cuenta que su velocidad de datos es de 300kbps, lo cual, a pesar de no ser un requerimiento, ya que los datos se estarán enviando cada 5 min y no en tiempo real, esto nos podría permitir que se envíen más rápido los mensajes para evitar pérdidas o filas en la transmisión de los diversos nodos en la arquitectura de red.

También cabe resaltar que este dispositivo de comunicación tiene la mejor relación en cuanto utilidad y precio destacándolo como uno de los mejores dispositivos para esta red, la diferencia entre el Lora ra-01 y Lora ra-02 son algunas modificaciones en la antena ya que el Lora Ra-02 tiene en el integrado la conexión para una antena omnidireccional tipo ipex y el Lora Ra-01 tiene el agujero estañado para soldar una antena tipo resorte de 3 dbi de ganancia, además, el Lora ra-01 tiene una ventaja en el mercado ya que se

puede encontrar con el precio de 23.000 pesos CO con la antena incluida, en cambio el Lora Ra-02 viene solo el integrado a 25.000 a su vez la compra de la antena a 8.000 pesos colombianos. Para corroborar que el módulo seleccionado se encuentra dentro del rango de frecuencias permitido y que la potencia disipada para la transmisión está dentro del rango, se realizaron unas pruebas en las oficinas de la ANE (Asociación Nacional del Espectro). (MinTIC, Agencia Nacional del Espectro (ANE), 2019)

2.2 Procedimiento de cumplimiento del módulo con los estándares

Según las condiciones técnicas y operativas establecidas en la Tabla 4 del numeral 2 del anexo técnico de la resolución 181 de 2019, para la aplicación de telemetría o control remoto, el P.R.A (potencia radiada aparente) debe mantenerse con un valor máximo de 10mW en la canalización de 433– 434.79 MHz. Es por ello que la potencia irradiada se mide en aplicaciones de corta distancia (1m aprox) entre la antena transmisora y la antena receptora (Figura 16).

Figura 16 Antena analizador de espectro

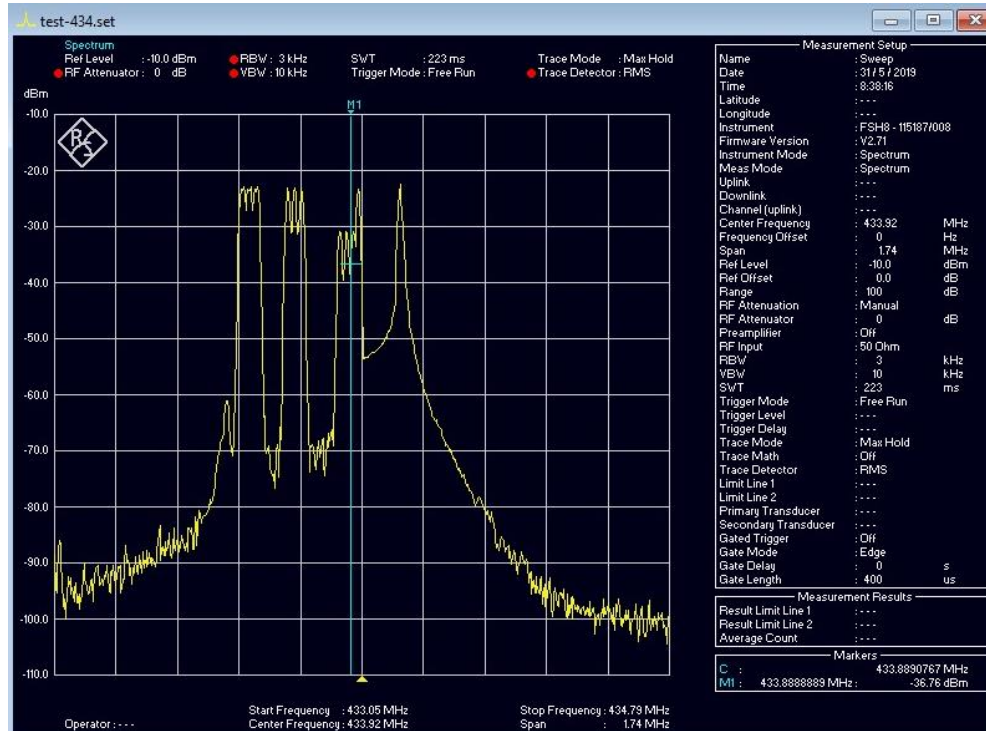


Fuente: Elaborado por autores.

En la figura 17, se observa el espectro irradiado por el módulo de comunicación, la parte inferior corresponde a la banda de frecuencia en la cual se realiza la transmisión de datos mediante el protocolo lora, esto se refleja en los saltos de la frecuencia, así mismo, se puede evidenciar su rango de comportamiento dado entre 433.05 MHz y 434.79 MHz la cual está definida en la programación como frecuencia fija y a esta se le asigna un ancho de banda en donde realizara el barrido. Por otro lado, es importante contemplar la potencia irradiada, la cual en sus picos no superaba los -20dbm lo que equivale a

0.01mw, esto permite afirmar lo mencionado anteriormente en cuanto al cumplimiento de la normatividad ya que no supera 10mw o 10dbm.

Figura 17 Espectro señal transmisor



Fuente: Elaborado por autores.

Se realiza la evaluación de distintas tecnologías que pueden ser utilizadas para la transmisión de datos en redes de coberturas LPWAN como se observa en la Tabla 7 en base al trabajo de grado de (USECHE, 2018), para realizar una adecuada selección en la tecnología a utilizar en este proyecto, la cual es LORA, ya que esta cuenta con un rango de transferencia de datos de 2 a 5 km en ambientes urbanos y cuenta con una potencia de transmisión menor a +27dBm.

Tabla 7 Comparación de tecnologías

Tecnología/Descripción	Weightless-N	SigFox	LoRa	LTE-Cat M	IEEE 802.11ah	DASH7	RPMA	NB-Fi
<i>Frecuencia</i>	Sub-Ghz ISM	868/902 Mhz ISM	433/868/780/915 Mhz ISM	Celular	Todas las bandas eximiendo 1GHz	433/868/915 5 Mhz ISM/SRD	2,4Ghz ISM	868Mhz
<i>Ancho de Banda</i>	200 Hz	100 Hz	64x125Khz/8x125Khz	1,4Mhz	1/2/4/8/16 Mhz	25Khz o 200Khz	1 Mhz	100Hz
<i>Rango</i>	3Km	10 Km	2-5Km	2,5-5km	Por encima de 1km	0-4 km	4,6 km	16,6km
<i>Potencia, Tx nodo final</i>	17 dBm	10uw- 100m W	< +27dBm	100m w	1mw a 1w	FCC/ETSI	20dbM	14 dBm
<i>Tamaño del paquete</i>	20 bytes	12 bytes	Definido por usuario	100- 1000 bytes	7990 bytes	256 bytes	6- 10kbyte s	Definido o por el usuario
<i>U.L velocidad de datos</i>	100 bps	100 - 140bps	900-100kbps	20kbp s	150kbps- 346mbps	9,6 kbps- 166kbps	624kbp s	10- 100bps
<i>D.L velocidad de datos</i>	No downlink	8bytes por día	900-100kbps	20kbp s	150kbps- 346mbps	9,6 kbps- 166kbps	156kbp s	10- 100bps

<i>Dispositivo por punto de acceso</i>	Ilimitado	1M	100K	20K	8191	N/A	384,000 por sector	> 1M
<i>Topología</i>	Estrella	Estrella	Estrella	Estrella	Nodo a nodo	Estrella, árbol	Estrella, arbol	Estrella
<i>Fabricante</i>	Weightless-SIG	SigFox	LoRa Alliance	3GPP	IEEE802.11ah	DASH7 Alliance	Ingenu	Waviot
<i>Roaming</i>	Si	Si	Si	Si	IEEE802.11	Si	Si	Si

Fuente: (USECHE, 2018) [Tabla]. Recuperado de:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13388/1/TrianaUsecheJordanCamilo2018.pdf>

Además, se realizó la evaluación de los microcontroladores para el módulo de transmisión con el fin de elegir aquel que cumpliera con los parámetros deseados, teniendo en cuenta el costo-beneficio, como se observa en la Tabla 8:

Tabla 8 Comparación microcontroladores

Características	UNO	Mega 2560	LEONARDO	DUE	Node mcu 0.9
<i>Tipo de microcontrolador</i>	Atmega 328 – 8 bits	Atmega 2560 – 8 bits	Atmega 32U4 – 8 bits	AT91SAM3X8 E – 32 bits	Tensilica L106 – 32 bits
<i>Velocidad de reloj</i>	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84MHz	80MHz-160MHz
<i>Pines digitales de E/S</i>	14	54	20	54	15
<i>Entradas analógicas</i>	6	16	12	12	1
<i>Salidas analógicas</i>	0	0	0	2 (DAC)	0
<i>Memoria de programa (Flash)</i>	32Kb	256Kb	32Kb	512Kb	16Mb max(512Kb normal)
<i>Memoria de datos (SRAM)</i>	2kb	8kb	2.5kb	96kb	36kb
<i>Memoria auxiliar (EEPROM)</i>	1kb	4kb	1kb	0kb	4kb
<i>Precios</i>	\$24.504	\$37.000	\$25.000	\$68.000	\$20.000

Fuente: (USECHE, 2018) [Tabla]. Recuperado de:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13388/1/TrianaUsecheJordanCamilo2018.pdf>

Verificando las características anteriormente descritas de los microcontroladores disponibles se selecciona el Node mcu 0.9, teniendo en cuenta que es de tipología

Tensilica lo cual permite el manejo de red Wireless y tiene capacidad de procesar mayor volumen de datos, además de contribuir al bajo consumo eléctrico del sistema. En cuanto a la velocidad de reloj este controlador tiene mayor rango de velocidades en su procesamiento de operaciones. Por otro lado, para la cantidad de pines digitales a pesar de no ser el mayor, cumple con las necesidades del proyecto al solo requerir 4 salidas digitales; esto mismo sucede con las entradas y salidas análogas ya que el proyecto no las requiere. Frente a la memoria de programa es beneficioso que posea una de las mayores capacidades para así permitir una completa programación al tener mayor cantidad de variables, así mismo, al tener características no volátiles en su memoria de datos y en la memoria auxiliar es uno de los más óptimos para cumplir con los requerimientos del proyecto. Finalmente verificando el costo de controlador, al ser el más bajo brinda mayor utilidad al proyecto.

Capítulo 3

3.1 Pluviómetro

Los sensores utilizados son unos pluviómetros obtenidos de la estación meteorológica Davis Instruments 6152/6162 Vantage Pro2 que tienen como objetivo conocer el comportamiento pluvial, principalmente la intensidad de precipitación de un sector donde se encuentre instalado. La intensidad de la precipitación se establece como la medida de la lámina dada por el área de captación y la profundidad alcanzada del agua en el pluviómetro por unidad de tiempo, la cual es normalmente medida en mm. (Agud, 2008) Estas intensidades se pueden clasificar según su medida como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9 Clasificación intensidad de precipitación

Intensidad	Medida
<i>Débil</i>	$i \leq 2 \text{ mm/h}$
<i>Moderada</i>	$2 \text{ mm/h} < i \leq 15 \text{ mm/h}$
<i>Fuerte</i>	$15 \text{ mm/h} < i \leq 30 \text{ mm/h}$
<i>Muy Fuerte</i>	$30 \text{ mm/h} < i \leq 60 \text{ mm/h}$
<i>Torrencial</i>	$60 \text{ mm/h} < i$

Fuentes: (USECHE, 2018) [Tabla]. Recuperado de:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13388/1/TrianaUsecheJordanCamilo2018.pdf>

En la Figura 18 se puede observar la estación meteorológica Davis Instruments 6152/6162 Vantage Pro2, de donde se obtiene el pluviómetro utilizado para montar la red de sensores.

Figura 18 Estación meteorológica Davis Instruments 6152/6162 Vantage Pro2

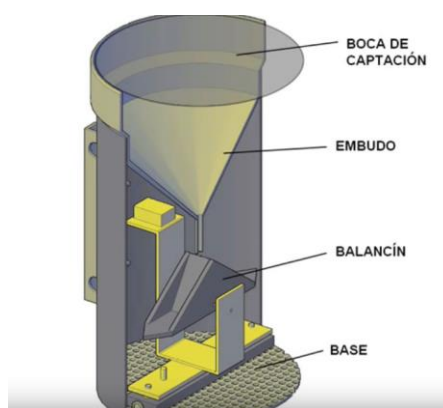


Fuente: (METEOAGRO, 2012)[Figura]. Recuperado de:

https://www.meteoagro.co/public/documentos/davis/guia_basica_davis_pro2_6152_6162.pdf

El sensor se puede observar en las figuras 19 y 20 donde su funcionamiento se basa en un balancín, una vez que hay lluvia en el sector, una de las cubetas que compone al balancín por efecto del peso, derrama el agua y permite cerrar el circuito que tiene incluido el sensor y lleva el conteo de cuantas veces este se llena. Una vez llena la cubeta esta se balancea y se desocupa permitiendo que la otra realice el mismo proceso alternando así el número de veces que se llenan.

Figura 19 Partes del pluviómetro



Fuente: (Santander, 2013) [Figura]. Recuperado de:

https://www.meteoagro.co/public/documentos/davis/guia_basica_davis_pro2_6152_6162.pdf

Figura 20 Balancín del pluviómetro



Fuente: Elaborado por autores.

La medida de la captación tomada por el pluviómetro viene dada por la ecuación 2 la cual establece el volumen de captación:

Ec. (2)

$$V = A \times h$$

Fuente: (Rivera, 2015)

Donde, V representa el volumen de captación, A el área de la boca de captación y h la altura dada por la resolución del instrumento o el espesor de la lámina de agua para generar un pulso.

Para la interpretación de los datos dados por el pluviómetro, se almacena el número de pulsos dados en un periodo de tiempo, luego se multiplica el número de pulsos en un intervalo de tiempo determinado por la resolución del pluviómetro y por consiguiente realizar la equivalencia en mm con respecto al área superficial de la boca del pluviómetro para así obtener la cantidad de precipitación acumulada en cada periodo y sumando todas las cantidades existentes entre estos intervalos, se obtiene el total acumulado para cada periodo para así obtener la intensidad acumulada en cada periodo por medio del cálculo matemático observado en la ecuación 3.

Ec. (3)

$$mm = p * 0.00422m$$

Fuente: (Husseren-Wesserling, 2015)

Donde, mm representa milímetros de precipitación, p pulsos del pluviómetro.

Esta equivalencia está dada debido a que la resolución del instrumento es de 0.2 mm lo que corresponde a 1 pulso, sin embargo, los 0.2 mm no es la equivalencia real de mm de precipitación ya que el área en la que cual se mide no es la estándar por lo tanto se aplica la ecuación 2.

El área de captación (A_c) esta dada por:

Ec. (4)

$$A_c = \pi * 82^2 [mm^2] = 21124.07[mm^2]$$

Fuente: (Husseren-Wesserling, 2015)

Por lo cual, utilizando la ecuación 2, reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 4, se observa a continuación el volumen captado por la cubetilla

$$v = 21124.07 * 0.2 = 4.22 \text{ ml}$$

Por consiguiente, se realiza la equivalencia de los 4.22 ml a mm, donde se conoce que:

Ec. (5)

$$1 \text{ L}/m^2 = 1mm$$

Fuente: (Husseren-Wesserling, 2015)

De lo cual se puede realizar la equivalencia de la ecuación 6.

Ec. (6)

$$1 \text{ pulso} \rightarrow 4.22ml \rightarrow 0.00422L \rightarrow 0.00422mm$$

Fuente: (Husseren-Wesserling, 2015)

Sumando todas las cantidades existentes entre estos intervalos, se obtiene el total acumulado para un periodo determinado de tiempo y por consiguiente obtener la intensidad en cada periodo aplicando la ecuación 7.

Ec. (7)

$$I = P * \frac{60}{TT}$$

Fuente: (Husseren-Wesserling, 2015)

Donde, I representa la intensidad en mm/h , TT el tiempo de muestreo en min y P la precipitación en mm

Según las medidas dadas por el manual de la estación meteorológica Davis Instruments 6152/6162 Vantage Pro2, de donde se obtiene el pluviómetro, se obtienen los siguientes parámetros descritos en la tabla 10.

Tabla 10 Parámetros pluviómetro Davis Instruments

Característica	Valor
Medición	0.01" (0.25mm aprox.)
Exactitud	±2% con < 2 pulgadas (5 cm) por hora
Tipo de colector de lluvia	Tipo cubetilla con un área de colección de 214 cm^2 aprox.

Fuente: (METEOAGRO, 2012) [Tabla]. Recuperado de:

https://www.meteoagro.co/public/documentos/davis/guia_basica_davis_pro2_6152_6162.pdf

El pluviómetro es de alta precisión y de bajo mantenimiento lo cual asegura un adecuado funcionamiento sin importar las condiciones del lugar donde se encuentre ubicado. Cumple con las recomendaciones de NWS (National Weather Service) de 16.5 cm de diámetro y puede registrar hasta 10,584 intervalos.

