

**UNIVERSIDAD PERUANA UNION**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



**Optimización de la transmisión de paquetes LPWAN/LoraWan**

Por:

William Quispe Calcina

Asesor:

Dr. Jorge Alejandro Sánchez Garcés

**Juliaca, diciembre de 2019**

DECLARACIÓN JURADA  
DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN

Dr. Jorge Alejandro Sánchez Garcés, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "Optimización de la transmisión de paquetes de LPWAN/LoraWan" constituye la memoria que presenta el estudiante William Quispe Calcina, para aspirar al grado de Bachiller en Ingeniería de Sistemas, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones de este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca, a los 5 día del mes de diciembre del año 2019.



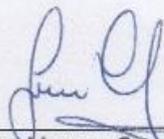
Dr. Jorge Alejandro Sánchez Garcés

Optimización de la transmisión de paquetes LPWAN/LoraWan

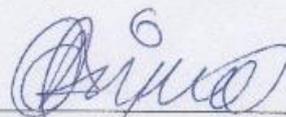
# TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Presentada para poder optar el grado de bachiller de Ingeniería de  
Sistemas

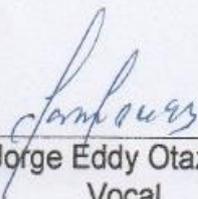
## JURADO CALIFICADOR



Mtro. Lennin Henry Centurión Julca  
Presidente



Mtro. Angel Rosendo Condori  
Coaquira  
Secretario



Ing. Jorge Eddy Otazu Luque  
Vocal



Dr. Jorge Alejandro Sánchez  
Garces  
Asesor

Juliaca, 2 de diciembre de 2019

# Optimización de la transmisión de paquetes LPWAN/LoraWan

William Quispe Calcina

*<sup>a</sup>EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión*

---

## **Resumen.**

En la actualidad existe un gran crecimiento en la inclusión de dispositivos IOT en varias actividades, debido a las prestaciones que ofrece en transmisión de datos de largo alcance, y el uso de bandas ISM libres, es por eso que en esta investigación el análisis se enfoca, en la variación y optimización del Factor de Propagación (SF), y el Ancho de Banda (BW), con el fin de obtener una mejor sensibilización en la transmisión de una cantidad de paquetes de datos determinado. Las pruebas se desarrollaron en la ciudad altiplánica de Juliaca-Perú.

**Palabras clave:** Factor de propagacion, Tasa de codificacion, Ancho de banda, LoRaWAN,TTN, ModulRak5205, US915, RSSI, SNR.

---

## **Abstrac.**

*A real existence of granularity and the inclusion of IOT provisions and various activities, debates and achievements of those and the transmission of the theft rate, as well as the free ISM band, as it is a case of an investigation on illiteracy. , and the variation and optimization of the Propagation Factor (SF), and the Bandwidth (BW), with the exception of the most sensitive and the transmission of a quantity of the packages of the determined dates. The tests are carried out in the high plateau city of Juliaca-Perú.*

**Keywords:** Propagation factor, Coding rate, Bandwidth, LoRaWAN, TTN, ModulRak5205, US915, RSSI, SNR

---

## **1. Introducción**

De micro sensores a los aparatos electrodomésticos y automóviles, podemos tener acceso remoto a la mayoría de las cosas en el mundo. Las interacciones entre estos dispositivos y el hombre son el núcleo de la IOT, lo que hace posible estas conexiones, es la tecnología de la comunicación. En otras palabras, la tecnología de la comunicación juega un papel importante en el entorno de la IOT [1]. El ecosistema de la IO de hoy se extiende sobre las fronteras de los países y dominios de aplicación, la combinación de miles de dispositivos versátiles, que difieren en cuanto a sus estructuras, las capacidades y los recursos disponibles. Por lo tanto, esto no es sorprendente, que el panorama de la comunicación inalámbrica de la IOT con LoRaWAN este disponibles en la actualidad y es excesivamente amplia y diversa [2]. En un estándar de protocolo de red que minimiza el intercambio de mensajes, LoRa puede proporcionar hasta 15 kilómetros área de cobertura y diez años de duración de la batería [3]. Como resultado, Lora y LoRaWAN proporcionan el entorno de red más adecuada para los

