



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño y estudio del uso de una red LPWAN (Low Power Wide Área Network) para la optimización de la medición, comunicación y corrección de errores, en el consumo de agua potable: Caso de estudio en urbanizaciones ubicadas en la periferia de la ciudad de Guayaquil.

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

WILDER FABIAN VALAREZO TROYA

ANDRES FELIPE CRIOLLO JARAMILLO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi familia, a mis seres queridos y a mis amigos que he conocido a lo largo de mi carrera profesional. Todos ellos han sido pieza fundamental para alcanzar este título anhelado. Al Ing. Hernán Ullón, que, gracias a su apoyo, se llevaron a cabo las pruebas resultantes de este proyecto. A mi compañero de tesis, Fabián Valarezo, que juntos cumplimos este proyecto llevándolo de la mejor manera para su total funcionamiento. Agradezco a ESPOL por la adquisición de todos los conocimientos profesionales en estos años de estudio. Agradezco a todos ustedes por el sueño tan anhelado de ser Ingeniero.

Andrés Felipe Criollo Jaramillo

Agradezco a Dios por permitirme tener la capacidad y el coraje necesario para haber enfrentado tantos obstáculos y haberlos superado, a mis padres que han sido testigos y soporte para este logro y a mis amigos, que han me han dado su apoyo moral y académico en los momentos necesarios. Mención especial al Ing, Hernán Ullón, que, gracias a su inconmensurable apoyo, se pudo llevar a buen rumbo este proyecto. A mi compañero dentro de esta tesis, Andrés Criollo, que junto a el hemos podido culminar este proyecto hasta su total funcionamiento. Y, por último, a mi amada ESPOL, mi hogar, por haberme dado los conocimientos, la experiencia y los recuerdos de todos estos años como estudiante.

Gracias a todos los que han sido parte de este camino.

Wilder Fabian Valarezo Troya

DEDICATORIA

A mi padre, a mi madre y a mis hermanas, con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, dándome su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento, es por ellos que soy lo que soy ahora.

Los amo con mi vida.

Andrés Felipe Criollo Jaramillo

A mis padres, que con su ejemplo y sacrificio han sembrado en mi un espíritu de superación, para ellos va dedicado todo el trabajo y el esfuerzo puesto en la realización de esta tesis. A mi hermana, que, desde el cielo, jamás supo abandonarme, siempre recordada en mi corazón, a ella también le dedico todo mi trabajo y sacrificio, sabiendo que cada paso dado ha sido acompañado de ella.

Para ustedes va dedicado este trabajo, a mi familia.

Wilder Fabián Valarezo Troya

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
María Antonieta Álvarez Villanueva

PROFESOR EVALUADOR

.....
Juan Manuel Romero Arguello

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Andrés Felipe Criollo Jaramillo

.....
Wilder Fabián Valarezo Troya

RESUMEN

La presente tesis pretende dar solución al censado manual que se realiza actualmente para el consumo de agua potable dentro de las urbanizaciones ubicadas en la periferia de la ciudad de Guayaquil, esto basado en el esquema de IoT utilizando protocolos LoRa por medio de una red LPWAN, generando un ahorro en los costos de medición a las empresas, además, de aportar en el avance de la comunidad hacia las Smart Cities.

Esto se realizó por medio de 4 fases, las cuales son de: Investigación, desarrollo, pruebas e implementación. Donde se abarca todo el proceso y la estrategia aplicada, para poder desarrollar el proyecto de forma ordenada, obteniendo los resultados esperados.

Luego de todo este proceso, se tienen resultados acorde a los objetivos planteados al inicio de esta tesis; es decir, que los módulos LoRa tienen una cobertura adecuada para el área de la urbanización elegida, la velocidad de transmisión y la cantidad de dispositivos a los cuales puede dar soporte sobrepasa la cantidad de casas censadas, el porcentaje de paquetes enviados sobrepasa el 62% indicando que la transmisión es óptima y el coste final del proyecto es de un valor bajo para poder ser implementado y así obtener ganancias.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	v
DECLARACIÓN EXPRESA	vi
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL	8
CAPÍTULO 1.....	11
1. COMPONENTES DEL PROYECTO.....	11
1.1 Descripción del problema.	11
1.2 Justificación.	11
1.3 Objetivos.	13
1.3.1 Objetivos Generales.	13
1.3.2 Objetivos Específicos.	13
1.4 Metodología.	13
1.5 Resultados Esperados.	14
1.6 Elementos Diferenciadores o innovadores.	15
CAPÍTULO 2.....	16
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	16
2.1 LPWAN.	16
2.1.1 Definición	16
2.1.2 Características	16
2.1.3 ¿Dónde se encuentra LPWAN?	17
2.2 LoRa.	17
2.2.1 Definición.	17
2.2.2 Modulación LoRa.	18
2.2.3 Características de LoRa.	18
2.2.4 ¿Dónde se puede usar LoRa?	19

2.3	LoRaWAN.....	20
2.3.1	¿Qué es LoRaWAN?	20
2.3.2	Arquitectura de Red.	20
2.4	Viables a Medir.	21
2.4.1	Flujo de agua.	21
2.5	Sensor de flujo de agua.	21
2.6	Sistemas Embebidos.....	22
2.6.1	Arduino Uno.....	22
2.1.1	Modulo Ethernet	22
2.1.1	Adafruit RFM9X LoRa Radio	23
CAPÍTULO 3.....		24
3. ANÁLISIS DEL MEDIO Y DISEÑO DE LA RED CON SUS COMPONENTES.....		24
3.1	Presupuesto de enlace.....	24
3.2	Diagrama de bloques y esquemas del sistema.....	28
3.2.1	Diagrama de bloques general	28
Figura 3.2: Diagrama de bloques del sistema		28
Figura 3.3: Esquema del sistema		28
3.2.2	Esquema del transmisor	29
3.2.3	Esquema del receptor	30
3.3	Topología de la red.....	32
3.3.1	Red en Estrella.....	32
CAPÍTULO 4.....		24
4. ANALISIS DE RED PROPUESTA.....		36
4.1	Análisis de la propagación	36
4.2	Fiabilidad del Sistema	37
4.2.1	Distancia de cobertura	37
4.2.2	Tasa de datos.....	38
4.2.3	Errores de paquetes enviados.....	39
4.2.4	Costo de implementación.	41

4.3 Comunicación con la nube.....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44

CAPÍTULO 1

1. COMPONENTES DEL PROYECTO.

1.1 Descripción del problema.

Dentro de la ciudad de Guayaquil, unos de los servicios básicos con menor avance de desarrollo tecnológico es el de agua potable. Provocando que los usuarios no tengan información correcta al momento en que la empresa de agua potable (INTERAGUA) [1] desee realizar un trabajo de mantenimiento en un área determinada de la ciudad, produciendo cortes del servicio o, en su defecto, que se presenten problemas por errores en la facturación, ya que, todo el sistema de medición actual es realizado de forma analógica.

Por lo tanto, para ofrecer una solución a estos problemas, se plantea el uso de una red LPWAN (Low Power Wide Area Network) usando la tecnología LoRaWAN [2], que está pensada para comunicar dispositivos de bajo coste y bajo consumo bajo el esquema del internet de las cosas (IoT), a distancias aproximadas de 2 Km a 5 Km para zonas urbanas densas y de 15 Km para zonas suburbanas [3], en las bandas ISM de 868 MHz o 915 MHz [4].

De esta forma se obtendrá en tiempo real los datos del consumo diario de agua potable, tanto para tener una media de cuanto se ha consumido por sector, como para poder visualizar un error en la red por corte de servicio, daño o algún otro problema que pueda tener un cliente.

Para esto, se haría uso de nodos LoRaWAN y de gateways, que transmitirán y recibirán los datos para su respectiva interpretación y distribución al usuario final por medio de internet [5].

1.2 Justificación.

Dentro de los paradigmas que se plantean en la época actual, se encuentra el de la conexión de todos los dispositivos y la automatización de ciertos procesos para disminuir tiempos de reacción y costos para las empresas. Por lo tanto, el uso de nuevas tecnologías es imperativo para toda sociedad que desea desarrollarse y alcanzar un alto estándar de vida.

En nuestra ciudad, el servicio de medición del agua potable se realiza de modo analógico, ocasionando demoras en la obtención de datos y errores en la medición, siendo realizada totalmente por seres humanos; lo que se traduce en pérdidas para la empresa y el usuario.

Por ende, podemos observar la necesidad imperativa de la implementación de una red LoRaWAN dentro del servicio de agua potable, y así evitamos que el personal se desplace de forma física al medidor a tomar los datos para luego ser procesados para la facturación. Sumado a que estos dispositivos son de bajo costo, agregamos su fácil adquisición y fácil montaje, lo que representa una ganancia para la empresa.

Por último, tomar en cuenta que la tecnología LoRaWAN es relativamente nueva y sus módulos cuentan con alta velocidad, cobertura seguridad y bajo consumo de potencia (*Tabla 1.1*), conllevando el uso de recursos de investigación del funcionamiento y de desarrollo de software necesario para la implementación de esta tesis.