3.1.1 Calibración del pluviómetro

Para la calibración del pluviómetro se utilizó una jeringa la cual es utilizada para la inyección de agua en cada uno de los cangilones. Para el proceso se conoce que el diámetro de la boca de captación del pluviómetro es de 164 mm, por lo que el área de la boca de captación es:

Ec. (8)

$$A = \pi * r^2$$

Fuente: (Rivera, 2015)

Donde r es el radio de la boca de captación del pluviómetro. Reemplazando los valores del pluviómetro de la estación meteorológica Davis Instruments 6152/6162 Vantage Pro2 en la ecuación 8, se obtiene que el área de la boca de captación es 21124.07 [mm²].

La jeringa dará una columna de precipitación de 0.2mm, por lo que la columna de precipitación que puede ser recogida por cada cangilón es establecida por la ecuación 9.

Ec. (9)

$$CAC = ABC * CPJ$$

Fuente: Elaborado por autores.

Donde CPJ es la columna de precipitación de la jeringa, ABC es el área boca de captación y CAC es la capacidad de almacenamiento por cubetilla.

Reemplazando los valores anteriormente mencionados en la ecuación 9 se obtiene la capacidad de almacenamiento por cubetilla la cual nos indicara la medida de calibración de la cada cubetilla:

$$CAC = 21124.07 [mm^2] * 0.2 [mm]$$

$$CAC = 4224.81 [mm^3] = 4.225 [cm^3]$$

Para realizar la calibración del pluviómetro se siguió el siguiente procedimiento, se procede a retirar el embudo del pluviómetro para acomodar la báscula de cubetillas de

manera que uno se encuentre balanceado hacia un lado, se acomoda nuevamente el embudo del pluviómetro y se vierte 0.2 mm de agua por medio de una jeringa sin el émbolo para que la única fuerza que actúe sobre la columna de precipitación a verter, sea causada por la gravedad y se eviten posibles fallas en la medición. Se realiza el mismo procedimiento para ambas cubetillas, hasta que la cubetilla cumpla con la medida de 4.225 ml. En caso de no obtener esta medida en la salida, lo que se realiza es el ajuste del posicionamiento de las cubetillas, al enroscar o desenroscar las tuercas que sostienen el mecanismo de balanza del pluviómetro hasta obtener la capacidad de almacenamiento por cubetilla deseada.

3.1.2 Curvas de calibración

Para obtener las curvas de calibración del pluviómetro, se utilizó una bomba sumergible HAIKE HK-200 (Figura 21), las características de esta bomba se encuentran en la tabla 11.

Tabla 11 Características bomba HAIKE HK-200

Característica	Descripción
Alimentación	Voltaje AC 110-120V – 60Hz
Potencia	2.5 W
Altura máxima	40 cm
Caudal máximo	150 L/h
Calibre de salida (Diámetro)	8 mm

Fuente: (Liang, 2019)[Tabla]. Recuperado de:
<https://es.aliexpress.com/item/32797738979.html>

Figura 21 HAIKE HK-200



Fuente: Elaborado por autores.

Con el fin de obtener el caudal promedio que pasa por la sección de la bomba se realizó un aforo ya que esta bomba posee 4 niveles de variación de caudal, los resultados se pueden observar en la tabla 12.

Tabla 12 Método de Aforo - Caudal promedio

Medida 1 (mm/h) o (L/h)	Medida 2 (mm/h) o (L/h)	Medida 3 (mm/h) o (L/h)	Medida 4 (mm/h) o (L/h)	Medida Promedio (mm/h) o (L/h)
29,13	30,441	28,167	28,254	28,998
75,23	77,381	72,63922	72,6143	74,46613
93,78	92,46	94,4609	96,128	94,207225
96,9435	104,2	102,82	98,7898	100,688325

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó la bomba sumergible para tener un caudal constante, se realizaron 4 pruebas en donde se ingresaron 10 Litros de agua de un recipiente a la boca del pluviómetro por medio de la bomba antes mencionada, se midieron los pulsos y se realizó la equivalencia para obtener el total de precipitación como se describe en la Tabla 13.

Tabla 13 Pruebas a diferentes caudales curvas de calibración

No prueba	Caudal	Precipitación medida (mm)	Precipitación real (mm)	Error relativo (e.)	Error medio	Valor medio de Im (mm)	Valor medio Ir (mm)
1	100.688	10.92	10	9.2	4.40056	10.398456	10
	100.688	10.16	10	1.6			
	100.688	9.896	10	1.04			
	100.688	10.272	10	2.72			
	100.688	10.74428	10	7.4428			
2	94.207	10.95	10	9.5	4.2623784	10.1372822	10
	94.207	9.9376108	10	0.623892			
	94.207	10.4588	10	4.588			
	94.207	9.7	10	3			
	94.207	9.64	10	3.6			
3	74.46613	10.96	10	9.6	7.8494	10.40574	10
	74.46613	11.36	10	13.6			
	74.46613	9.052	10	9.48			
	74.46613	10.3967	10	3.967			
	74.46613	10.26	10	2.6			
4	28.998000	7.054	10	29.46	30.072	6.9928	10
	28.998000	6.93	10	30.7			
	28.998000	7.09	10	29.1			
	28.998000	6.89	10	31.1			
	28.998000	7	10	30			

Fuente: Elaborado por autores.

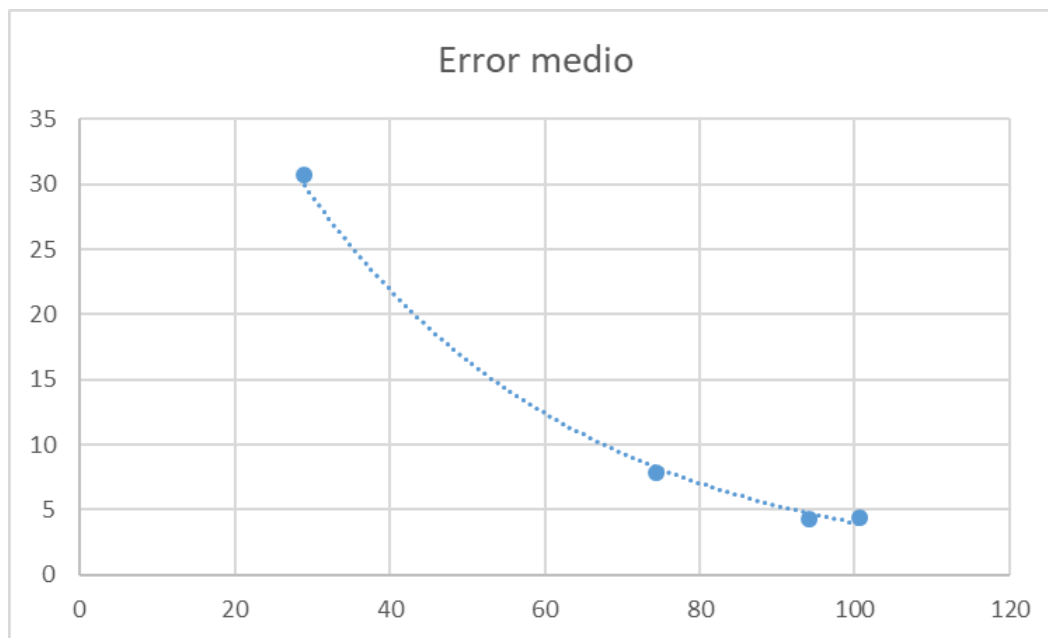
La curva de calibración del pluviómetro (Grafica 2), muestra el error medio una vez calibrado el sensor, los datos obtenidos se denotan en la Tabla 14.

Tabla 14 Intensidad vs Error medio

Intensidad (mm/h)(L/h)	Error medio
100,688325	4,40056
94,207225	4,2623784
74,46613	7,8494
28,998	30,72

Fuente: Elaborado por autores.

Grafica 2 Error medio curva de calibración del pluviómetro



Fuente: Elaborado por autores

El comportamiento de las curvas de calibración de este pluviómetro muestra un error en cuanto las intensidades bajas de precipitación ya que este oscila entre el 30.72%, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de realizar el manejo o uso de los datos que se

obtienen en el aplicativo. El manejo de este error del pluviómetro lo realizan los analistas por medio de modelos o técnicas matemáticas

Este procedimiento de medición y captura de datos para las curvas fue seguido por el trabajo de grado (Apache, 2018) donde se obtuvo un comportamiento muy similar a algunos de los pluviómetros calibrados en este documento.

NOTA: En algunas pruebas se tuvo presencia de errores con los cuales fue necesario detener el procedimiento y volver a realizarlo, ya que en algunos casos cuando el embudo tenía gran cantidad de agua se ejercía más presión a la hora de salida del agua a la cubetilla, es por ello que en algunos momentos este realizaba movimientos en donde no se dejaba de polarizar el imán el cual cierra y abre el contacto, obteniendo una señal constante de pulsos cuando se tenían altos caudales y el embudo conseguía llenarse a un volumen muy elevado.

Capítulo 4

4.1 Diseño de la red

La importancia del diseño de red en el presente proyecto se basa en la distribución de los nodos para asegurar una adecuada comunicación entre ellos, es por ello que en este capítulo se propone el diseño de red, los cálculos de cada punto seleccionados para así corroborar el adecuado diseño para la transmisión de datos, los esquemas eléctricos y el montaje de los mismos.

4.1.1 Diseño de red propuesto

Una red de sensores WSN está compuesta por una red de comunicaciones inalámbrica y la distribución de los sensores en un espacio donde se permita la transmisión adecuada de los datos, esta red puede tener diferente tipología de diseño según las necesidades.

El lugar donde se realiza el diseño de la red WSN es en la Universidad Nacional en la sede Bogotá, la red de sensores se dispondrá con el propósito de obtener la información para su posterior distribución a docentes y estudiantes.

Se identifican 6 puntos que corresponden a edificios de la universidad Nacional en donde se ubicaran los nodos que monitorean el flujo pluvial en la ciudad de Bogotá. En la Figura 22 se puede observar la distribución de estos nodos con ayuda de la herramienta Google Earth.

Figura 22 Nodos de red



Fuente: (Ortiz, 2016)

Para la implementación se realizó un estudio del lugar, contemplando casos como la altura a la cual se debe colocar el sensor y el posicionamiento para una adecuada línea de vista del transmisor y receptor para la correcta transmisión de datos, la distancia que tiene un sensor a otro para cubrir la mayor área disponible y así obtener distintas medidas pluviales dentro del campus, la verificación que cada punto en la red cuente con una alimentación a energía para realizar su debida conexión y posibles interferencias que se puedan tener en el campus.

4.1.2 Interferencias

Existen interferencias que limitan el rendimiento del sistema de transferencia de datos en su comunicación, estas radiaciones electromagnéticas pueden ser tanto externas como internas.

El módulo de comunicación elegido en este proyecto trabaja a 433MHz y según el espacio suburbano donde se realiza el montaje de la red, se identifica como principal interferencia las alarmas de los vehículos y controles remotos, Sin embargo, es

importante tener en cuenta que existen otras interferencias como lo son el esfumado de lluvia el cual no tendría inconveniente en esta red, ya que son prevalentes en frecuencias mayores a 11GHz. Así mismo, en algunos nodos de la red, la línea de vista se encuentra obstaculizada o con interferencias de árboles y edificios, pero según las pruebas realizadas, la señal atraviesa los obstáculos por medio de la ley de difracción, pero esta solo disminuye la potencia de la señal, sin embargo, lora posee un factor de sensibilidad muy bajo que permite la transferencia de datos desde el transmisor al receptor así la señal haya pasado por este efecto, también se puede observar que en muchos casos ayuda la ley de reflexión ya que la señales se reflejan sobre estos obstáculos permitiendo que llegue señal al receptor.

Según la resolución 181 de 2019 de la ANE, las bandas de frecuencia restringidas para radiadores de aplicaciones no específicas, son las observadas en la Tabla 15. En este proyecto al utilizar una banda de frecuencia de 433 MHz, no causaría interferencias en cuanto a estas bandas y cumpliría con la normativa de la ANE.

Tabla 15 Bandas restringidas según la ANE

Bandas restringidas (MHz)			
0.09 - 0.11	0.495 - 0.505	2.1735 - 2.1905	4.125 - 4.128
4.17725 - 4.17775	4.20725 - 4.20775	6.215 - 6.218	6.26775 - 6.26825
6.31175 - 6.31225	8.291 - 8.294	8.362 - 8.366	8.37625 - 8.38675
8.41425 - 8.41475	12.29 - 12.293	12.51975 - 12.52025	12.57675 - 12.57725
13.36 - 13.41	16.42 - 16.423	16.69475 - 16.69525	16.80425 - 16.80475
25.5 - 25.67	37.5 - 38.25	54 - 72	73 - 74.6
74.8 - 75.2	76 - 88	108 - 121.94	123 - 138
149.9 - 150.05	156.52475 - 156.52525	156.7 - 156.9	162.0125 - 167.17
167.72 - 173.2	174 - 216	240 - 285	322 - 335.4
399.9 - 410	470 - 849	851 - 915	935 - 936.125
939 - 1240	1300 - 1626.5	1645.5 - 1646.5	1660 - 1780
1850 - 1990	2050 - 2180	2200 - 2400	2483.5 - 2900
3260 - 3267	3300 - 4400	4500 - 5150	5350 - 5460
7250 - 7750	8025 - 8500	9000 - 9200	9300 - 9500
10600 - 12700	13250 - 13400	14470 - 14500	15350 - 16200
17700 - 21400	22010 - 23120	23600 - 24000	31200 - 31800
36430 - 36500			

Fuente: (ANE, 2019) [Tabla] Obtenido de: http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_f2db4816f9df4c4ca049bb4bfac79744

4.1.3 Cálculos diseño de red

A continuación, se encuentra el cálculo realizado para hallar la zona de Fresnel de los distintos puntos de comunicación utilizando la ecuación 10, donde se realizan las medidas de la línea de vista en Google Maps de cada uno de los puntos de los pluviómetros desde el nodo central. La frecuencia utilizada en el módulo es de 433,785 MHz.

Ec. (10)

$$r = 8.657 * \sqrt{\frac{0.6 * D}{f}}$$

Fuente: (Tricalcar, 2007)

Donde r es el radio de la zona de Fresnel en m, D es la distancia en Km entre la antena transmisora y la antena receptora y f es la frecuencia utilizada para la transmisión de datos en GHz.

Se realiza el cálculo de las pérdidas de espacio libre por medio de la ecuación 11 y se procede a calcular el alcance de la señal (Ecuación 12) donde se halla la distancia máxima que puede tener la señal emitida por la antena, teniendo en cuenta la altura del edificio y la altura respecto al último piso del edificio a la cual va a ser posicionado el sistema de comunicación.

Ec. (11)

$$L_{fs} = 32.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

Fuente: (ITU, 2019)

Donde L_{fs} es la pérdida de espacio libre en dB, D es la distancia en Km entre la antena transmisora y la antena receptora y F es la frecuencia utilizada para la transmisión de datos en MHz.

Ec. (12)

$$Al = \sqrt{17 * h1} + \sqrt{17 * h2}$$

Fuente: (Tricalcar, 2007)

Donde Al es el alcance máximo en Km, $h1$ es el alcance de la antena transmisora en m $h2$ es el alcance de la antena receptora en m.

Se procede a calcular la potencia de recepción de datos según las ecuaciones de Maxwell, las cuales permiten conocer la potencia recibida en el espacio libre dada por la Ecuación 13.

Ec. (13)

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{fs}$$

Fuente: (Tricalcar, 2007)

Donde P_{rx} es la potencia del receptor en dBm, P_{tx} es la potencia de transmisión en dBm G_{tx} es la ganancia de la antena transmisora en dBi, G_{rx} es la ganancia de la antena receptora en dBi y L_{fs} es la pérdida de espacio libre en dB.

Se sustituyen los valores de cada zona donde la potencia de transmisión está parametrizada por Arduino a 18 ± 1 dbm lo que es equivalente a 63 ± 1.25 mW y las ganancias de las antenas utilizadas son de 3 dBi.

Los resultados de cada zona se encuentran documentados en la tabla 16

Tabla 16 Resumen de cada zona con los cálculos de red

Zona	<i>D</i> (m)	<i>r</i> (m)	<i>L_{fs}</i> (dB)	<i>Al</i> (Km)	<i>P_{rx}</i> (dBm)
1. Laboratorios de Hidráulica –	346,89	3,5979	75,999	30,557	-49,999

Facultad de Medicina					
2. Laboratorios de Hidráulica – Capilla	664,67	4,9803	81,648	25,881	-55,648
3. Laboratorio de Hidráulica – Edificio de Ciencias Humanas	731,98	5,226	82,485	28,44	-56,485
4. Laboratorios de Hidráulica – Hemeroteca	1060	6,289	85,702	30,959	-59,702
5. Laboratorios de Hidráulica – Concha Acústica	603,78	4,747	80,813	25,59	-54,813
6. Laboratorio de Hidráulica – Instituto de Genética	487,12	4,263	78,95	26,23	-52,95
7. Laboratorios de Hidráulica – Punto adicional	1120	6,46	86,18	29,83	-60,18

Fuente: Elaborado por autores.

