

**Estudio de cobertura de un servicio de red inalámbrica de IoT sobre protocolo LoRA en
entorno metropolitano**

Juan Pablo Rincón Álvarez
Fabián Alejandro Linares Rozo

Universitaria Agustiniana
Facultad de Ingenierías
Programa Ingeniería en Telecomunicaciones
Bogotá D.C.
2020

**Estudio de cobertura de un servicio de red inalámbrica de IoT sobre protocolo LoRA en
entorno metropolitano**

Juan Pablo Rincón Álvarez
Fabián Alejandro Linares Rozo

Director
Carlos Andrés Gómez Ruiz

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Universitaria Agustiniana
Facultad de Ingenierías
Programa Ingeniería en Telecomunicaciones
Bogotá D.C.
2020

Resumen

El objetivo central del documento es desarrollar un estudio de cobertura de un servicio de red inalámbrica de Internet de las cosas (Internet of Things - IoT) sobre protocolo LoRA en un entorno metropolitano, a través de la medición de dos variables de mayor relevancia de una señal: Potencia de recepción (RSSI) y relación de señal a ruido (SNR). Para llevar a cabo esto se identificaron y caracterizaron tres entornos: Comercial, Residencial y Rural. Se realizaron mediciones en la ciudad de Bogotá, ubicando los entornos mencionados anteriormente; se ubicó la estación LoRa en la parte Nororiental de la ciudad, donde se tiene una alta demanda comercial (Zona Galerías: La Esmeralda, Nicolás de Federmán, Nuevo Campin, Pablo VI, Quirinal, Rafael Núñez, San Luis, Palermo, La Soledad, Parkway) y por otra parte en la parte Suroriental se tiene una alta demanda residencial (Santa Lucía, San José, Las Lomas, Las Colinas, Los Pijaos, San Isidro, San Jorge, Marco Fidel Suarez, San Carlos, Tunjuelito, Tunal, Quiroga, Olaya, Centenario, Restrepo, Santander, Santa Isabel, Veraguas, La Fragua, Santa Matilde, Comuneros, Tibana, Primavera, San Rafael, Colón, Galán, La Pradera, La Floresta Sur, Villa Claudia, Tejar, Alquería La Fragua, La Alquería, Venecia, Fátima, entre otros), para la parte rural se ubicó una finca camino a San Cayetano Pueblo Viejo donde se realizaron las respectivas simulaciones. Se obtuvo múltiples mediciones de las variables RSSI y SNR, georreferenciadas, lo cual permitió realizar análisis para caracterizar la cobertura del mencionado servicio en los entornos estudiados.

Palabras clave: Estación LoRa, RSSI, SNR, cobertura, georreferencia.

Abstract

The main objective of the document is to develop a coverage study of a wireless Internet of Things service (Internet of Things - IoT) on the LoRA protocol in a metropolitan environment, through the measurement of two variables of greater relevance of a signal: Receiving power (RSSI) and signal to noise ratio (SNR). To carry out this, three environments were identified and characterized: Commercial, Residential and Rural. Measurements were made in the city of Bogotá, locating the environments mentioned above; The LoRa station was located in the Northeast part of the city, where there is a high commercial demand (Galleries Zone: La Esmeralda, Nicolás de Federmán, Nuevo Campin, Pablo VI, Quirinal, Rafael Núñez, San Luis, Palermo, La Soledad, Parkway) and on the other hand in the Southeast part there is a high residential demand (Santa Lucía, San José, Las Lomas, Las Colinas, Los Pijaos, San Isidro, San Jorge, Marco Fidel Suarez, San Carlos, Tunjuelito, Tunal, Quiroga , Olaya, Centenario, Restrepo, Santander, Santa Isabel, Veraguas, La Fragua, Santa Matilde, Comuneros, Tibana, Primavera, San Rafael, Colón, Galán, La Pradera, La Floresta Sur, Villa Claudia, Tejar, Alquería La Fragua, La Alquería, Venecia, Fátima, among others), for the rural part a farm was located on the way to San Cayetano Pueblo Viejo where the respective simulations were carried out. Multiple measurements of the georeferenced RSSI and SNR variables were obtained, which allowed analysis to characterize the coverage of the aforementioned service in the studied environments.

Keywords: Estación LoRa, RSSI, SNR, cobertura, georreferencia.

Tabla de contenidos

1. Introducción	7
2. Problema de investigación	8
3. Pregunta de investigación	9
4. Objetivos	10
4.1. Objetivo general	10
4.2. Objetivos específicos	10
5. Marcos de referencia	11
5.1. Marco Conceptual	11
5.1.1. Redes Inalámbricas.	11
5.1.2. LPWAN.	12
5.1.3. RSSI.	13
5.1.4. Relación señal a ruido SNR	14
5.1.5. Transmisión.	14
5.2. Marco teórico	15
5.3. Marco Legal	16
6. Metodología	19
6.1. Metodología Cuantitativa	19
6.2. Administración del proyecto	19
6.2.1. Cronograma.	19
6.2.2 Presupuesto.	21
7. Desarrollo del problema de investigación	24
7.1. Entorno de pruebas para la tecnología de red LPWAN bajo protocolo LoRA	24
7.1.1. Receptor (Estación Móvil).	24
7.1.2. Transmisor (Estación Base).	29
7.2. Medición de RSSI y SNR de una estación LoRA en un entorno residencial y un entorno comercial	31
7.2.1. Entorno Comercial.	32
7.2.2. Entorno Residencial.	35

7.3. Simulación de la cobertura bajo la variable RSSI de una estación LoRA en un entorno residencial, un entorno comercial y un entorno rural.	39
7.3.1. Entorno residencial.	40
7.3.2. Entorno comercial.	45
7.3.3. Entorno rural.	48
7.4. Análisis de las mediciones y datos simulados.	53
7.4.1. Entorno comercial.	53
7.4.2. Entorno residencial.	60
7.4.3. Entorno rural.	67
8. Conclusiones	77
9. Referencias	78

1. Introducción

En los últimos años hemos visto como la necesidad de poder medir, analizar y manipular los datos va tomando más relevancia, llegando al punto de ser casi indispensable para algunas industrias (Madoune R. Seye, 2017). Debido a esto se han desarrollado dispositivos y tecnologías como los son El Internet de las Cosas (IoT), que desde una perspectiva general, es una interconexión de dispositivos a través de internet que pueden llegar a enviar o recibir datos pudiendo usar para tal fin protocolos de red específicos (Fox, Donnellan, & Doumen, 2019). Estudios realizados por diversas compañías prevén que para este año 2020 la cantidad de dispositivos IoT llegue a un poco menos del doble del número de habitantes en el mundo (Oracle Colombia, 2020).

Recientemente, las redes LP-WAN (Low Power Wide Area Networks) han tomado un papel protagónico para este tipo de tecnologías evolucionando a grandes velocidades y dando paso a la intercomunicación de dispositivos finales a kilómetros de distancia; esta grandiosa hazaña es lograda gracias a la conexión de redes tipo estrella-estrella donde cada uno de los dispositivos establece una comunicación directa al gateway IoT.

2. Problema de investigación

Para el desarrollo e implementación de servicios de conectividad para dispositivos de IoT en diversos entornos metropolitanos, es necesario entender cómo se comportan variables importantes como la potencia de recepción y la relación de señal a ruido, en dichos entornos. Así, es importante la realización de pruebas de campo que permitan obtener datos de análisis que permitan caracterizar estos comportamientos.

3. Pregunta de investigación

¿Cómo se comportan las variables de cobertura de una red de IoT con protocolo LoRA en distintos entornos metropolitanos locales?

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Desarrollar un estudio de cobertura de un servicio de red inalámbrica de IoT sobre protocolo LoRA en entorno metropolitano.

4.2. Objetivos específicos

- Implementar un dispositivo para la toma de mediciones de la tecnología de red LPWAN bajo protocolo LoRA.
- Tomar medidas de RSSI y SNR de una estación LoRA en un entorno residencial y un entorno comercial.
- Simular la cobertura bajo la variable RSSI de una estación LoRA en un entorno residencial, un entorno comercial y un entorno rural.
- Realizar análisis de las mediciones y datos simulados.

5. Marcos de referencia

5.1. Marco conceptual

5.1.1. Redes inalámbricas.

Red inalámbrica es una red en la que dos o más terminales (ordenadores portátiles, agendas electrónicas, etc.) se pueden comunicar sin la necesidad de una conexión por cable. Gracias a las redes inalámbricas, un usuario puede mantenerse conectado cuando se desplaza dentro de una determinada área geográfica. Esto se debe a la radiación, donde las redes inalámbricas se basan en un enlace que utiliza ondas electromagnéticas (radio e infrarrojo), es decir, una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro en lugar de cableado estándar. Hay muchas tecnologías diferentes que se diferencian por la frecuencia de transmisión que utilizan, y el alcance y la velocidad de sus transmisiones. (Tomasi, 2004).



Figura 1. Red Inalámbrica típica. (radimer.es, 2017)

Las redes inalámbricas permiten que los dispositivos remotos se conecten sin dificultad, ya se encuentren a unos metros de distancia como a varios kilómetros. Asimismo, la instalación de estas redes no requiere de ningún cambio significativo en la infraestructura existente como pasa con las redes cableadas. Tampoco hay necesidad de agujerear las paredes para pasar cables ni de instalar porta cables o conectores. Esto ha hecho que el uso de esta tecnología se extienda con rapidez.

Al igual que WiFi, Bluetooth, LTE, SigFox o Zigbee, en las redes LPWAN, LoRa es una tecnología inalámbrica. LoRa utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia, como la AM o la FM o el PSK; pero patentado por Semtech una importante empresa fabricante de chips de radio. Esta tecnología de modulación se llama Chirp Spread Spectrum, o CSS, y se usa en comunicaciones militares y espaciales desde hace décadas. La gran ventaja de la misma es que puede lograr comunicaciones a largas distancias (típicamente kilómetros) y tiene gran solidez frente a las interferencias. (González, 2012) Todo esto hace que ésta sea una tecnología ideal para conexiones a grandes distancias y para redes de IoT en las que se necesiten sensores que no dispongan de corriente eléctrica de red. Por ello, tiene grandes posibilidades de aplicación para Smart Cities o ciudades inteligentes, lugares con poca cobertura celular cómo por ejemplo aplicaciones agrícolas o ganaderas en el campo, o para construir redes privadas de sensores y/o actuadores. En resumen, LoRa es un esquema de modulación de señales en radiofrecuencia creado por la empresa Semtech Corporation. Esta empresa diseña y produce entre otros elementos los chips LoRa que serán utilizados como base física de las redes LoRaWAN. (Parri, Parrino, Peruzzi, & Pozzebon, 2019). LoRaWAN es una implementación del protocolo LPWAN que utiliza la tecnología LoRa. LoRaWAN es desarrollado por la denominada LoRa Alliance integrada entre otros por Cisco, IBM y Orange. Podemos ver a LoRaWAN como la definición del protocolo y la arquitectura de red sobre el cual interactuarán directamente las aplicaciones.

5.1.3. RSSI.

RSSI o el indicador de intensidad de señal recibida, es una medida que nos indica lo bien que un dispositivo puede oír, detectar y recibir señales de cualquier punto de acceso o de un router específico. Esto nos permite determinar y saber si una señal es suficientemente buena para establecer una conexión inalámbrica. Cuando se transmite a una distancia mayor, la señal se debilita y el ancho de banda de la conexión de datos inalámbrica se hace más lento lo que se traduce a una salida de datos más débil.



Figura 3. RSSI, Potencia de señal. (smarterhomeautomation.com, 2011)

5.1.4. Relación señal a ruido SNR.

La relación señal a ruido proporciona una medida de la calidad de una señal en un sistema. Esta medida es tomada del nivel de señal recibida y de la suma total del ruido producido por fuentes externas y el ruido inherente al sistema.

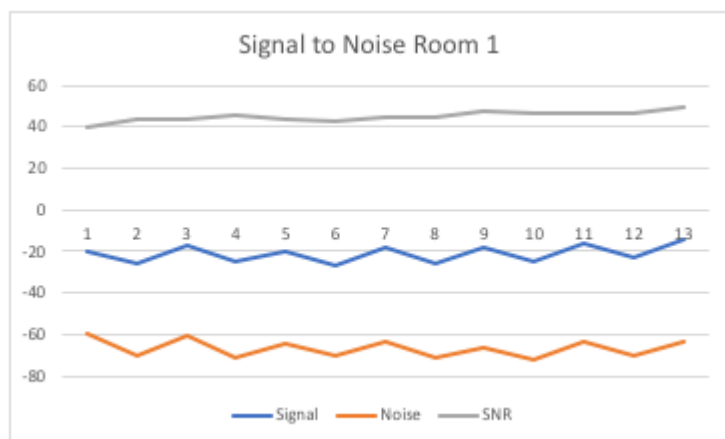


Figura 4. NSR. (netspotapp.com, 2020)

5.1.5. Transmisión.

Los módulos de LoRa son herramientas supremamente versátiles ya que nos permiten configurarlos de 6720 posibles maneras (Bor & Roedig, LoRa Transmission Parameter Selection, 2017). Esto se logra manipulando la Potencia de Transmisión, Frecuencia de Portadora, Tasa de Codificación, Factor de ensanchamiento y Ancho de Banda (Bor, Vidler, & Roedig, LoRa for the Internet of Things, 2016) (Avila Campos, 2017):

- Potencia de Transmisión (TP): En LoRa, puede ser variado entre -4 dBm y 20 dBm, pero debido a límites de implementación, se puede ajustar de 2 dBm a 20 dBm. Con potencias mayores a 17 dBm sólo se puede usar el 1 % del ciclo de trabajo.
- Frecuencia de Portadora (CF): Es la frecuencia central que puede ser variada en saltos de 61 Hz entre 137 MHz y 1020 MHz, dependiendo del chip y la región de uso.
- Tasa de Codificación (CR): CR es la tasa de corrección de errores hacia adelante (FEC) usada por LoRa en contra de interferencias y puede ser configurada con: 4/5, 4/6, 4/7 y 4/8. Un CR mayor ofrece más protección frente a ruido, pero incrementa el tiempo aire. Transmisores con

diferente CR pueden comunicarse ya que el CR se encuentra en una cabecera del paquete que siempre se encuentra codificado a 4/8

- Factor de Ensanchamiento (SF): Es la razón entre la tasa de símbolos y la tasa de chips. Un mayor SF no solo incrementa el SNR, el alcance y la sensibilidad, sino también el tiempo aire del paquete. Cada incremento en el SF también disminuye a la mitad la tasa de transmisión, duplica la duración de la transmisión y el consumo de energía. El SF puede variar entre 6 y 12, siendo útil para la separación de redes ya que los SF son ortogonales.
- Ancho de banda (BW): Es el rango de frecuencias en la banda de transmisión. Un BW mayor, da una mayor tasa de datos (menor tiempo aire), pero menor sensibilidad por agregación de ruido. Un menor BW requiere cristales mas precisos, es decir menos partes por millón (ppm). Los datos son enviados a una tasa de chips equivalente al BW; un BW de 125 kHz equivale a una tasa de chips de 125 kcps. Una red LoRa típica opera en: 125 kHz, 250 kHz o 500 kHz.

5.2. Marco teórico

IoT, hoy en día, nos proporciona gran cantidad de información útil sobre todos y cada uno de nuestros entornos y hemos visto que varios estudios han mostrado que el número de dispositivos conectados ha superado el número de habitantes en la tierra (Meulen, 2015).

Existen varios estándares y proveedores de acuerdo con la comunicación de largo alcance en los campos LPWAN. Sin embargo, el más utilizado es LoRa. (Raza, Kulkarni, & Sooriyabandara, 2017) ya que considera una técnica de modulación llamada Chirp Spread Spectrum (CSS) que es diseñada para LPWAN y utilizada por LoRaWAN (Madoune R. Seye, 2017). Adicionalmente, en el año 2017, LoRa Alliance quien es una asociación sin fines de lucro comprometida a permitir el despliegue a gran escala de IoT de redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) a través del desarrollo y promoción del estándar abierto LoRaWAN (Alliance, 2017), anunció que contaba con más de 500 compañías, organizaciones y universidades en alianza y listas para desplegar redes LoRa (Arlin, Niswar, Adnan, Fall, & Kashihara, 2018).

Existen una gran cantidad de estudios teóricos y simulaciones (Arlin, Niswar, Adnan, Fall, & Kashihara, 2018), como por ejemplo el estudio realizado por Adelantado, Vilajosana, Tuset-Peiro, Martinez, Melia-Segui y Watteyne, que habla sobre cómo la cantidad de nodos afecta la cantidad de paquetes recibidos por hora (Adelantado, y otros, 2017) o por ejemplo el maravilloso y

admirable trabajo de (Ferre', 2017) quien a través de un modelo matemático pudo hacer el descubrimiento de las ocurrencias de pérdida y colisión de paquetes en una red LoRaWAN y por si fuera poco, (Dmitry, Evgeny, & Andrey, 2016) hicieron el estudio del impacto de la carga de la red en la tasa de error de paquetes (PER) y la relación de pérdida de paquetes (PLR) usando Software de simulación. Sin embargo, estos estudios pueden llegar a tener situaciones o panoramas ideales que con evaluaciones experimentales en entornos reales varía. (Arlin, Niswar, Adnan, Fall, & Kashihara, 2018)

Este proyecto tiene como principal objetivo hacer un análisis de cobertura de una red LoRa, por esta razón es necesario contar no solo con el fundamento teórico sino también se debe tener un lineamiento práctico y experimental que ayude a fortalecer el conocimiento. A diferencia de los anteriores estudios, (Madoune R. Seye, 2017) plantea un estudio práctico en donde se necesitaba conectar dos antenas de LoRa situadas en la ciudad de Dakar, la primera de ellas era una antena fija o estática que debía estar compuesta por una placa de arduino UNO que sería el encargado de hacer la comunicación con un computador de forma serial; por su parte el PC tendrá una herramienta desarrollada en Python que recibirá los datos que el shield de LoRa (Dragino) recibirá. La segunda antena será una estación móvil que comprarte una parte de la configuración de la estación fija, la diferencia es que este va dotado de un Shield GPS.