	Wi-Fi	LTE	Bluetooth	ZigBee	LoraWan
Estándar	802.11ac		802.11.1	802.15.4	LPWAN
Movilidad	Si	Si	Si	Si	Si
Velocidad	1.3Gbps	Downlink: 100 Mbps Uplink: 50 Mbps	Version 1.2: 1 Mbps Version 2.0: 3 Mbps Version 3.0: 24 Mbps Version 4.0: 32 Mbps	20 Kbps Europa 40 Kbps América	0.3 – 50 Kbps
Cobertura	< 70 m	5 km	15 – 20 m	1 – 100 m	15 – 22 Km
Frecuencia de Operación	5 GHz	2100 MHz CNT 1900 MHz Movistar 1700 MHz Claro	2.4 GHz	915 MHz 2.4 GHz	868 MHz Europa 868 MHz EEUU 433 MHz Asia
Licencia	No	Si	No	No	No
Seguridad	No	Si	Si	Si	Si
Consumo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo

Tabla 1.1 Comparativa de tecnologías

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivos Generales.

Implementar una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante el protocolo LoRaWAN para el monitoreo del consumo de agua de una vivienda con una demostración basada en el esquema de producto mínimo viable (MVP) para observar su funcionamiento [7].

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Usar módulos LPWAN que manejen protocolo LoRa para comprobar su eficacia de conexión.
- Comprobar que el RSSI de la comunicación entre los dispositivos esté dentro del rango aceptable de propagación.
- Implementar el dispositivo con un bajo costo final.
- Analizar estadísticamente el margen de error de los paquetes enviados desde el nodo transmisor hacia el nodo receptor.
- Detallar los parámetros que se necesitan para una eficiencia en la transmisión de datos.
- Definir un esquema para la implementación del proyecto en la urbanización escogida.
- Realizar las pruebas de los equipos en los puntos extremos de la urbanización para verificar la eficiencia de los dispositivos en el momento de la transmisión.

1.4 Metodología.

La metodología por implementar en esta tesis ha sido estructurada en cuatro fases para poder tener un orden de trabajo [9]. Las fases se detallan a continuación:

La primera fase se basa en la investigación sobre los varios puntos a tratar dentro de esta tesis, como punto inicial tener el contexto de la tecnología que se usa en la ciudad para la medición del flujo de agua potable en los hogares. Se deberá adquirir los módulos LoRaWAN que se requieran para realizar la implementación

del proyecto, analizando mediante el estudio de sus datasheets correspondientes.

La segunda fase, se encarga de que a medida que los sensores y los módulos se vayan adquiriendo, deberán ser probados en campo mediante una transmisión en línea de vista usando un controlador para comprobar que la conexión, la distancia de separación y transmisión de datos entre los dispositivos sea correcta.

Dentro de la fase 3, se implementará el prototipo con los correspondientes módulos LoRaWAN, para esto se debe tener listo el controlador a usar con su respectivo código ya cargado de forma previa. Se deberá elegir una plataforma en la cual se pueda visualizar los datos que vayan obteniendo los sensores y proponer la alternativa de que esta información pueda ser observada desde cualquier lugar que se desee, además, tener el estudio de propagación para realizar la transmisión en la frecuencia y distancia óptimas de comunicación.

Para la fase 4, la red de sensores debe estar lista para su implementación, ya habiendo hecho un estudio de factores a favor y en contra de los módulos que se han elegido, para poder realizar las pruebas de campos. Para este punto se debe elegir una urbanización ubicada en la periferia de la ciudad de Guayaquil y se procederá a analizar la eficiencia de todo el sistema que se ha implementado. Para finalizar, se entregará un informe detallado con todo el trabajo realizado a la directora de tesis.

1.5 Resultados Esperados.

Para la realización de esta tesis, se plantean los siguientes resultados para poder cumplir con los objetivos planteados:

- Se diseñará e implementará una red de bajo consumo de energía con largo alcance y se monitoreará en tiempo real la cantidad de consumo de agua en los hogares de la Urbanización escogida.
- Se medirá frecuentemente el RSSI de la conexión para comprobar que se encuentra dentro del rango permitido para tener una buena propagación de la señal transmitida.

- Generar una propuesta viable de innovación en uno de los puntos clave de la facturación del servicio de agua potable.

1.6 Elementos Diferenciadores o innovadores.

Dentro de los elementos diferenciadores o innovadores que tiene la presente la tesis, son:

- El uso de una tecnología emergente como lo son las redes LoRaWAN usadas en LPWAN [6].
- Mejorar la calidad de un servicio básico, como es el servicio de agua potable, en beneficio de la empresa y de los usuarios.
- Usar dispositivos de bajo costo que nos permita tener buena rentabilidad.
- Usar dispositivos de nueva tecnología con buen alcance para la transmisión de datos.
- Uso de módulos de bajo consumo de energía.
- Estructura de LoRaWAN basada en IoT [8].
- Implementación de una red de sensores con alta tolerancia a las interferencias y alta sensibilidad para recibir datos (-168dB).

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1 LPWAN.

2.1.1 Definición

Low-Power Wide-Area Network, o traduciendo al español es una Red de Área Amplia de Baja Potencia. Como indica su nombre, las LPWANs permiten un consumo bajo de potencia en un área de cobertura de larga distancia. Estas redes nacieron dada la necesidad planteada por IOT (Internet de las Cosas).

Debido a su simplicidad, al momento de enviar un dato o mensaje para comunicarse con algo o con alguien, éste se puede notificar a una larga distancia sin tener la necesidad de consumir mucha energía. Esto es lo que hace LPWAN, envían y reciben pequeñas tramas de información a intervalos poco frecuentes. Tanto dispositivos electrónicos como los mismos sensores van a poder transmitir datos a varios kilómetros de distancia y pueden durar años con una batería AA [13].

2.1.2 Características

Las características de LPWAN para tener en cuenta son:

- Baja potencia. Los dispositivos compuestos en la red podrán funcionar con pequeñas baterías y durar años con la misma
- Área amplia: El rango de operación es mucho más distante que otras redes inalámbricas superando los 2 Km en áreas urbanas.
- Trasmisiones densas: ciudades o grandes edificios para iluminación inteligente, red inteligente y seguimiento de activos.
- Monitoreo de largo plazo: tanto los dispositivos como los sensores pueden ser colocados y monitoreados por varios años. Los sensores y medidores pueden ser instalados y monitoreados a lo largo de grandes períodos de tiempo

En general la tecnología LPWAN trabaja de manera correcta en situaciones donde los dispositivos envían datos o tramas pequeñas en un área amplia y donde es necesario que la duración de la batería se extienda a lo largo de muchos años. [14].

2.1.3 ¿Dónde se encuentra LPWAN?

LPWAN brinda una vida útil de batería de varios años de uso, fue diseñada y desarrollada para aplicaciones que tienen la función de enviar pequeñas tramas de datos varias veces por hora a largas distancias desde distintos lugares a diferencia de WIFI y BLE que son usadas más para conexiones de dispositivos personales cercanos con distancias sumamente pequeñas comparadas con LPWAN [8].








	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
	40%	45%	15%
	Well established standards In building	Low power consumption Low cost Positioning	Existing coverage High data rate
	Battery Live Provisioning Network cost & dependencies	High data rate Emerging standards	Autonomy Total cost of ownership
	Bluetooth 4.0  WiFi	LoRa 	GSM  3G+ / H+ 

Figure 2.1 Comparativa de tecnologías de red

2.2 LoRa.

2.2.1 Definición.

LoRa es el acrónimo de Long Range (Largo Alcance). Es una tecnología inalámbrica de largo alcance, usada para plantear aplicaciones de IoT y M2M. El desarrollo de esta aplicación se expande mucho más allá de la tecnología celular. Se usa esta nueva tecnología para dispositivos de tipo sensores que pueden durar un gran tiempo con una pequeña batería [15].

2.2.2 Modulación LoRa.

LoRa es la capa física de la modulación inalámbrica para comunicaciones de largo alcance. En el mercado de la tecnología y sistemas inalámbrico utilizan modulación de desplazamiento de frecuencia (FSK), porque es muy eficiente para tener como resultado poca potencia. No obstante LoRa se basa en la Modulación CSS (Chirp Spread Spectrum) que es utilizada para comunicaciones militares y espaciales debido a distancias sumamente largas de comunicación, logrando total robustez frente a la interferencia y manteniendo las mismas características de baja potencia de la modulación FSK. Dentro del mercado comercial-tecnológico LoRa es la primera tecnología en implementar este tipo de modulación [15].