dispositivos de batería limita, lo que hace a Lora y LoRaWAN una de las tecnologías LPWAN más ampliamente utilizados en la actualidad. La topología de red definida por la norma LoRaWAN es una topología en estrella. El único tipo de comunicación soportado por el estándar LoRaWAN actual es entre el nodo de extremo y el servidor de red [4]. Sin embargo, un estudio recientemente introducido [5], demuestra que un (D2D) de comunicación de dispositivo a dispositivo es posible en el entorno LoRaWAN. Esto técnicamente implementa la comunicación directa entre dos nodos finales LoRaWAN con la ayuda del servidor de red. Según los autores D2D permite una mayor velocidad de datos a utilizar entre dos nodos extremos en la proximidad.

mejorando así el rendimiento en términos de retardo y el consumo de energía. Por desgracia, este esquema D2D carece de consideraciones de seguridad que son tan importantes como el rendimiento. Debido a la gran concurrencia y a la aplicabilidad en la IOT de LoRaWAN, en esta investigación, se presentan los resultados de una evaluación de desempeño que se realizó haciendo pruebas al aire libre simulando una topología de tipo estrella modificando el Factor de propagación (SF) y el ancho de Banda (BW).

El campo donde se aplicó este trabajo, es en la ciudad de Juliaca Perú, en distintos puntos dentro de la ciudad, midiendo el nivel de sensibilidad, en tiempos determinados.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. LoRaWAN arquitectura de red en nuestro escenario de aplicación.

Para probar el rendimiento de Lora en los entornos de larga distancia, hemos desarrollado un prototipo de módulo de seguimiento compuesta de 2 dispositivos: Un módulo LoRaWAN RAK5205 y un Gateway Rak2245. La arquitectura se muestra en la Figura 4; los datos serán enviados a través del Gateway a TTN, para luego pasar esta información al Dashboard de Cayenne para almacenarlos y poder mostrar los datos estadísticos correspondientes, la distancia para la prueba es de 3.5 km de punto transmisor a punto receptor con una pendiente de 0.5% Figura 1.



**Figura 1.** Arquitectura de red en nuestro escenario de aplicación

## 2.2. Descripción del Marco Muestral.

Para poder explicar y tener la información adecuada que nos ayude a entender, y optimizar la transmisión de paquetes de datos de un punto a otro, es importante entender que el nivel de sensibilización en el RRSI y el SNR depende de tres factores: de Factor de Propagación(SF), la tasa de codificación (CR), el Ancho de Banda (BW), y también es importante la frecuencia que consta de 64 canales de enlace ascendente, 8 canales de enlace ascendente adicionales y 8 canales descendente [6], teniendo en cuenta que la señal al ruido(SNR) Oscila entre 1-30, los valores de 18 para arriba son los valores más óptimos, siendo 30 el valor más óptimo como calidad de señal, y los valores inferiores a 18 pueden presentar interferencia [7]. Es así que se muestra el siguiente cuadro en la Figura 2. Donde se puede observar las variables que se usaron para esta investigación, dejando la Tasa de codificación (CR) en 4/5.

| #PRUEBA | SF | BW (kHz) | Frecuencia (Hz) |
|---------|----|----------|-----------------|
| 1       | 7  | 125      | 902300000       |
| 2       | 8  | 125      | 902300000       |
| 3       | 9  | 125      | 902300000       |
| 4       | 10 | 125      | 902300000       |
| 5       | 8  | 500      | 902300000       |
| 7       | 8  | 500      | 903000000       |
| 7       | 12 | 500      | 903000000       |
| 8       | 11 | 500      | 903000000       |
| 9       | 10 | 500      | 923300000       |
| 10      | 9  | 500      | 923300000       |
| 11      | 8  | 500      | 923300000       |
| 12      | 7  | 500      | 923300000       |

*Figura 2. Muestra de Variables*

## 2.3. Descripción del lugar donde se desarrolló La investigación

Este trabajo de se realizó en la ciudad de Juliaca-Perú, se determinaron los puntos para aplicar el estudio de investigación desde la Urbanización los Geranios, hasta el campus de la Universidad Peruana Unión, el tramo desde el punto donde esta ubicado el Gateway, hasta el punto donde ubicamos el Módulo Lora, visualiza una distancia de 3.5 kilómetros, observando la mitad del sector como campo abierto y a otra mitad con casa hasta el punto de Gateway. Figura 3.