Como primera conclusión del trabajo se evidencia una cobertura no muy amplia en una de las ciudades debido a que por ser una zona residencial contaba con edificaciones de por lo menos cuatro pisos de altura lo que provocaba una pérdida de la línea de vista entre las antenas. Con lo anterior se obtuvieron resultados favorables ya que en un área de 10km el Gateway de LoRaWAN tiene una pérdida de paquetes por debajo del 30%. La solución a este inconveniente es poner una antena base adicional.

5.3. Marco legal

Actualmente el sector de telecomunicaciones se encuentra regulado y controlado por el Ministerio de Comunicaciones, la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (CRT), la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSP) y la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC); las funciones principales ejercidas por estos organismos son las siguientes:

1. Planeación Sectorial

2. Gestión del Espectro y Regulación
3. Gestión Empresarial
4. Protección del Consumidor
5. Supervisión y Control de la Reglamentación

Dentro de estos el órgano rector principal es el Ministerio de comunicaciones y le corresponde formular y adoptar la política general que será de obligatorio cumplimiento para todas entidades públicas del sector de telecomunicaciones. Este tiene, entre otros, como objetivos básicos: formular, adoptar y ejecutar la política general del sector; gestionar el proceso de concesión de licencias a entidades públicas y privadas para la provisión de servicios de telecomunicaciones en cualquier modalidad; administrar y controlar la gestión del espectro radioeléctrico; representar a Colombia ante los organismos de telecomunicaciones internacionales de conformidad con los tratados y convenios internacionales ratificados por Colombia.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios: Es un organismo técnico, adscrito al Departamento Nacional de Planeación y anteriormente al Ministerio de Desarrollo Económico, con personería jurídica y autonomía administrativa y patrimonial, el control, inspección y vigilancia de las entidades que prestan los servicios públicos domiciliarios. Sus funciones las cuales son defender a los usuarios de los servicios públicos domiciliarios; hacer prevalecer el interés general sobre el particular; garantizar la continuidad y calidad en la prestación del servicio mediante el estricto cumplimiento de los índices de eficiencia, indicadores de gestión y normas de calidad; fijar y controlar la transferencia de información contable, financiera, técnica y jurídica, respetando la reserva

Superintendencia de Industria y Comercio: Es la autoridad de control y vigilancia de los regímenes de libre y leal competencia en todos los servicios de telecomunicaciones.

Comisión de Regulación de Telecomunicaciones: Es una Unidad Administrativa Especial adscrita al Ministerio de Comunicaciones con autonomía administrativa, técnica y patrimonial. Tiene como objetivos básicos, la regulación de los monopolios en la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones cuando la competencia no sea posible y la promoción de la competencia entre aquellos que presten servicios públicos de telecomunicaciones para que las operaciones de los monopolistas o de los competidores sean económicamente eficientes, no

impliquen abusos de posición dominante y produzcan servicios de calidad. Para ello reglamenta las tarifas, así como los cargos de acceso e interconexión, define los criterios de eficiencia y desarrolla los indicadores y modelos que evalúen la gestión financiera, técnica y administrativa de las empresas de servicios públicos de telecomunicaciones y define los criterios y normas de protección de los derechos de los usuarios.

Los artículos 75 al 77 de la Constitución Política de 1991, están dedicados al tema de las comunicaciones: como el derecho a informar y a recibir información veraz e imparcial; se reconoce el derecho a fundar medios masivos de comunicación; a la Soberanía de la Nación sobre la órbita geostacionaria; el espectro electromagnético como un bien sujeto a la gestión y control del Estado; a los servicios públicos y la creación de una entidad que regule la Televisión, hoy en día la CNT.

Acorde con el reglamento de radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, se entiende por: Aplicaciones industriales, científicas y médicas, ICM (de la energía radioeléctrica): “La aplicación de equipos o de instalaciones destinados a producir y utilizar en un espacio reducido energía radioeléctrica con fines industriales, científicos y médicos, domésticos o similares, con exclusión de todas las aplicaciones de telecomunicación”. Ejemplos típicos de aplicaciones ICM son la producción de efectos físicos, biológicos o químicos tales como el calentamiento y ionización de gases, las vibraciones mecánicas y la aceleración de partículas cargadas.

Igualmente, y acorde con las recomendaciones de la UIT sobre la planeación del espectro para la región 2 (América), Colombia adoptó las bandas de 902 a 928 MHz, de 2,400 a 2,500 GHz y de 5,725 a 5,875 GHz, para las aplicaciones ICM.

Terminación	x
Proyecto	

Nota: Autoría propia.

6.2.2 Presupuesto.

6.2.2.1. Presupuesto personal.

Tabla 2.

Presupuesto personal.

Nombre	Horas dedicación semanal	Semanas dedicadas	Valor hora	TOTAL
Fabián Alejandro Linares	4	20	23.000	1'840.000
Juan Pablo Rincón	4	20	23.000	1'840.000
TOTAL				3'680.000

Nota: Autoría propia.

6.2.2.2. Presupuesto de equipos.

Tabla 3.

Presupuesto de equipos.

Equipo	Justificación	VALOR
Computador	Instalación Programa y documentación	1'900.000
Gateway y Antena	Necesaria para la realización del proyecto	3'200.000
TOTAL		5'100.000

Nota: Autoría propia.

6.2.2.3. Presupuesto de software.

Tabla 4.

Presupuesto de Software.

Software	Justificación	VALOR
Xirio	Necesaria para las simulaciones	2'662.000
TOTAL		2'662.000

Nota: Autoría propia.

6.2.2.4. Presupuesto de material y suministros.

Tabla 5.

Presupuesto de material y suministros.

Materiales	Justificación	VALOR
Arduino Uno	Montaje de código y circuito	26.000
Módulo LoRa	Montaje circuito	142.600
Placa de separación	Montaje circuito	3.000
Caja	Montaje de todo el circuito	7.000
TOTAL		178.600

Nota: Autoría propia.

6.2.2.5. Presupuesto de eventos científicos y salidas de campo.

Tabla 6.

Presupuesto de eventos científicos y salidas de campo.

Lugar	Justificación	Cantidad	Costo Unitario	VALOR
Bogotá	Instalación de equipo	2	40.000	80.000
Bogotá	Desinstalación de equipo	2	40.000	80.000
TOTAL				160.000

Nota: Autoría propia.

6.2.2.6. Presupuesto general.

Presupuesto general.

ITEM	TOTAL
Personal	3'680.000
Equipos	5'100.000
Software	2'662.000
Materiales y suministros	178.600
Salidas de campo (locales)	160.000
Material bibliográfico	0

Publicaciones	0
Servicio técnico	0
TOTAL	11'780.600

Nota: Autoría propia.

7. Desarrollo del problema de investigación

Es importante mencionar que el presente proyecto tiene como finalidad poder ser replicado con precisión para que los resultados obtenidos sean prácticamente iguales o muy semejantes; de allí que la metodología utilizada quede clara al lector, por esto se tratan temas técnicos de los equipos y las configuraciones utilizadas.

Este proyecto tiene dos fases de investigación en el campo experimental, la primera de ellas es el entorno empresarial y la segunda el entorno residencial. Se escogió la ciudad de Bogotá no solo por residir en ella sino también por representar un reto ante el análisis de datos debido a que cuenta con una gran variedad en arquitectura y topología haciendo que se tengan que incluir gran cantidad de variables que pueden ir demudando a través de la distancia; un beneficio que esto trae es poder tener una visión más amplia y más real del comportamiento de la red.

7.1. Entorno de pruebas para la tecnología de red LPWAN bajo protocolo LoRA

En cada una de las fases se cuenta con dos estaciones: una estación base que tiene como función recibir el paquete de datos y hacer un envío hacia un servidor y una estación móvil que es la encargada de hacer la toma de mediciones y el envío hacia la estación base, a continuación, se realizará la descripción del contenido estas dos bases:

7.1.1. Receptor (Estación Móvil).

A continuación se relacionan los principales componentes y procedimientos para conformar la estación base:

7.1.1.1. Arduino uno. Es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y desarrollado por Arduino.cc.¹² La placa está equipada con conjuntos de pines de E/S digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos.



Figura 5. Arduino Uno (pdacontroles.com, 2020)

7.1.1.2. Módulo Bluetooth HC-06. El módulo transceptor HC06 permite conexiones inalámbricas bluetooth, donde maneja una frecuencia de 2.4GHz en banda ISM, maneja una modulación GFSK con un alcance aproximado de 10 mts y se alimenta de 3,5v a 5v.

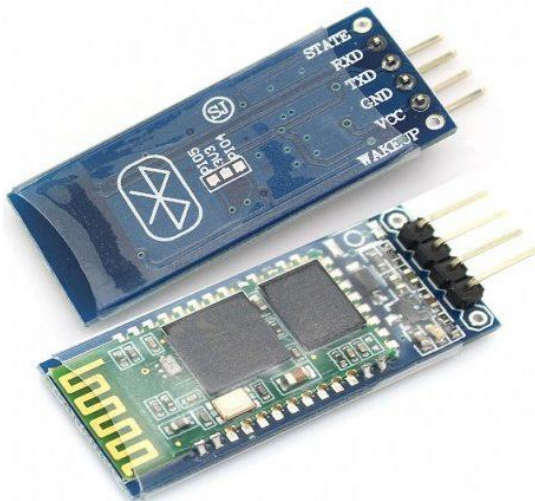


Figura 6. Módulo Bluetooth (Iberobotics, 2020)

7.1.1.3. Modulo LoRa RAK 811. Es una placa de RAKWireless de ruptura, de baja potencia con comunicación inalámbrica SX1276 soporte LoRaWan 915MHZ Q108, con unas características relevantes:

- Permite Clases A y C
- Permite LoRaWAN y LoRa punto a punto

- Integra un módulo SX1276 y un STM32L
- Comandos AT por interfaz UART.
- Funciones de baja potencia, para aplicaciones con batería.
- Alta sensibilidad del receptor: hasta -146 dBm
- Potencia TX: ajustable hasta +14 dBm PA de alta eficiencia, aumento de PA máximo de hasta 20dbm
- FSK, GFSK y modulación de tecnología LoRa
- Hasta 15 km de cobertura en áreas suburbanas y hasta 5 km en área urbana (estimaciones de RAK Wireless). (PDAControl, 2019)

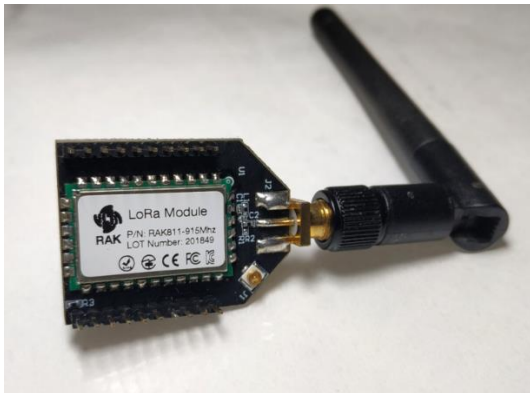


Figura 7. Módulo Lora completo (pdacontroles.com, 2020)

7.1.1.4. Placa de separación XBee. Esta es una tabla de ruptura simple para el popular XBee. Es ideal para la unión de la placa de Arduino Uno y el Módulo de Lora RAK811.



Figura 8. Placa de separación XBee. (pdacontroles.com, 2020)

7.1.1.5. Batería portátil. Con una capacidad de 6000 mAh, la Powerbank tiene la suficiente carga para suministrar alimentación al circuito mientras se realizan las respectivas mediciones en campo.



Figura 7. Batería portátil (mercadolibre.com, 2020)

7.1.1.6. Montaje. Se instala el módulo de Lora RAK811 (incorporada su antena) al Arduino Uno uniéndolos con la placa de XBee, adicional se debe generar la conexión del Bluetooth al Arduino para que de esta manera a través de la batería portátil se energice el circuito.

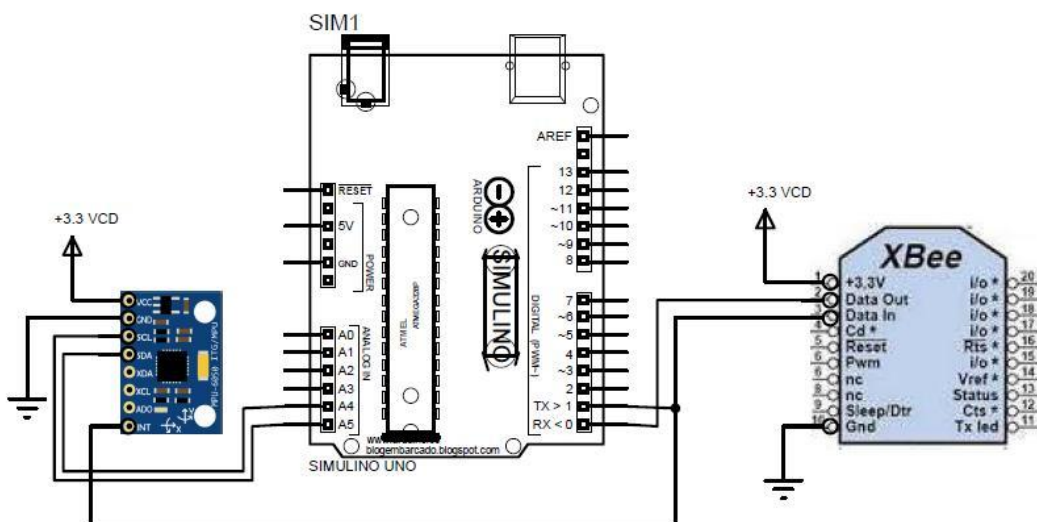


Figura 8. Montaje esquemático circuito. 2016 universidad Nacional Chimborazo

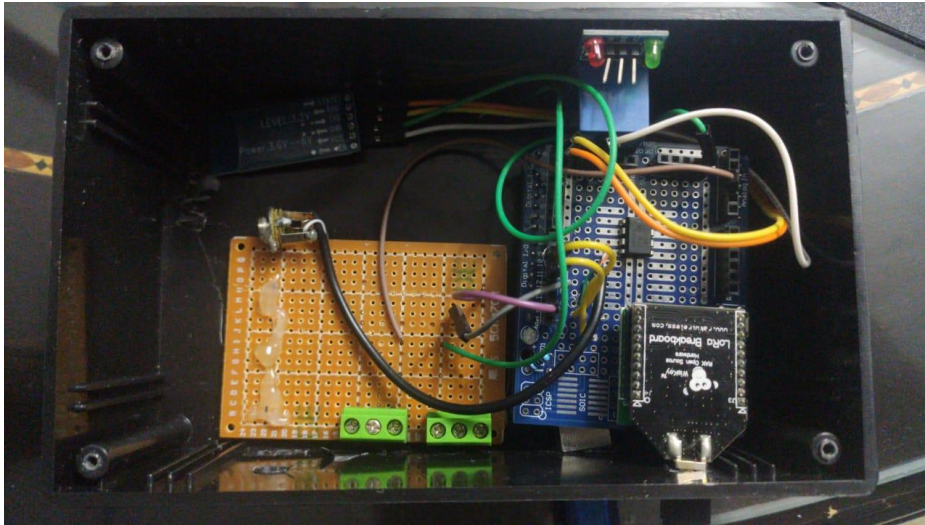


Figura 9. Montaje circuito de Estación Móvil. Autoría propia.

7.1.1.7. Código (Firmware). Lo que se pretende realizar a través de este firmware es manejar dos puertos en seriales en el Arduino, que al ingresar un comando por un puerto serial los va a enviar automáticamente al otro puerto serial y viceversa. De tal manera que un puerto serial hace referencia al módulo de Lora (RAK811) y el otro al Bluetooth.

```
#include <SoftwareSerial.h> // Incluimos la librería SoftwareSerial
SoftwareSerial RAK(10,11); // Definimos los pines RX y TX del Arduino conectados al RAK811
void setup()
{
  RAK.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie RAK que hemos creado
  Serial.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie (Este va conectado al Bluetooth)
}
void loop()
{
  if(Serial.available()>0) // Si llega un dato por el monitor serial (Bluetooth)
  {
    RAK.println(Serial.read());
  }
}
```

```

if(RAK.available(>0) // Si llega un dato por el monitor del RAK811 se envía al monitor serial
(donde está el arduino)
{
  Serial.println(RAK.read());
}
}

```

7.1.1.8. Aplicación “Serial Bluetooth Terminal”. El uso de esta aplicación se genera con el fin de entablar la comunicación entre el Arduino (Bluetooth HC-06) y el celular, donde ingresamos los comandos de AT de forma correcta para que sean reconocidos por el Arduino y este por el puerto serial se comunique con el módulo de Lora donde se dé la respuesta de acuerdo al comando ingresado.

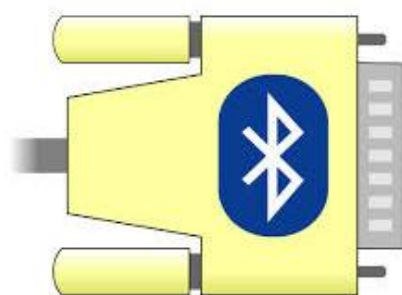


Figura 10. Serial Bluetooth Terminal. Autoría propia.

7.1.2. Transmisor (Estación Base).

Está compuesta por Gateway de LoRa marca Kerlink modelo Wirnet iBTS compacto, compuesto por tres módulos (Ver Fig. 11) que son Módulo CPU, encargado de hacer procesamiento de datos, cuenta con un procesador Cortex A9 de 800Mhz fabricado por ARM y un disco eMMC de 8GBytes; un Módulo WAN compuesto por un modem 4G, un puerto PCI Express Mini y una batería de Back-up que proporciona hasta un minuto permitiendo un apagado seguro en caso de cortes de energía; y un Módulo LoRa con un rango Rx de 902-928MHz, un rango Tx de 902-928MHz y una sensibilidad hasta -141 dBm; y por último tenemos la antena receptora (Ver Fig. 12) que va conectada al Gateway , esta es una antena Omnidireccional para exteriores modelo OA-

915M06-NF de tipo colinear con una ganancia máxima de 6dBi, maneja un rango de frecuencia de 902-928MHz y una relación de onda estacionaria de 915MHz.