Nota: Donde D es la distancia en Km entre la antena transmisora y la antena receptora, r es el radio zona de Fresnel, L_{fs} es la pérdida de espacio libre durante la transmisión de datos, Al es el alcance máximo que puede tener la transmisión cuando los módulos se encuentran libres de interferencias y con línea de vista, P_{rx} es la potencia del receptor.

4.1.4 Pruebas de comunicación

Se realizaron pruebas de comunicación en envío y confirmación de paquetes durante 2 minutos entre los distintos nodos donde se encuentran los pluviómetros hacia el nodo central, esto para corroborar el envío y recepción de datos de donde se obtuvieron los resultados documentados en la Tabla 17.

Tabla 17 Pruebas transmisión de datos

Nodo central – Nodo Transmisor	Distancia (m)	Paquetes enviados	Paquetes perdidos	RSSI medio (dbm)
Laboratorios de Hidráulica – Facultad de Medicina	346.89	40	0	-32.15
Laboratorios de Hidráulica – Capilla	664.67	40	0	-47.42
Laboratorio de Hidráulica – Edificio de Ciencias Humanas	731.98	40	1	-55.78
Laboratorios de Hidráulica – Hemeroteca	1060	40	2	-68.41
Laboratorios de Hidráulica – Concha Acústica	603.78	40	0	-43.37
Laboratorio de Hidráulica – Instituto de Genética	487.12	40	0	-38.26
Laboratorios de Hidráulica – Punto adicional	1120	40	2	-79.77

Fuente: Elaborado por autores

4.2 Arquitectura de la red

En la arquitectura de las redes WSN se encuentra un nodo central o un Cluster Head Node con el objetivo de recolectar toda la información de los nodos de la red. En el diseño de esta red cualquiera de los nodos puede funcionar como nodo central ya que cada uno cuenta con la electrónica necesaria para transmitir los datos de cada sensor a la página web, pero se establece tener un nodo central con las siguientes especificaciones:

- ✓ Como en el nodo central se maneja el protocolo MQTT es necesario tener acceso al servidor CloudMQTT por lo tanto se requiere una conexión a una red Wireless, la cual esta proporcionada únicamente en el punto de los laboratorios de Hidráulica de la Universidad Nacional.

- ✓ Se plantea el uso de un Datalogger el cual adiciona elementos a la arquitectura electrónica para que el sistema no dependa únicamente del acceso al servidor y cumpla el objetivo de tener un registro de los datos de la red de sensores, esto como punto adicional pero no obligatorio para el proyecto.

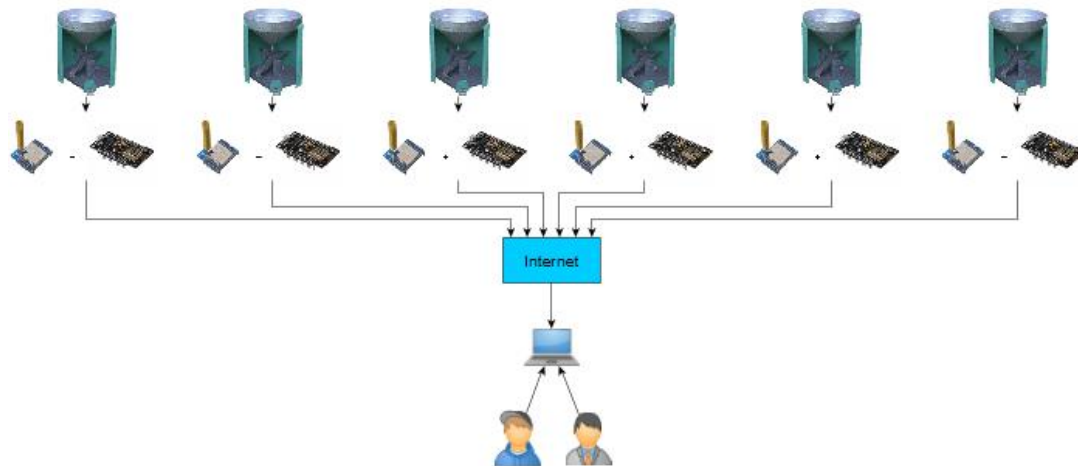
- ✓ Configurar el nodo como el único receptor de la red el cual maneje los datos para su posterior aplicación según los requerimientos.

- ✓ Se requiere un transmisor y un receptor por el tipo de comunicación que se tiene (Radiofrecuencia), además se plantea una red de sensores en la cual es necesario tener la comunicación entre todos los nodos, la cual utiliza una topología de red de estrella con el fin de que todos los datos sean enviados al nodo central y este sea el encargado de distribuir la información a los transmisores en caso de que sea necesario.

La información obtenida por cada uno de los sensores será transmitida a la página web diseñada, con el fin de que exista un entorno donde las directivas y estudiantes de la Universidad Nacional puedan acceder desde un computador central que contendrá toda la información requerida. La transmisión de los datos cuenta con un delay de aproximadamente 5 minutos para ser visualizada en la página Web.

En la figura 23 se puede observar cómo estarían distribuidos los pluviómetros cada uno con sus respectivos módulos Node MCU y Lora Ra01 para la adecuada transmisión de los datos que se obtienen a un computador central en el cual los estudiantes y directivas podrán consultar la información obtenida.

Figura 23 Esquema de red de sensores WSN



Fuente: Elaborado por autores.

4.3 Circuito de transmisión de datos

A continuación, se encuentran las especificaciones de los módulos Lora Ra01 y Node MCU para la conexión del circuito de transmisión de datos que envía el pluviómetro:

El Node MCU (Figura 24) es una placa de desarrollo de Software y Hardware el cual tiene incorporado un chip Esp8266 (System on a Chip) el cual funciona como microcontrolador y una tarjeta WiFi, lo que permite esta placa es realizar proyectos que conllevan principalmente temáticas de IoT donde se requieran conexiones inalámbricas. (Llamas, 2018)

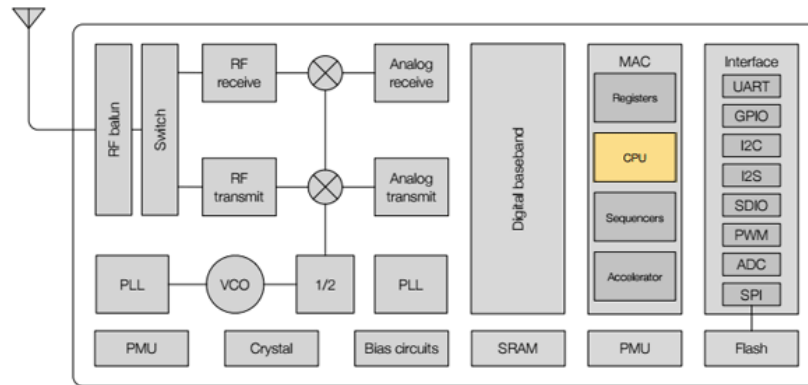
Figura 24 Node MCU – ESP8266



Fuente: (Hernandez, 2018) [Figura]. Recuperado de:
<https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>

Dentro del Datasheet del ESP8266 se puede observar que se encuentra una MCU (Microcontrolador) la cual tiene como objetivo controlar todas las entradas y salidas del programa que se vaya a cargar en el Node MCU en la figura 25, se encuentra el diagrama del circuito interno del ESP8266 el cual trabaja a 32 bits y en unas frecuencias entre 80 y 160 MHz.

Figura 25 Diagrama ESP8266

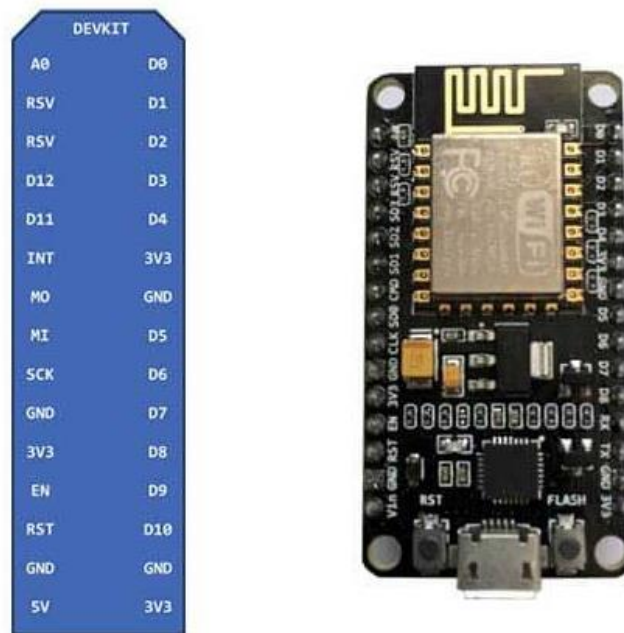


Fuente: (Hernandez, 2018) [Figura]. Recuperado de:

<https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>

Adicionalmente el Node MCU cuenta con un cable de comunicación USB al computador, utiliza una RAM de 50 Kb, tiene una entrada analógica y 17 pines de entrada o salida digitales GPIO (General Purpose Input/Output) y además cuenta con una tarjeta WIFI de 2.4 GHz. En la figura 26 se observan los pines del Node MCU.

Figura 26 Pines Node MCU

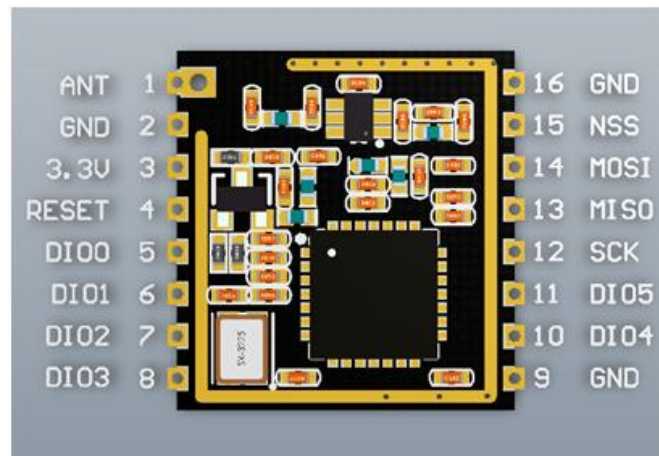


Fuente: Elaborado por autores.

Según las especificaciones en (Ai-Thinker, 2017) el Lora Ra01 es un módulo utilizado en proyectos IoT, el cual permite la transferencia de datos de comunicaciones de espectro ensanchado, además de ser un módulo que minimiza el consumo de corriente e incrementa la resistencia a posibles interferencias que puedan ocurrir en el envío de datos. Trabaja a una potencia de 20dBm-100mW, opera con un voltaje entre 1.8 y 3.7 V, el rango de frecuencias que utiliza varían entre 420 y 450 MHz, se permite la comunicación Half-Duplex SPI (Serial Peripheral Interface) con envío de paquetes de bits de hasta 300 kbps.

En la figura 27 se encuentra la distribución de los pines del Lora Ra01.

Figura 27 Distribución de los pines Lora Ra01



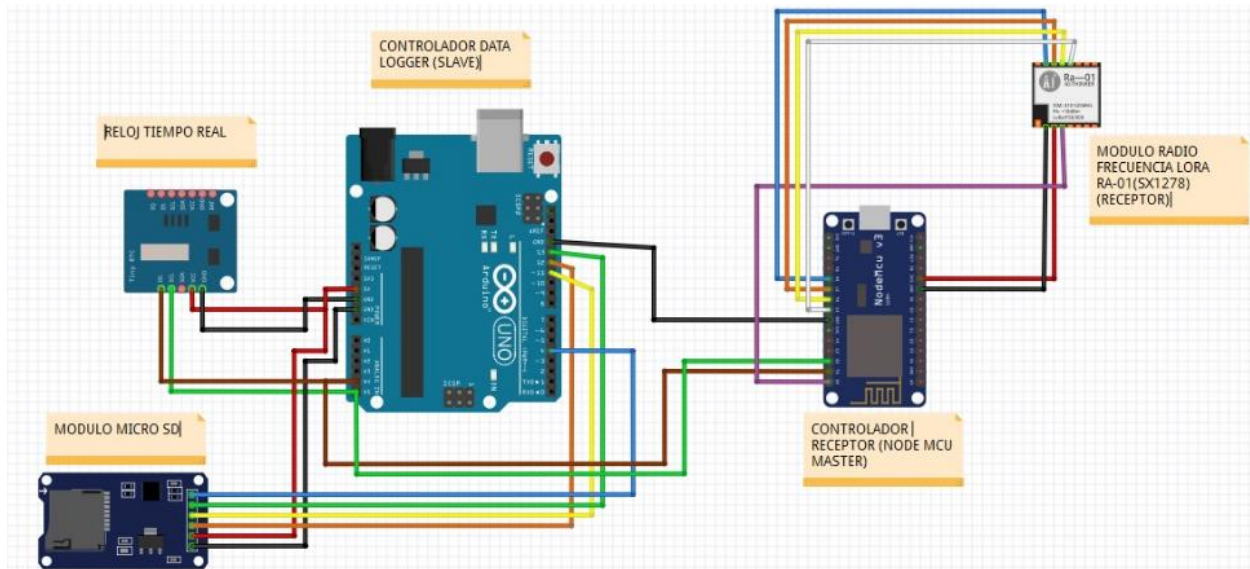
Fuente: (Ai-Thinker, 2017) [Figura]. Recuperado de: https://wiki.ai-thinker.com/_media/lora/docs/c047ps01a1_ra-01_product_specification_v1.1.pdf

Dentro de las aplicaciones que son comúnmente utilizadas por este dispositivo se encuentra la lectura automatizada de red de distinto tipo de sensores, utilizado en aplicaciones de domótica o automatización de edificios, sistemas inalámbricos de alarma y seguridad o monitoreo y control industrial entre otros.

En el Anexo A. se encuentran algunas especificaciones del SX1278.

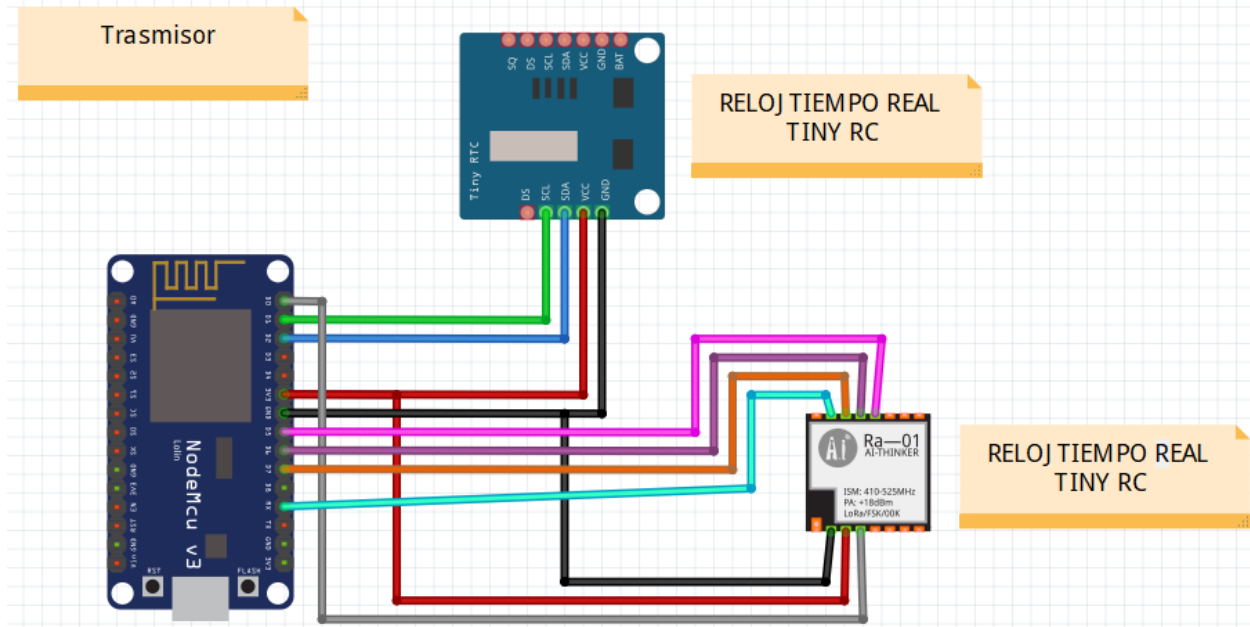
Se realizó los esquemas del diagrama de conexión del módulo central compuesto por el sistema receptor de la transmisión de datos y el datalogger (Figura 28) y el diagrama de conexión del transmisor (Figura 29).