2.2.3 Características de LoRa.

Las características principales que presentan los LoRa, son las siguientes:

- Es un protocolo de capa física (capa 1 en el modelo OSI) que brinda y permite un medio de comunicación de largo alcance y baja potencia para aplicaciones de máquina a máquina (M2M) y IoT.
- Semtech desarrolló la tecnología LoRa, pero hoy en día es administrada por la "Alianza LoRa". Para que los fabricantes de Hardware puedan desarrollar y lanzar al mercado estos módulos (y que su funcionamiento sea correcto) deben obtener una certificación de acatamiento de la alianza.
- Un protocolo abierto sobre LoRa es LoRaWAN.
- El protocolo LoRaWAN gestiona las comunicaciones de dispositivos con el extremo final, proporcionando un tipo de cifrado y legitimidad de extremo a extremo, mientras que LoRa proporciona una simple entrega de datos punto a punto.
- Los módulos estándar de LoRa funcionan en dos direcciones, es decir que un receptor puede cumplir las mismas funciones que un transmisor, y viceversa, usando el mismo módulo de radio, a

diferencia de la compañía SigFox que sus módulos no funcionan de esta manera.

- LoRa está más amoldado a escenarios de control y comando.
- A menudo, LoRa es usado para describir todos los sistemas de comunicaciones de LPWAN. Sin embargo, rigurosamente hablando, LoRa es un formato de modulación propietario de Semtech [14].

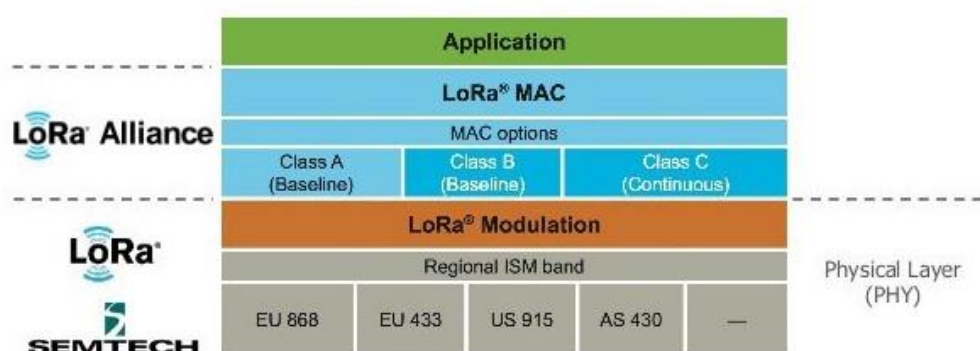


Figure 2.2 Estructura LoRa

2.2.4 ¿Dónde se puede usar LoRa?

LoRa, dentro del mercado de comunicaciones inalámbricas, se la puede usar en distintas conexiones como:

- En comunicación punto a punto (P2P) o máquina a máquina.
- En redes de sensores tanto para ciudades urbanas como en ciudades rurales.
- En tecnología IoT donde NO se requiere transportar voz o video.
- En el rastro de vehículos, animales o personas.
- Redes privadas que no requieren conectarse a servicios en la nube o donde no hay cobertura celular. [8]
- LoRa es una tecnología muy maleable para encontrar la solución a varios problemas de comunicación a larga distancia, gracias a sus estudios de conexión P2P, mesh y redes LoRaWAN, tanto del tipo privadas como las

públicas. Gracias a su bajo consumo de potencia y comunicación de largo alcance esto la hace una tecnología barata y fácil de implementar [16].

2.3 LoRaWAN.

2.3.1 ¿Qué es LoRaWAN?

LoRaWAN es un protocolo de red que permite la comunicación entre dispositivos LoRa. Se ajusta de dos partes principales: gateways y nodos, los primeros son los encargados de recibir o enviar información a los nodos y los segundos son los hosts que envían o reciben información hacia el Gateway. No olvidar que estos dispositivos son bidireccionales y pueden ser desarrollados tanto como transmisores o receptores [8].

2.3.2 Arquitectura de Red.

Muchas redes implementadas existentes utilizan una arquitectura de red en malla. En una red en malla, los nodos finales individuales envían la información de otros nodos a aumentar el rango de comunicación y el tamaño de la celda de la red. Si bien esto aumenta el alcance, también agrega complejidad, reduce la capacidad de la red y reduce la duración de la batería, ya que los nodos reciben y reenvían información de otros nodos que probablemente sea irrelevante para ellos. La arquitectura de estrella de largo alcance tiene más sentido para preservar la vida útil de la batería cuando se puede lograr una conectividad de largo alcance [13].

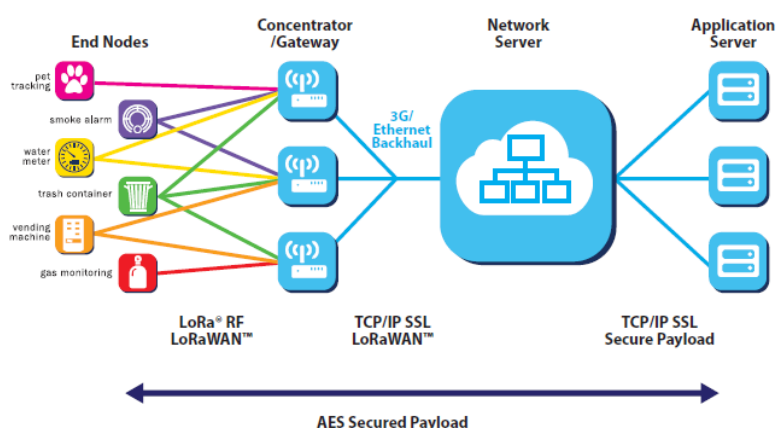


Figure 2.3 Estructura LoRaWAN

2.4 Viables a Medir.

2.4.1 Flujo de agua.

El flujo de agua o caudal de agua, se lo define como la cantidad de agua que circula a través de una sección de un ducto por unidad de tiempo [10]. También se lo conoce como flujo volumétrico de agua o flujo másico de agua. Siendo esta la variable principal a ser tratada y mostrada luego de su respectivo procesamiento.

2.5 Sensor de flujo de agua.

El sensor de flujo de agua, que se muestra en la figura 2.4, permite medir la cantidad de agua que circula por éste, se lo puede usar para controlar la cantidad de agua que llega a una casa, para proyectos de jardinería, o cualquier variable que queramos medir, ya que es muy práctico y sencillo su uso. La manera de hacer funcionar al sensor correctamente es colocando un tubo o manguera por donde circulará el agua, e internamente utiliza un pequeño molino que medirá la cantidad de líquido que circula a través de él. El pequeño molino que se encuentra dentro del sensor de flujo tiene un imán, que cuenta con un sensor magnético de efecto hall que medirá el número de vueltas realizadas por el molino. Gracias a este método, el sensor estará seco completamente y seguro contra fallos [12].



Figure 2.4 Sensor de flujo de agua

2.6 Sistemas Embebidos.

2.6.1 Arduino Uno

El Arduino es una plataforma para realizar prototipos de electrónica que utiliza código abierto, basados en hardware que son de fácil implementación. Para el desarrollo de nuestro proyecto, usaremos la placa Arduino Uno, mostrado en la figura 2.5, usado para recibir e interpretar los datos que censa el sensor de flujo de agua y a su vez, este envía estos datos, ya procesados al transmisor LoRa para su transmisión y enlace [18].



Figure 2.5 Arduino Uno

2.1.1 Modulo Ethernet

Dentro de los diversos componentes que pueden acompañar a una tarjeta Arduino, se encuentran los módulos. Muy usado es el módulo Ethernet, ya que nos permite realizar una conexión a internet vía LAN, solo configurando en código una IP, Gateway, DNS y Sub mascara de la red.

Para nuestra implementación, el módulo que se expone en la figura 2.6 permite que enviemos la información a la nube con una conexión estable de internet vía LAN [26].



Figure 2.6 Modulo Ethernet Arduino

2.1.1 Adafruit RFM9X LoRa Radio

En el mercado actual, existen varias opciones de módulos para realizar transmisión, pero se han elegido los RFM9X, por sus características de funcionamiento que se presentan en la figura 2.7. Además, de ser una tecnología emergente, su facilidad viene desde su tamaño, la distancia de transmisión y el bajo consumo de potencia. En nuestro caso, usaremos la frecuencia de 915 MHz para realizar el radio enlace que se encuentra dentro de las bandas libre según el plan nacional de frecuencias [19]. Su función específica, es la de transmitir los datos de lectura que provee el sensor de flujo de agua y enviarlos a un punto de interés, ya sea para subir a una plataforma web para su posterior análisis o que estos sean analizados en el mismo punto [20].

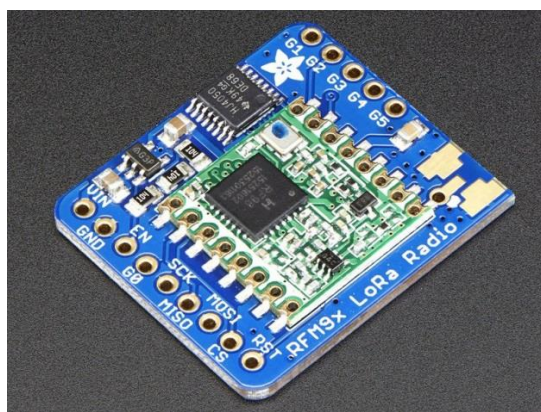


Figure 2.7 Adafruit RFM9X LoRa Radio

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DEL MEDIO Y DISEÑO DE LA RED SENSORES CON SUS COMPONENTES.