Figura 11. Composición de Gateway. Datasheet

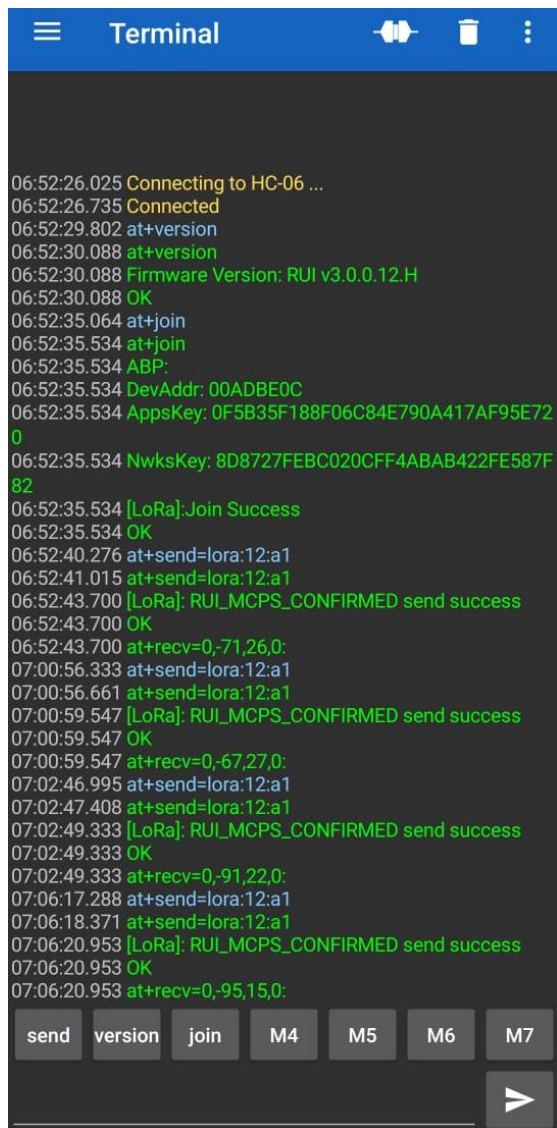


Figura 12. Antena omnidireccional al aire libre. Datasheet.

7.2. Medición de RSSI y SNR de una estación LoRA en un entorno residencial y un entorno comercial

Antes de poder hacer una instalación de equipos se debe tener claridad sobre las características que engloba un entorno, este se compone de una serie de fuerzas que tienen incidencia sobre la ciudad. Un entorno comercial se percibe trabajo, capital, materiales, recursos que proporcionarán productos y servicios para el mercado. El entorno comercial puede llegar a ser inestable, complejo y competitivo; debe ser capaz de adaptarse a las necesidades, prever los cambios con anticipación, evaluar el impacto de esos cambios en su actividad y prepararse para cuando se produzcan. (Iniciativa Emprendedora, 2015). Un entorno residencial es una construcción ya sea a modo de casa o departamento, que pretende crear un ambiente de funcionalidad y seguridad, a través de un diseño arquitectónico lujoso, moderno y práctico para disfrutar con la familia. (ION, 2012). Si bien se tienen diversidad de arquitecturas, de acuerdo al crecimiento poblacional se han iniciado más obras de construcción vertical llegando a levantar hasta treinta pisos con apartamentos cada vez más pequeños.

En la toma de mediciones a través de la aplicación Serial Bluetooth Terminal (Figura 10) se evidenciaron de la misma manera para ambos entornos: Comercial y Residencial, la visualización de los datos de RSSI y SNR como se puede apreciar en la figura 13. Primero se debe establecer y verificar la comunicación entre la estación base y la móvil con el comando de AT+Send, después de estar confirmada la comunicación para obtener estas dos variables a estudio de RSSI y SNR se ingresa el comando de AT+Recv.



```

Terminal
06:52:26.025 Connecting to HC-06 ...
06:52:26.735 Connected
06:52:29.802 at+version
06:52:30.088 at+version
06:52:30.088 Firmware Version: RUI v3.0.0.12.H
06:52:30.088 OK
06:52:35.064 at+join
06:52:35.534 at+join
06:52:35.534 ABP:
06:52:35.534 DevAddr: 00ADBE0C
06:52:35.534 AppsKey: 0F5B35F188F06C84E790A417AF95E72
0
06:52:35.534 NwksKey: 8D8727FEB020CFF4ABAB422FE587F
82
06:52:35.534 [LoRa]:Join Success
06:52:35.534 OK
06:52:40.276 at+send=lora:12:a1
06:52:41.015 at+send=lora:12:a1
06:52:43.700 [LoRa]: RUI_MCPS_CONFIRMED send success
06:52:43.700 OK
06:52:43.700 at+recv=0,-71,26,0:
07:00:56.333 at+send=lora:12:a1
07:00:56.661 at+send=lora:12:a1
07:00:59.547 [LoRa]: RUI_MCPS_CONFIRMED send success
07:00:59.547 OK
07:00:59.547 at+recv=0,-67,27,0:
07:02:46.995 at+send=lora:12:a1
07:02:47.408 at+send=lora:12:a1
07:02:49.333 [LoRa]: RUI_MCPS_CONFIRMED send success
07:02:49.333 OK
07:02:49.333 at+recv=0,-91,22,0:
07:06:17.288 at+send=lora:12:a1
07:06:18.371 at+send=lora:12:a1
07:06:20.953 [LoRa]: RUI_MCPS_CONFIRMED send success
07:06:20.953 OK
07:06:20.953 at+recv=0,-95,15,0:

send version join M4 M5 M6 M7

```

Figura 13. Mediciones por medio de Serial Bluetooth Terminal. Autoría propia.

7.2.1. Entorno comercial.

Para la toma de las mediciones en el entorno comercial se instaló la estación base en barrio Galerías en la Cl # 53 con Kr 25, un edificio de cuatro pisos de altura aproximadamente a 12m desde el suelo, la antena de la estación base fue atada a una base para pendones dentro del edificio apuntando hacia el sur de la ciudad a través de una ventana (Ver Fig.14). Cabe destacar que esta posición y ubicación de la antena no afecta su propagación ya que es omnidireccional (Ver Fig. 12)



Figura 14. Montaje antena entorno comercial. Elaboración propia.

La estación móvil se fue desplazando por los 4 puntos cardinales obteniendo las mediciones observadas en la tabla 8.

Tabla 8.

Mediciones entorno comercial

ID	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	SNR (db)
1	24 Feb 2020	13:05	4.642110	-74.075302	-56	28
2	24 Feb 2020	13:08	4.641714,	-74.076558	-74	27
3	24 Feb 2020	13:09	4.641137,	-74.076547	-77	29
4	24 Feb 2020	13:10	4.640912,	-74.075538	-70	30
5	24 Feb 2020	13:12	4.640848,	-74.074970	-92	28
6	24 Feb 2020	13:12	4.640731,	-74.074337	-95	10
7	24 Feb 2020	13:13	4.640698,	-74.074015	-105	252

8	24 Feb 2020	13:14	4.640602,	-74.073564	-99	14
9	24 Feb 2020	13:14	4.640549,	-74.073253	-105	253
10	24 Feb 2020	13:16	4.640463,	-74.072695	-107	250
11	24 Feb 2020	13:16	4.640367,	-74.072105	-117	215
12	24 Feb 2020	13:17	4.640239,	-74.071440	-108	248
13	24 Feb 2020	13:17	4.640142,	-74.070904	-110	243
14	24 Feb 2020	13:18	4.640057,	-74.070324	-122	200
15	24 Feb 2020	13:19	4.639928,	-74.069691	-118	202
16	24 Feb 2020	13:20	4.639854,	-74.069262	-115	227
17	24 Feb 2020	13:21	4.639672,	-74.068103	-123	187
18	26 Feb 2020	18:29	4.641917,	-74.073897	-96	246
19	26 Feb 2020	18:30	4.642506,	-74.073790	-89	22
ID	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	SNR (db)
20	26 Feb 2020	18:30	4.643286,	-74.073607	-98	15
21	26 Feb 2020	18:31	4.643874,	-74.073060	-98	236
22	26 Feb 2020	18:31	4.644420,	-74.072695	-105	202
23	26 Feb 2020	18:32	4.645061,	-74.072448	-116	216
24	26 Feb 2020	18:32	4.645895,	-74.072384	-116	198
25	26 Feb 2020	18:33	4.646751,	-74.072577	-112	233
26	26 Feb 2020	18:33	4.647221,	-74.072760	-111	233
27	26 Feb 2020	18:35	4.647564,	-74.073071	-124	189
28	26 Feb 2020	18:35	4.647938,	-74.073393	-124	191
29	26 Feb 2020	18:36	4.648558,	-74.073017	-125	190
30	26 Feb 2020	18:37	4.649349,	-74.072706	-115	217
31	26 Feb 2020	18:41	4.650066,	-74.072502	-121	176
32	26 Feb 2020	18:52	4.642076,	-74.075242	-77	25
33	26 Feb 2020	18:53	4.642188,	-74.075886	-93	26

34	26 Feb 2020	18:55	4.642311,	-74.076481	-104	189
35	26 Feb 2020	18:55	4.642410,	-74.077204	-115	223
36	26 Feb 2020	18:56	4.642603,	-74.078105	-115	221
37	26 Feb 2020	18:57	4.642892,	-74.079923	-120	198
38	26 Feb 2020	18:58	4.643116,	-74.080766	-126	176
39	26 Feb 2020	19:12	4.641640,	-74.074060	-104	4
40	26 Feb 2020	19:13	4.640753,	-74.074232	-102	231
ID	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	RSSI	SNR (db)
					(dBm)	
41	26 Feb 2020	19:14	4.639817,	-74.074382	-113	211
42	26 Feb 2020	19:15	4.638785,	-74.074548	-110	233
43	26 Feb 2020	19:16	4.637876,	-74.074704	-115	226
44	26 Feb 2020	19:16	4.636919,	-74.074870	-120	201
45	26 Feb 2020	19:17	4.635887,	-74.075066	-116	218
46	26 Feb 2020	19:18	4.634631,	-74.075291	-123	179
47	26 Feb 2020	19:19	4.634059,	-74.075484	-127	180

Nota: Autoría propia.

7.2.2. Entorno residencial.

Para esta fase, se realiza la instalación de la estación base en la Av. Caracas No 37-48 Sur, un conjunto residencial de apartamentos que cuenta con torres de hasta 11 pisos, en este caso se sitúa en el piso 10 con una altura aproximada de 40 mts, (Ver Fig.15). Se verifican las conexiones de energía y red, se enciende la estación móvil por medio de la batería inalámbrica y se evidencia en la App que se está generando la comunicación, ya con estas respectivas pruebas se toma la primera medición fuera del edificio y se emprende sentido Sur-Norte desplazando la estación móvil 100 mts (distancia aproximada por cuadra) realizado la toma de valores.



Figura 15. Montaje antena entorno residencial. Autoría propia.

Al llegar a la Av. Primera de Mayo con Av Caracas, después de varias tomas de señal fallidas, se sitúa la base móvil al frente de la acera en el costado (Sur-Occidente) y arroja valor, en este sentido se retoman nuevamente las mediciones. Llegando a la Autopista Sur, se desplaza la estación en dirección norte donde más adelante se convierte en la Av Cra 30. A la altura de la calle 2da se pierde la comunicación con la estación base y se sitúa la estación móvil sentido Oriente-Occidente donde se retoma comunicación. A continuación, se presentan las mediciones en la tabla 9.

Tabla 9.

Mediciones entorno residencial.

ID	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	SNR (db)
1	14 Mar 2020	06:52	4575892	-74118718	-71	26
2	14 Mar 2020	07:00	4576155	-74117066	-67	27
3	14 Mar 2020	07:02	4576491	-74115082	-91	22
4	14 Mar 2020	07:06	4576929	-74113283	-95	15
5	14 Mar 2020	07:09	4577673	-74110951	-88	239
6	14 Mar 2020	07:13	4578199	-74109107	-106	247
7	14 Mar 2020	07:18	4578628	-74107645	-107	175
8	14 Mar 2020	07:19	4578943	-74106894	-106	203
9	14 Mar 2020	07:21	4579435	-74105936	-107	232
10	14 Mar 2020	07:22	4579895	-74104960	-113	208
11	14 Mar 2020	07:26	4580532	-74103659	-113	213
12	14 Mar 2020	07:33	4581254	-74102815	-119	192
13	14 Mar 2020	07:34	4581795	-74103260	-122	175
14	14 Mar 2020	07:40	4582571	-74103853	-119	180
15	14 Mar 2020	07:42	4584319	-74105241	-111	217
16	14 Mar 2020	07:43	4585248	-74106032	-115	210
17	14 Mar 2020	07:47	4585767	-74106429	-107	237
18	14 Mar 2020	07:49	4586307	-74106856	-107	235
19	14 Mar 2020	07:51	4586900	-74107288	-111	193
ID	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	SNR (db)
20	14 Mar 2020	07:53	4587445	-74107760	-107	189
21	14 Mar 2020	07:54	4589218	-74109164	-116	204
22	14 Mar 2020	07:58	4591517	-74110777	-116	209
23	14 Mar 2020	08:03	4592960	-74111782	-117	204
24	14 Mar 2020	08:04	4594095	-74112635	-107	237

25	14 Mar 2020	08:09	4596081	-74112639	-114	184
26	14 Mar 2020	08:12	4597298	-74110433	-116	195
27	14 Mar 2020	08:12	4597769	-74107601	-113	184
28	14 Mar 2020	08:13	4599551	-74105164	-108	219
29	14 Mar 2020	08:14	4600111	-74104373	-112	216
30	14 Mar 2020	08:18	4600480	-74103879	-116	187
31	14 Mar 2020	08:22	4600801	-74103426	-111	180
32	14 Mar 2020	08:25	4601355	-74102686	-109	186
33	14 Mar 2020	08:29	4601684	-74102292	-117	181
34	14 Mar 2020	08:33	4603036	-74103413	-113	220
35	14 Mar 2020	08:59	4602796	-74103048	-117	187
36	14 Mar 2020	09:06	4603851	-74104650	-119	198
37	14 Mar 2020	09:08	4604992	-74106184	-124	178
38	14 Mar 2020	09:16	4606676	-74105340	-121	178
39	14 Mar 2020	09:20	4607703	-74106595	-110	236
40	14 Mar 2020	09:25	4609586	-74108732	-118	175
ID	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	SNR (db)
41	14 Mar 2020	09:30	4610970	-74109982	-113	222
42	14 Mar 2020	09:34	4612617	-74111157	-119	198
43	14 Mar 2020	09:40	4615594	-74112296	-112	177
44	14 Mar 2020	09:48	4619262	-74112841	-106	246
45	14 Mar 2020	10:06	4618079	-74115682	-116	212
46	14 Mar 2020	10:09	4616908	-74116460	-122	185
47	14 Mar 2020	10:12	4617336	-74117420	-116	210
48	14 Mar 2020	10:13	4618240	-74118402	-119	184
49	14 Mar 2020	10:17	4619817	-74120097	-123	185
50	14 Mar 2020	10:26	4621902	-74122170	-119	192

51	14 Mar 2020	10:32	4622563	-74122828	-113	187
52	14 Mar 2020	10:38	4624100	-74124502	-114	212
53	14 Mar 2020	10:53	4617951	-74126565	-119	206
54	14 Mar 2020	10:58	4614820	-74127484	-119	194
55	14 Mar 2020	11:03	4610529	-74128871	-118	195
56	17 Mar 2020	18:08	4565306	-74107853	-118	197
57	17 Mar 2020	19:01	4573715	-74124757	-117	178
58	17 Mar 2020	19:08	4576257	-74122002	-115	221
59	17 Mar 2020	19:08	4576843	-74122292	-126	185





Nota: Autoría propia.

7.3. Simulación de la cobertura bajo la variable RSSI de una estación LoRA en un entorno residencial, un entorno comercial y un entorno rural

Para la realización de las simulaciones de la variable RSSI en la cobertura de una estación LoRA se utilizó el software de medición de RF Xirio Online, que permite de manera rápida y económica realizar simulaciones profesionales de cobertura radioeléctrica en cualquier parte del mundo en entornos rurales y urbanos utilizando cartografía de alta resolución.



Dado lo anterior, la configuración de la base móvil donde se va a tener las mismas características para los tres entornos: Residencial, Comercial y Rural se configuran de la misma manera como se puede ver en la Fig 16, También cabe destacar que se usó el método de propagación Nuevo Okumura-Hata Modificado el cual es un método híbrido basado en Okumura-Hata corregido por la difracción en obstáculos, válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos urbanos cuando se disponga de cartografía de alta resolución. Para este método se debe configurar en sus propiedades que tipo de Medio se va a usar ya sea Urbano, Suburbano y Rural según corresponda el entorno.

Parámetros de radio


Antena:    

Altura antena: m

Polarización: ▼

Feeder:  

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

Umbral recepción: Campo Potencia

dBm ▼

Figura 16. Configuración receptora. Elaboración propia.

7.3.1. Entorno residencial.

En la figura 17 se puede ver la configuración del transmisor en el software de Xirio de acuerdo a las características de la estación Base.

Parámetros de radio

Antena: LORA Omni 2,15 dBi

Altura antena: 40 m

Orientación: 0 °

Inclinación mecánica: 0 °

Inclinación eléctrica: 0 °

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a: Nivel de azotea

Usar altura de edificio: Capa de elevación (MDE)

Altura edificio: 40 m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias
915.000 MHz

Polarización: Vertical

Feeder:

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 0.00 dB

Pérdidas pasivos: 0 dB

Potencia: 14 dBm

Figura 17. Configuración transmisora entorno residencial. Autoría propia.

