

Acceptance date: 28/11/2024

IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INTELIGENTE PARA LA TRANSMISIÓN DE MÚLTIPLES VARIABLES USANDO RADIO LORA Y ESTRUCTURAS JASON

Fernando Ríos Cortés

TecNM Orizaba

Mario Alberto García Martínez

TecNM Orizaba

Víctor Hugo Pérez Concha

TecNM Orizaba

Fernando Bautista Hernández

TecNM Orizaba

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: El presente artículo aborda el diseño y desarrollo de una topología de red inteligente basada en radios digitales LoRa para la Transmisión de Múltiples Variables utilizando estructuras JSON. La tecnología LoRa ha emergido como una solución de conectividad inalámbrica eficiente para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) debido a su larga distancia de alcance y bajo consumo de energía. La utilización de estructuras JSON permite una transmisión de datos flexible y versátil, lo que facilita la integración de múltiples variables y metadatos en la comunicación entre dispositivos. A través del diseño de esta topología de red, se busca optimizar el monitoreo y control de diferentes parámetros en tiempo real, brindando una solución adaptable a diversas aplicaciones y entornos. El uso de radios digitales LoRa y estructuras de datos JSON proporciona una infraestructura de comunicación eficiente y de bajo costo, permitiendo la implementación de soluciones de monitoreo en áreas extensas o de difícil acceso.

Palabras-clave: JSON, LoRa, LoRaWAN.

INTRODUCCIÓN

En la era actual de la tecnología, la interconexión de dispositivos y sistemas se ha vuelto fundamental para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en diversos campos. La Internet de las Cosas (IoT) ha sido un habilitador clave en este proceso, permitiendo la recolección, transmisión y análisis de datos en tiempo real. Para lograr esta conectividad, las Redes de Área Amplia de Bajo Consumo (LPWAN) han surgido como una opción popular debido a su capacidad para proporcionar comunicación a larga distancia con un bajo consumo de energía [Delgado-Ferro, 2021; Vera, 2022].

La tecnología de Radios Digitales LoRa se ha destacado en el ámbito de las LPWAN debido a su capacidad para cubrir grandes áreas

geográficas y proporcionar una excelente penetración de señal en entornos urbanos y rurales. [Gómez Ortiz, 2017]. Además, el bajo ancho de banda requerido y la alta eficiencia energética permiten una operación prolongada por ejemplo con baterías recargables de bajo costo, lo que es especialmente ventajoso para aplicaciones en las que el reemplazo frecuente de baterías no es factible.

La elección de estructuras JSON para el manejo de los datos que se transmiten dentro de la red, se debe a su naturaleza flexible y ligera, que facilita la representación y transmisión de múltiples datos en formato de pares clave-valor. Esto posibilita la integración de información analógica y digital, así como metadatos asociados a cada medición, proporcionando un enfoque versátil para adaptarse a diferentes aplicaciones [Mejías Rojas, 2021].

El alcance principal de esta propuesta es mejorar la eficiencia y la fiabilidad del monitoreo y control de múltiples variables en tiempo real. Para lograrlo, se ha diseñado una arquitectura de red que incluye nodos de sensores equipados con Radios Digitales LoRa y sistemas de Gateway para la recepción y transmisión de datos hacia una plataforma central. Esta plataforma central permitirá la visualización, análisis y procesamiento de los datos recibidos, proporcionando una visión integral del estado de las variables monitoreadas.

METODOLOGÍA

Para tener una idea inicial para comprender el diseño e implantación de redes de tipo LoRaWAN, se presenta el diagrama conceptual en la figura 1. Como puede observarse, el diseño está basado en tres servicios o plataformas, los cuales se describen a continuación:

- El servicio primario es la red LoRaWAN la cual está conformada por los nodos de transmisión primarios y secundarios que son los que recolectan la información proveniente de la red de