Este capítulo presenta y analiza los diversos elementos que han sido tomados en cuenta para desarrollar el diseño de nuestra red y el lugar elegido para la implementación de esta junto a la distribución de los módulos.

3.1 Presupuesto de enlace.

Se conoce como presupuesto de potencia para un enlace punto a punto, como el cálculo de ganancias y pérdidas desde el transmisor hasta el receptor, a través de un medio físico. Para el desarrollo del proyecto, se debe establecer un presupuesto de enlace óptimo para tener una mejor transmisión de los datos y así realizar un mejor análisis de estos. Se debe tomar en cuenta los factores que afectan a un radio enlace, como lo es: Difracción, refracción, reflexión multi-trayecto, dispersión, absorción, despolarización [21].

Para realizar el cálculo del presupuesto de enlace usando la modulación LoRa, se debe tener en cuenta los valores de potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor, tal como se lo realiza en la ecuación 3.1, debido a que estos valores nos dan la capacidad de calcular la pérdida máxima que se permite en el receptor para poder realizar la modulación sin problemas [22].

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = P_{Tx}(dB) - S_{Rx}(dB) \quad (3.1)$$

Para poder tener una facilidad en los cálculos no se toma en cuenta los valores de las pérdidas tanto en cables como en conectores, pero si el valor de las ganancias de las antenas que usaremos en la transmisión de los datos.

Un elemento de suma importancia para realizar el análisis de la potencia del receptor es el valor de SNR, ya que la modulación LoRa es endeble ante el ruido, pero prevalece ante interferencias. El valor de la sensibilidad que posee el receptor nos señala cuando debe ser la potencia mínima de recepción para que pueda existir una correcta modulación de los datos.

$$S_{Rx}(dB) = -174 + 10 \log(BW) + NF(dB) + SNR \quad (3.2)$$

Donde:

NF : es la figura de ruido en el receptor.

SNR : es la mínima relación Señal- Ruido admitida en el receptor.

Realizando el cálculo para nuestro caso, utilizamos las ecuaciones 3.1 y 3.2:

$$SNR = -20$$

$$NF = 6 \text{ dB}$$

$$BW = 300\text{KHz}$$

$$P_{Tx} = 20 \text{ dBm}$$

$$S_{Rx}(dB) = -174 + 10 \log(BW) + NF(dB) + SNR \quad (3.2)$$

$$S_{Rx}(dB) = -174 + 10 \log(300000) + 6(dB) - 20$$

$$S_{Rx}(dB) = -133 (dB)$$

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = P_{Tx}(dB) - S_{Rx}(dB) \quad (3.1)$$

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = 20(dB) + 133(dB)$$

$$Perdida_{m\acute{a}x}(dB) = 153(dB)$$

Esto nos señala que, entre el receptor y el emisor, se acepta una pérdida máxima de 153 dB para exista una demodulación correcta.

Para el cálculo de pérdidas en el espacio libre, usaremos la ecuación 3.3:

$$L_{FSL} = 32,45 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (3.3)$$

Donde f es la frecuencia de transmisión en MHz y d la distancia a la que se encuentran los módulos LoRa en la unidad de Kilómetros.

A esta pérdida se le suma los valores del medio en el cual se desarrolla la comunicación, como son en nuestro caso las interferencias de antenas televisión por cable, de WiFi, de dispersión producto de las viviendas colindantes y demás factores que afecten a la propagación de la onda transmitida.

Las zonas en las cuales se desea implementar este sistema son conocidas como zonas urbanas, por lo tanto, considerando las condiciones del entorno en las que

se desarrolla la transmisión, se ha optado por escoger el modelo de propagación Okumura-Hata para áreas urbanas como se muestra en la figura 3.1. Ya que, este modelo considera de forma correcta las diversas causas que pueden provocar algún tipo de pérdida dentro de la propagación de la onda en el espacio.

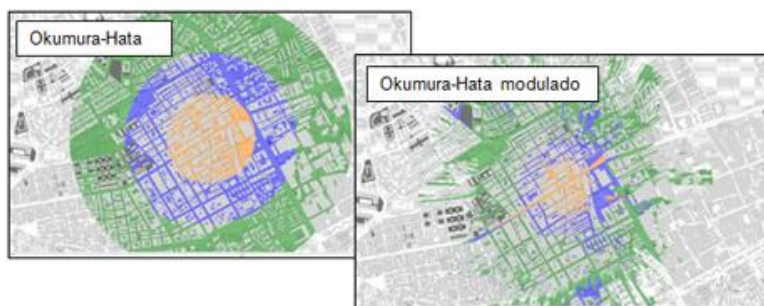


Figure 3. 1 Modelo Okumura-Hata

Aplicando el modelo Okumura-Hata al caso a analizar, debemos suponer lo siguiente: La frecuencia es 915 MHz, la altura del transmisor será 30 m, la distancia 0.1 Km y la altura del receptor en 2 m. Con estos supuestos, la expresión que representa las pérdidas se muestra en la ecuación 3.4 [23]:

$$L_{50}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_t) - a(h_r) + [44.9 - 6.55 \log(h_t)] \log(d) \quad (3.4)$$

Donde $a(h_r)$ es un factor de corrección de la altura de la antena del receptor, viene dada por la ecuación:

$$a(h_r) = (1.1 \log(f_c) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f_c) - 0.8) \quad (3.5)$$

Calculando:

Perdidas en el espacio libre:

$$L_{FSL} = 32,45 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (3.3)$$

$$L_{FSL} = 32,45 + 20 \log(915) + 20 \log(0.1)$$

$$L_{FSL} = 71.6784 \text{ dB}$$

Perdidas de Okumura-Hata:

$$a(h_r) = (1.1 \log(f_c) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f_c) - 0.8) \quad (3.5)$$

$$a(h_r) = (1.1 \log(915) - 0.7)(2) - (1.56 \log(915) - 0.8)$$

$$a(h_r) = 1.2953$$

$$L_{50}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_t) - a(h_r) + [44.9 - 6.55 \log(h_t)] \log(d) \quad (3.4)$$

$$L_{50}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log(915) - 13.82 \log(30) - (1.2953) + [44.9 - 6.55 \log(30)] \log(0.1)$$

$$L_{50}(\text{dB}) = 90.0868 \text{ dB}$$

Pérdidas totales:

$$L = L_{FSL} + L_{50}(\text{dB})$$

$$L = 161.7652 \text{ dB}$$

3.2 Diagrama de bloques y esquemas del sistema.

3.2.1 Diagrama de bloques general

En la figura 3.2 se observa el proceso que, desde el envío de los datos hasta su recepción, decodificando la información hasta llegar a visualizarla.

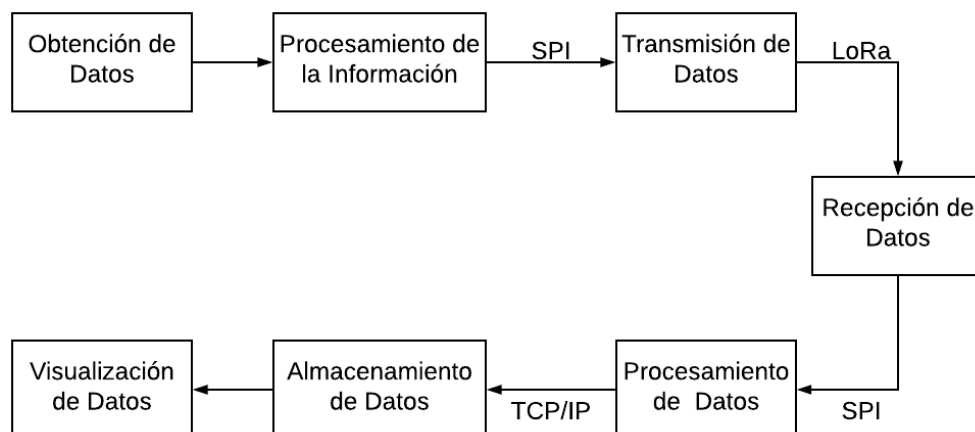


Figura 3.2: Diagrama de bloques del sistema

La figura 3.3 nos presenta el diseño de la red por niveles como son la obtención de las medidas de cada casa luego pasando a transmitir el dato obtenido hasta que llega a un nodo central que procede a visualizar los datos y subirlos a la nube para acceder a ellos en tiempo real.