En la figura 18 se puede ver la simulación de cobertura de la estación LoRa, junto con la georreferenciación de la estación transmisora y cada uno de los puntos de medición.

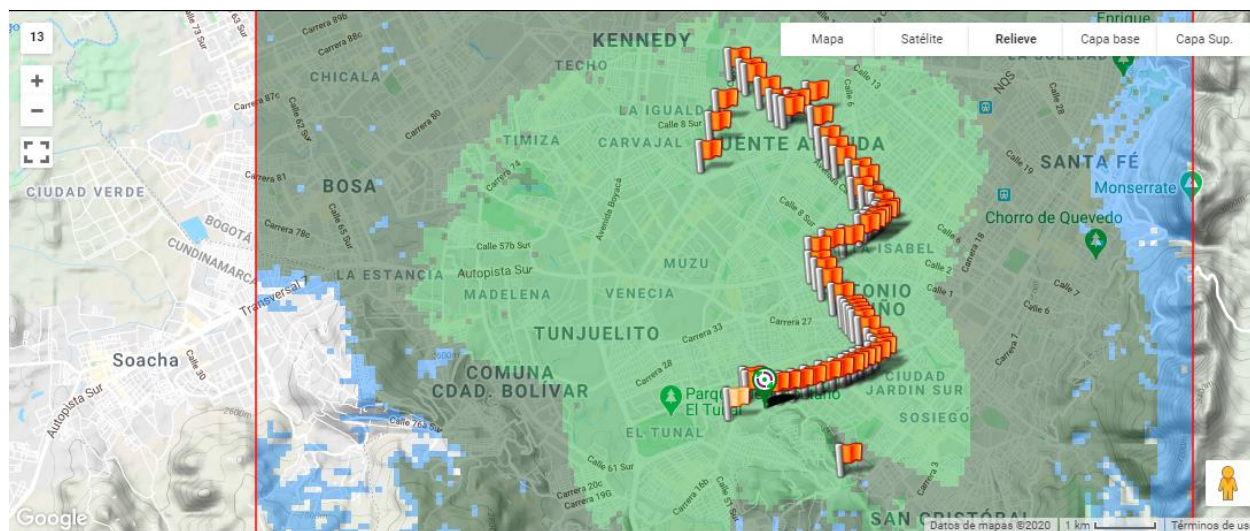


Figura 18. Simulación entorno residencial. Autoría propia.

Tabla 10.

Tabla de resultados de simulación entorno residencial.

ID	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	Distancia (m)
1	04°34'33.20"N	074°07'07.40"W	-63,42	69
2	04°34'34.20"N	074°07'01.40"W	-77,76	257
3	04°34'34.20"N	074°07'01.40"W	-85,94	479
4	04°34'36.90"N	074°06'47.80"W	-91,98	684
5	04°34'39.60"N	074°06'39.40"W	-97,91	954
6	04°34'41.5"N	074°06'32.8"W	-100,66	1166
7	04°34'43.1"N	074°06'27.5"W	-102,19	1336
8	04°34'44.2"N	074°06'24.8"W	-103,28	1425
ID	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	Distancia (m)
9	04°34'46.0"N	074°06'21.4"W	-104,59	1540

10	04°34'47.6"N	074°06'17.9"W	-105,57	1658
11	04°34'49.9"N	074°06'13.2"W	-107,49	1816
12	04°34'52.5"N	074°06'10.1"W	-108,52	1932
13	04°34'54.5"N	074°06'11.7"W	-107,77	1905
14	04°34'57.3"N	074°06'13.9"W	-107,36	1875
15	04°35'03.6"N	074°06'18.9"W	-107,42	1827
16	04°35'06.9"N	074°06'21.7"W	-105,33	1810
17	04°35'08.8"N	074°06'23.1"W	-105,66	1810
18	04°35'10.7"N	074°06'24.7"W	-104,48	1808
19	04°35'12.8"N	074°06'26.2"W	-103	1808
20	04°35'14.8"N	074°06'27.9"W	-101,84	1821
21	04°35'21.2"N	074°06'33.0"W	-101,16	1866
22	04°35'29.5"N	074°06'38.8"W	-101,18	1983
23	04°35'34.7"N	074°06'42.4"W	-101,97	2077
24	04°35'38.7"N	074°06'45.5"W	-102,3	2156
25	04°35'45.9"N	074°06'45.5"W	-103,38	2364
26	04°35'50.3"N	074°06'37.6"W	-104,87	2576
27	04°35'52.0"N	074°06'27.4"W	-105,48	2758
28	04°35'58.4"N	074°06'18.6"W	-107,16	3063
29	04°36'00.4"N	074°06'15.7"W	-107,79	3162
ID	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	Distancia (m)
30	04°36'01.7"N	074°06'14.0"W	-107,79	3224
31	04°36'02.9"N	074°06'12.3"W	-108,38	3283
32	04°36'04.9"N	074°06'09.7"W	-108,68	3378
33	04°36'06.1"N	074°06'08.3"W	-108,97	3432
34	04°36'10.1"N	074°06'11.0"W	-109,02	3492
35	04°36'10.9"N	074°06'12.3"W	-109,02	3492

36	04°36'13.9"N	074°06'16.7"W	-109,02	3507
37	04°36'18.0"N	074°06'22.3"W	-109,05	3545
38	04°36'24.0"N	074°06'19.2"W	-109,89	3752
39	04°36'27.7"N	074°06'23.7"W	-109,89	3801
40	04°36'34.5"N	074°06'31.4"W	-110,14	3919
41	04°36'39.5"N	074°06'35.9"W	-110,74	4027
42	04°36'45.4"N	074°06'40.2"W	-111,39	4172
43	04°36'56.1"N	074°06'44.3"W	-112,09	4470
44	04°37'09.3"N	074°06'46.2"W	-113,24	4860
45	04°37'05.1"N	074°06'56.5"W	-112,82	4695
46	04°37'00.9"N	074°06'59.3"W	-112,49	4559
47	04°37'02.4"N	074°07'02.7"W	-112,55	4599
48	04°37'05.7"N	074°07'06.3"W	-112,83	4697
49	04°37'11.3"N	074°07'12.4"W	-113,42	4869
50	04°37'18.9"N	074°07'19.8"W	-113,82	5111
ID	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	Distancia (m)
51	04°37'21.2"N	074°07'22.2"W	-114,08	5186
52	04°37'26.8"N	074°07'28.2"W	-114,45	5375
53	04°37'04.6"N	074°07'35.6"W	-112,86	4730
54	04°36'53.4"N	074°07'38.9"W	-113,47	4411
55	04°36'37.9"N	074°07'43.9"W	-110,37	3984
56	04°33'55.1"N	074°06'28.3"W	-105,98	1722
57	04°34'25.4"N	074°07'29.1"W	-93,06	642
58	04°34'34.5"N	074°07'19.2"W	-80,55	300
59	04°34'36.6"N	074°07'20.3"W	-80,02	349

Nota: Autoría propia.

7.3.2. Entorno comercial.

En la figura 19 se puede ver la configuración del transmisor y receptor en el software de Xirio de acuerdo a las características de las estaciones base y móvil.

Parámetros de radio

Antena: LORA Omni 2,15 dBi

Altura antena: 12 m

Orientación: 0 °

Inclinación mecánica: 0 °

Inclinación eléctrica: 0 °

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a: Nivel de azotea

Usar altura de edificio: Capa de elevación (MDE)

Altura edificio: 15 m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias
915.000 MHz

Polarización: Vertical

Feeder:

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 0.00 dB

Pérdidas pasivos: 0 dB

Potencia: 14 dBm

Figura 19. Configuración transmisora. Autoría propia.

En la figura 20 se puede ver la simulación de cobertura de la estación LoRa, junto con la georreferenciación de la estación transmisora y cada uno de los puntos de medición.

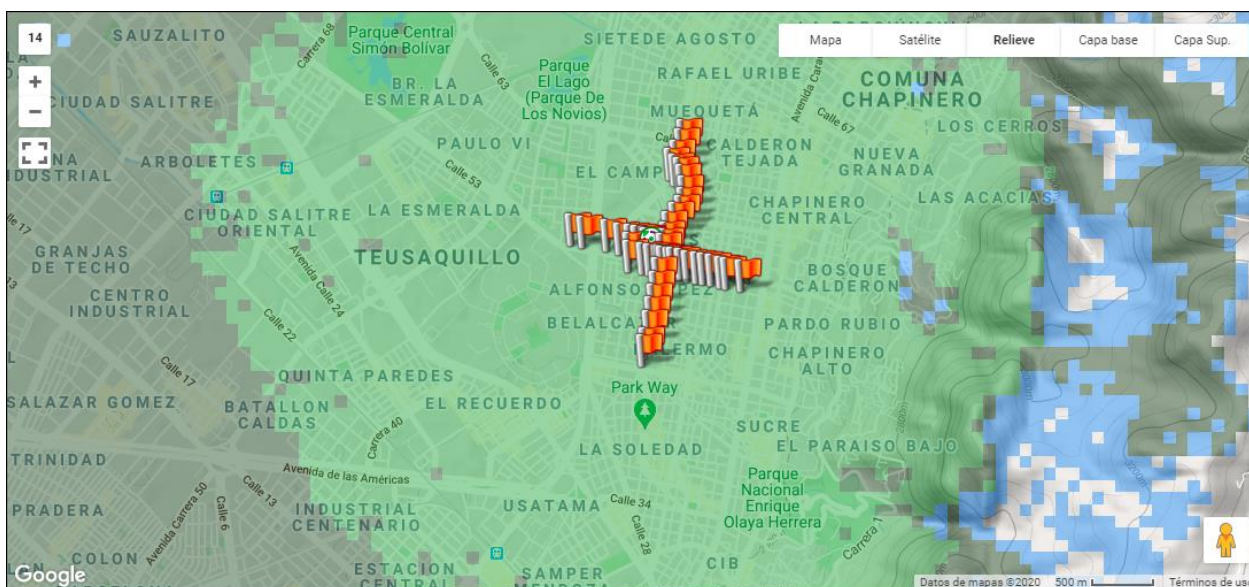


Figura 20. Simulación entorno comercial. Autoría propia.

Tabla 11.

Tabla de resultados de simulación entorno comercial.

ID	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	Distancia (m)
1	04°38'31.6"N	074°04'31.1"W	-73,02	85
2	04°38'30.2"N	074°04'35.6"W	-75,98	203
3	04°38'28.1"N	074°04'35.6"W	-75,98	209
4	04°38'27.3"N	074°04'31.9"W	-61,68	87
5	04°38'27.1"N	074°04'29.9"W	-70,69	117
6	04°38'26.6"N	074°04'27.6"W	-61,68	107
7	04°38'26.5"N	074°04'26.5"W	-63,56	127
8	04°38'26.2"N	074°04'24.8"W	-63,56	171
ID	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	Distancia (m)

9	04°38'26.0"N	074°04'23.7"W	-72,42	201
10	04°38'25.7"N	074°04'21.7"W	-72,42	258
11	04°38'25.3"N	074°04'19.6"W	-78,69	321
12	04°38'24.9"N	074°04'17.2"W	-83,24	394
13	04°38'24.5"N	074°04'15.3"W	-83,24	453
14	04°38'24.2"N	074°04'13.2"W	-87,55	517
15	04°38'23.7"N	074°04'10.9"W	-87,55	589
16	04°38'23.5"N	074°04'09.3"W	-90,21	638
17	04°38'22.8"N	074°04'05.2"W	-90,51	765
18	04°38'30.9"N	074°04'26.0"W	-69,65	99
19	04°38'33.0"N	074°04'25.6"W	-69,65	144
20	04°38'35.8"N	074°04'25.0"W	-76,44	222
21	04°38'38.0"N	074°04'23.0"W	-83,26	313
22	04°38'39.9"N	074°04'21.7"W	-83,26	384
23	04°38'42.2"N	074°04'20.8"W	-86,26	458
24	04°38'45.2"N	074°04'20.6"W	-88,82	540
25	04°38'48.3"N	074°04'21.3"W	-91,19	616
26	04°38'50.0"N	074°04'21.9"W	-91,19	658
27	04°38'51.2"N	074°04'23.1"W	-93,16	683
28	04°38'52.6"N	074°04'24.2"W	-92,76	716
29	04°38'54.8"N	074°04'22.9"W	-94,99	791
ID	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	Distancia (m)
30	04°38'57.7"N	074°04'21.7"W	-96,64	887
31	04°39'00.2"N	074°04'21.0"W	-97,97	966
32	04°38'31.5"N	074°04'30.9"W	-73,02	78
33	04°38'31.9"N	074°04'33.2"W	-73,02	144
34	04°38'32.3"N	074°04'35.3"W	-78,06	208

35	04°38'32.7"N	074°04'37.9"W	-81,97	288
36	04°38'33.4"N	074°04'41.2"W	-85,11	391
37	04°38'34.4"N	074°04'47.7"W	-91,48	593
38	04°38'35.2"N	074°04'50.8"W	-92,77	692
39	04°38'29.9"N	074°04'26.6"W	-60,32	75
40	04°38'26.7"N	074°04'27.2"W	-61,68	110
41	04°38'23.3"N	074°04'27.8"W	-72,13	203
42	04°38'19.6"N	074°04'28.4"W	-78,65	314
43	04°38'16.4"N	074°04'28.9"W	-83,25	411
44	04°38'12.9"N	074°04'29.5"W	-86,8	519
45	04°38'09.2"N	074°04'30.2"W	-89,69	634
46	04°38'04.7"N	074°04'31.1"W	-94,45	773
47	04°38'02.6"N	074°04'31.7"W	-94,45	839

Nota: Autoría propia.

7.3.3. Entorno rural.

7.3.3.1. San Cayetano. Es un municipio colombiano del departamento de Cundinamarca, ubicado en la Provincia de Rionegro, a 134 km de Bogotá. Inicialmente, el pueblo se llamó Chinga. Se puede evidenciar en las figuras (21-26) desde una finca muy cercana al Pueblo Viejo de San Cayetano que esta aproximadamente a unos 2 Kms.



Figura 21. San Cayetano (Finca). Autoría propia.



Figura 22. San Cayetano (Cordillera). Autoría propia.



Figura 23. San Cayetano (Cerro Portachuelo). Autoría propia.



Figura 24. San Cayetano (Finca). Autoría propia.



Figura 25. San Cayetano (Finca). Autoría propia.



Figura 26. San Cayetano (Finca). Autoría propia.

7.3.3.2. Simulación San Cayetano. En la figura 27 se puede ver la simulación de cobertura de la estación LoRa, junto con la georreferenciación de la estación transmisora y cada uno de los puntos de medición.

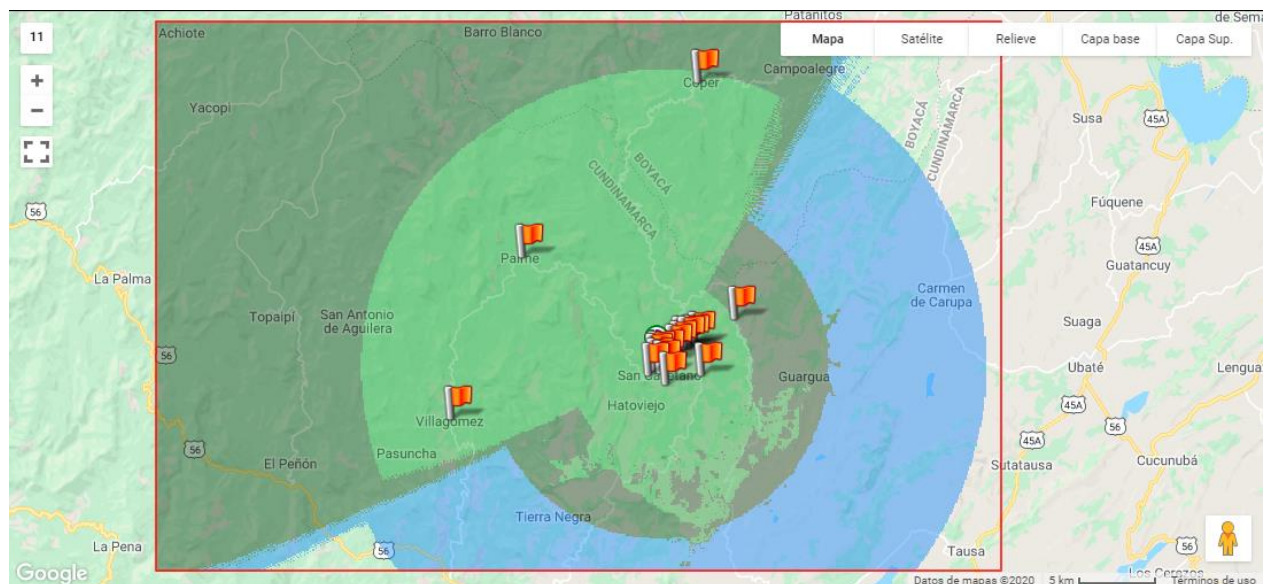


Figura 27. Simulación entorno rural. Autoría propia.

Tabla 12.

Tabla de resultados de simulación entorno rural.

ID	Latitud	Longitud	RSSI (dBm)	Distancia (m)
1	05°18'01.59"N	074°04'36.30"W	-89,24	974
2	05°18'19.44"N	074°04'29.66"W	-62,74	453
3	05°18'25.67"N	074°04'23.09"W	-54,9	197
4	05°18'28.92"N	074°04'02.97"W	-65,62	431
5	05°18'40.05"N	074°03'47.17"W	-89,59	1002
6	05°18'47.43"N	074°03'36.71"W	-94,92	1391
7	05°18'58.43"N	074°03'31.54"W	-98,2	1703

8	05°18'57.97"N	074°03'20.03"W	-100,26	1996
9	05°18'59.51"N	074°03'09.68"W	-101,96	2301
Albergue	05°18'09.98"N	074°04'26.95"W	-69,51	597
Coper	05°28'29.30"N	074°02'49.39"W	-116,46	18710
Las Mercedes	05°19'07.35"N	074°02'56.05"W	-105,67	2784
Paima	05°22'13.64"N	074°09'07.72"W	-110,13	597
Río Negro	05°17'41.66"N	074°03'58.53"W	-80,7	1488
San Cayetano Pueblo Nuevo	05°20'02.56"N	074°01'29.76"W	-117,04	5928
San Cayetano Pueblo Viejo	05°18'05.13"N	074°04'11.04"W	-71,85	680
Tres Esquinas	05°18'01.14"N	074°02'43.14"W	-96,76	2986
Villagomez	05°16'26.78"N	074°11'41.76"W	-112,79	14190

Nota: Autoría propia.