**Figura 3.** Distancia del Nodo Lora al Gateway (3.5km).

## **2.4. Parámetros y Materiales utilizados para la investigación**

### **2.4.1. Frecuencias, Canales Y Sub-Bandas para dispositivos IOT.**

LoRaWAN utiliza 9 canales de frecuencia para la transmisión de datos, estos están distribuidos para 7 regiones. Tomando en cuenta en el lugar donde se realizó esta investigación, utilizamos la frecuencia US915 que corresponde a la región de Norte América Figura 4, consta de 64 canales de enlace ascendente disponibles (125 kHz cada uno) (canales 0-63) a partir de 902.3 MHz que se incrementan cada 200 kHz hasta 914.9 MHz, hay 8 canales de enlace ascendente adicionales (500 kHz cada uno) (canales 64-71) desde 903 MHz que aumentan cada 1,6 MHz hasta 914,2 MHz y para la comunicación de puerta de enlace a dispositivo del nodo final, hay 8 canales de enlace descendente (500 kHz cada uno) (canales 0-7) desde 923.3 MHz que se incrementan cada 600 kHz hasta 927.5 MHz. Figura 5. [6].

| Region        | Frequency ( MHz ) |
|---------------|-------------------|
| Europe        | EU433, EU868      |
| China         | CN470             |
| North America | US915             |
| Asia          | AS920, AS923      |
| Australia     | AU915             |
| Korea         | KR920             |
| Indian        | IN865             |

**Figura 4. Frecuencia por Regiones.**

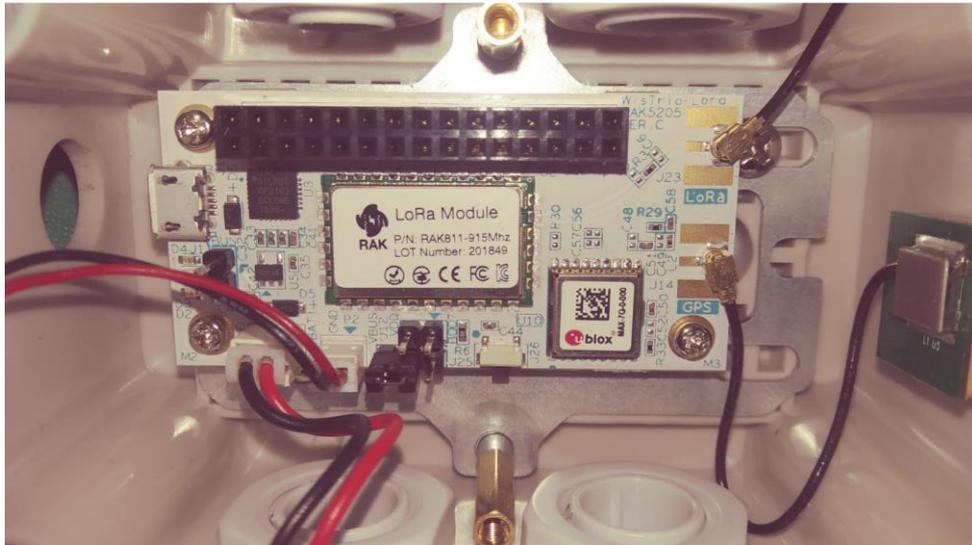
| Canales, frecuencias y subbandas de LoRaWAN |                           |         |
|---|---------------------------|---------|
| Bandas de frecuencia                        | Rango de frecuencia (MHz) | Canales |
| Banda total de EE. UU.                      | 902,3 - 914,9             | 0-63    |
| Sub-bandas de enlace ascendente             | Rango de frecuencia (MHz) | Canales |
| Sub-banda 1                                 | 902.3 - 903.7             | 0-7     |
| Sub-banda 2                                 | 903.9 - 905.3             | 8-15    |
| Sub-banda 3                                 | 905.5 - 906.9             | 16-23   |
| Sub-banda 4                                 | 907.1 - 908.5             | 24-31   |
| Sub-banda 5                                 | 908,7 - 910,1             | 32-39   |
| Sub-banda 6                                 | 910.3 - 911.7             | 40-47   |
| Sub-banda 7                                 | 911.9 - 913.3             | 48-55   |
| Sub-banda 8                                 | 915.5 - 914.9             | 56-63   |
| Sub-bandas de enlace descendente            | Rango de frecuencia (MHz) | Canales |
| Sub-banda de enlace descendente             | 903 - 914.2               | 64-71   |