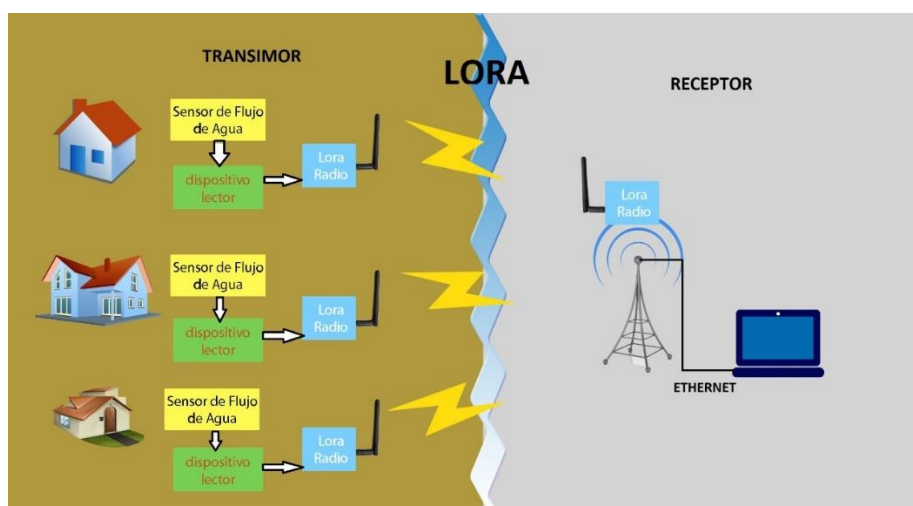


Figura 3.3: Esquema del sistema

3.2.2 Esquema del transmisor

El esquema de conexión del transmisor, usando su módulo y sensor, se presentan en la figura 3.4; denotando los puntos que debe estar cableados entre estos para obtener un buen funcionamiento

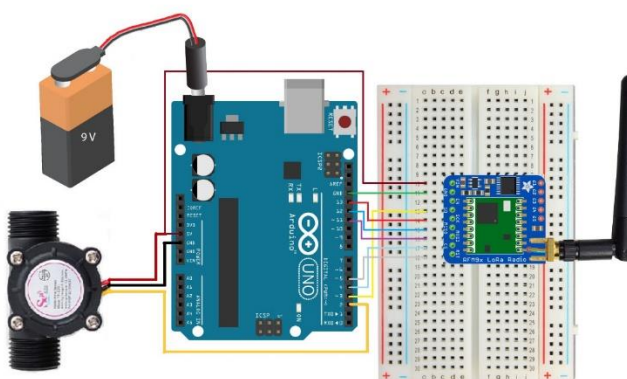


Figure 3. 4: Esquema del transmisor

Diagrama de bloque del transmisor:

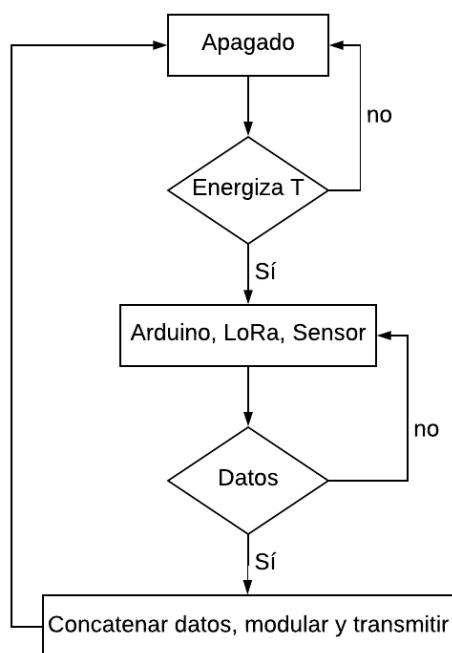


Figura 3.5: Diagrama de bloque del transmisor

El diagrama que explica el funcionamiento del transmisor se observa en la figura 3.5, siendo compuesto de los siguientes puntos:

Apagado: El sistema inicialmente se encuentra apagado hasta que recibir alimentación.

Energiza T: Si la fuente de alimentación de los transmisores se encuentra en estado óptimo el sistema funcionará de forma correcta, caso contrario este estará en un estado de apagado.

Arduino, LoRa, Sensor: Tarjeta arduino, sensor y módulos trabajando.

Datos: Si un sensor deja de funcionar, este dejara de tomar datos sin causar algún tipo de problema a los demás sensores hasta que el averiado reciba mantenimiento.

Concatenar datos, Modular y transmitir: Cuando se están generando los datos, la tarjeta Arduino asumirá el rol de concatenar los mismos y establecer una data que será modulada para su posterior transmisión.

3.2.3 Esquema del receptor

El esquema de conexión del receptor, mostrado en la figura 3.6, presenta los puntos de cableado correspondiente al módulo que realiza el trabajo de nodo central.

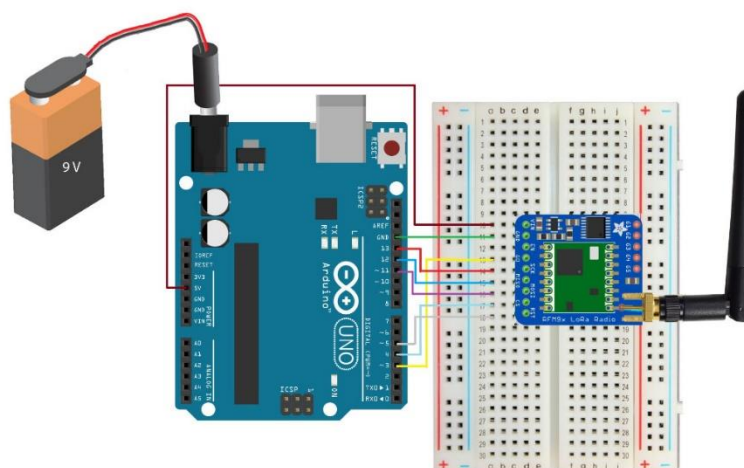


Figure 3. 6: Esquema del receptor

Diagrama de bloques del receptor

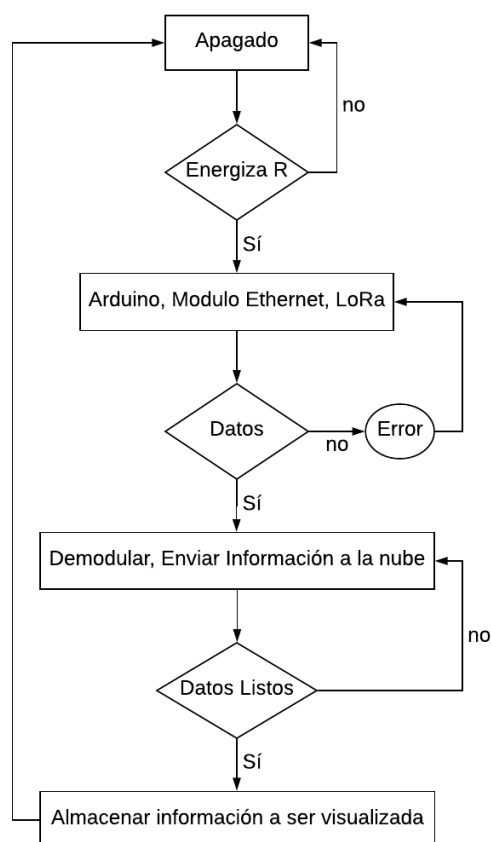


Figura 3.7: Diagrama de bloques del receptor

El diagrama que explica el funcionamiento del receptor se observa en la figura 3.6, siendo compuesto de los siguientes puntos:

Apagado: El sistema inicialmente se encuentra apagado hasta que recibir alimentación.

Energiza R: Si la fuente de alimentación de los transmisores se encuentra en estado óptimo el sistema funcionará de forma correcta, caso contrario este estará en un estado de apagado.

Arduino, Modulo Ethernet, LoRa, Sensor: Tarjeta arduino, modulo ethernet, sensor y módulos trabajando

Datos: Si los datos no han sido receptados, se genera una señal que nos alerta del error que debe ser reparado, caso contrario el sistema sigue su proceso.

Demodular, Enviar información a la nube: El módulo LoRa recepta la señal y la demodula, posteriormente la tarjeta Arduino procesa el dato recibido para que este sea enviado a la nube por medio del módulo ethernet.

Datos listos: Se comprueba que los datos estén preparados para ser subidos.

Almacenar información a ser visualizada: Los datos que han sido censados, enviados y recibidos; se transformaran en información que estará a la orden de los usuarios para ser consultados.

3.3 Topología de la red

Para poder realizar el diseño de una red, se debe empezar por dimensionar los elementos que la conforman, su orden y la función de cada uno de estos, entre otras características que se puedan analizar.

Esta red de sensores de variables físicas como lo es el flujo de agua es de tipo inalámbrico, fundamentado en el paradigma de IoT y de ciudad inteligente, se recomienda la siguiente topología física.

Para nuestra red de sensores, se analiza solamente la variable física del flujo de agua, variable que será transmitida de forma inalámbrica, que está basado en el paradigma de IoT y de ciudad inteligente bajo el protocolo LoRa; por lo que se recomienda el uso de una red estrella para la misma [8].

3.3.1 Red en Estrella

El diseño se logra a través de dispositivos finales conectados a un dispositivo intermedio central, esta disposición de sus elementos es ampliamente usada debido a la facilidad de instalación, la posibilidad de ser escalable y un manejo de fallos más viable que otras configuraciones.