7.4. Análisis de las mediciones y datos simulados

Las mediciones realizadas en campo fueron graficadas en un sistema de información geográfica para entender el comportamiento del RSSI y la SNR en relación a la distribución física y distancia respecto al nodo de transmisión.

Luego se realizaron análisis estadísticos con histogramas para identificar tendencias en las mediciones de RSSI y SNR.

Finalmente se realizó comparación entre las mediciones reales y los datos simulados.

7.4.1. Entorno comercial.

En la figura 20 se presenta la ubicación geográfica de las mediciones para entender el comportamiento del RSSI y la SNR en relación a la distribución física y distancia respecto al nodo de transmisión.

7.4.1.1. RSSI en entorno comercial. Se evidencia que las potencias RSSI más altas se concentran en las ubicaciones próximas al nodo de transmisión debido a que sus distancias no superan los 200 mts, después de esta distancia la potencia de la señal se empieza a hacer más débil y se puede evidenciar en la figura 23 como los rangos se clasifican por colores para poder observar

de mejor manera la mejor fuerza de la señal y además a través de un mapa de calor (Figura 29) como se establece la RSSI a partir de los valores obtenidos.

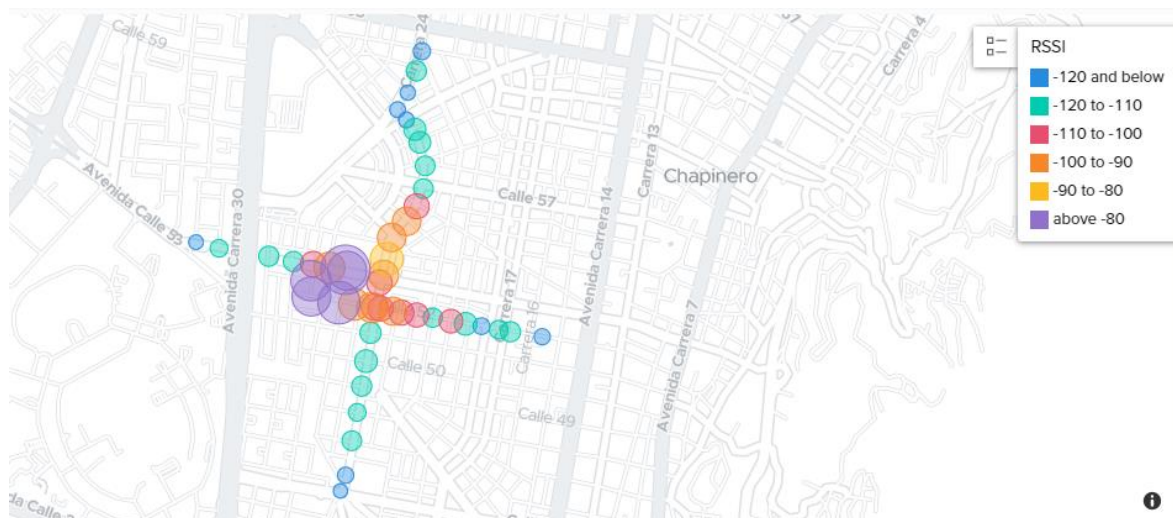


Figura 28. Georreferenciación de las medidas de RSSI. Zoho Analytics (2020)



Figura 29. Georreferenciación de las medidas de RSSI (Mapa de calor). Zoho Analytics (2020)

La figura 30 muestra el análisis por medio de un histograma que permite entender la distribución de las diferentes potencias RSSI medidas en las pruebas, donde se destaca que la mayor proporción

se ubica entre los -120dBm y -100dBm con 15 valores, entre los rangos de -50dBm y -90dBm encontramos 6 valores, que nos proporciona la mejor recepción de la señal RSSI, estos valores mencionados anteriormente son de 47 valores obtenidos.

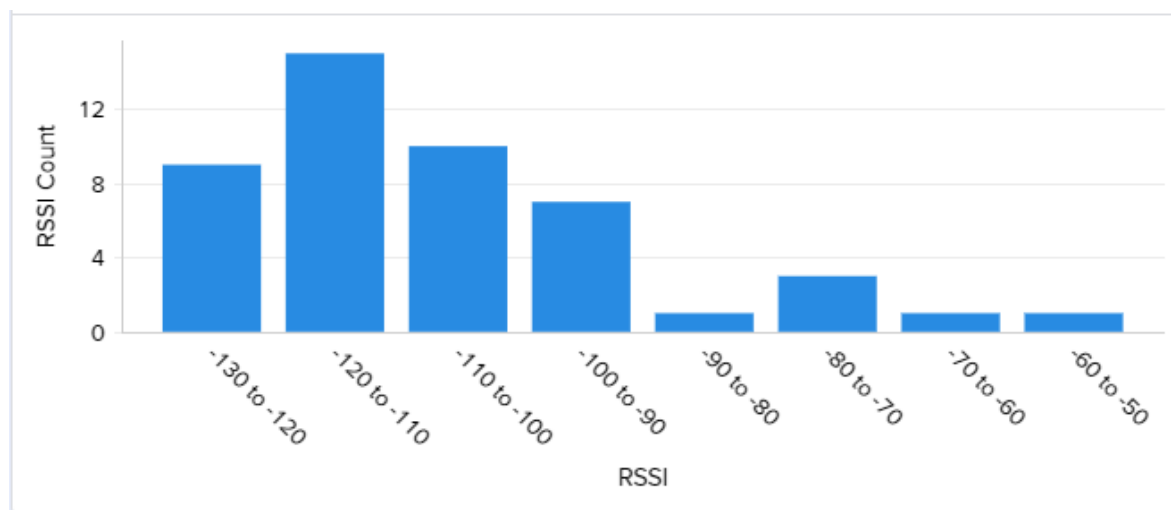


Figura 30. Histograma de medidas de RSSI. Zoho Analytics (2020)

7.4.1.1.1. Comparación de medidas de RSSI. Se realiza análisis de error respecto a las simulaciones para hallar el porcentaje de error entre los datos.

$$\% \text{ Error} = (Y_{\text{simulado}} - Y_{\text{medido}}) / Y_{\text{medido}}$$

Tabla 13.

Tabla de comparación de porcentajes de error.

ID	RSSI (dBm)	Distancia (m)	RSSI (dBm)	% de Error
	Simulación	Simulación	Medido	
1	-73,02	85	-56	30,39%
2	-75,98	203	-74	2,68%
3	-75,98	209	-77	1,32%
4	-61,68	87	-70	11,89%
5	-70,69	117	-92	23,16%

6	-61,68	107	-95	35,07%
7	-63,56	127	-105	39,47%
8	-63,56	171	-99	35,80%
9	-72,42	201	-105	31,03%
10	-72,42	258	-107	32,32%
11	-78,69	321	-117	32,74%
12	-83,24	394	-108	22,93%
13	-83,24	453	-110	24,33%
14	-87,55	517	-122	28,24%
	RSSI (dBm)	Distancia (m)	RSSI (dBm)	% de Error
ID	Simulación	Simulación	Medido	
15	-87,55	589	-118	25,81%
16	-90,21	638	-115	21,56%
17	-90,51	765	-123	26,41%
18	-69,65	99	-96	27,45%
19	-69,65	144	-89	21,74%
20	-76,44	222	-98	22,00%
21	-83,26	313	-98	15,04%
22	-83,26	384	-105	20,70%
23	-86,26	458	-116	25,64%
24	-88,82	540	-116	23,43%
25	-91,19	616	-112	18,58%
26	-91,19	658	-111	17,85%
27	-93,16	683	-124	24,87%
28	-92,76	716	-124	25,19%
29	-94,99	791	-125	24,01%
30	-96,64	887	-115	15,97%

31	-97,97	966	-121	19,03%
32	-73,02	78	-77	5,17%
33	-73,02	144	-93	21,48%
34	-78,06	208	-104	24,94%
	RSSI (dBm)	Distancia (m)	RSSI (dBm)	% de Error
ID	Simulación	Simulación	Medido	
35	-81,97	288	-115	28,72%
36	-85,11	391	-115	25,99%
37	-91,48	593	-120	23,77%
38	-92,77	692	-126	26,37%
39	-60,32	75	-104	42,00%
40	-61,68	110	-102	39,53%
41	-72,13	203	-113	36,17%
42	-78,65	314	-110	28,50%
43	-83,25	411	-115	27,61%
44	-86,8	519	-120	27,67%
45	-89,69	634	-116	22,68%
46	-94,45	773	-123	23,21%
47	-94,45	839	-127	25,63%

Nota: Autoría propia.

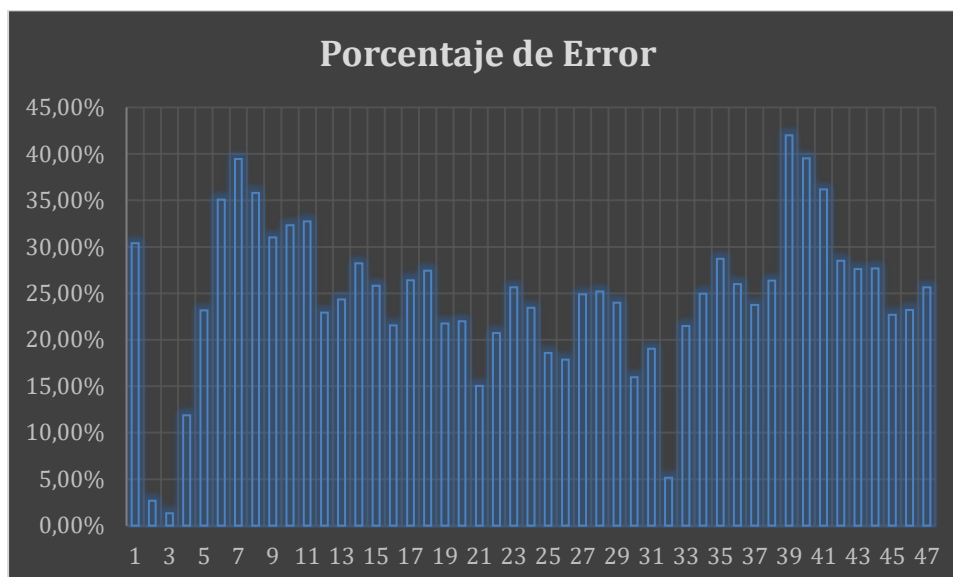


Figura 31. Dispersión de porcentaje de Error en RSSI. Autoría propia.

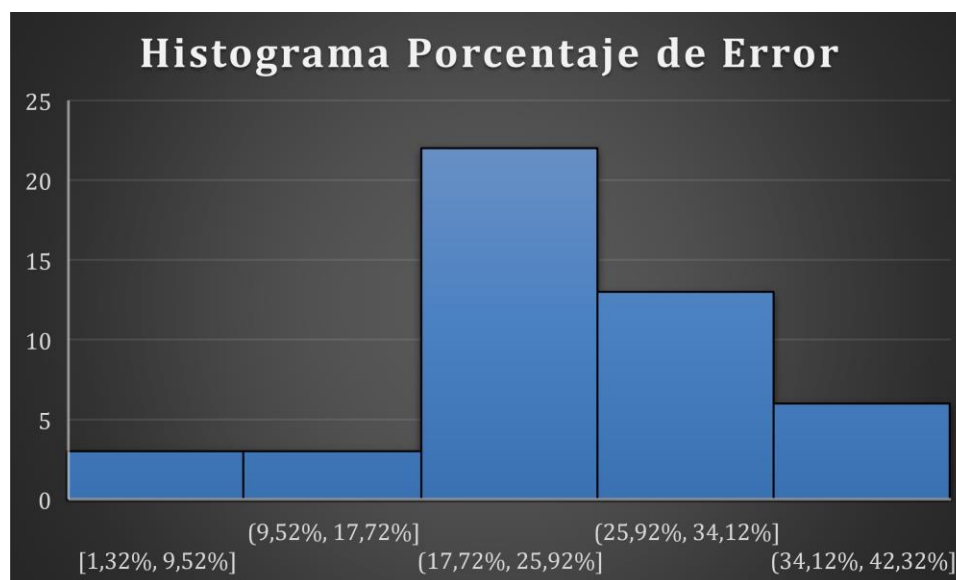


Figura 32. Histograma de porcentaje de Error en RSSI. Autoría propia.

En la figura 32 se puede observar el comportamiento según el número de mediciones en un intervalo de 0 a 25 mediciones relacionándolas con los porcentajes de error, se evidencia que no se

ha generado un aumento lineal ya que se presenta una notable variación en el comportamiento, el pico más alto corresponde a 22 mediciones con un intervalo de error entre 17.72% y 25.92%.

7.4.1.2. SNR en entorno comercial. Se evidencia que la relación de señal a ruido en su mayoría está por encima de los 125 decibelios que nos permite tener una buena señal sin gran afectación de las demás señales en el espacio para poder transmitir.

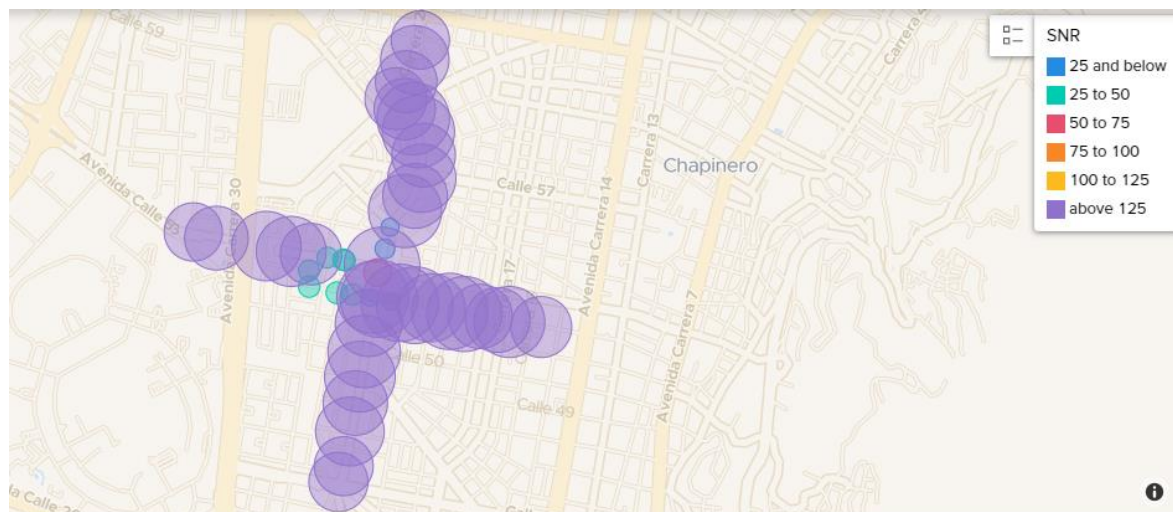


Figura 33. Georreferenciación de las medidas de SNR. Zoho Analytics (2020)



Figura 34. Georreferenciación de las medidas de SNR (Mapa de calor). Zoho Analytics (2020)

La figura 35 muestra el análisis por medio de un histograma que permite entender la distribución de la relación señal a ruido medidas en las pruebas, donde se destaca que la mayor proporción se ubica entre los 200dB y 250dB con 21 valores y nos proporciona un buen resultado para la transmisión de la señal, entre los rangos de 0dB y 100dB encontramos 12 valores, que nos proporciona una baja señal, es decir, no se distingue la señal transmitida frente a las que están en el espacio, estos valores mencionados anteriormente son de 47 valores obtenidos.

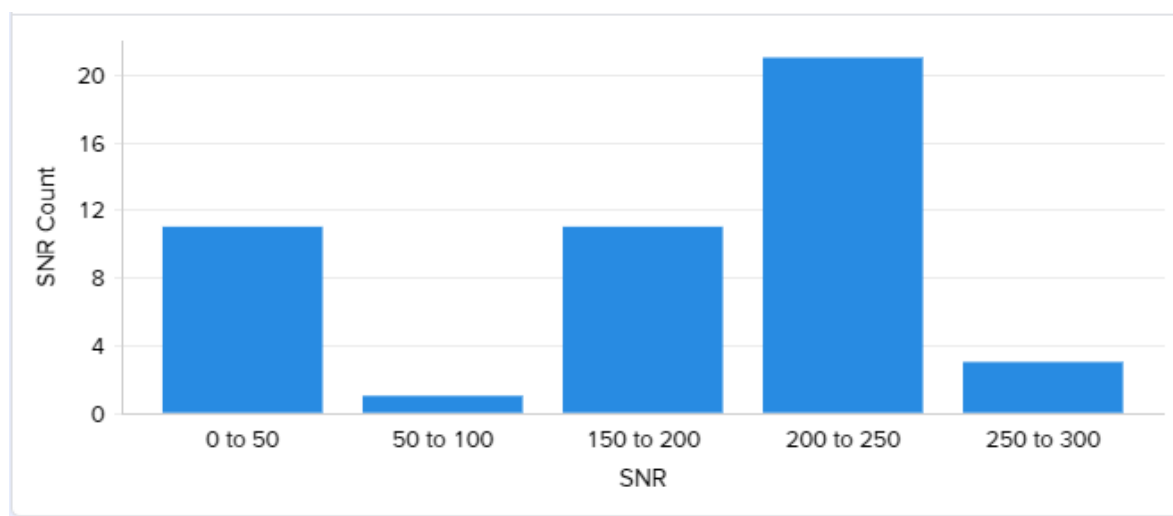


Figura 35. Histograma de medidas de SNR. Zoho Analytics (2020)

7.4.2. Entorno residencial.

En la figura 18 se presenta la ubicación geográfica de las mediciones para entender el comportamiento del RSSI y la SNR en relación a la distribución física y distancia respecto al nodo de transmisión.