Figura 28 Esquemático sistema receptor de la transmisión de datos y datalogger



Fuente: Elaborado por autores.

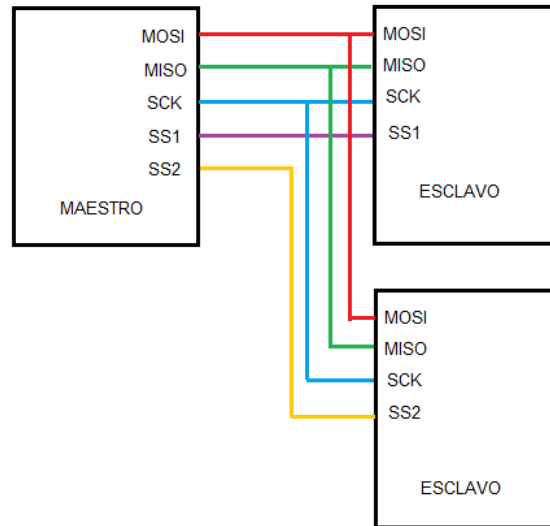
Figura 29 Esquemático sistema de transmisión



Fuente: Elaborado por autores.

El funcionamiento del circuito se basa en una configuración donde diferentes esclavos envían datos al maestro como se puede observar en la Figura 30.

Figura 30 Diagrama Maestro-Esclavo



Fuente: Elaborado por autores.

En la figura 31 se puede observar el primer montaje del circuito en unas baquelas, donde fueron soldados los dispositivos y colocados en unas cajas negra de 20 x 20 x15 cm, donde sobresale la antena de transmisión.

Figura 31 Montaje de las cajas circuitos de transmisión de datos



Fuente: Elaborado por autores.

Capítulo 5

5.1 Desarrollo aplicativo

En este capítulo se trabaja el desarrollo del aplicativo, con las respectivas especificaciones y diagramas que dan una explicación más clara de su funcionamiento.

5.2 Definición de actores

En la tabla 18 se encuentran definidos los actores que van a interactuar con el sistema, los cuales pueden ser usuarios, programadores o sistemas externos. Se encuentra una breve descripción de los requerimientos funcionales que tiene cada actor.

Tabla 18 Descripción Actores

Actor	Descripción
Administrador	Se refiere a la persona encargada de supervisar la funcionalidad del sistema y de reportar problemas con el aplicativo.
Programador	Se refiere a la persona encargada de solucionar los problemas que se presenten en la funcionalidad del sistema y de las actualizaciones en caso de que se requiera.
Usuario	Se refiere a la persona que podrá visualizar los datos obtenidos de los pluviómetros y recopilarlos para posteriores análisis.

Fuente: Elaborado por autores.

5.3 Requerimientos funcionales

En las tablas 19 y 20 se encuentran las descripciones del sistema las cuales se especifican como requerimientos funcionales en donde se incluye la descripción del requerimiento, las entradas y salidas que corresponden a la acción de cada requerimiento.

Tabla 19 Conjunto de requerimientos funcionales

Requerimiento	Tipo
Registrar Datos Pluviómetro	Obligatorio
Visualizar Estado Pluviómetros	Obligatorio
Visualizar Gráficos de Precipitación	Obligatorio
Visualizar históricos datos pluviómetro	Obligatorio

Fuente: Elaborado por autores.

Tabla 20 Definición de requerimientos funcionales

Nombre de requerimiento	Descripción	Entrada	Salida
Registrar Datos Pluviómetro	Los datos obtenidos de los pluviómetros serán almacenados en la base de datos	Datos del pluviómetro	Datos almacenados en la base de datos
Visualizar Estado Pluviómetros	Podrá ser visualizado cuando un pluviómetro realiza envío de datos a la central, para ser almacenados y visualizados en la aplicación.	Datos del pluviómetro	Visualización de unas bombillas cuando llega un nuevo dato del pluviómetro.
Visualizar Gráficos de Precipitación	Podrá ser visualizado cuando un pluviómetro realiza envío de datos a la central, para ser almacenados y visualizados en la aplicación.	Datos del pluviómetro	Visualización de graficas en el aplicativo, donde se van actualizando a medida que llegan datos del pluviómetro.
Visualizar históricos datos pluviómetro	El usuario podrá visualizar mediante graficas la precipitación que se obtiene de los datos del pluviómetro.	Rango de fechas de calendario	Visualización de graficas del histórico entre las fechas establecidas.

Fuente: Elaborado por autores.

5.4 Requerimientos no funcionales

En la tabla 21 se encuentran las descripciones de funcionamiento del sistema las cuales se especifican como requerimientos no funcionales en donde se incluye la descripción de cada requerimiento.

Tabla 21 Definición de requerimientos funcionales

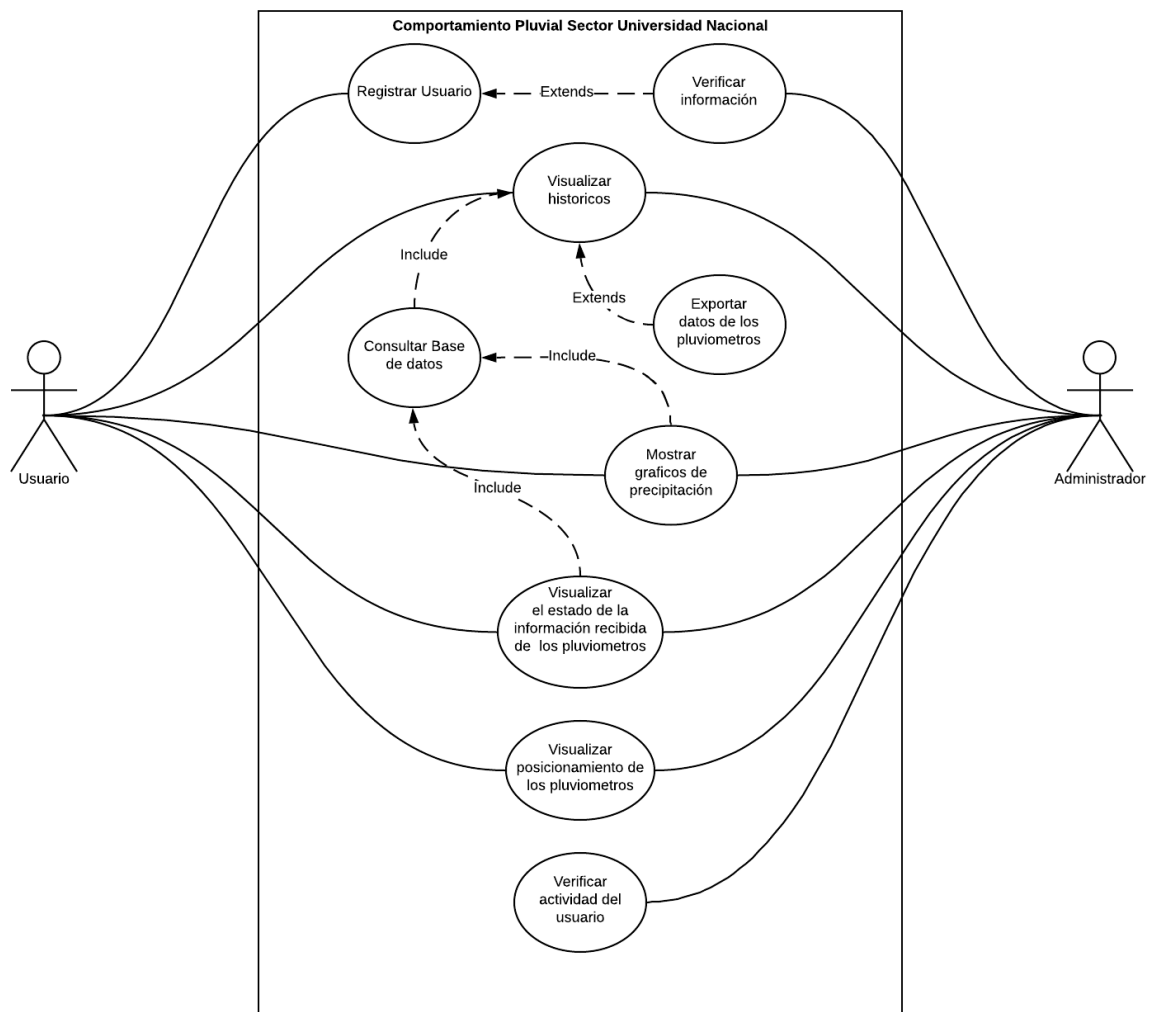
Requerimiento no funcional	Descripción
Concurrencia	El sistema deberá tolerar (n) registros que se hagan de acuerdo a la información recibida por los pluviómetros.
Actualización datos	El sistema debe realizar la actualización de los datos obtenidos por el pluviómetro cada n segundos.
Accesibilidad	El sistema deberá ser accesible desde el computador que funciona como punto central.

Fuente: Elaborado por autores.

5.5 Diagrama casos de uso

En la figura 32 se puede observar las acciones que se van a ejecutar dentro de la aplicación por parte de los actores.

Figura 32 Diagrama casos de uso Aplicación Web



Fuente: Elaborado por autores.

5.6 Diagramas de flujo

En los anexos B, C, D, F, G y H se encuentran los diagramas de flujo de los códigos realizados para la implementación de la página web con su adecuado funcionamiento.

5.7 Diseño página web

























Se utiliza el servidor Unisever (Wamp) por su facilidad de uso, el poco espacio que ocupa en memoria y por las facilidades con las que cuenta para la realización del proyecto; se realizó la configuración con el protocolo MQTT para la conexión entre el Arduino uno y

el Esp8266; se trabaja con las plataformas PHP, HTML y JAVASCRIPT para el desarrollo web de la página, por medio de Python 3.7 y herramientas que contiene, se realiza la conexión con el broker del servidor de Cloud MQTT y con la base datos del servidor local “Uniserver” el cual permite realizar el almacenamiento de los datos de los pluviómetros, trabajar con ellos por medio de consultas PHP y su posterior visualización en la página Web. Las variables de horarios y tiempos de las páginas web están dadas por el computador.

Entre otras herramientas utilizadas en el diseño de la página Web se encuentra el Backend el cual permite realizar funciones como la conexión con el servidor, etc. Sublime el cual fue una herramienta que permitió realizar el diseño web el cual permite de manera dinámica la edición del código de la página web.

Como se puede observar en la figura 33 se encuentra de manera gráfica cuando los pluviómetros detectan lluvia en el sector donde se encuentran; en el momento de que se realice él envió de datos de cualquier sensor, se activara la bombilla avisando de que en este sector se detecta lluvia.

Figura 33 Detección de lluvia en el sector

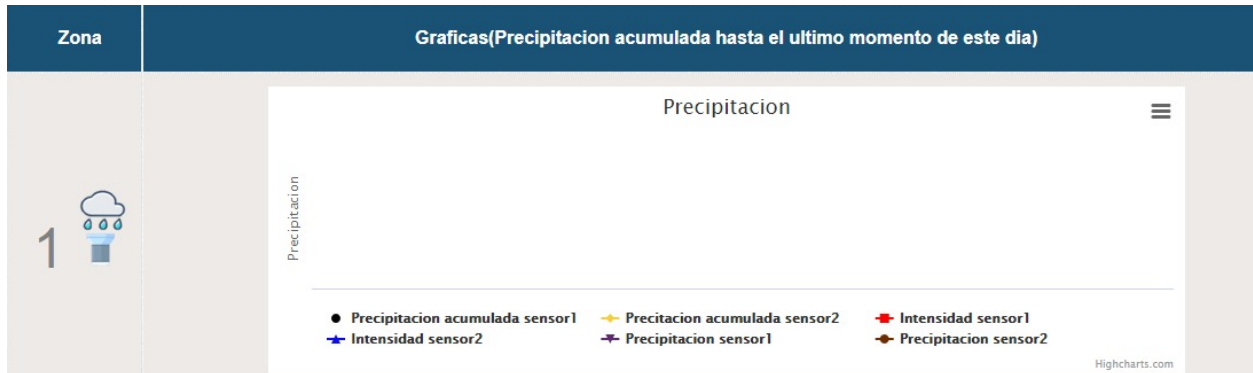
Sensor	Estado	Sensor	Estado
1 		2 	
3 		4 	
5 		6 	
7 		8 	
9 		10 	
11 		12 	

NOTA:Esta informacion se actualiza cada 5 minutos

Fuente: Elaborado por autores.

En la figura 34 se puede observar las gráficas de cada sensor a nivel pluviométrico, donde se puede observar el registro de precipitación acumulada e intensidad que se ha captado durante el día.

Figura 34 Gráficas precipitación acumulada e intensidad diaria



Fuente: Elaborado por autores.

Además, el usuario tiene la facilidad de escoger la fecha en la cual desea observar el registro de precipitación acumulada e intensidad, obteniendo la gráfica con el registro y una tabla de cada uno de los sensores con el histórico de los datos como se puede observar en la figura 35.



Figura 35 Registro histórico

Tabla de Precipitación Mensual, Promedio y Anual													
Zona	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
zona1	0	0	0	0	5.715	159	0	9.395	0	0	0	0	174.11
zona2	0	0	0	0	0	37.72	0	0	0	0	0	0	37.72
zona3	0	0	0	0	0	26.16	0	76.07	0.375	0	0	0	102.605
zona4	0	0	0	0	0	32.005	0	0	0	0	0	0	32.005
zona5	0	0	0	0	0	25.02	0	0	0	0	0	0	25.02
zona6	0	0	0	0	0	27.3	6.86	0	0	0	0	0	34.16
promedio	0	0	0	0	0.9525	51.20083333333333	1.143333333333333	14.24416666666667	0.0625	0	0	0	67.60333333333333

Fuente: Elaborado por autores.

Se encuentra un mapa con cada una de las localizaciones de los sensores en la universidad nacional como se puede observar en la figura 37.

Figura 37 Localización de los sensores

Sensor	Estado
1-2) 	

Fuente: Elaborado por autores.

Por último, se encuentran los datos de los autores como se observa en la figura 38.

Figura 38 Datos diseñadores de la página web

creadores	contacto
Edgar Felipe Zapata Diaz	correo: ezapata02@unisalle.edu.co numero: 3124232028
Jhon Alejandro Angel Rodriguez	correo: jangel12@unisalle.edu.co numero: 3192597048

Fuente: Elaborado por autores.

5.7.1 Configuración protocolo MQTT

Para la configuración del protocolo MQTT, se utiliza un método de mensajería denominado publicación / suscripción, en donde el encargado de enviar la información se le conoce como publicador y realiza el envío de datos sin saber el destino, mientras el que recibe los mensajes, se le conoce como suscriptor, el cual no le importa de dónde proviene la información y es capaz de enviar la información que recibe a otros suscriptores. Este tipo de mensajería es administrado en la nube por servidores Mosquitto y CLOUDMQTT. (CloudMQTT, 2019)

En la figura 39 se puede observar un esquemático donde se encuentra la función que cumple el publicador en el envío de la información ubicando el envío de mensajes en una cola para ser recibidos por el suscriptor, esto permite que la comunicación se realice de manera asincrónica.

Figura 39 Diagrama de comunicación protocolo MQTT

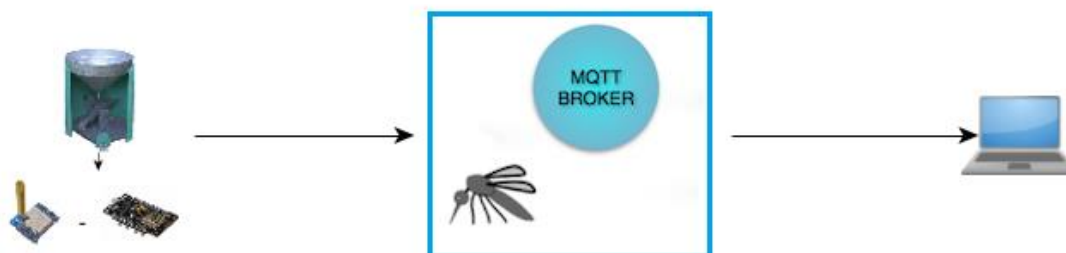


Fuente: (CloudMQTT, 2019) Figura]. Recuperado de:
<https://www.cloudmqtt.com/docs/index.html>

En este tipo de mensajería las colas de mensajes son configuradas y optimizadas para proyectos tipo IoT, lo que permite el funcionamiento adecuado en nuestro proyecto para el envío y recepción de datos de los pluviómetros a un punto central que sea desde un móvil celular o una computadora integrada con un microcontrolador. (CloudMQTT, 2019)

En la figura 40 se puede observar el esquemático que corresponde a la transmisión de los datos del pluviómetro para ser visualizados a través de CloudMQTT.