La red estrella se compone de varios dispositivos que se conectan a un nodo central, lo que le permite ser ampliamente escalable, ya que la cantidad de dispositivos a conectar viene dada por la capacidad del receptor central y su facilidad de manejar grandes cantidades de datos. Es muy usado por su facilidad de ensamblaje y de su simplicidad para manejar fallos en la red y detectarlos oportunamente.

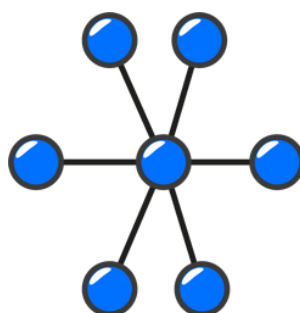


Figura 3.8: Topología de Red Estrella

En su parte inicial nuestra red presenta a los sensores de flujo de agua conectados a su módulo de comunicación LoRa para que transmita la información al nodo principal.

El segundo elemento dentro de la red es el que recibe la información transmitida de los sensores por medio de su receptor LoRa y tendrá una comunicación ethernet estable que le permitirá subir los datos a la nube para que sean visualizados.



Figura 3.8: Esquema de la Red Estrella

El esquema nos permite tener una aproximación visual de cómo se ubican los sensores, esto es, tener el receptor en un punto central a todos estos

para tener una recepción óptima priorizando que las pérdidas por transmisión sean mínimas. Así, los datos recibidos serán más fiables y el error será mitigado en mayor proporción.

El lugar escogido para la implantación de este proyecto fue la etapa Alameda del Bosque que se encuentra dentro de la Urbanización Bosques de la costa, ubicado en el Km. 9.8 vía a la costa.

Dentro figura 3.9, se señalan 136 ubicaciones que corresponden a cada vivienda dentro de la etapa escogida para la implementación. Se realizó una simulación en RadioMobile para analizar el relieve de la zona, encontrando que los diferentes puntos se encuentran relativamente al mismo nivel sin presentar variaciones de gran magnitud.

Los sensores se han ubicado a una distancia de 10 m de separación, ya que esta es la separación entre cada casa, y el nodo ubicado en el centro nos ofrece una cobertura de 500 m, aunque este valor puede cambiar dependiendo de las ganancias de las antenas que se usen para transmitir.

La cantidad de nodos que reciban los datos, se escogen en base a la cantidad de sensores que puede manejar cada nodo dentro de la cobertura que estos puedan dar para no tener pérdidas en la información censada.

La localización de los nodos que capturen la información de cada sensor debe ser escogida en base a la distancia de comunicación entre receptor y transmisor para disminuir las pérdidas; es decir, se realiza esta decisión basado en el radio de cobertura que abarque la mayor cantidad de transmisores. Evitando una sobre dimensión de la red, colocando más receptores de los que se necesitan y solo concentrando la información en un punto.



Figura 3.9: Ubicación de cada sensor con su nodo

La figura 3.9 muestra el radio de cobertura del receptor abarca la etapa analizada en su totalidad. Se tiene el punto más lejano del receptor a 200 m y el radio máximo es 500 m, por lo tanto, se considera que un solo receptor puede dar cobertura a una etapa completa y en una condición óptima de trabajo, podría abarcar la distancia de 2 etapas.

El nodo receptor, se colocó en el parque de la etapa que se encuentra en un punto medio a todas las casas, en el cual se encuentra lugares con acceso a internet para que se pueda subir la información a la nube.

La escalabilidad de la red es posible, ya que la cobertura de los módulos nos permite conectar varias etapas y obtener tener una redundancia de los datos, y que estos no se pierdan en caso de alguna avería o daño en una porción de la red. Llegando a ser lo suficientemente escalable para cubrir la urbanización por completo.

CAPÍTULO 4

4. ANALISIS DE RED PROPUESTA

El capítulo presenta las distintas variables para demostrar la fiabilidad y viabilidad de la red para su posterior implementación.

4.1 Análisis de la Propagación

El estudio y análisis de la propagación que se desarrolló se compara con la simulación del enlace en un escenario que nos provee el software RadioMobile, para este caso mostrado en la figura 4.1, siendo escogido el transmisor localizado en el punto más lejano al nodo receptor. Obteniendo niveles de pérdidas similares a las calculadas teóricamente.

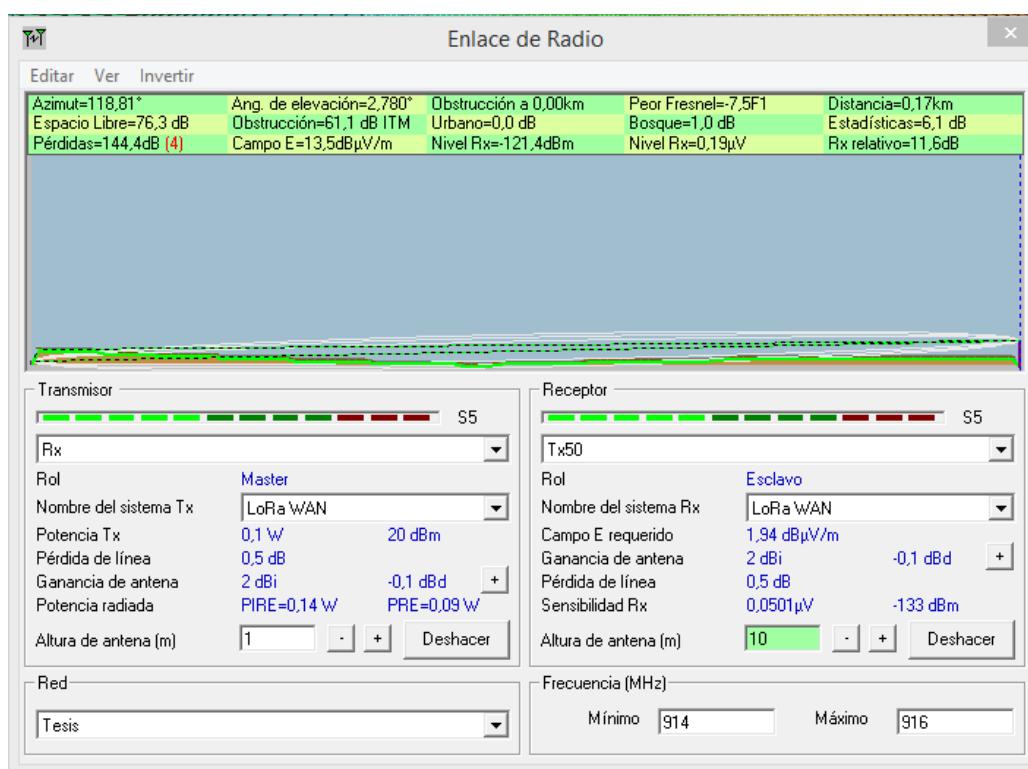


Figura 4.1: Simulación en RadioMobile de un escenario.

4.2 Fiabilidad del Sistema

Para nuestro sistema, la fiabilidad de este se analizará tomando en cuenta cuatro características, que son: Cobertura, tasa de datos, error de paquetes enviados y costos de implementación.

4.2.1 Distancia de Cobertura

La prueba de campo que nos permitió conocer la distancia de cobertura de nuestros equipos se desarrolló en el Parque de Samanes de Guayaquil, para lo cual se realizaron dos mediciones.

La primera prueba, presentada en la figura 4.2, se realizó con los equipos sin línea de vista. Se obtuvo una distancia de cobertura de 489,56 m, teniendo en cuenta que el lugar escogido para esta prueba tiene vegetación, construcciones y para ese momento el clima estaba lluvioso; además, de la interferencia y ruidos presentes por diversas señales en el lugar.

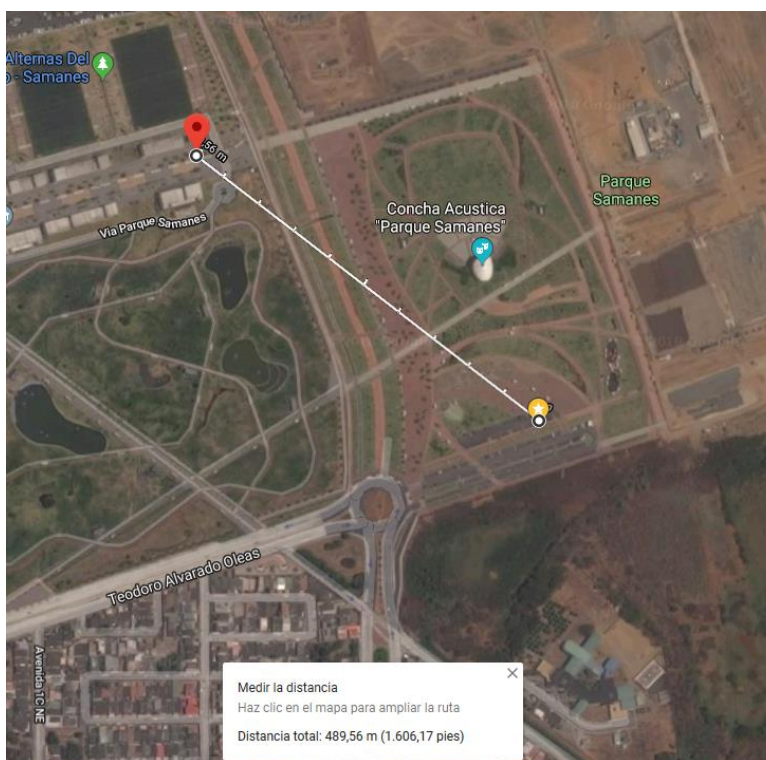


Figura 4.2: Prueba sin línea de vista

La segunda prueba, mostrada en la figura 4.3, se basó en obtener la máxima distancia de cobertura en línea de vista, dando como resultado una distancia de 765.73 m. Esto en una carretera en línea recta y con un clima lluvioso, que provoco dificultades en la transmisión.