7.4.2.1. RSSI en entorno residencial. Se evidencia que las potencias RSSI más altas se concentran en las ubicaciones próximas al nodo de transmisión debido a que la distancia de la antena estaba aproximadamente a 40 mts del nivel del suelo y se detecta una mejor recepción (fuerza de la señal) a mayor distancia en comparación al entorno comercial. En el entorno residencial sus distancias no superan los 800 mts para percibir un RSSI aceptable para la transmisión y después de esta distancia la potencia de la señal se empieza a hacer más débil y se

puede evidenciar en la figura 36 como los rangos se clasifican por colores para poder observar de mejor manera la mejor fuerza de la señal y además a través de un mapa de calor (Figura 37) como se establece la RSSI a partir de los valores obtenidos.

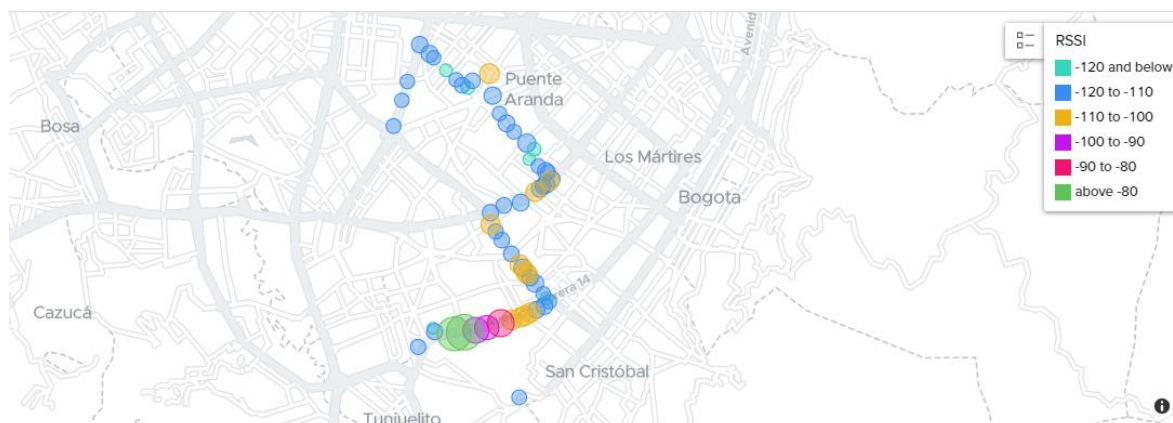


Figura 36. Georreferenciación de las medidas de RSSI. Zoho Analytics (2020)



Figura 37. Georreferenciación de las medidas de RSSI (Mapa de calor). Zoho Analytics (2020)

La figura 38 muestra el análisis por medio de un histograma que permite entender la distribución de las diferentes potencias RSSI medidas en las pruebas, donde se destaca que la mayor proporción se ubica entre los -120dBm y -110dBm con 36 valores, entre los rangos de -60dBm y -90dBm

encontramos 3 valores, que nos proporciona la mejor recepción de la señal RSSI, estos valores mencionados anteriormente son de 59 valores obtenidos.

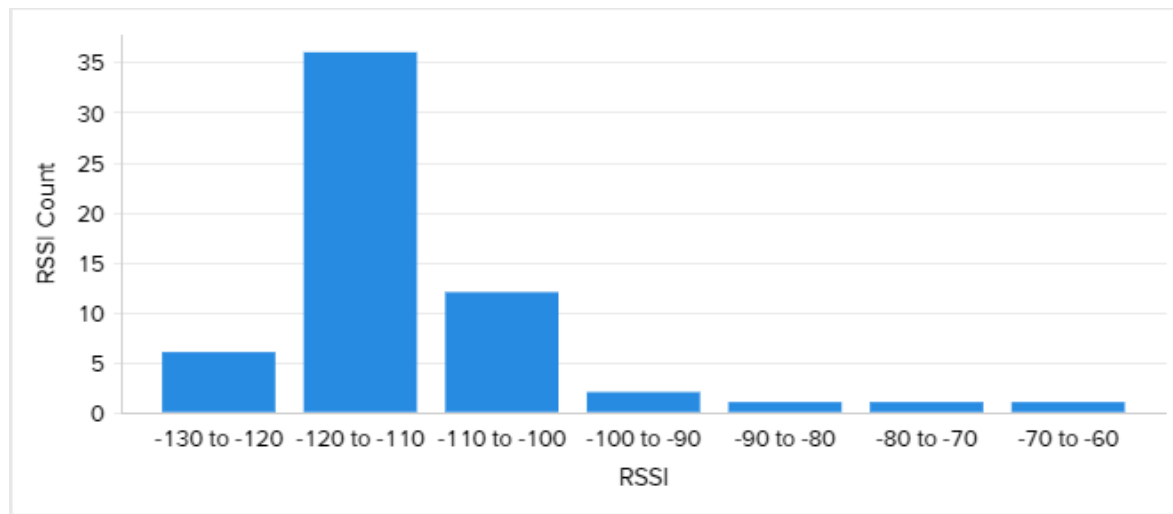


Figura 38. Histograma de medidas de RSSI. Zoho Analytics (2020)

7.4.2.1.1. Comparación de medidas de RSSI. Se realiza análisis de error respecto a las simulaciones para hallar el porcentaje de error entre los datos.

Porcentaje de Error = $(Y_{\text{simulado}} - Y_{\text{medido}}) / Y_{\text{medido}}$

Tabla 14.

Tabla de comparación de porcentajes de error.

ID	RSSI (dBm) Simulación	Distancia (m) Simulación	RSSI (dBm) Medido	% de Error
1	-63,42	69	-71	10,68%
2	-77,76	257	-67	16,06%
3	-85,94	479	-91	5,56%
ID	RSSI (dBm) Simulación	Distancia (m) Simulación	RSSI (dBm) Medido	% de Error
4	-91,98	684	-95	3,18%

5	-97,91	954	-88	11,26%
6	-100,66	1166	-106	5,04%
7	-102,19	1336	-107	4,50%
8	-103,28	1425	-106	2,57%
9	-104,59	1540	-107	2,25%
10	-105,57	1658	-113	6,58%
11	-107,49	1816	-113	4,88%
12	-108,52	1932	-119	8,81%
13	-107,77	1905	-122	11,66%
14	-107,36	1875	-119	9,78%
15	-107,42	1827	-111	3,23%
16	-105,33	1810	-115	8,41%
17	-105,66	1810	-107	1,25%
18	-104,48	1808	-107	2,36%
19	-103	1808	-111	7,21%
20	-101,84	1821	-107	4,82%
21	-101,16	1866	-116	12,79%
22	-101,18	1983	-116	12,78%
23	-101,97	2077	-117	12,85%
	RSSI (dBm)	Distancia (m)	RSSI (dBm)	% de Error
ID	Simulación	Simulación	Medido	
24	-102,3	2156	-107	4,39%
25	-103,38	2364	-114	9,32%
26	-104,87	2576	-116	9,59%
27	-105,48	2758	-113	6,65%
28	-107,16	3063	-108	0,78%
29	-107,79	3162	-112	3,76%
30	-107,79	3224	-116	7,08%

31	-108,38	3283	-111	2,36%
32	-108,68	3378	-109	0,29%
33	-108,97	3432	-117	6,86%
34	-109,02	3492	-117	6,82%
35	-109,02	3492	-113	3,52%
36	-109,02	3507	-119	8,39%
37	-109,05	3545	-124	12,06%
38	-109,89	3752	-121	9,18%
39	-109,89	3801	-110	0,10%
40	-110,14	3919	-118	6,66%
41	-110,74	4027	-113	2,00%
42	-111,39	4172	-119	6,39%
43	-112,09	4470	-112	0,08%
	RSSI (dBm)	Distancia (m)	RSSI (dBm)	% de Error
ID	Simulación	Simulación	Medido	
44	-113,24	4860	-106	6,83%
45	-112,82	4695	-116	2,74%
46	-112,49	4559	-122	7,80%
47	-112,55	4599	-116	2,97%
48	-112,83	4697	-119	5,18%
49	-113,42	4869	-123	7,79%
50	-113,82	5111	-119	4,35%
51	-114,08	5186	-113	0,96%
52	-114,45	5375	-114	0,39%
53	-112,86	4730	-119	5,16%
54	-113,47	4411	-119	4,65%
55	-110,37	3984	-118	6,47%
56	-105,98	1722	-118	10,19%

57	-93,06	642	-117	20,46%
58	-80,55	300	-115	29,96%
59	-80,02	349	-126	36,49%

Nota: Autoría propia.

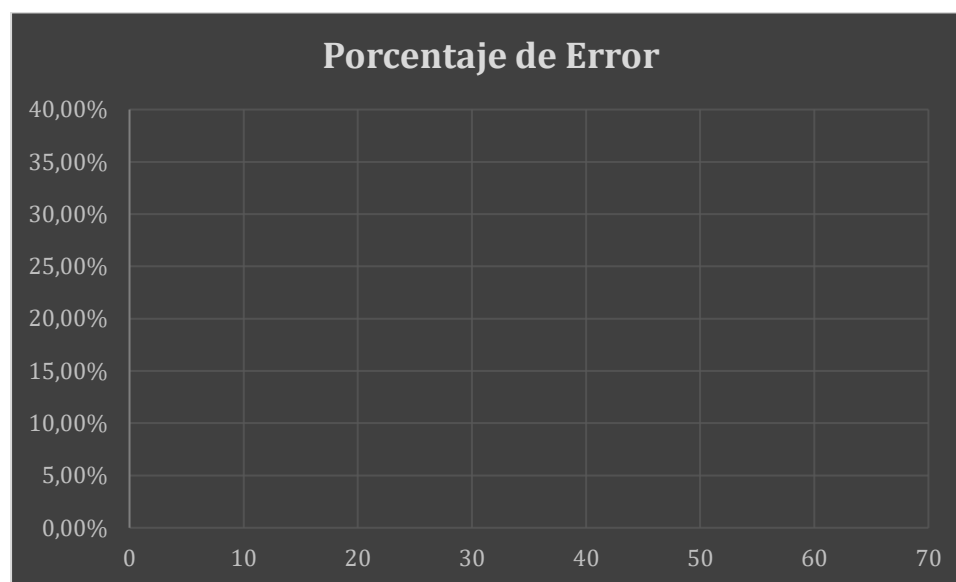


Figura 39. Dispersión de porcentaje de Error en RSSI. Autoría propia.

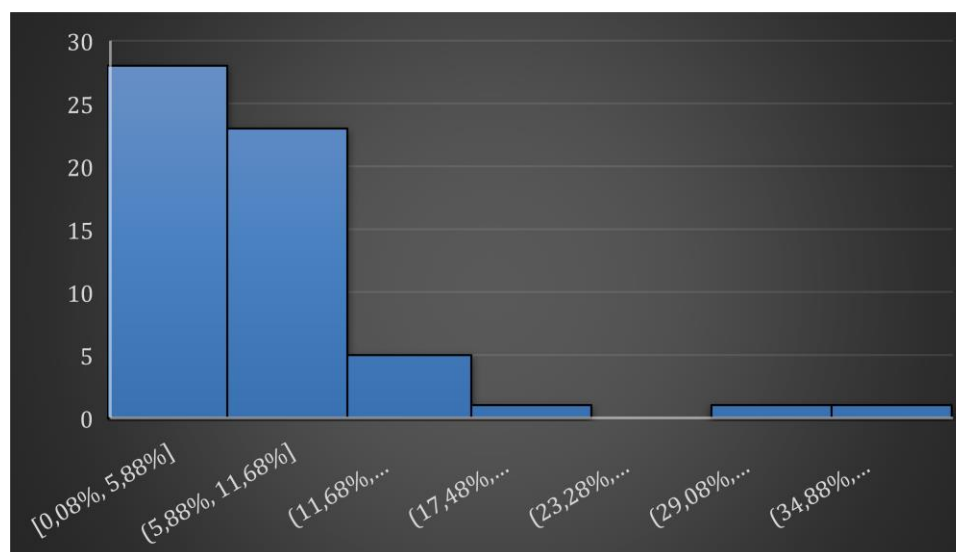


Figura 40. Histograma de porcentaje de Error en RSSI. Autoría propia.

Dado a lo anterior se puede evidenciar que el mayor número de concentrados entre los 0.08% y los 5,88% es de 28 valores ubicados en este rango dado a que es el menor error de porcentaje, y se presenta un dato con un error de porcentaje alto de 36,49%.

7.4.2.2. SNR en entorno residencial. Se evidencia que la relación de señal a ruido en su mayoría está por encima de los 125 decibelios que nos permite tener una buena señal sin gran afectación de las demás señales en el espacio para poder transmitir.



Figura 41. Georreferenciación de las medidas de RSSI. Zoho Analytics (2020)

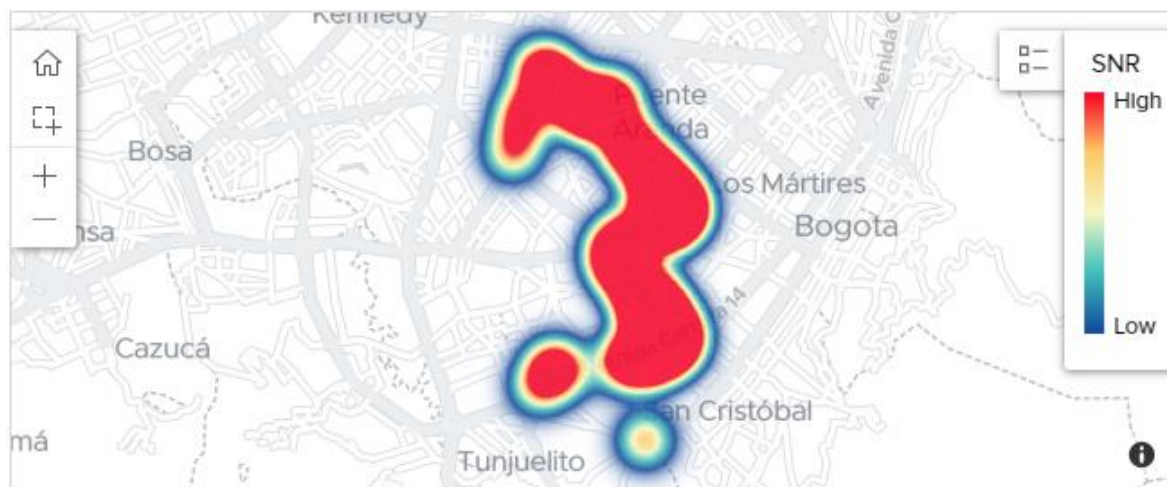


Figura 42. Georreferenciación de las medidas de RSSI (Mapa de calor). Zoho Analytics (2020)

La figura 43 muestra el análisis por medio de un histograma que permite entender la distribución de la relación señal a ruido medidas en las pruebas, donde se destaca que la mayor proporción se ubica entre los 150dB y 200dB con 30 valores y nos proporciona un buen resultado para la transmisión de la señal de igual manera que los rangos de 200dB y 250dB encontramos 25 valores, que nos proporciona aún una mejor señal, esto valores son en comparación de 59 valores obtenidos.

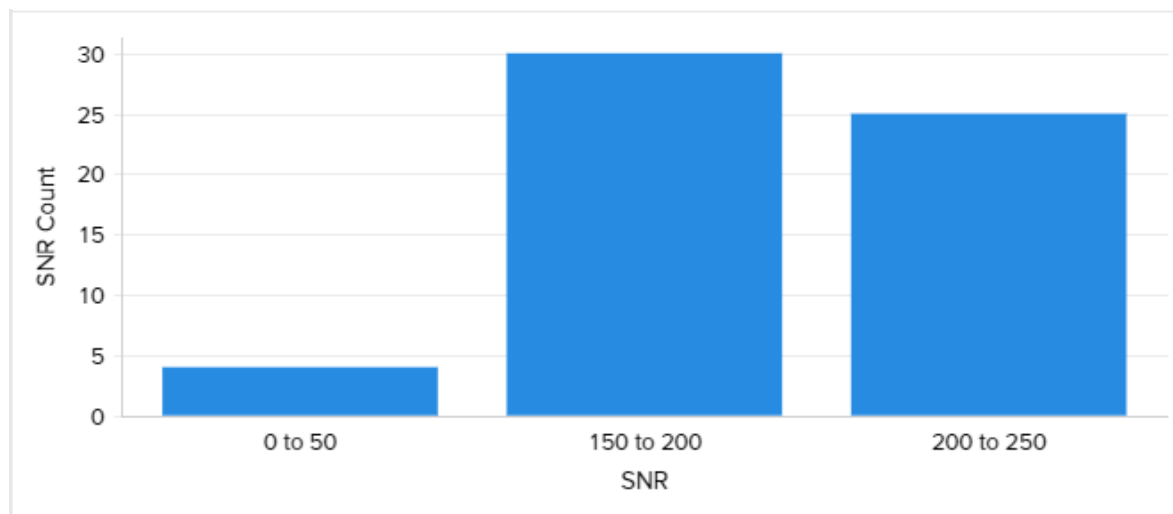


Figura 43. Histograma de medidas de SNR. Zoho Analytics (2020)

7.4.3. Entorno rural.

Dado a que en este entorno solo se realizó la simulación y se generó diversos datos, así como se registraron en el Tabla 12 se va a relacionar la orografía entre el punto transmisor y los 18 puntos expuestos como puntos principales de acuerdo a la ubicación.