**Figura 5. Canales Frecuencia y Sub-Bandas de LoraWAN.**

#### 2.4.2 Módulo LoRaWAN RAK5205.

El módulo RAK5205 Figura 6, está construida sobre el modem SX1276 LoRa con bajo Microcontrolador de potencia STM32L1, integrado en el módulo GPS. Es un paquete repleto de funciones. placa de sensor que proporciona varias interfaces para el desarrollo de aplicaciones destacadas. Esta es la mejor placa de sensor disponible en el mercado, ideal como herramienta de creación rápida de prototipos para la integración de Internet de las cosas y la red LoRaWAN. Es perfecto para IoT aplicaciones como el seguimiento de activos, la gestión inteligente de vehículos y la ubicación servicios. Es compatible con la especificación 96Boards IoT Edition, también con SX1276 LoRa de largo alcance y módems GPS Ublox Max 7Q que permiten habilitar el modo GPS de baja potencia, integra el microcontrolador de ultra baja potencia ARM Cortex-M3 STM32L1, un sensor ambiental incorporado

BME680 (gas, presión, humedad, temperatura) y Sensor MEMS de 3 ejes LIS3DH (acelerómetro), también cuenta con una Antena SMA / iPEX opcional para LoRa y GPS, admite el protocolo LoRaWAN 1.0.2, activación por OTAA / ABP, admite una velocidad de bits programable de hasta 300 kbps, admite el modo de suspensión, el consumo de energía baja a 14.5A, admite la banda ISM sin licencia global (EU433, CN470, EU868, US915, AS923, AU915, KR920, IN865 y AS920), y por ultimo admite interfaces I2C, GPIO, UART y ADC.[8].



**Figura 6.** Lora Rak5205.

#### **2.4.3 Gateway Rak2245.**

El Gateway Lora Pi HAT admite ocho canales y está disponible para todas las bandas de frecuencia globales de LoRaWAN. La placa está equipada y alimentada por un chip de banda base Semtech SX1301 y puede proporcionar enlaces de radio LoRa de baja velocidad de datos a grandes distancias.

Es Compatible con la edición Raspberry Pi 3 Modelo B +. y Raspberry Pi 4, cuenta con un disipador térmico grande para disipación de calor, el procesador de banda base SX1301 emula 49 x demoduladores LoRa 10 rutas de demodulación paralelas, admite 8 canales de enlace ascendente, 1 canal de enlace descendente, cuenta con 2 x SX125x Tx / Rx frontales de alta / baja frecuencia, admite fuente de alimentación de 5V, P cuenta con una potencia TX hasta 27dBm, sensibilidad RX hasta - 139dBm @ SF12, BW 125KHz, admite el protocolo LoRaWAN 1.0.2.,admite la banda de frecuencia global sin licencia (EU433, CN470, IN865, EU868, US915, AU915, KR920, AS920 y AS923), Y también cuenta con un módulo GPS Ublox MAX-7Q integrado.[9].