Figura 40 Esquemático proyecto CloudMQTT





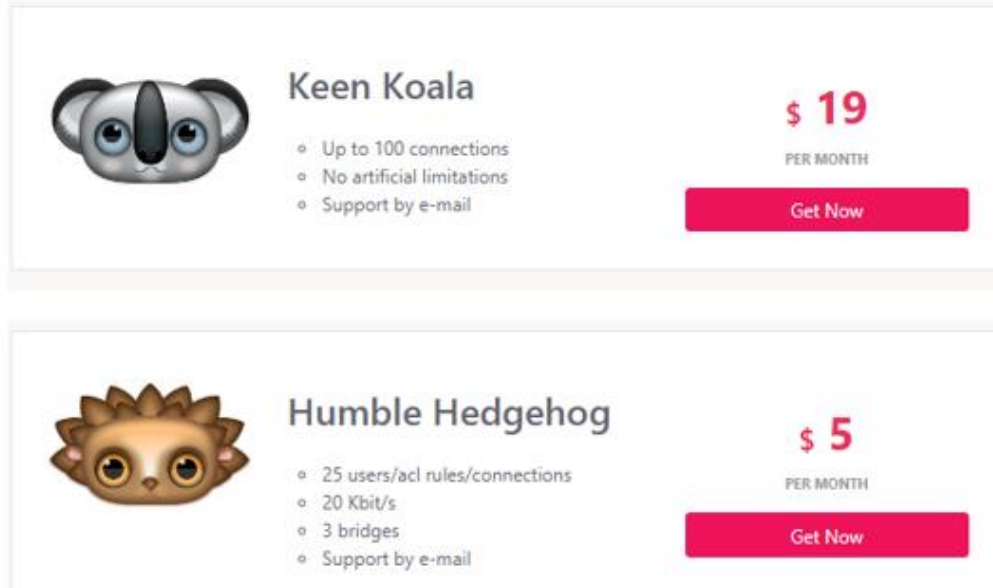
Fuente: Elaborado por autores.

MQTT es un protocolo conocido por el buen funcionamiento en proyectos de telemetría, en donde se encuentra la opción de utilizar el cliente CloudMQTT Websocket el cual permite observar aquellos mensajes que son enviados al navegador desde cualquier dispositivo, lo cual dentro del proyecto resulta útil, ya que permite ver con muy poco retraso la información obtenida desde los pluviómetros. (CloudMQTT, 2019)

A continuación, en la figura 41 se pueden observar los planes ofrecidos por CLOUDMQTT los cuales permiten realizar una instancia del proyecto a realizar. Son planes pagos, pero cuentan con excelentes características en proyectos de gran magnitud.

Figura 41 Planes ofrecidos por CLOUDMQTT

	<h3>Power Pug</h3> <ul style="list-style-type: none">Up to 10 000 connectionsNo artificial limitationsSupport by e-mailSupport by phone	<p>\$ 299 PER MONTH</p> <p>Get Now</p>
	<h3>Loud Leopard</h3> <ul style="list-style-type: none">Up to 1 000 connectionsNo artificial limitationsSupport by e-mail	<p>\$ 99 PER MONTH</p> <p>Get Now</p>

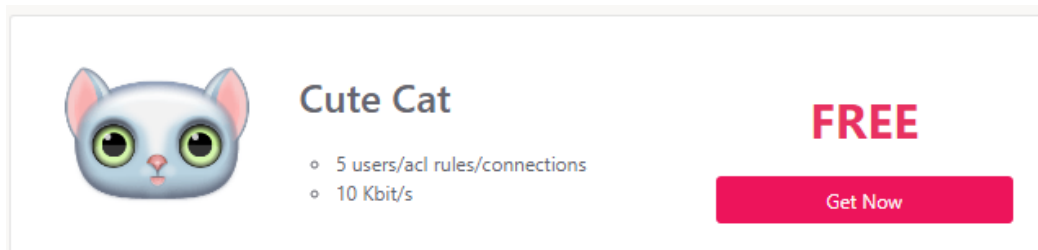


The image shows two pricing cards from CloudMQTT. The top card is for 'Keen Koala', featuring a koala emoji, a price of \$19 per month, and features: Up to 100 connections, No artificial limitations, and Support by e-mail. The bottom card is for 'Humble Hedgehog', featuring a hedgehog emoji, a price of \$5 per month, and features: 25 users/acl rules/connections, 20 Kbit/s, 3 bridges, and Support by e-mail. Both cards have a 'Get Now' button.

Fuente: (CloudMQTT, 2019) Figura]. Recuperado de:
<https://www.cloudmqtt.com/docs/index.html>

CLOUDMQTT ofrece un plan gratuito denominado “Cute Cat” que se puede observar en la figura 42, el cual se acomoda a las expectativas del proyecto, tiene una velocidad de transmisión de datos de 10 Kbit/s y permite la conexión de 5 usuarios y reglas ACL (Acces Control List).

Figura 42 Plan gratuito Cute Cat

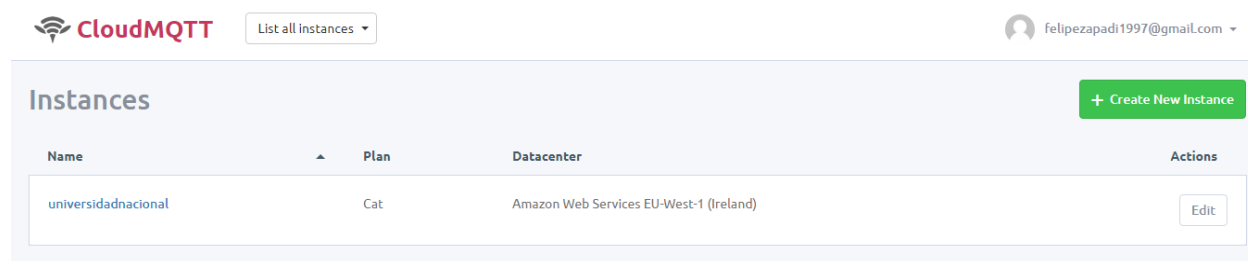


The image shows a pricing card for 'Cute Cat', featuring a blue cat emoji, a price of FREE, and features: 5 users/acl rules/connections and 10 Kbit/s. There is a 'Get Now' button.

Fuente: (CloudMQTT, 2019) Figura]. Recuperado de:
<https://www.cloudmqtt.com/docs/index.html>

En la figura 43 se puede observar la creación de una instancia del proyecto en CloudMQTT, donde se puede encuentra el nombre del proyecto, el plan utilizado y el Datacenter utilizado.

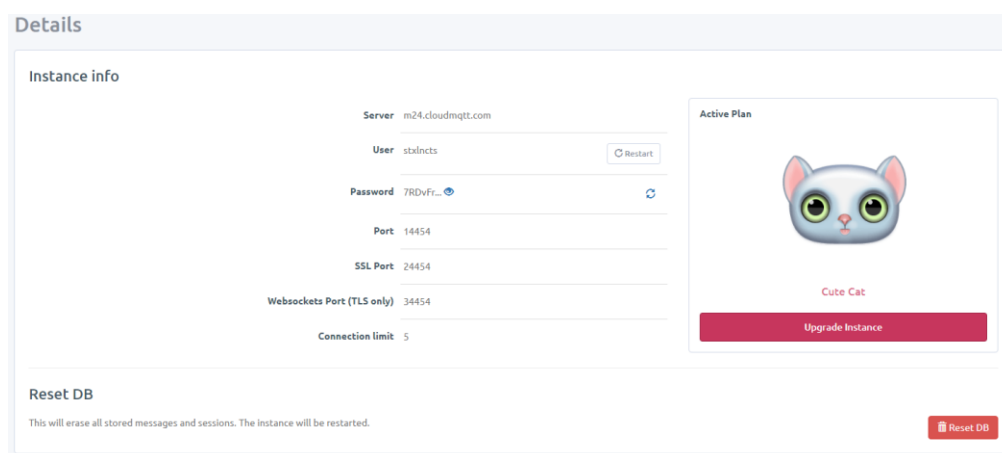
Figura 43 Creación instancia CLOUDMQTT



Fuente: Elaborado por autores.

Una vez creada la instancia, se puede observar toda la información de la instancia creada con sus respectivos detalles como lo es la información de conexión, el usuario y contraseña creados por defecto, el límite de conexiones, entre otros. Esto se puede observar en la figura 44.

Figura 44 Detalles de la instancia creada con toda su información general relacionada.



Fuente: Elaborado por autores

En la figura 45 se puede observar la definición del usuario de la aplicación que en este caso se define como campus y por consiguiente se encuentran definidas las reglas para la instancia creada. El tipo de regla ACL utilizado es “topico”, que en CloudMQTT se utiliza cuando la regla es definida para un usuario específico. Las reglas ACLs creadas corresponden a cada una de las zonas donde se encuentran ubicados los pluviómetros y estas se encuentran con la opción habilitada para lectura y escritura.

Figura 45 Detalles de Usuario y ACLs

Users

Name Search

Name
campus

Name Password

ACLs

Note:

- There are two types of ACL rules, topic and pattern. Topic ACLs is applied to a given user. Pattern ACLs is applied to all users.
- Use # for multi level wildcard acl.
- Use * for single level wildcard acl.
- Creating and deleting users and ACLs are asynchronous tasks and may take up to a minute. Pull list APIs to see when ready.

For API docs look at [HTTP API](#)

Type	Pattern	Read/Write	
topic	campus - /campus/zona5zona6	true/true	<input type="button" value="Delete"/>
topic	campus - /campus/zona1zona2	true/true	<input type="button" value="Delete"/>
topic	campus - /campus/zona3zona4	true/true	<input type="button" value="Delete"/>
topic	campus - /campus/estados	true/true	<input type="button" value="Delete"/>

Pattern

Read Access? Write Access?

Fuente: Elaborado por autores.

En la figura 46 se encuentra la interfaz del Websocket, desde donde se puede observar los datos que son recibidos por un topico, que corresponden a los datos recibidos por el pluviómetro. Además la interfaz permite la publicación de datos a un topico especificado.

Figura 46 Definición de usuarios y de reglas ACL

Websocket

Messages are displayed in real-time as they are received by the broker. It's not possible to view historical data.

Send message

Topic

Message

Received messages

▼

Topic	Message
-------	---------

Clear session

Clear any data for a client id

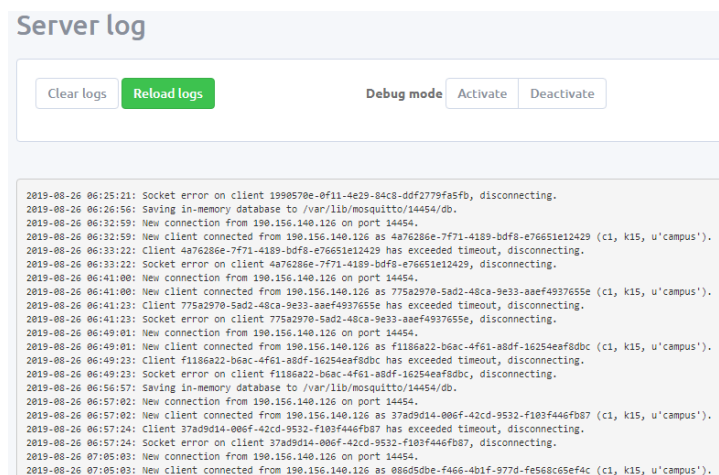
Client ID

Fuente: Elaborado por autores.

En la sección de estadísticas se pueden observar los tiempos de ejecución de la instancia creada de CloudMQTT, además se puede observar las conexiones que se tienen en ese momento conectadas a la instancia creada de CloudMQTT.

En la figura 47 se puede observar todos los registros realizados de la instancia generada en CloudMQTT, es de gran utilidad para observar las acciones que se realizan en tiempo real y da la facilidad para la visualización de posibles problemas que puedan ocurrir.

Figura 47 Registros instancia campus en Cloud MQTT

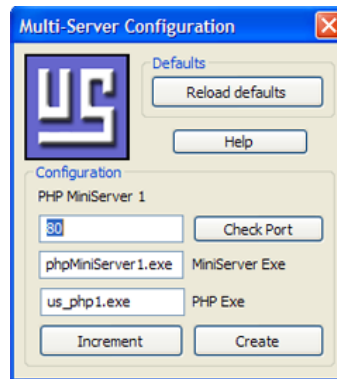


Fuente: Elaborado por autores.

5.7.2 Configuración Uniform Server

Uniform Server (Figura 48) es un complemento para el servidor WAMP, el cual es liviano y gratuito para Windows. Ocupa menos de 24 MB, cuenta con un diseño modular e incluye las últimas versiones de Apache2, Perl5, PHP lo cual brinda una buena compatibilidad con la realización de algún aplicativo. Además de que permite la ejecución de un servidor web en cualquier computador con un sistema operativo Windows, es de fácil descarga y se puede usar o configurar como un servidor de producción el cual es utilizado para la implementación de sitios web en vivo o aplicaciones web. (TripleO, 2014)

Figura 48 Uniform Server



Fuente: (TripleO, 2014) [Figura]. Recuperado de: <https://www.uniformserver.com/>

Cuenta con un alto nivel de seguridad en aplicaciones configuradas para un servidor creado en Uniform Server. Es de carácter móvil, esto quiere decir que el servidor puede ser transportado en una USB y ser ejecutado en cualquier computador sin dejar registro alguno en el momento que se deje de utilizar. Además, permite de manera sencilla la configuración y administración de los parámetros definidos del servidor e implementa registros de errores para la identificación de posibles problemas que puedan ocurrir en el servidor.

Entre otras herramientas utilizadas para la transmisión de datos a través del esp8266, encontramos los siguientes:

AJAX: Utilizado para el desarrollo de páginas web donde se puedan implementar aplicaciones como en el caso de este trabajo de grado sería el monitoreo de una red de sensores. Utiliza lenguaje Javascript y XML teniendo en cuenta que este tipo de recurso es utilizado para el intercambio de información entre aplicaciones. Utiliza un método asíncrono lo que permite la facilidad de transmisión de datos mientras ejecuta otras tareas o la transmisión de datos por diversos canales. En el funcionamiento de una página Web, Ajax cuenta con un “motor” que permite la actualización de datos para ser visualizados de manera más eficiente que lo haría una aplicación web clásica. (Rivas V. , 2012)

THINGSPEAK: Es una plataforma de IoT que permite la recepción y almacenamiento de datos de sensores en la nube, lo cual facilita el desarrollo de aplicaciones IoT. Esta plataforma es compatible con Arduino lo que permite una solución viable en el desarrollo de este trabajo de grado en cuanto al almacenamiento de los datos del pluviómetro o de la red de sensores que se tenga. Su funcionamiento se basa en que los datos obtenidos son almacenados en canales los cuales pueden ser públicos o privados y por consiguiente cada canal puede tener la visualización de los datos que tenga almacenados, además de importar o exportar los datos que se tengan o se requieran. (Network, 2019)

IFTTT: Es una plataforma que es compatible con diferentes aplicaciones web o servicios de internet, el cual permite configurar eventos por acciones ocurridas, es decir en el caso del trabajo de este proyecto de grado, sería útil el hecho de activar el envío de alarmas a celulares o correos en caso de tener anomalías en los registros de los datos obtenidos por la red de sensores. O el hecho de facilitar el almacenamiento de los datos. (Plataform, 2019)

Capítulo 6

6.1 Implementación

Se realizó el reconocimiento de los puntos donde se encuentran los pluviómetros, conocer el estado en el que se encuentran y realizar pruebas de transmisión de datos para verificar la correcta comunicación entre el transmisor y receptor.

6.1.1 Sistema antiguo

El sistema antiguo fue diseñado con una red de 6 nodos, donde en cada nodo se encuentran instalados dos pluviómetros que realizan la medición pluvial en el sector de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (UN). Estos pluviómetros se encuentran anclados al techo del edificio por medio de unos soportes metálicos (Figura 49) los cuales por recomendaciones deben tener instalados un sistema de púas para evitar que animales puedan dañarlo.

Figura 49 Instalación de pluviómetros Universidad Nacional



Fuente: Elaborado por autores.

En una caja de paso cercana a la ubicación de los pluviómetros se encuentra un HOBO Pendant Event Data Logger (Figura 50) el cual es un registrador de datos de eventos

para sensores de lluvia permite determinar las tasas de lluvia y los tiempos de duración con la recopilación y almacenamiento de los datos obtenidos por los pluviómetros.

Figura 50 Conexión pluviómetros - HOBO Pendant Event DataLogger



Fuente: Elaborado por autores.

Para obtener la información de los pluviómetros se utiliza un adaptador como se observa en la figura 51 y así visualizar los datos en el computador, el difícil acceso a esta información hace necesario la implementación de un nuevo sistema que permita facilitar el proceso de obtención y visualización de los datos.