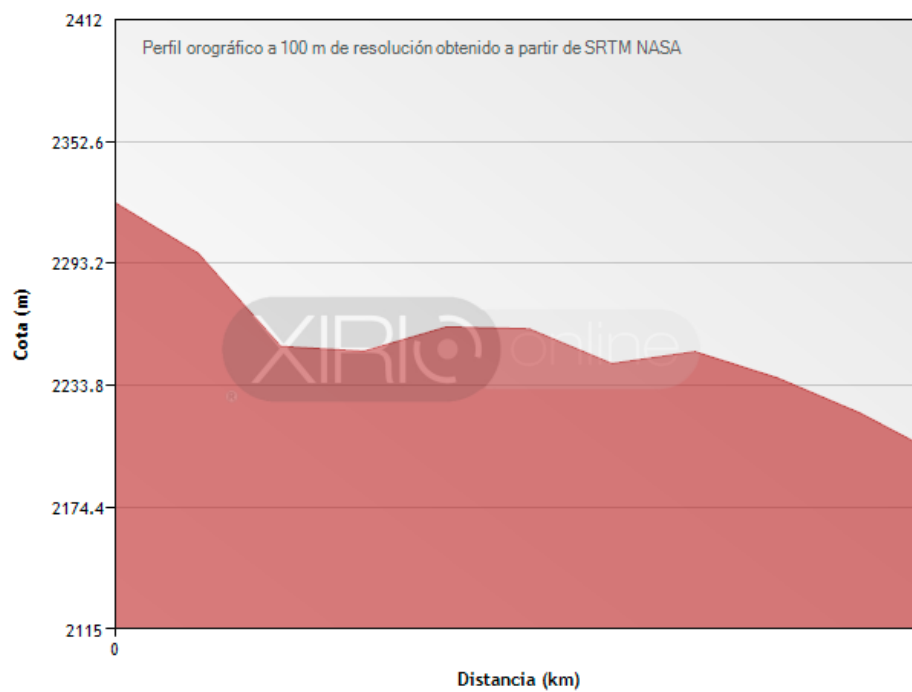


Figura 44. Orografía del transmisor al punto 1. Autoría propia.

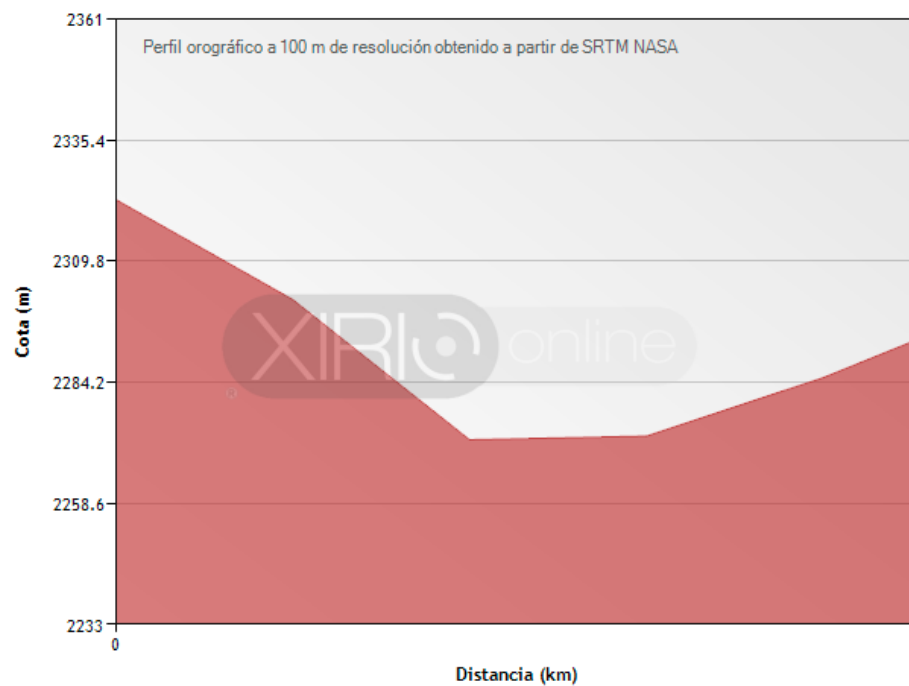


Figura 45. Orografía del transmisor al punto 2. Autoría propia.

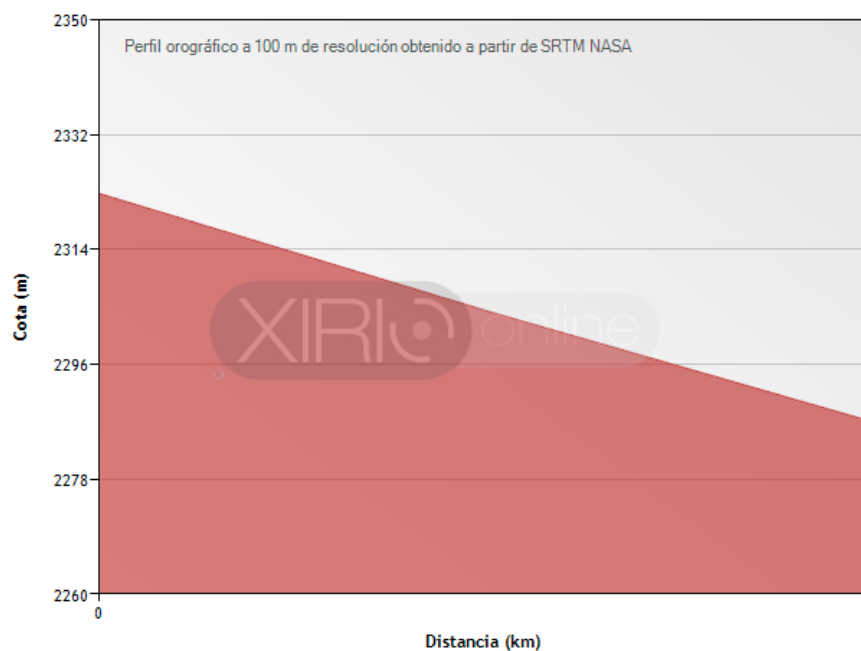


Figura 45. Orografía del transmisor al punto 3. Autoría propia.

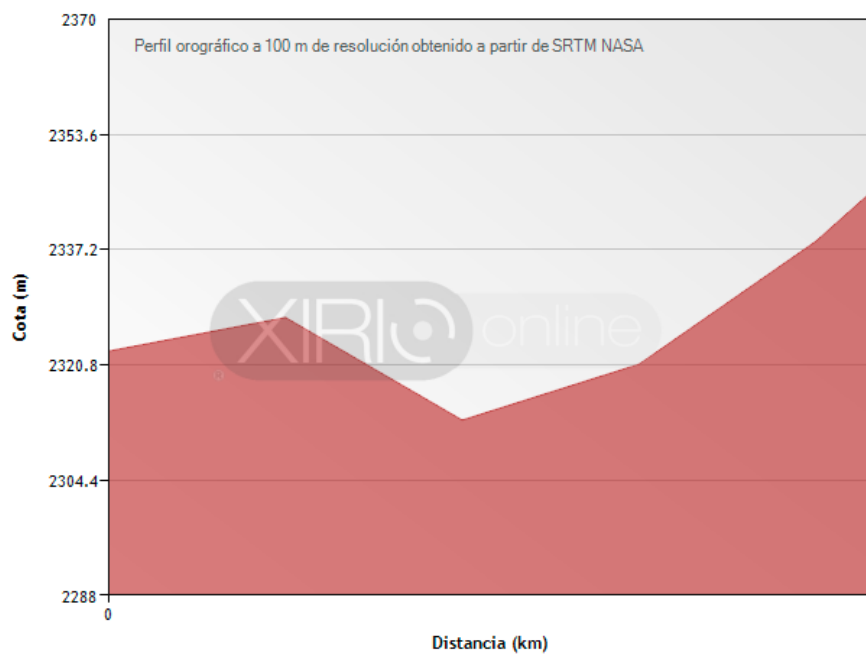


Figura 45. Orografía del transmisor al punto 4. Autoría propia.

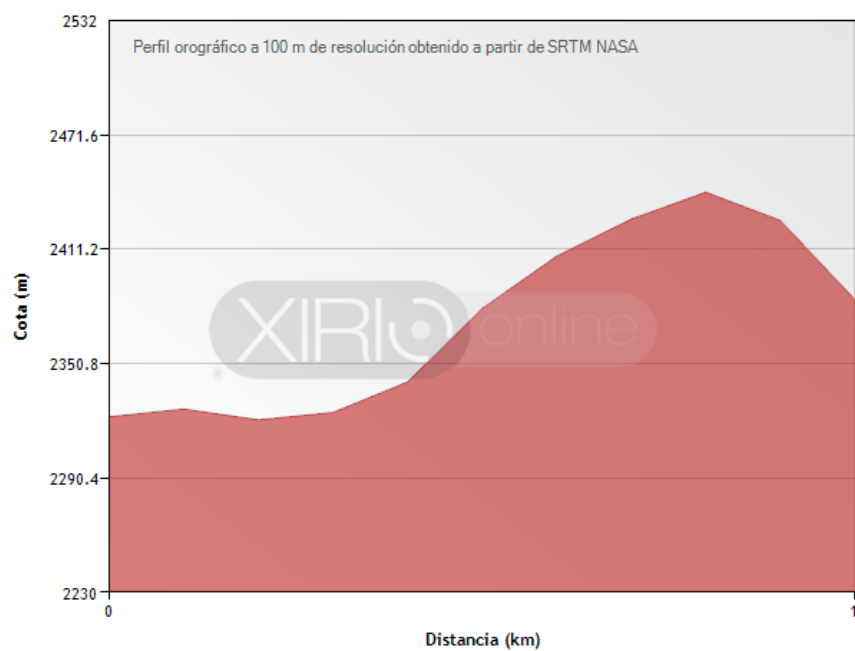


Figura 46. Orografía del transmisor al punto 5. Autoría propia.

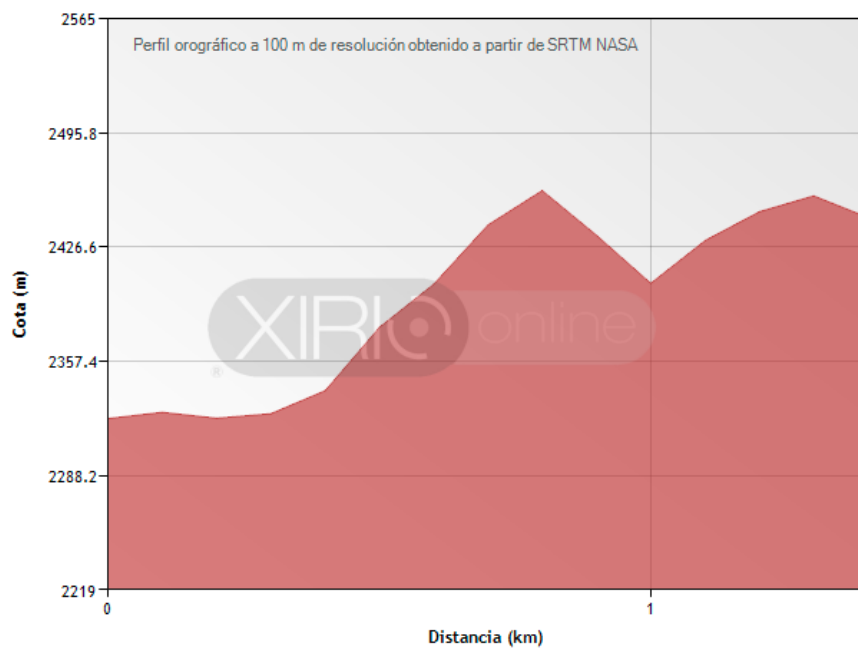


Figura 47. Orografía del transmisor al punto 6. Autoría propia.

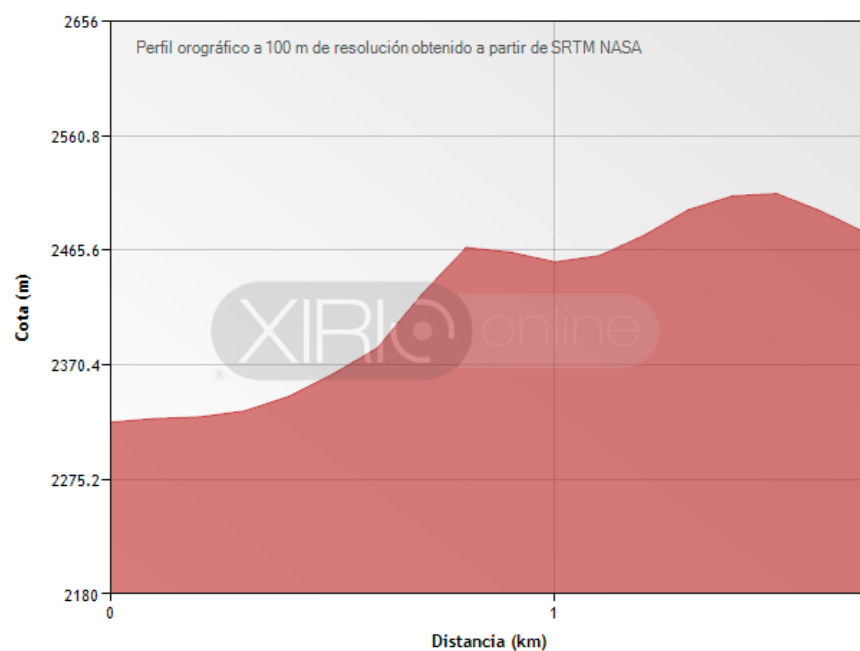


Figura 48. Orografía del transmisor al punto 7. Autoría propia.

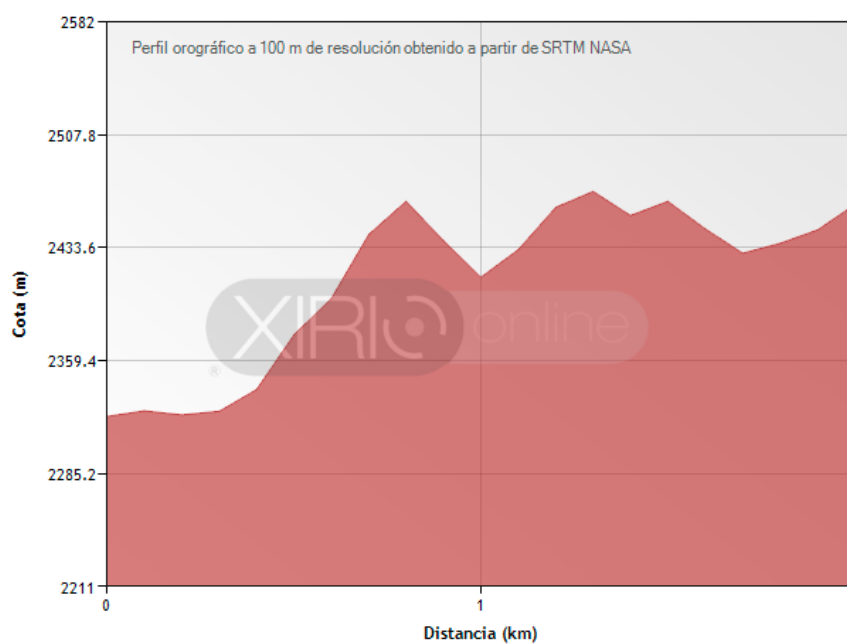


Figura 49. Orografía del transmisor al punto 8. Autoría propia.

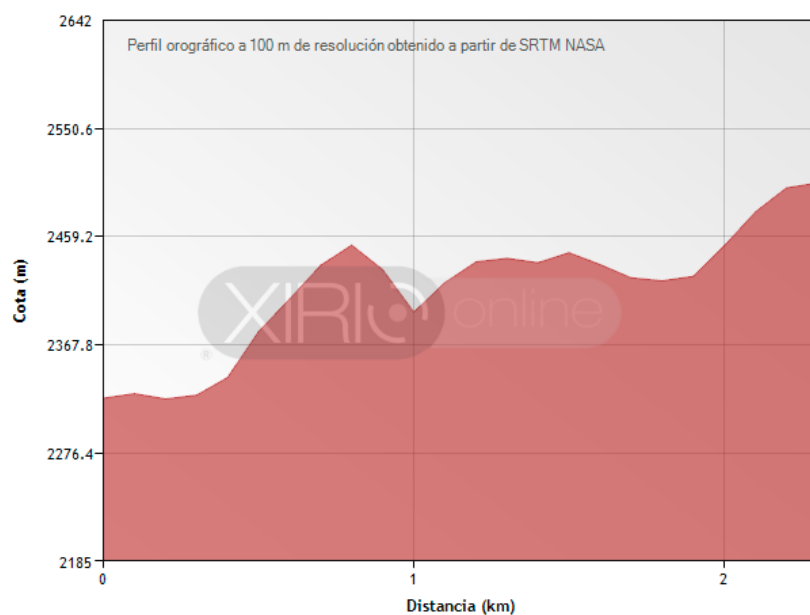


Figura 50. Orografía del transmisor al punto 9. Autoría propia.

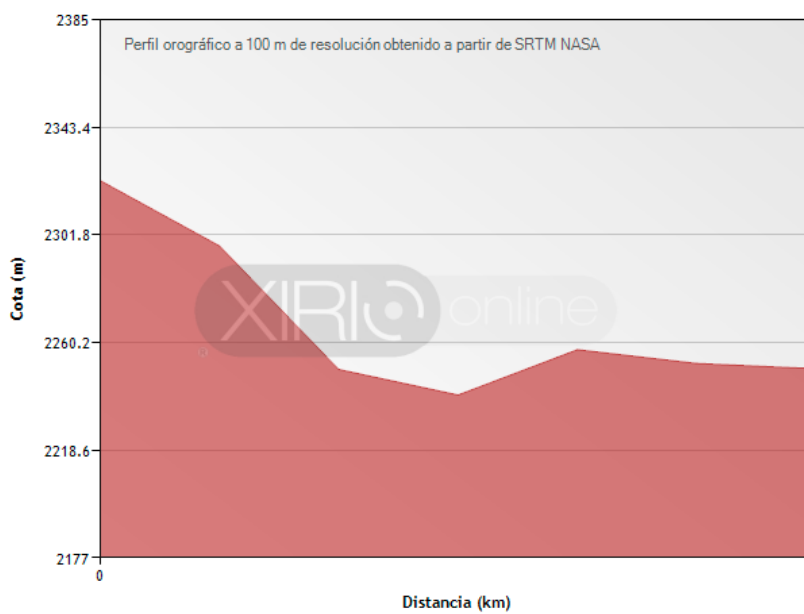


Figura 51. Orografía del transmisor a el Albergue. Autoría propia.