#### 2.4.4 myDevices Cayenne.

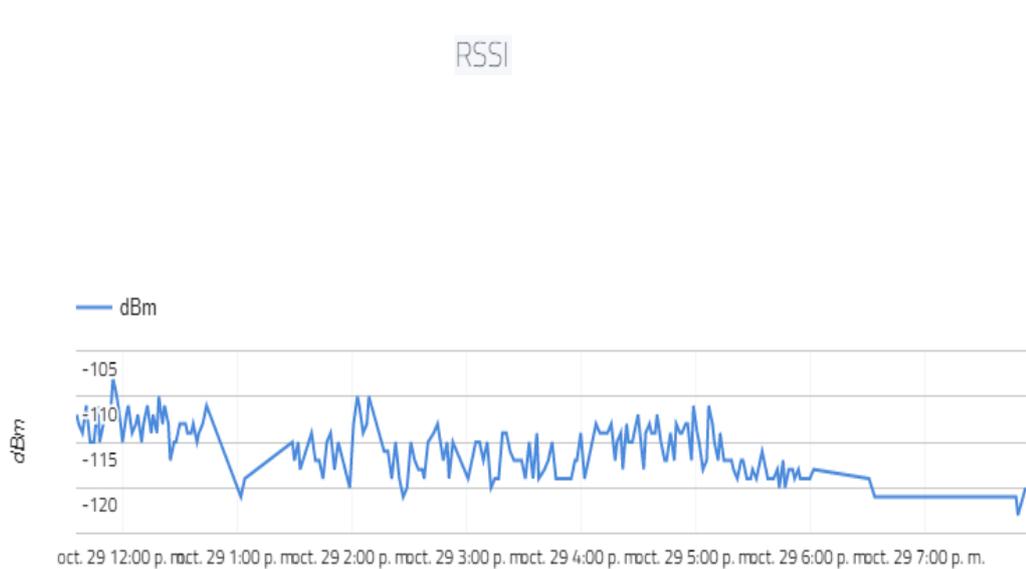
myDevices Cayenne le permite diseñar, crear prototipos y visualizar rápidamente soluciones de IoT. Puede usar Cayenne como herramienta para visualizar datos históricos y en tiempo real, enviados a través de The Things Network [10], En la Figura 7, podemos visualizar una parte de los datos en el desarrollo de este trabajo de investigación.

|    | A                        | B       | C                 | D             | E    | F                  |
|----|--------------------------|---------|-------------------|---------------|------|--------------------|
| 1  | Timestamp                | Channel | Sensor Name       | Data Type     | Unit | Value              |
| 2  | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 3       | Accelerometer (3) | accel         | g    | -0.02,0.131,-0.961 |
| 3  | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 100     | RSSI              | rsssi         | dbm  | -71                |
| 4  | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 101     | SNR               | snr           | db   | 9.199999809        |
| 5  | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 4       | Analog Input (4)  | analog_sensor | null | 77.879999725       |
| 6  | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 7       | Humedad (7)       | rel_hum       | p    | 28.5               |
| 7  | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 1       | GPS (1)           | gps           | m    | -15.4986,-70.1529  |
| 8  | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 8       | Bater a (8)       | analog_sensor | null | 4.159999847        |
| 9  | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 6       | Bar metro (6)     | bp            | hpa  | 643.0999756        |
| 10 | 2019-10-23T23:58:06.545Z | 2       | Temperature (2)   | temp          | c    | 20.299999924       |
| 11 | 2019-10-23T23:55:58.129Z | 7       | Humedad (7)       | rel_hum       | p    | 28.5               |
| 12 | 2019-10-23T23:55:58.129Z | 2       | Temperature (2)   | temp          | c    | 20.299999924       |
| 13 | 2019-10-23T23:55:58.129Z | 4       | Analog Input (4)  | analog_sensor | null | 78.389999939       |

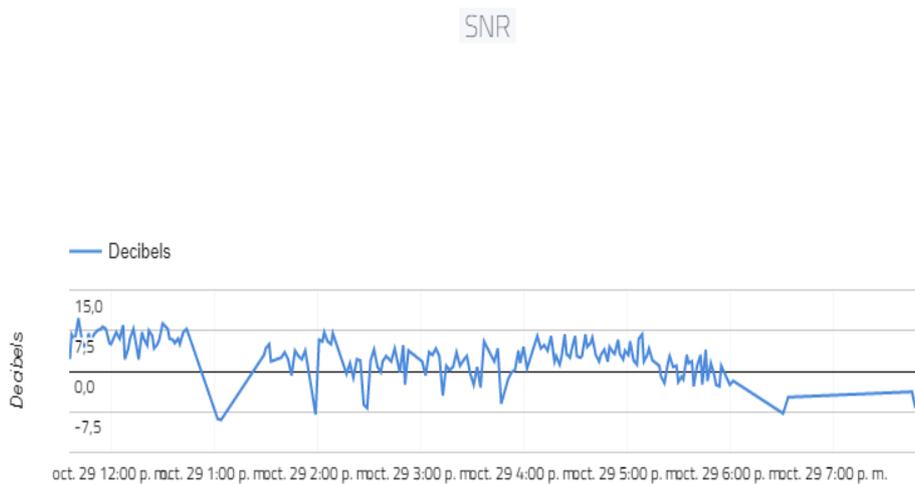
**Figura 7.** Datos almacenados en Cayenne.