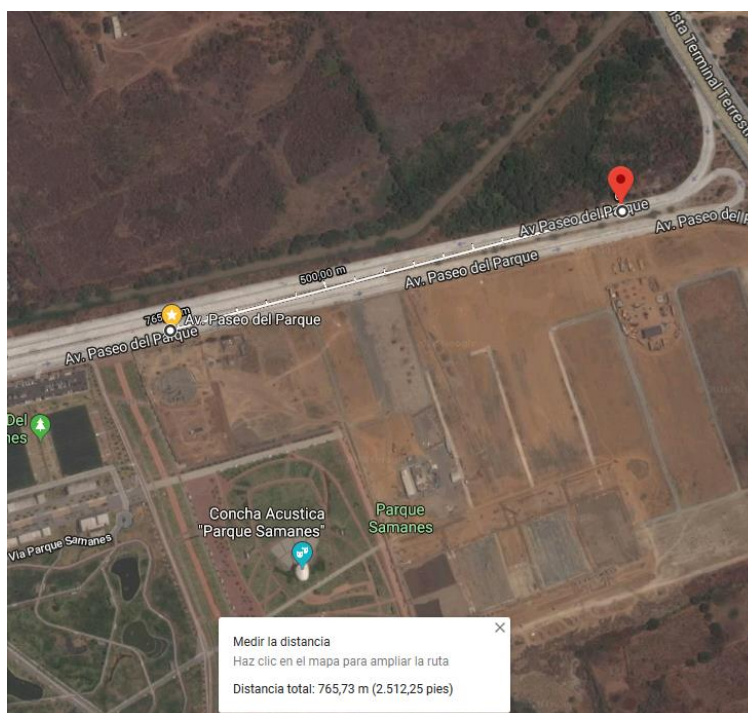


Figura 4.3: Prueba en línea de vista

Con esto comprobamos en pruebas de campo, que nuestros equipos pueden realizar transmisiones a distancias en las cuales puedan abarcar sin ningún problema una etapa o varias etapas de una urbanización, sin mayores alteraciones producto del climas o señales externas las cuales podrían provocar que la señal sufra problemas.

4.2.2 Tasa de datos

Para el análisis de la tasa de datos de nuestros equipos, se debió buscar en los datasheet del fabricante información necesaria como lo es el ancho de banda, el factor de propagación, la cantidad de elementos posibles en la red y velocidad máxima de transmisión [24].

Según lo consultado, teóricamente los módulos LoRa nos permiten conectar hasta 1 millón de dispositivos con un alcance de hasta 15 Km, una velocidad máxima de 50 Kbps y un ancho de banda de 300 Kbps.

Para el caso de nuestros equipos, cada paquete de datos enviados por los transmisores es de 10 bytes, es decir 80 bps, con los datos anteriormente expuestos de nuestros equipos se podrán conectar hasta máximo 3750 dispositivos Lora para nuestra red.

$$\#dispositivos_{LORA} = \frac{\text{ancho de banda}}{\text{bits transmitidos}} \quad (4.1)$$

$$\#dispositivos_{LORA} = \frac{300Kbps}{80bps}$$

$$\#dispositivos_{LORA} = 3750 \text{ dispositivos}_{LORA}$$

Demostrando que, para el caso de estudio, se cumple con los requerimientos porque la etapa de la urbanización analizada contempla 136 casas y nuestros equipos pueden soportar hasta 3750 dispositivos. Se sabe que, LoRa trabaja con un factor de propagación (SF) que va de 7 a 12 y con el ancho de banda (BW) que es de 300Kbps tendremos una tasa de datos de:

$$Tasa \ de \ datos = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} = 7 \times \frac{300Kbps}{2^7} = 16,41 \ Kbps \quad (4.2)$$

Una tasa de datos, que nos permite enviar la información necesaria a la velocidad que suficiente sin que existen mayores pérdidas en la transmisión, teniendo en cuenta la cobertura antes expuesta.

4.2.3 Errores de paquetes enviados.

Dentro de la urbanización analizada, se estableció la comunicación de los equipos durante una hora para poder tener la información necesaria sobre la cantidad de datos que se envían y se receptan, para poder así analizar el error en la comunicación.

El estudio se lo realizó usando dos transmisores, arrojando los siguientes resultados:

Paquetes enviados por transmisor 1: 2415

Paquetes enviados por transmisor 2: 2414

Paquetes recibidos del transmisor 1: 1509

Paquetes recibidos del transmisor 2: 1572

Calculando la proporción de paquetes enviados correctamente, tenemos:

$$\% \text{ Paquetes enviados: } \frac{\text{Paquetes recibidos}}{\text{Paquetes enviados}} \times 100 \quad (4.3)$$

Tanto para el transmisor 1 como para el transmisor 2, se muestran los valores de porcentajes de paquetes enviados a continuación:

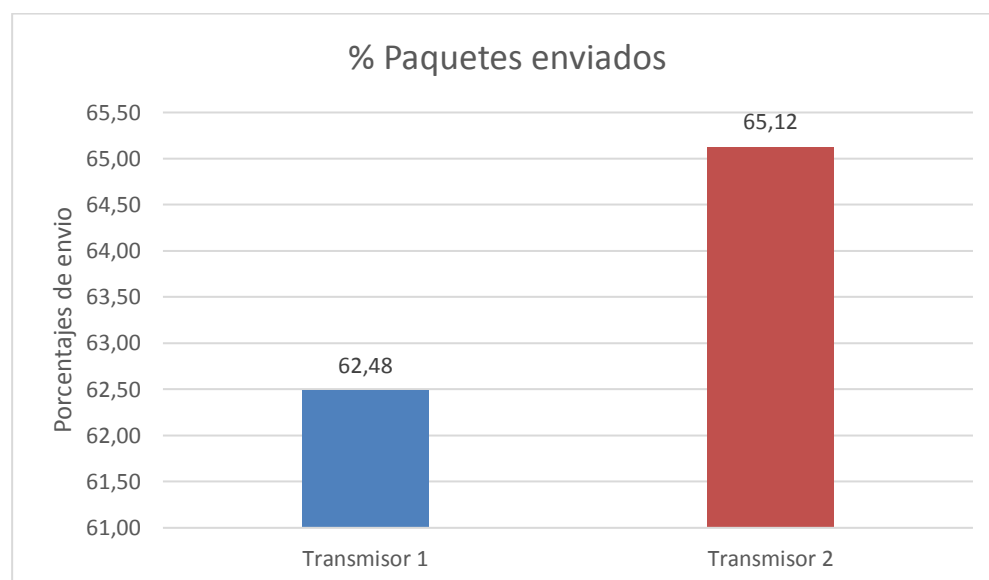


Figura 4.4: Porcentajes de paquetes enviados en transmisores

Por lo tanto, se tiene un error aproximado del 36.2% en la comunicación, esto debido a fallas de comunicación producto del medio o interferencias que afectan la misma. A pesar de esto, se considera una buena comunicación, ya que su efectividad es superior al 50%.

La comunicación puede ser mejorada utilizando mejores antenas para tener una transmisión con menores pérdidas o a su vez, realizar cambios en el código de programación para optimizar el envío de los datos aumentando la tasa de paquetes enviados.

4.2.4 Costo de implementación.

Para la implementación del sistema, se requiere conocer el costo de los equipos y dimensionarlos para la etapa que se escogió dentro de la urbanización. La tabla 4.1 detalla el costo de los transmisores:

Costos	
Cable Jumper	\$12
Sensor de flujo de agua	\$8,99
LoRa Adafruit RFM9x	\$25,48
Arduino Uno	\$9,99
Conectores y antenas	\$15
Baterías de 9V	\$20
Total	\$91

Tabla 4.1: Costos de transmisor

Dentro de la tabla 4.2, se muestra los costos del receptor a ser implementado:

Costos	
Cable Jumper	\$12
LoRa Adafruit RFM9x	\$25,48
Arduino Uno	\$9,99
Modulo Arduino Ethernet	\$12,98
Conectores y antenas	\$15
Baterías de 9V	\$20
Total	\$95

Tabla 4.2: Costos del receptor

Estos costos son tomados de los valores actuales en el mercado y son considerados por unidad, a continuación, se muestra en la tabla 4.3 el alcance para las 136 casas que pertenecen a la etapa analizada

Elemento	Costo Unitario	Cantidad	Costo Final
Receptor	\$ 95	1	\$ 95
Transmisor	\$ 91	136	\$ 12.376
Total			\$ 12.471

Tabla 4.3: Tabla de costos finales

4.3 Comunicación con la nube.

Como plataforma de visualización online de los datos, se ha elegido ThingSpeak, ya que al ser basado para IoT, se presta de buena forma para este tipo de implementación. Se debe tomar en cuenta que la plataforma, nos permite subir un dato cada 15 segundos, esto en casos ideales en los cuales se tenga una comunicación estable tanto de los módulos como con internet.