Figura 51 Esquemático de conexión HOBO Pendant Event DataLogger



Fuente: (Loggers, 2017) [Figura]. Recuperado de:

https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/9831-1%20MAN-UA-003.pdf

Entre otras características con las que cuenta el HOBO Pendant Event Data Logger, se encuentra el almacenamiento de datos basado en eventos donde se proporciona los datos detallados y un uso eficiente de la memoria. Tiene permitido almacenar 160 pulgadas de lluvia con un pluviómetro de 0.01 pulgadas, donde se encuentra la parametrización de los datos en escala a pulgadas, milímetros u otras unidades. Además de que este registrador de datos admite mediciones de lluvia y temperatura por lo cual es utilizado y funciona adecuadamente en ambientes externos. (Loggers, 2017)

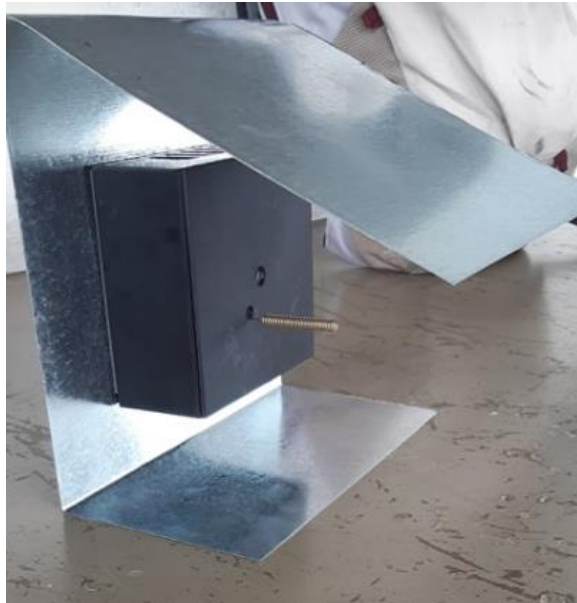
6.1.2 Sistema nuevo implementado

En la figura 52 se puede observar el primer diseño de los soportes para los transmisores y receptores, donde se encuentra una lámina de aluminio doblada con el fin de evitar que la caja donde se encuentra el transmisor o receptor sea dañada por los efectos climáticos.

Algunos aspectos negativos con el primer diseño se presentan al realizar las pruebas a la interperie, los efectos climáticos como la lluvia hacen que llegue agua al circuito, es por ello que se utilizan cajas impermeables (figura 53), las cuales no permiten el ingreso de agua mientras se realizan las pruebas de comunicación y a su vez evitan que se acumule agua en algún lugar de la caja lo que podría generar humedad causando problemas al sistema electrónico del circuito como ocurre con el primer diseño.

Estas cajas impermeables poseen en la parte lateral una terminal de interperie para las líneas de alimentación del circuito, en la parte inferior poseen dos platinas de aluminio de $1\frac{1}{2}$ in x $\frac{1}{8}$ in de longitud con dos orificios de $\frac{1}{4}$ in para el montaje de las cajas en los posicionamientos descritos en el capítulo 4 por medio de unos chazos metálicos de $\frac{1}{4}$ in, la selección de estos chazos es debido al material donde será instalado, el peso de la caja impermeable la cual es aproximadamente de 1.5 Kg y según (Merlin, 2019) es requerido un chazo entre 6 a 8 mm de diámetro para soportar una carga que sea menor a 60 kg en un material macizo. El montaje se realiza teniendo en cuenta la altura adecuada para tener línea de vista entre los módulos y asegurando un punto de alimentación para el correcto funcionamiento del sistema electrónico.

Figura 52 Soporte Cajas del transmisor y receptor



Fuente: Elaborado por autores.

Figura 53 Cajas impermeables



Fuente: Elaborado por autores.

En la Figura 54 se puede observar la distribución de los elementos en la parte interna de la caja impermeable por medio de rieles omega y borneras, donde se encuentra un breaker de 2 amperios [A] para el encendido del sistema electrónico además de su

debido transformador que es un adaptador usb a 1 amperio [A]. La elección del breaker se realizó teniendo en cuenta la tabla 22 donde se especifica el cuadro de cargas de consumo eléctrico del sistema electrónico más el consumo de un computador portátil para hacer pruebas en campo. El consumo de vatiaje del circuito del sistema electronico es de 5 voltios [V] y el amperaje es de 1760 miliamperios [mA].

Tabla 22 Cuadro de cargas

Dispositivo	Cantidad	Corriente por unidad [mA]
Arduino Uno	1	50
Node MCU – Adaptador cable usb micro B	1	50
Reloj Tiny rtc de Arduino	1	40
Led	6	20
Cargador computador portátil	1	1500

Fuente: Elaborado por autores

En la figura 55 se encuentra el sistema de encendido del circuito electrónico y unos leds para facilitar la comprensión del funcionamiento de la parte electrónica del sistema en el momento actual.

Figura 54 Parte interna de la caja impermeable



Fuente: Elaborado por autores.

Figura 55 Sistema de activación y funcionamiento del sistema electrónico



Fuente: Elaborado por autores.

Se realizó la instalación de tomas eléctricas reguladas con su respectiva caja pvc (Figura 56) para la alimentación del sistema electrónico y el computador para la visualización de los datos en el caso que se requieran realizar pruebas en campo. La alimentación del tablero es a 110 voltios de corriente alterna [VAC].

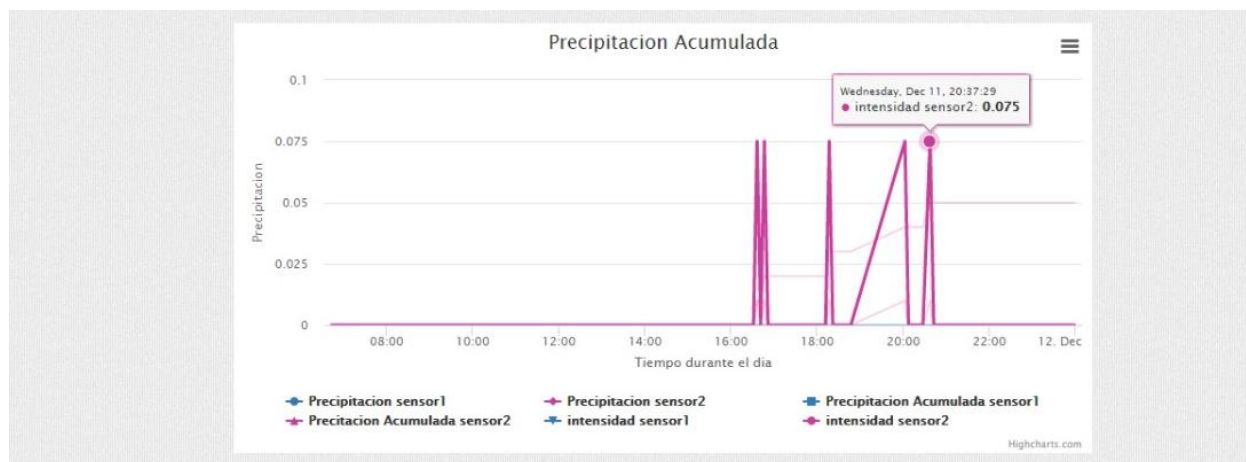
Figura 56 Toma regulada



Fuente: Elaborado por autores

Se realizaron unas pruebas para corroborar el adecuado funcionamiento del sistema tomando medidas de un pluviómetro como se puede observar en las Figuras 57 y 58.

Figura 57 Prueba precipitación acumulada - Grafica



Fuente: Elaborado por autores.

Figura 58 Prueba precipitación acumulada - Datos

2019-12-11 18:01:48	zona3	0.00	0.02	0.0
2019-12-11 18:06:49	zona3	0.00	0.02	0.0
2019-12-11 18:11:50	zona3	0.00	0.02	0.0
2019-12-11 18:16:52	zona3	0.01	0.03	0.075
2019-12-11 18:21:54	zona3	0.00	0.03	0.0
2019-12-11 18:31:55	zona3	0.00	0.03	0.0
2019-12-11 18:36:57	zona3	0.00	0.03	0.0
2019-12-11 18:41:59	zona3	0.00	0.03	0.0
2019-12-11 18:47:00	zona3	0.00	0.03	0.0
2019-12-11 20:02:20	zona3	0.01	0.04	0.075
2019-12-11 20:07:21	zona3	0.00	0.04	0.0
2019-12-11 20:12:23	zona3	0.00	0.04	0.0
2019-12-11 20:17:24	zona3	0.00	0.04	0.0
2019-12-11 20:22:26	zona3	0.00	0.04	0.0
2019-12-11 20:27:28	zona3	0.00	0.04	0.0
2019-12-11 20:37:29	zona3	0.01	0.05	0.075

Fuente: Elaborado por autores.

6.1.3 Notas

- ✓ Para el adecuado funcionamiento del sistema, se requiere de una calibración periódica para evitar errores de medición de los pluviómetros como es especificado en el capítulo 3.

- ✓ Se encuentra a la espera de los permisos de algunos lugares de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (UN) para realizar la adecuada instalación de los dispositivos.

- ✓ La implementación de la estación central se encontrará dentro del edificio de los laboratorios de hidráulica por su fácil acceso al datalogger y a la visualización de los datos en el equipo.

Conclusiones

Según el estudio previo de los módulos comunicación y microcontroladores (Capítulo 2) en donde se analizaron diversas características que se encuentran documentadas en la tabla 5 con el fin de definir el diseño electrónico más eficiente, fue seleccionado el módulo LoRa Ra01 con el microcontrolador Node MCU por sus características en las zonas suburbanas, su inmunidad a interferencias y su sensibilidad, lo que conllevó a un gran desempeño para la ejecución del proyecto ya que sus resultados cumplieron con lo establecido con los requerimientos planteados.

Los resultados en la calibración y caracterización de los pluviómetros ofrecidos para este proyecto evidencian cierto porcentaje de error ante intensidades bajas (Gráfica 2), el pluviómetro presenta un error del 30,72% por lo que presenta una relación inversa, es decir que a menores intensidades mayor será el error, a causa de esto fue necesario que para la entrega de este diseño se informara a los analizadores tener en cuenta este porcentaje de error para el manejo posterior de los datos.

Después de realizar las diversas pruebas de comunicación de los sistemas electrónicos se pudo corroborar que el diseño de la red se desarrolló de manera adecuada teniendo en cuenta los resultados descritos en Tabla 17 en donde las pérdidas de paquetes son mínimas.

Se realizó el diseño de una página web configurada con un servidor local (Uniform Server) el cual es ubicado en un lugar específico del campus donde tenga comunicación con todos los nodos de la red y se corrobora el adecuado funcionamiento en cuanto a las consultas de los datos pluviométricos obtenidos por medio de ayudas visuales como lo son graficas de precipitación, precipitación acumulada e intensidad diaria y mensual.

Finalizando con el diseño de este proyecto en el capítulo 6 se concluye que los recipientes o protecciones contra la lluvia para el sistema electrónico tuvieron que ser replanteados a un recipiente para intemperie para no tener problemas con filtración o efectos que pudieran dañar el sistema electrónico.

Bibliografía y referencias

- Agud, R. M. (14 de Enero de 2008). *Análisis de la intensidad de precipitación: Método de la intensidad contigua*. Obtenido de <https://www.tiempo.com/ram/447/analisis-de-la-intensidad-de-precipitacion-metodo-de-la-intensidad-contigua/>
- Ai-Thinker. (2017). *Ra-01 LoRa Module*. Obtenido de https://wiki.ai-thinker.com/_media/lora/docs/c047ps01a1_ra-01_product_specification_v1.1.pdf
- ANE. (30 de Abril de 2019). *RESOLUCIÓN 181 DE 30 DE ABRIL DE 2019*. Obtenido de http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_f2db4816f9df4c4ca049bb4bfac79744
- Apache, A. T. (2018). *DISEÑO DE UN BANCO DE CALIBRACIÓN PARA INSTRUMENTOS DE PLUVIOMETRIA IMPLEMENTADOS POR EL IDEAM*. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/24792/45111030_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Atom. (10 de Abril de 2012). *Medios de transmisión no guiados*. Obtenido de <http://mediosdetransmisionnoguiados.blogspot.com/>
- Bravo, G. (5 de Agosto de 2010). *Modulación y transmisión de datos*. Obtenido de https://profesores.virtual.uniandes.edu.co/~isis1301/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=recursos:06_modulacion.pdf
- Canga, R. (Marzo de 2011). *Antenas*. Obtenido de <http://serbal.pntic.mec.es/srug0007/archivos/radiocomunicaciones/2%20ANTENAS/5%20Antenas.pdf.pdf>
- Cidead. (2011). *Tecnologías de comunicación*. Obtenido de <http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena3/pdf/quincena3.pdf>
- Clark, J. F. (8 de Febrero de 2018). *Global System for Mobile Communication (GSM)*. Obtenido de <http://www.uky.edu/~jclark/mas355/GSM.PDF>
- CloudMQTT. (2019). *Documentation Getting started*. Obtenido de <https://www.cloudmqtt.com/docs/index.html>
- Game, E. -m.-v. (26 de Mayo de 2017). *Modulación ASK y FSK*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Lr7w7yyLtOM>

- Garbarino, J. (7 de Noviembre de 2011). *Protocolos para para redes inalámbricas de sensores*. Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/7500/Garbarino.pdf>
- Gutierrez, M. (10 de Agosto de 2015). *Todo sobre ZigBee, la tecnología ultrabarata para comunicación inalámbrica*. Obtenido de <https://elandroidelibre.elespanol.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>
- Hernandez, L. d. (2018). *NodeMCU tutorial paso a paso desde cero*. Obtenido de <https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>
- Husseren-Wesserling, M. (28 de Octubre de 2015). *Calibracion pluviometro Davis Vantage Pro2*. Obtenido de http://wiki.meteoclimatic.net/wiki/Calibracion_pluviometro_Davis_Vantage_Pro2
- ITU. (22 de Agosto de 2019). *CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE*. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-S.pdf
- Jambrina, J. L., & Galocha Iraguen, B. (2010). *Parámetros característicos y tipos de transmisores*. Obtenido de http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/elcm/actual/pdf/BN_EC0911-Transmisores.pdf
- Liang, H. (2019). *HK-200 220V 2,5 W bomba sumergible*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/32797738979.html>
- Libre, M. (2019). *433mhz Sw433-th32 Cobre De La Antena De Resorte Para El Módu*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-808359944-433mhz-sw433-th32-cobre-de-la-antena-de-resorte-para-el-modu-_JM
- Llamas, L. (1 de Junio de 2018). *NODEMCU*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/>
- Loggers, H. D. (2017). *HOBO® Pendant® Event Data Logger (UA-003-64) Manual*. Obtenido de https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/9831-1%20MAN-UA-003.pdf
- LoRaWAN. (2019). *¿Qué es LoRa y LoRaWAN?* Obtenido de <https://lorawan.es/>
- Marin, C. (29 de Abril de 2018). *Medios de transmisión ¿Que son? y como se clasifican*. Obtenido de <https://247tecno.com/medios-de-transmision/>
- Martínez, L. F. (s.f.). *Comunicacione en Redes*. Obtenido de Modos de Transmisión (Simplex, Half y Full Duplex):

http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/35_modos_de_transmision_simplex_half_y_full_duplex.html

- METEOAGRO. (10 de Marzo de 2012). *Estación meteorológica Davis Instruments 6152/6162 Vantage Pro2*. Obtenido de https://www.meteoagro.co/public/documentos/davis/guia_basica_davis_pro2_6152_6162.pdf
- MinTIC. (3 de Abril de 2019). *Agencia Nacional del Espectro (ANE)*. Obtenido de https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-6179.html?_noredirect=1
- MinTIC. (14 de Febrero de 2019). *Espectro ensanchado*. Obtenido de https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-6506.html?_noredirect=1
- MinTIC. (14 de Febrero de 2019). *Espectro Radioeléctrico*. Obtenido de https://mintic.gov.co/portal/604/w3-article-2350.html?_noredirect=1
- Molina, C. E. (19 de Febrero de 2019). *Topologías de red*. Obtenido de http://www.redtauros.com/Clases/Fundamentos_Red/02_Topologia_de_Red.pdf
- Moreno, J. L. (13 de Julio de 2018). *Zonas de Fresnel en un radioenlace*. Obtenido de <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>
- Network, T. T. (2019). *ThingSpeak*. Obtenido de <https://www.thethingsnetwork.org/docs/applications/thingspeak/>
- OMM. (2017). *Reglamento Técnico Documentos Fundamentales 2*. Obtenido de Volumen I Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5780
- Ortiz, C. A. (2016). *Caracterización del campo de precipitación sobre la microcuencia urbana del campus Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá*. Bogotá: Universidad Nacional.
- OTIENO, I. O. (14 de Septiembre de 2011). *TRACKING OF FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM SIGNALS*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/cbce/acd6fa743f29820f5b371eb19e7acd59727d.pdf>
- Peña, C., Rosario, J., & Herrera, J. (Febrero de 2012). *Modulación y codificación Digital-Análoga*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/JuanHerreraBenitez/digital-analogo>
- Plataform, I. (2019). *Documentation IFTTT*. Obtenido de <https://platform.ifttt.com/docs>