### 3 Resultados.

La transmisi3n de datos se realiz3 desde las 12:16 del mediodía hasta las 23:58 el 27 de octubre del 2019, en donde se modific3 cada cierto tiempo el SF y el CR al igual que la frecuencia en sus tres bandas, obteniendo como resultado variados valores tanto el nivel de sensibilidad (dBw) como la señal por ruido (SNR), a las 12:16 se pas3 a configurar el SF (8) , BW(0), La frecuencia(902300000) obteniendo como mejor resultado los valores a nivel de sensibilidad i intensidad de señal -102,7.5; a las 12:33 SF (10), BW(0), La frecuencia(902300000) se 3btuvo los siguientes resultados -110,10; a las 2:7 SF (8) , BW(2), La frecuencia(902300000) obtuvo el peor resultado como resultado -123,-10.1; 2:21 SF (11) , BW(2), La frecuencia(903000000) obteniendo como resultado otro valor bajo, -123,-7. Ver Figura 8 y 9.



**Figura 8.** Nivel de sensibilidad.



**Figura 9.** Nivel de señal por ruido

## Conclusiones

En conclusión, podemos ver que tan determinante es la configuración del SF, BW, a la hora de transmitir datos, dependiendo al punto en donde esté colocado el módulo Lora, se pudo entender también que tan determinantes son las frecuencias, y el factor que cumplen en la transmisión de datos aumentando la sensibilidad y la señal por ruido, haciendo mas eficiente la entrega de paquetes de información del módulo lora, al Gateway, en el desarrollo de las pruebas se pudo observar que ay un mejor nivel de señal por ruido cuando el BW es de 500kHz y la frecuencia de enlace ascendente de 500 kHz, mejorando más la intensidad

de señal con la frecuencia de enlace descendente de 500kHz, y ayudando a optimizar la sensibilización del SF 8 Y 11 con BW 2.

Bajo estos criterios de evaluación se recomienda evaluar más puntos con más posibles interferencias dentro de la ciudad, para poder determinar y poder ver una configuración adecuada para posibles factores de interferencia como son las viviendas, dentro del rango de transmisión de datos y también hacer pruebas mayores distancias de las desarrolladas en este trabajo de investigación.

## Referencias

- [1] J. Kim and J. Song, "A Secure Device-To-Device Link Establishment Scheme for LoRaWAN," *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 5, pp. 2153–2160, 2018.
- [2] J. Markkula, K. Mikhaylov, and J. Haapola, "Simulating LoRaWAN: On Importance of Inter Spreading Factor Interference and Collision Effect," *ICC 2019 - 2019 IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 1–7, 2019.
- [3] J. M. Marais, R. Malekian, and A. M. Abu-Mahfouz, "Evaluating the LoRaWAN Protocol Using a Permanent Outdoor Testbed," *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 12, pp. 4726–4733, 2019.
- [4] I. O. Monfort, "Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y de los dispositivos LoRa.," 2017.
- [5] K. Mikhaylov, J. Petajarvi, J. Haapola, and A. Pouttu, "D2D communications in LoRaWAN Low Power Wide Area Network: From idea to empirical validation," *2017 IEEE Int. Conf. Commun. Work. ICC Work. 2017*, pp. 737–742, 2017.
- [6] J. Barani, "LoRaWAN USA frecuencias, canales y sub-bandas para dispositivos IoT - BARANI DESIGN Technologies," *23 de abril*, 2019. [Online]. Available: <https://www.baranidesign.com/faq-articles/2019/4/23/lorawan-usa-frecuencias-channels-and-sub-bands-for-iot-devices>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [7] Carlos S., "¿Qué es el SNR y como interpretar los resultados en un enlace inalámbrico Ligowave? – Centro de Ayuda Tecnosinergia - Tecnosinergia S. de R.L. de C.V. All Rights Reserved. © 2017," *24 de octubre*, 2019. [Online]. Available: <https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/360028773492--Qué-es-el-SNR-y-como-interpretar-los-resultados-en-un-enlace-inalámbrico-Ligowave->. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [8] I. Standardization, "User Manual for WisTrio LoRa Tracker," no. January, 2019.
- [9] "Sombrero RAK2245 Pi | La red de las cosas." [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/rak2245/>. [Accessed: 13-Nov-2019].
- [10] "Cayenne | La red de las cosas." [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/applications/cayenne/>. [Accessed: 13-Nov-2019].