La figura 4.4 muestra el canal creado para poder subir los datos para que estos puedan ser presentados.



Figura 4.4: Canal de ThingSpeak

Para el caso de nuestros equipos, se tuvo que los datos fueron enviados a la plataforma en promedio cada 20 segundos en promedio, teniendo siempre almacenado el último dato que se ha enviado, con lo que los datos que han sido censados antes de ser enviados a la nube no van a ser visualizados, pero si transmitidos.

Para esto, la figura 4.5, nos presenta las gráficas de los transmisores con la fecha y el dato que se ha censado.

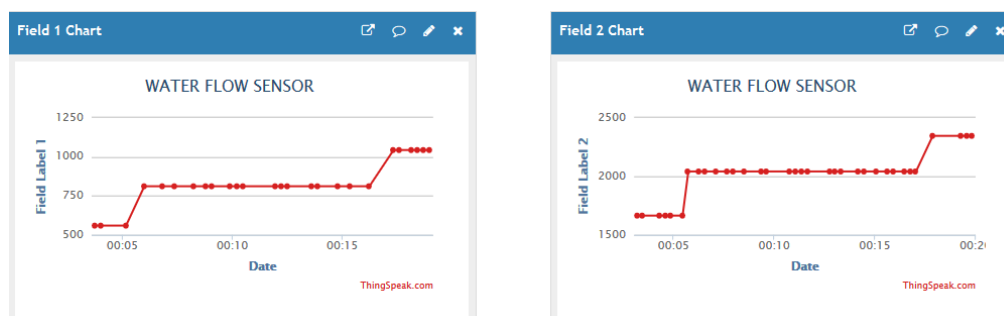


Figura 4.5: Graficas de cada transmisor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El ancho de banda de nuestro sistema será lo suficientemente óptimo para realizar el envío de datos de nuestros hosts hacia el nodo principal, considerando que la cantidad de datos enviados es pequeña entonces podremos enviar una gran cantidad de datos por segundo y nuestro sistema no tendrá problema en abarcar los dispositivos conectados en nuestra red

La capacidad máxima de host no debe tomarse como un fin sino se deben adaptar a la cantidad necesaria de usuarios para que la transmisión sea correcta incluyendo la distancia entre los hosts y el nodo principal y la cantidad de datos enviada

Se debe considerar la alimentación de los equipos como una alimentación autónoma, esto es, una alimentación directa desde las viviendas para que el sistema funcione de forma correcta y en su defecto, colocar un panel solar de bajo costo como respaldo en caso de que la alimentación primaria falle.

Un problema que puede volver vulnerable la red es la redundancia de este, con lo cual se recomienda, por lo menos, colocar un nodo extra que esté realizando el trabajo de censado, así se mantiene la medición estable y continua.

Dentro de la transmisión, un punto a considerar es el indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI por las siglas en inglés), que se encuentra dentro del rango de -50 dBm y -80 dBm, lo que nos indica que se tiene una intensidad óptima de la señal y podemos deducir que la calidad de esta será de igual manera, dado que nuestros equipos no son afectados de gran forma por el ruido.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Universo, «"Consumo adecuado de agua aún es tarea pendiente en Guayaquil",» 24 Agosto 2008. [En línea]. Disponible: <https://www.eluniverso.com/2008/08/24/0001/1064/1A5525528C6D416A9957AB9C6B27BCB7.html>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [2] Lora-Alliance, «Lora-Alliance,» [En línea]. Disponible: <https://www.lora-alliance.org/technology>. [Último acceso: 31 Octubre 2017].
- [3] Deusto, «LoRaWan - Long Range Wide Area Network,» [En línea]. Disponible: <https://blogs.deusto.es/aplicaciones-tic/lorawan-long-range-wide-area-network/>. [Último acceso: 31 Octubre 2017].
- [4] I. o. T. Patners, «Internet of Things Patners,» 30 Diciembre 2015. [En línea]. Disponible: http://www.iot-partners.com/es_ES/2015/12/lorawan-una-red-de-largo-alcance-para-iot/. [Último acceso: 31 Octubre 2017]
- [5] T. T. Network, «Home - The Things Network Wiki,» 23 Agosto 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.thethingsnetwork.org/wiki/LoRaWAN/Home>. [Último acceso: 31 Octubre 2017].
- [6] Cisco, «Low Power Wide Area Wireless Solution,» [En línea]. Disponible: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/lorawan-solution.html>. [Último acceso: 31 Octubre 2017].
- [7] Emprenderalia, «¿Qué es el Producto Mínimo Viable?,» 2011 Noviembre 2011. [En línea]. Disponible: <https://www.emprenderalia.com/que-es-el-mvp-producto-viable-minimo/>. [Último acceso: 31 Octubre 2017]
- [8] Medium, «Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 1.- ¿Qué es LoRa y LoRaWAN?,» 25 Septiembre 2017. [En línea]. Disponible: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>. [Último acceso: 31 Octubre 2017].

- [9] C. Y. B. Ordoñez, «Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos LPWAN Mediante Módulos LoRa para el Monitoreo de la Calidad del Agua en 2 Ríos,» Agosto 2017. [En línea]. Disponible: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6433/1/BurbanoOrdo%C3%B1ezCristianYamith2017.pdf>. [Último acceso: 31 Octubre 2017].
- [10] R. A. Española, «Diccionario de la Lengua Española,» [En línea]. Disponible: <http://dle.rae.es/?id=7zNAPrn|7zOkCSu>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [11] "Particle". [En línea]. Disponible en: <https://docs.particle.io/guide/getting-started/intro/photon/>. [Consultado: 15-dic-2017].
- [12] Electronilab, «Electronilab,» [En línea]. Disponible: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-flujo-de-agua-g12-1-30lmin/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [13] I. Mexico, «¿Qué es LPWAN y por qué es importante? Una forma muy sencilla y didáctica de explicarlo @SIGFOX,» [En línea]. Disponible: <http://www.ionet.mx/index.php/2017/01/19/que-es-lpwan-y-por-que-es-importante-una-forma-muy-sencilla-y-didactica-de-explicarlo-sigfox/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [14] ITSitio, «Dispositivos conectados: LPWAN y su importancia para la Internet de las Cosas,» 8 Mayo 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.itsitio.com/bo/dispositivos-conectados-lpwan-importancia-la-internet-las-cosas/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [15] L. Alliance, «What is LoRa?,» 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].

- [16] B. d. S. I. Platform, «Sigfox vs LoRa: comparando redes LPWAN,» 23 Mayo 2017. [En línea]. Disponible: <https://about.sofia2.com/2017/05/24/sigfox-vs-lora/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [17] L. Alliance, «A technical overview of LoRa and LoRaWAN,» Noviembre 2015. [En línea]. Disponible: https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [18] Arduino.cl, «¿Qué es Arduino?,» [En línea]. Disponible: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [19] ARCOTEL, «Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2017,» Abril 2017. [En línea]. Disponible: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1_DOCUMENTO-PNF..pdf. [Último acceso: 30 Enero 2018].
- [20] Adafruit, «Adafruit RFM69HCW and RFM9X LoRa Packet Radio Breakouts,» 3 Noviembre 2016. [En línea]. Disponible: <https://learn.adafruit.com/adafruit-rfm69hwc-and-rfm96-rfm95-rfm98-lora-packet-padio-breakouts/overview>. [Último acceso: 30 Enero 2018].
- [21] T. Wayne, de *Sistema de comunicaciones electrónicas*, México, Pearson Educación, 2003, pp. 353-357.
- [22] J. Seybold, de *Introduction to RF Propagation*, New Jersey, Jhon Wiley & Sons, Inc., 2005, pp. 66-69.
- [23] J. Seybold, de *Introduction to RF Propagation*, New Jersey, Jhon Wiley & Sons, Inc., 2005, pp. 146-152.
- [24] SEMTECH, «Datasheet RFM9X,» 3 Noviembre 2016. [En línea]. Disponible: https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3179/sx1276_77_78_79.pdf. [Último acceso: 14 Febrero 2018].

[25] ThingSpeak, «Learn More About ThingSpeak,» [En línea]. Disponible: https://thingspeak.com/pages/learn_more. [Último acceso: 14 Febrero 2018].

[26] L. Llamas, «Conectar Arduino a Internet o LAN con Shield Ethernet W5100,» 6 Febrero 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.luisllamas.es/arduino-ethernet-shield-w5100/>. [Último acceso: 14 Febrero 2018].