- Prototyping, S. (2019). *LORA RA-01 LONG RANGE WIRELESS TRANSCEIVER SX1278 (433MHZ)*. Obtenido de <https://www.smart-prototyping.com/LoRa-SX1278-10KM-433M-long-range-wireless-module-Ra-01>
- RIGOL. (17 de Enero de 2018). *RF Signal Hopping Analysis*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=hpu2dvO1cMc>
- Rivas, B. (28 de Septiembre de 2013). *Transmisión de datos por RF*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/701/A7.pdf?sequence=7>
- Rivas, V. (27 de Marzo de 2012). *¿Qué es AJAX?* Obtenido de <https://www.digitalllearning.es/blog/que-es-ajax/>
- Rivera, A. (15 de Enero de 2015). *PLUVIÓMETRO CASERO PARA MEDIR LA CANTIDAD DE LLUVIA CAÍDA*. Obtenido de <http://eltiempo.lasprovincias.es/articulos-divulgacion/pluviometro-casero-medir-cantidad-lluvia-caida>
- Santander, D. (4 de Marzo de 2013). *Medición de la Precipitación*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=hA7rU2q2zu8>
- Semtech. (2019). *Datasheet Sx1278*. Obtenido de <https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R0000001OKx/JUYM3TvBMenQzU4LS8ZJcM58BljCcoZcUpHV0gnZ.y0>
- Solera, E. (27 de Agosto de 2018). *Modulación LORA: Long Range Modulation*. Obtenido de <https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/modulaci%C3%B3n-lora-4ad74cabd59e>
- Suarez, C. (26 de Agosto de 2015). *Radiofonía, señales analógicas y digitales*. Obtenido de Tipos de modulación. Radio analógica y digital: <http://radiofoniasayd.blogspot.com/2015/08/tipos-de-modulacion-radio-analogica-y.html>
- Ternero, M. d. (2005). *Transmisión de datos*. Obtenido de <http://www.dte.us.es/personal/mcromero/docs/arc1/tema3-arc1.pdf>
- Tricalcar. (Octubre de 2007). *Cálculo de radioenlace*. Obtenido de <https://analfatecnicos.net/archivos/24.CalculoDeRadioenlace.pdf>
- TripleO. (2014). *Uniform Server*. Obtenido de <https://www.uniformserver.com/>
- USECHE, J. C. (2018). *PROTOTIPO DE SOLUCIÓN IoT CON TECNOLOGÍA “LoRa” EN MONITOREO*. Obtenido de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13388/1/TrianaUsecheJordanCamilo2018.pdf>

Wenner, R. (17 de Noviembre de 2017). *LoRa Spreading Factor & Data Rate*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=B580NvdXtjs>

Anexos

Anexo A. Especificaciones SX1278

Según las especificaciones del SX1278 en el datasheet (Semtech, 2019) se tiene una velocidad de transmisión de datos de 300 Kbps, ofrece trabajar en un ancho de banda entre 7.8 KHz a 500 KHz los cuales son configurables, el rango de frecuencias que utiliza se encuentra entre 137 – 525 MHz, la efectividad de la tasa de datos se encuentra entre 0.018 – 37.5 Kbps y la sensibilidad entre -111 a -148 dbm. lo que lo hace un integrado óptimo para aplicaciones que requieren rango y robustez en sus aplicaciones, teniendo inmunidad a cierto tipo de interferencias y al consumo de energía. El rango de operación al cual trabaja el SX1278 se encuentra en la tabla 23 y la potencia de consumo se puede observar en la tabla 24.

Tabla 23 Rango de operación del SX1278

Symbol	Description	Min	Max	Unit
VDDop	Supply voltage	1.8	3.7	V
Top	Operational temperature range	-40	+85	°C
Clop	Load capacitance on digital ports	-	25	pF
ML	RF Input Level	-	+10	dBm

Fuente: (Semtech, 2019)[Tabla]. Recuperado de:

<https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JeIG/a/2R0000001OKx/JUYM3TvBMenQzU4LS8ZJcM58BljCcoZcUpHV0gnZ.y0>

Tabla 24 Especificaciones de la potencia de consumo del SX1278

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
IDDSL	Supply current in Sleep mode		-	0.2	1	uA
IDDIDLE	Supply current in Idle mode	RC oscillator enabled	-	1.5	-	uA
IDDST	Supply current in Standby mode	Crystal oscillator enabled	-	1.6	1.8	mA
IDDFS	Supply current in Synthesizer mode	FSRx	-	5.8	-	mA
IDDR	Supply current in Receive mode	LnaBoost Off, band 1	-	10.8	-	mA
		LnaBoost On, band 1	-	11.5	-	
		Bands 2&3	-	12.0	-	
IDDT	Supply current in Transmit mode with impedance matching	RFOP = +20 dBm, on PA_BOOST	-	120	-	mA
		RFOP = +17 dBm, on PA_BOOST	-	87	-	mA
		RFOP = +13 dBm, on RFO_LF/HF pin	-	29	-	mA
		RFOP = +7 dBm, on RFO_LF/HF pin	-	20	-	mA

Fuente: (Semtech, 2019)[Tabla]. Recuperado de:

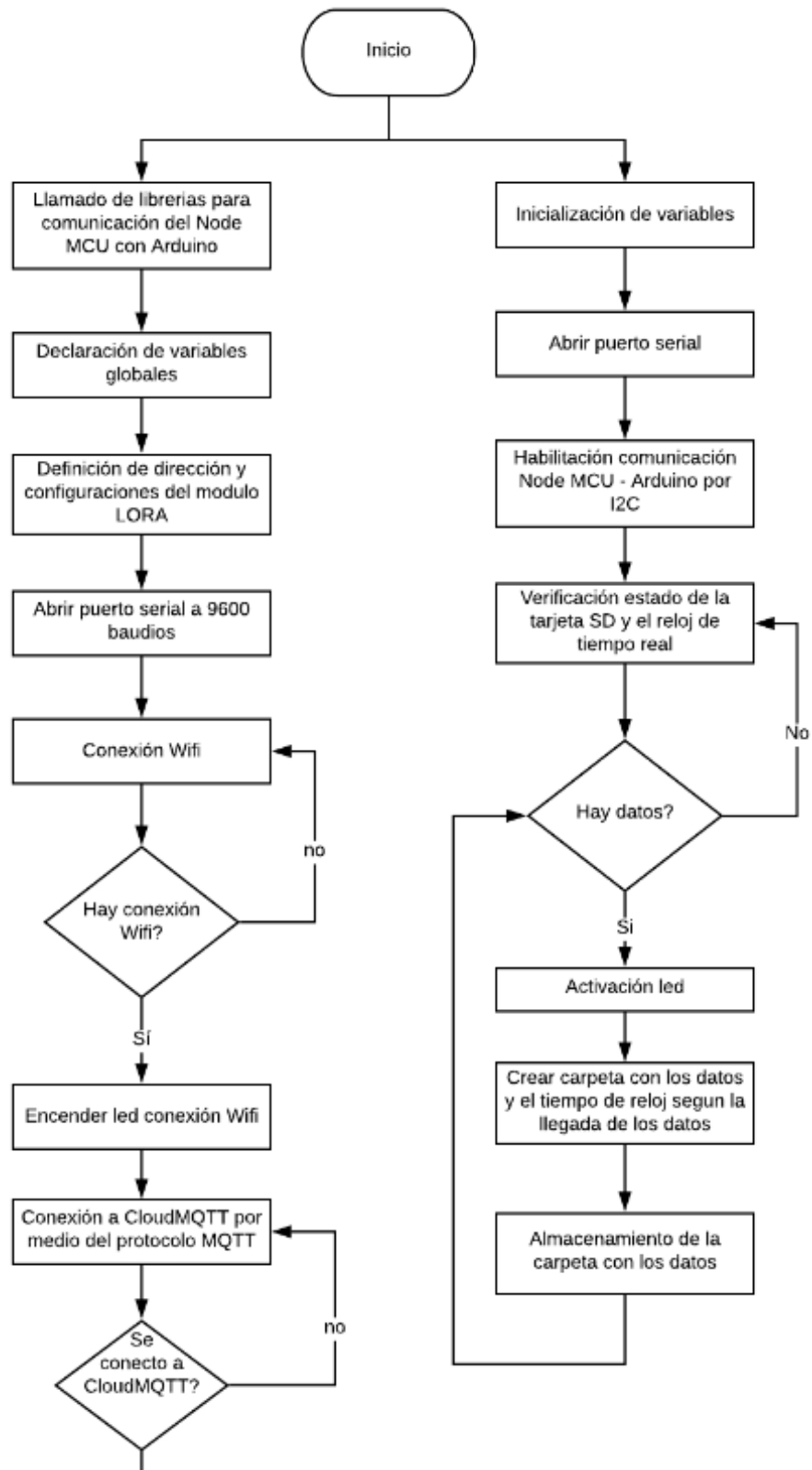
<https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JeIG/a/2R0000001OKx/JUYM3TvBMenQzU4LS8ZJcM58BljCcoZcUpHV0gnZ.y0>

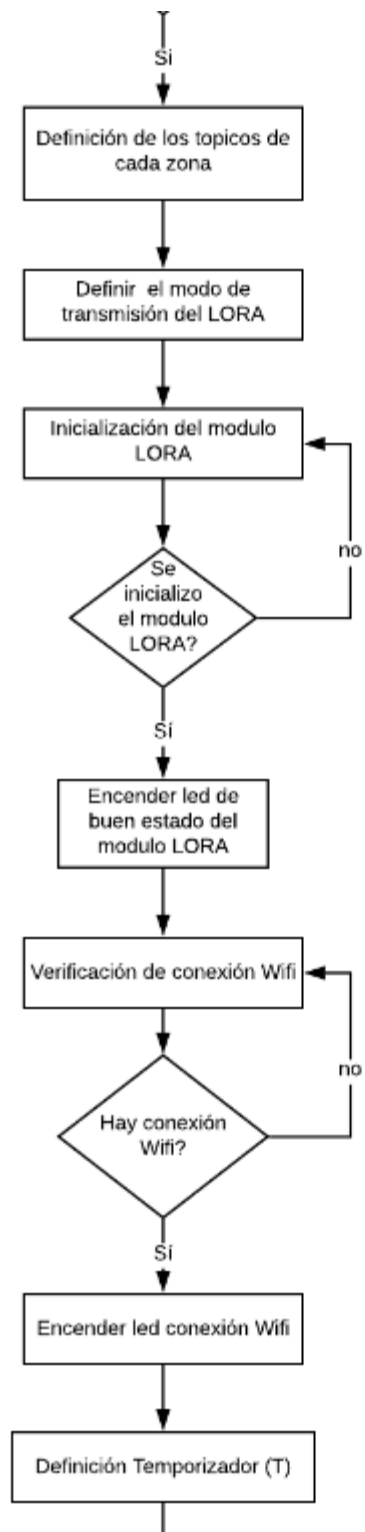
El SX1278 utiliza HalfDuplex, recibe señales de radiofrecuencia, la frecuencia de los sintetizadores genera la frecuencia del oscilador local tanto para el transmisor, como para el receptor, uno cubre las bandas bajas UHF (Frecuencia Ultra Alta) es decir las mayores a 525 MHz y el otro cubre las bandas altas UHF de 779 MHz. Cuenta con 3 distintos amplificadores RF, dos de ellos conectados a RFO_LF y RFO_HF, los cuales pueden entregar hasta 14 dBm y pueden ser conectados directamente a las entradas del receptor RF que puede ser una antena, el tercer amplificador se encuentra en el pin PA_BOOST el cual puede entregar hasta 20 dBm. Además, incluye dos sistemas de sincronización para la transmisión de datos, uno es un oscilador RC y el otro es un oscilador de cristal de 32 MHz. El módulo Lora permite escalar el ancho de banda y la frecuencia dependiendo de la aplicación a utilizar, la potencia de salida del transmisor puede ser reducida manteniendo un buen enlace para la transmisión de los datos. (Semtech, 2019)

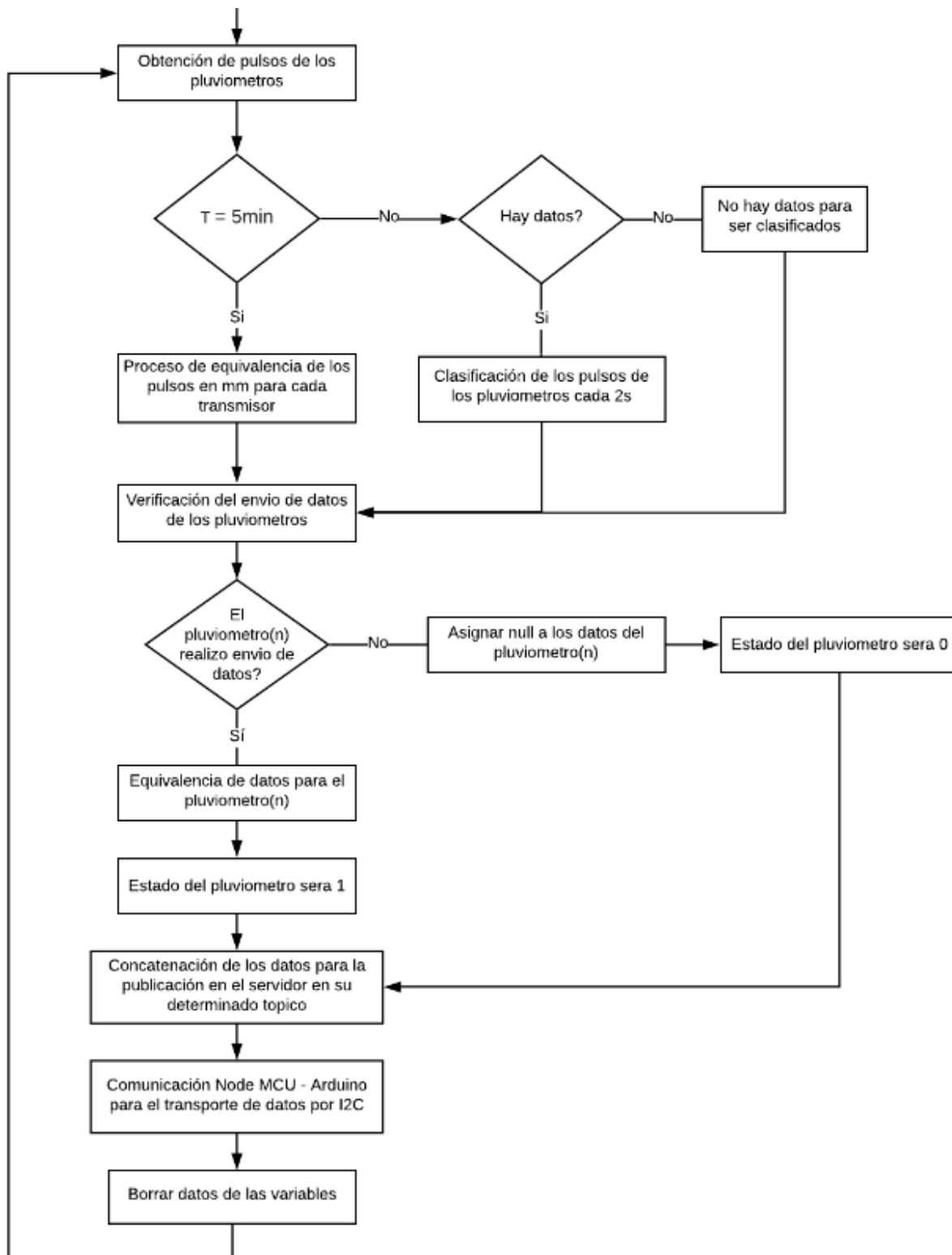
La FCC, Comisión federal de comunicaciones de Estados Unidos, aprobó la utilización del módulo Lora en el modo de operación de sistemas empleando FHSS (Espectro ensanchado por salto de frecuencia), el cual es una técnica de modulación donde la cadena de bits salta de frecuencia en frecuencia sincrónicamente con el transmisor.