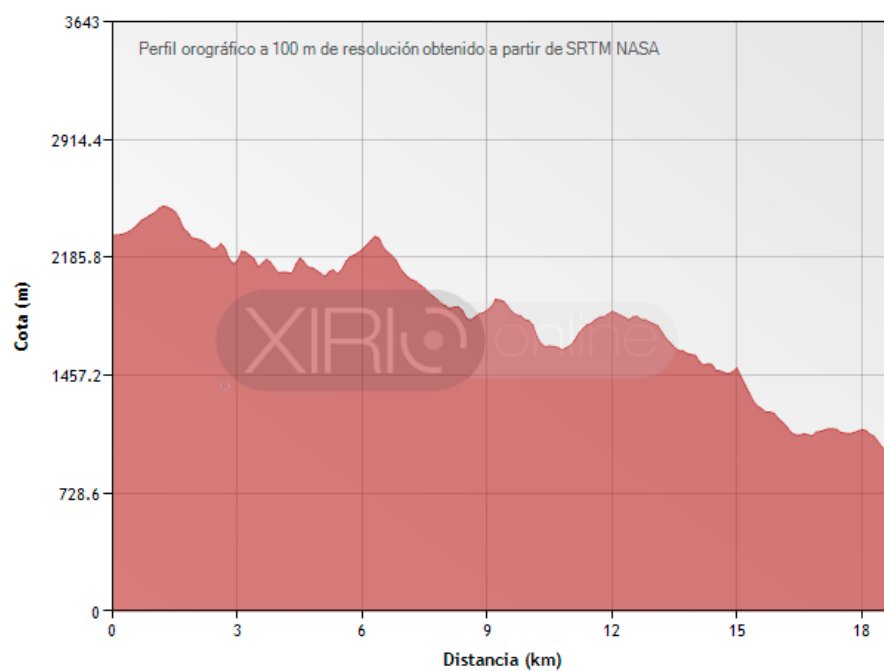


Figura 52. Orografía del transmisor a Las Mercedes. Autoría propia.

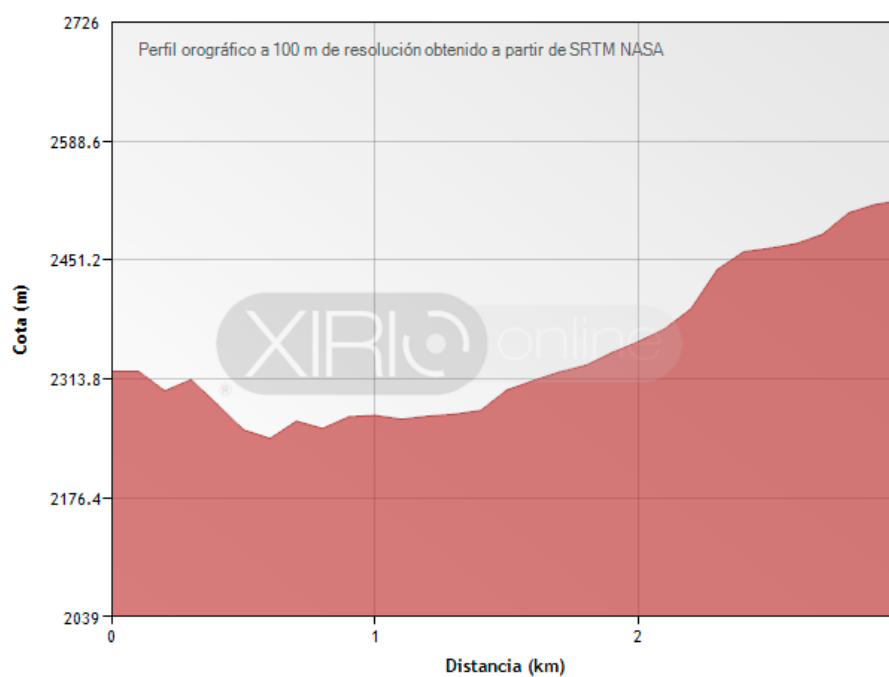


Figura 53. Orografía del transmisor a Paima. Autoría propia.

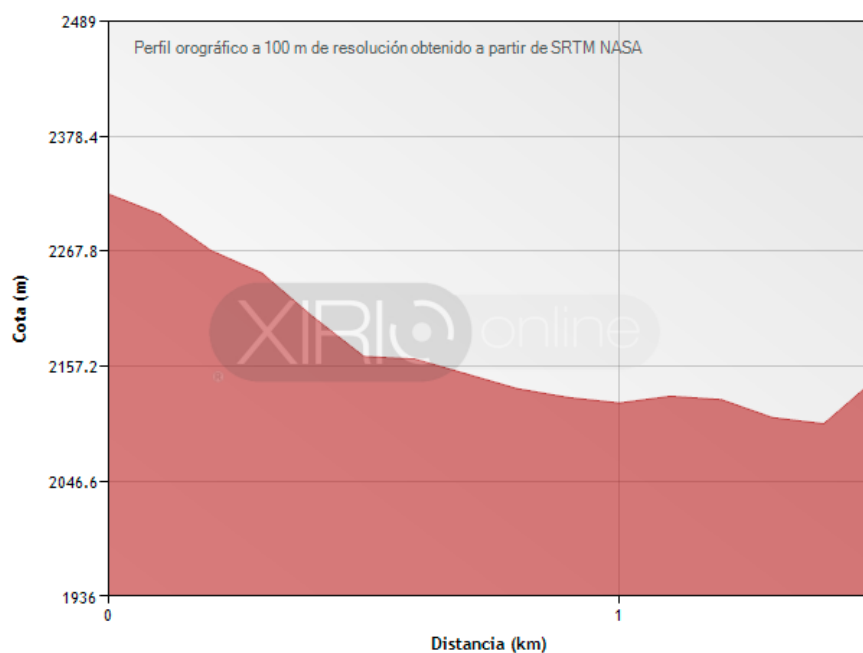


Figura 54. Orografía del transmisor a Río Negro. Autoría propia.

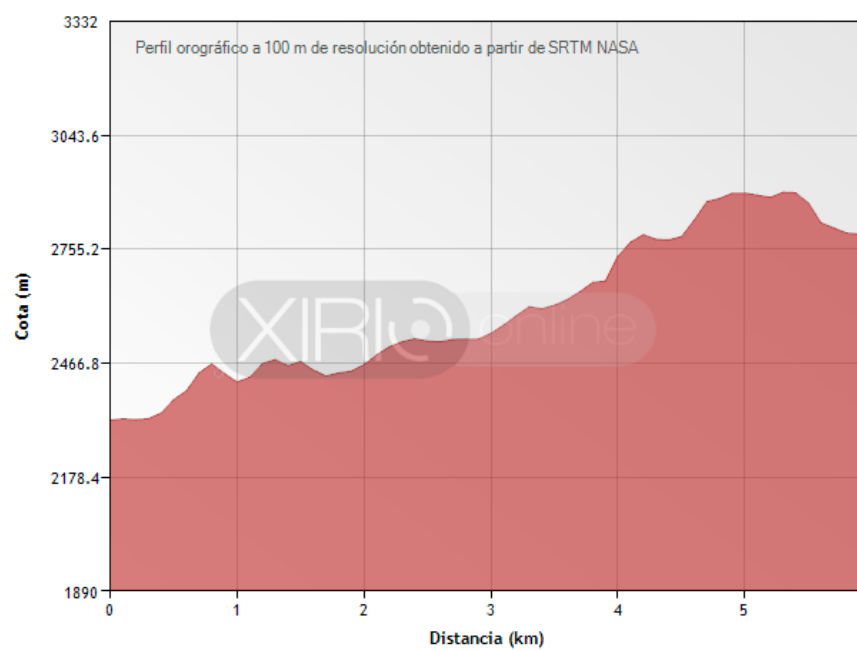


Figura 55. Orografía del transmisor a San Cayetano Pueblo Nuevo. Autoría propia.

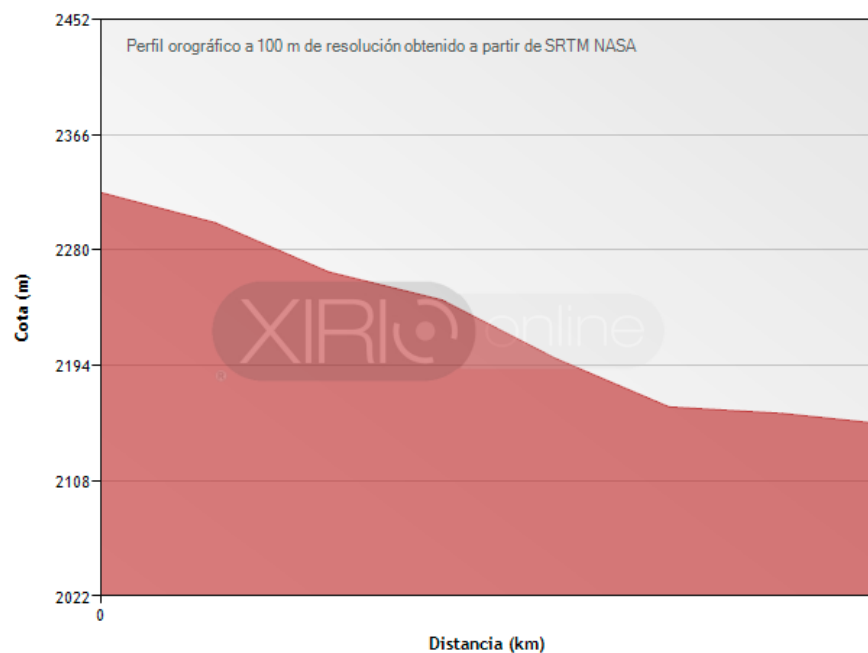


Figura 56. Orografía del transmisor a San Cayetano Pueblo Nuevo. Autoría propia.

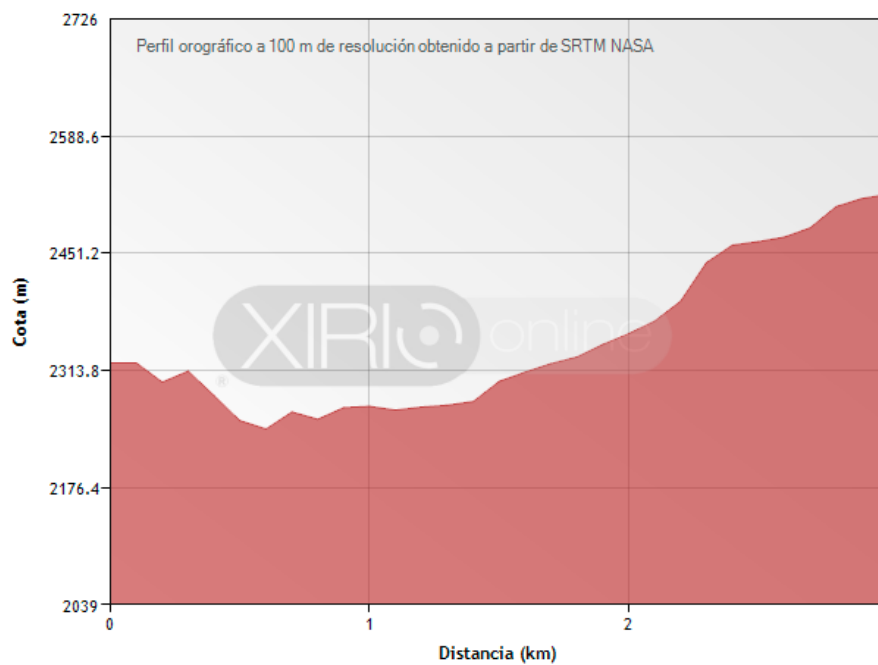


Figura 57. Orografía del transmisor a Tres Esquinas. Autoría propia.

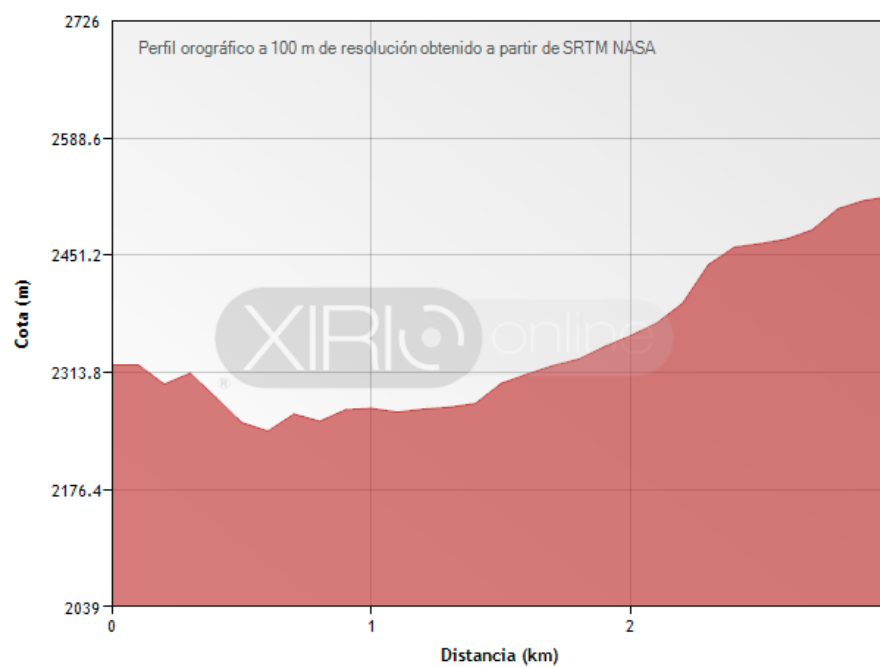


Figura 58. Orografía del transmisor a Villagomez. Autoría propia.

8. Conclusiones

Al implementar un proceso de pruebas y un entorno en condiciones aptas permite que la calidad de los resultados obtenidos en un entorno productivo sea elevada, constituyendo un avance significativo a la investigación de redes inalámbricas de IoT sobre protocolo LoRA y el porcentaje de error pueda ser reducido a su mínima expresión.

Los resultados obtenidos durante la primera fase demuestran que al tener edificaciones de la misma altura o incluso unos poco más altos la cobertura es mucho más baja y consigue menos alcance. Se pueden mejorar los resultados obtenidos situando la antena a una mayor altura o situándola fuera del edificio ya que las paredes, cristales y demás obstáculos reducen notablemente la cobertura.

Al hacer un paralelo entre los datos arrojados en la simulación de los tres entornos, podemos evidenciar un aumento en la distancia de cobertura según la cantidad de obstáculos entre el receptor y el transmisor; adicionalmente esto nos proporciona un punto de comparación con algunas características ideales.

Al hacer un análisis y comparación de los resultados obtenidos en campo contra los resultados arrojados por la simulación, se podía esperar una variación en la cobertura de la señal debido a que en la simulación no se tienen en cuenta factores como vehículos y personas que pueden llegar a debilitar la señal.

9. Referencias

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melià-Seguí, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the Limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 34-40.
- Alliance, L. (2017). *LoRa Alliance*. Obtenido de LoRa Alliance: <https://lora-alliance.org/>
- Arlin, M. R., Niswar, M., Adnan, A., Fall, D., & Kashihara, S. (2018). LouPe: LoRa Performance Measurement Tool. *The 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT) 2018* (págs. 168-171). Indonesia: IEEE.
- Avila Campos, P. E. (2017). *Bibliotecas del ecuador*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28504>
- Bor, M., & Roedig, U. (2017). LoRa Transmission Parameter Selection. *Proceedings of the 13th IEEE International*.
- Bor, M., Vidler, J., & Roedig, U. (2016). LoRa for the Internet of Things. *International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN) 2016* (págs. 361-366). Graz, Austria: ACM Digital Library.
- Dmitry, B., Evgeny, K., & Andrey, L. (2016). On the Limits of LoRaWAN Channel Access. *2016 International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT)* (págs. 10-14). Moscow: IEEE.
- Ferre', G. (2017). Collision and Packet Loss Analysis in a LoRaWAN Network. *25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)* (págs. 2586-2590). Talence: EURASIP.
- Fox, J., Donnellan, D. A., & Doumen, L. (2019). The deployment of an IoT network infrastructure, as a localised regional service. *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 319-324.
- González, M. Á. (junio de 2012). *Alfa IoT*. Obtenido de Alfa IoT: <https://alfaiot.com/blog/ultimas-noticias-2/post/que-es-lora-2>
- Madoune R. Seye, B. G. (2017). An Evaluation of LoRa Coverage in Dakar Peninsula. *2017 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, (pág. 4). Vancouver.

- Mahmoud, A., & Shirin, K. (2019). Low-Power Wide Area Network (LPWAN) for Smart grid: An in-depth study on LoRaWAN. *2019 IEEE 5th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI)* , (pág. 8). Tehran, Iran .
- Meulen, R. v. (10 de noviembre de 2015). *Gartner*. Obtenido de <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2015-11-10-gartner-says-6-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2016-up-30-percent-from-2015>
- Oracle Colombia. (2020). *Oracle Colombia*. Obtenido de <https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-is-iot.html>
- Parri, L., Parrino, S., Peruzzi, G., & Pozzebon, A. (2019). Low Power Wide Area Networks (LPWAN) at Sea: Performance Analysis of Offshore Data Transmission by Means of LoRaWAN Connectivity for Marine Monitoring Applications. *MDPI*, 29.
- PDAControl. (25 de 11 de 2019). Obtenido de Revisión Modulo RAK811 Nodo LoRa AT-Commands LoRaWAN #3: <http://pdacontroles.com/revision-modulo-rak811-nodo-lora-at-commands-lorawan-3/>
- Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*.