Además determina que los sistemas de salto de frecuencia tendrán frecuencias portadoras de canal de salto separadas por un mínimo de 25 KHZ o el ancho de banda de 20 dB del canal de salto y el límite de potencia de salida disipada se basa en el uso de antenas con ganancias direccionales que no excedan los 6 dBi, si se utilizan antenas con una ganancia direccional mayor de 6 dBi, la potencia de salida disipada no cumplirá con los límites establecidos para la transmisión de datos, la cual no debe exceder 1 W. (Semtech, 2019)

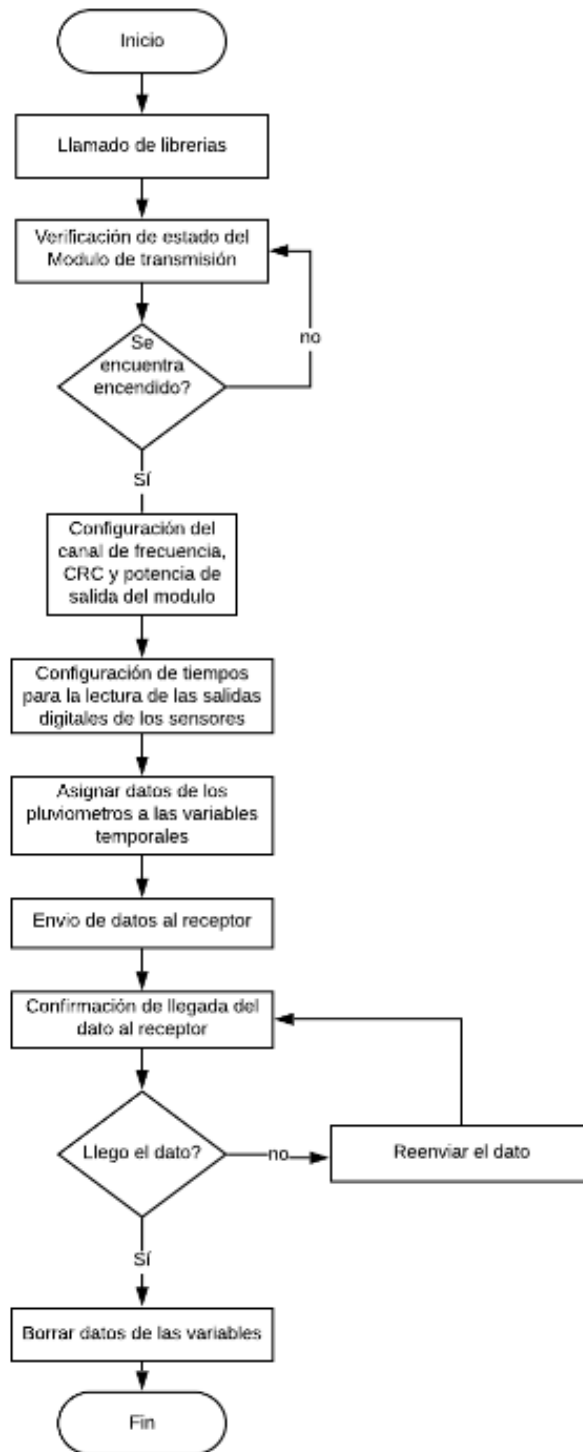
Anexo B. Diagrama de flujo Receptor - Arduino



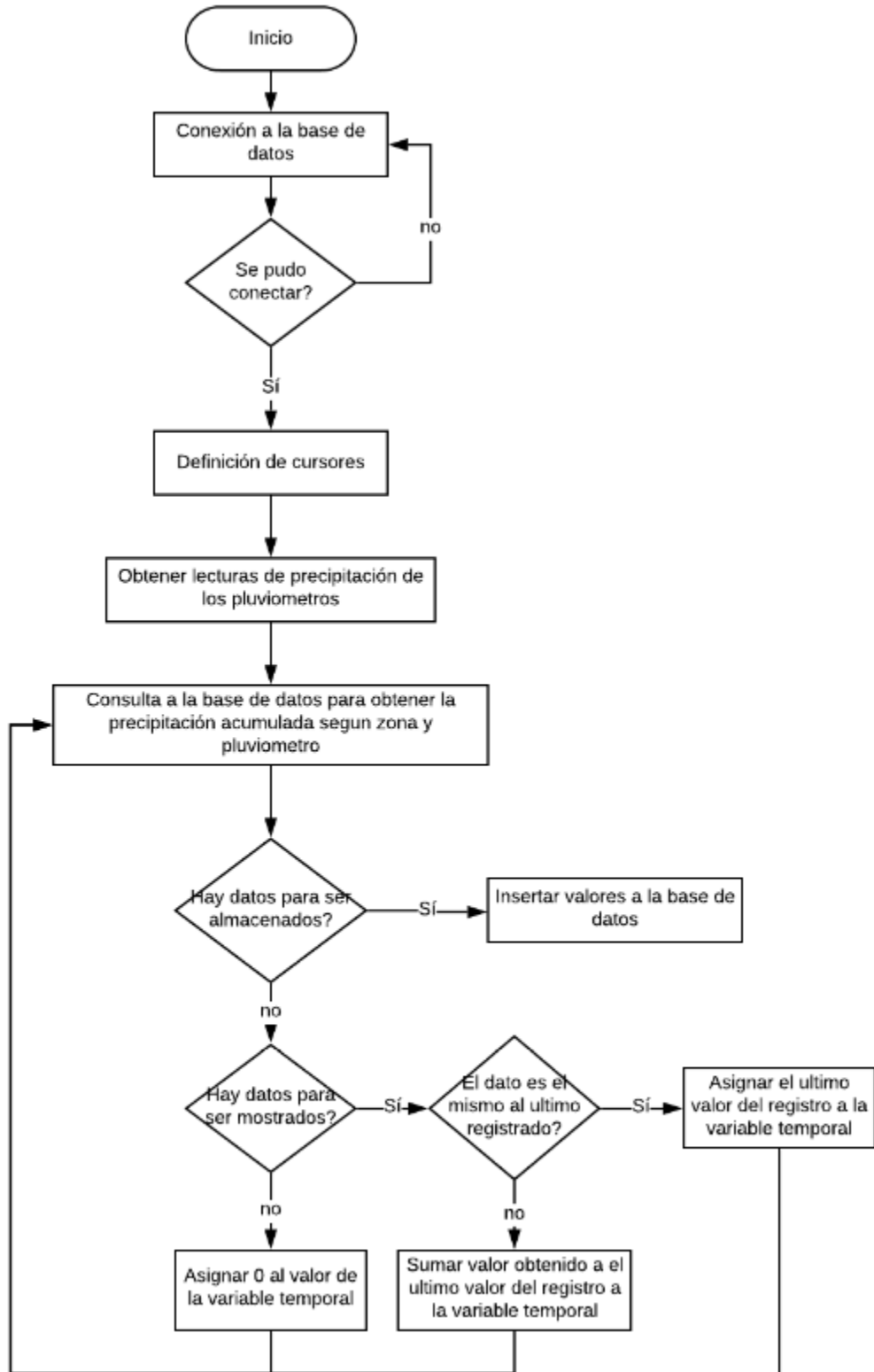




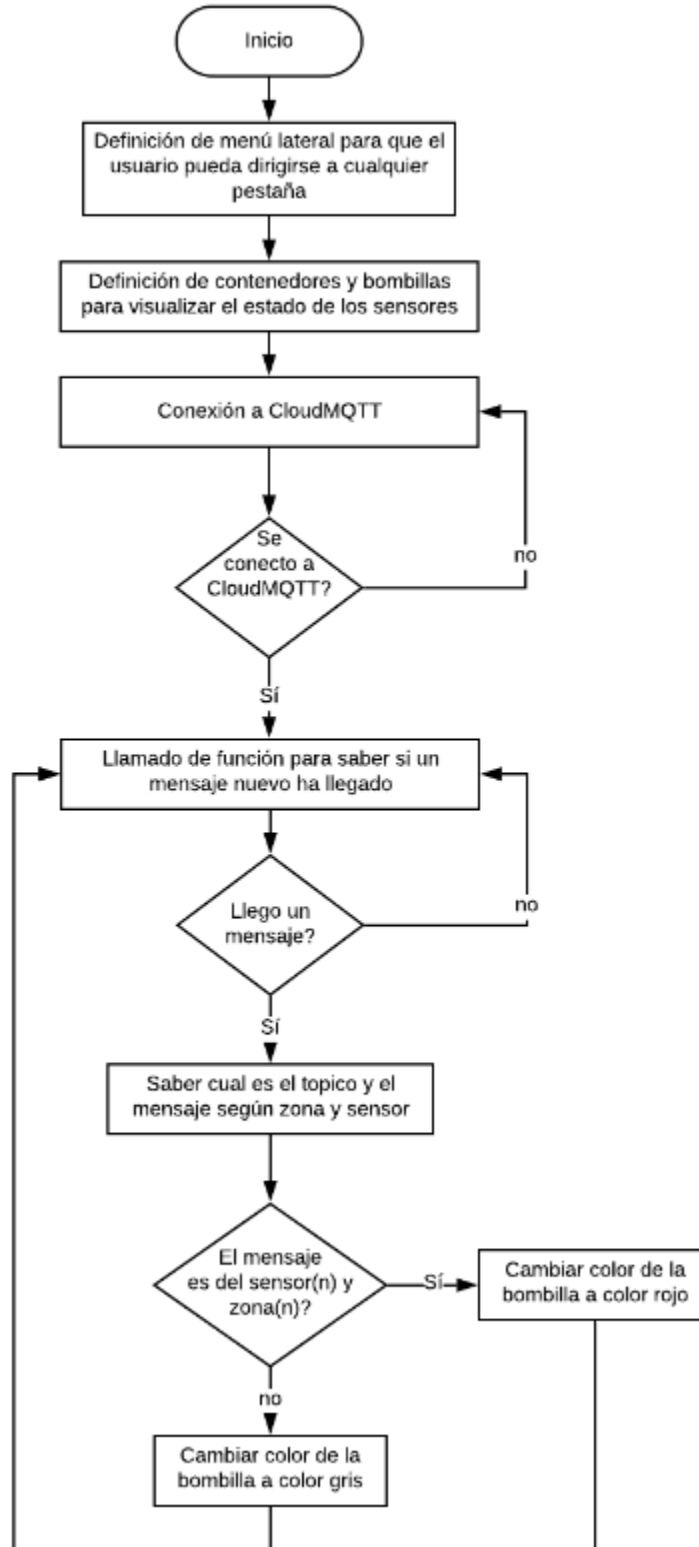
Anexo C. Diagrama de flujo Transmisor - Arduino



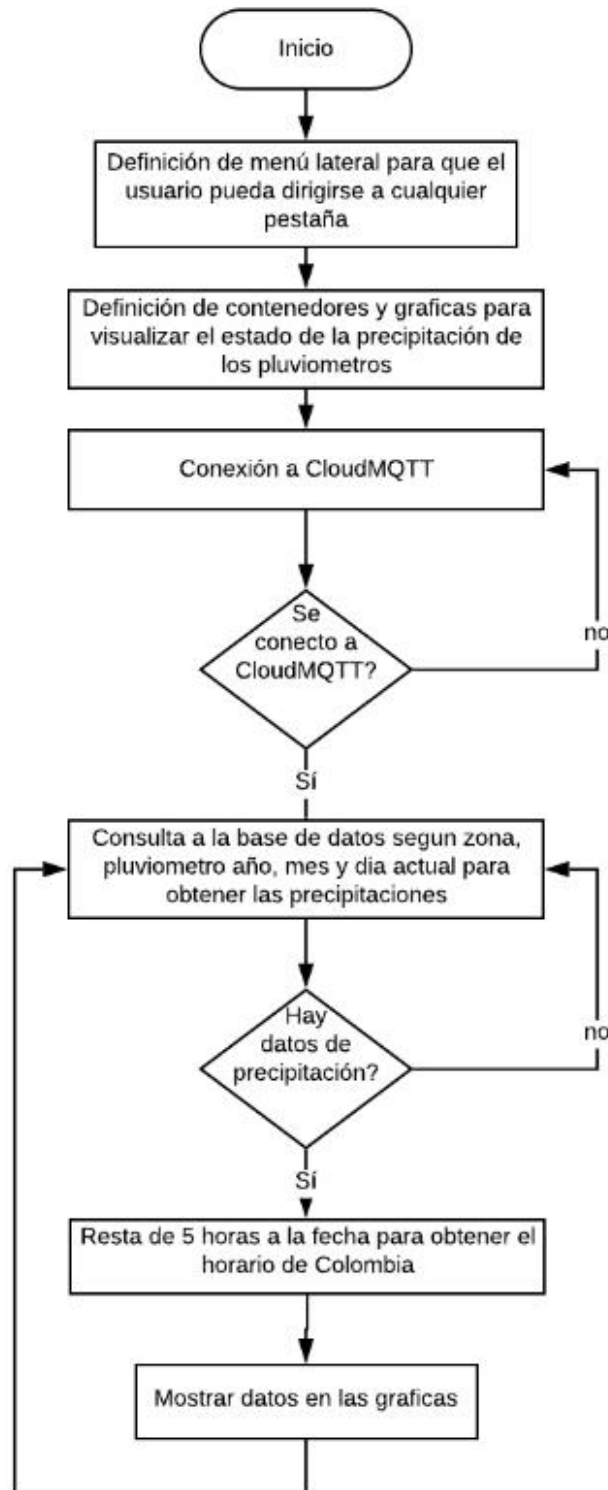
Anexo D. Diagrama de flujo Intensidad Pluviométrica - Phytton



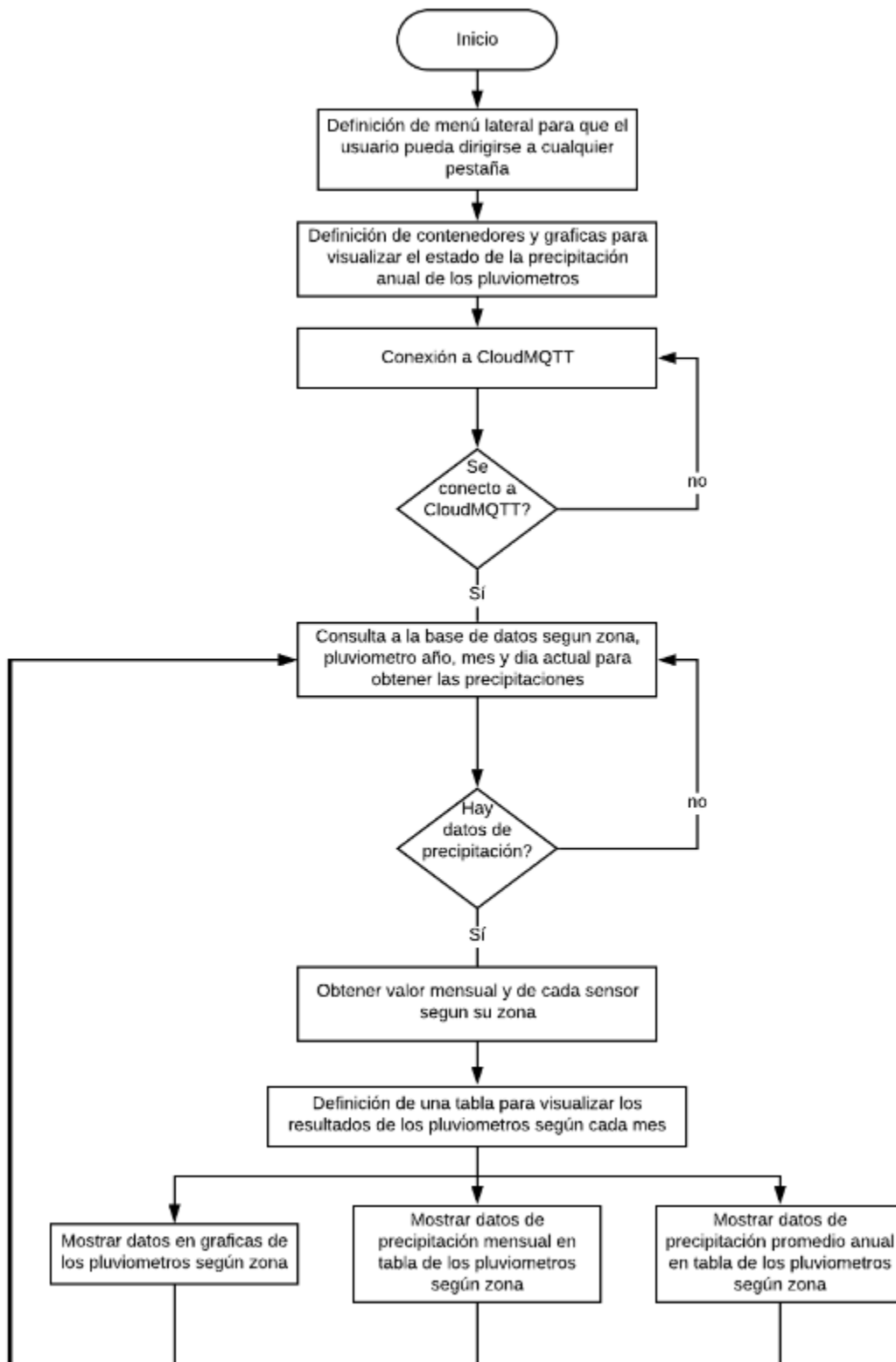
Anexo E. Diagrama de flujo pestaña Página web Inicial



Anexo F. Diagrama de flujo pestaña Página web Precipitación acumulada actual por día



Anexo G. Diagrama de flujo pestaña Página web Precipitación anual



Anexo H. Diagrama de flujo pestaña Página web Base de datos