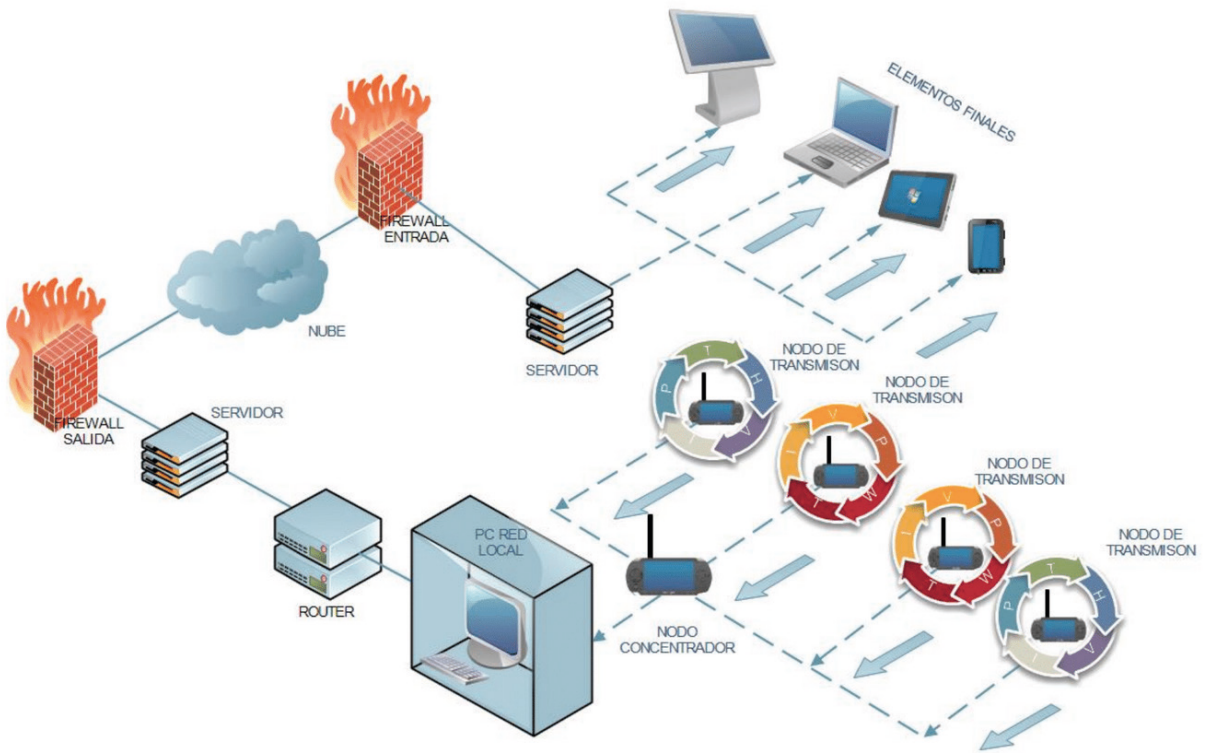


Figura 1. Diseño de la red LoRaWAN multivariable

sensores y por los nodos concentradores, los cuales recaban, procesan y normalizan dicha información a cierto nivel.

- El servicio secundario está conformado por los dispositivos interconectados en la red local de WIFI, desde las terminales, pasando por los rúters, hasta los servidores los cuales conectarán a los servicios de la nube.
- El tercer servicio es el conformado por los elementos finales de tipo Smart, los cuales están conectados a una red remota asociados a una dirección IP.

En conclusión, una red LoRaWAN puede ser diseñada partiendo de solo un servicio primario, lo cual estará bastante limitada en lo referente a la transferencia y solicitud de la información, por lo que un nivel de servicio dos o tres es lo más favorable para el tratamiento y visualización de datos.

Los radios Lora que se seleccionaron para la realización de las pruebas fueron tres de diferentes diseños, debido al entorno en que se usaran en futuros proyectos. Se presentan algunas características de arquitectura y operación relevantes.

- **Enlaces a corto y mediano alcance:**
Modelo LORA32 V 1.1. y V 2.1.

Tipo de modulación FSK&&CHIRP

Potencia de transmisión: + 20dBm.

Frecuencia de desviación: +/- 15 KHz.

Sensibilidad de recepción por demanda de datos en transmisión bilateral abierta:

- Límite inferior: -139dBm @ LoRa y 62.5KHz y SF = 12 y 146bps.
- Límite superior: -118dBm @ LoRa y 125KHz y SF = 6 y 9380bps

Núcleo de procesamiento ESP32 S2.

Antena con ganancia promedio a 2Dbi e interfaz IPX / IPEX

Interfaz para carga de baterías litio, corriente máxima de carga: 500 mA.

- **Mediano y largo alcance**

Modelo TTGO T-BEAM

Tipo de modulación FSK&&CHIRP

Potencia de transmisión: 29 mA @ + 13dBm a 120mA @ + 20dBm.

Frecuencia de desviación: +/- 15 Khz.

Sensibilidad de recepción por demanda de datos en transmisión bilateral abierta:

- Límite inferior: -139dBm @ LoRa y 62.5Khz y SF = 12 y 146bps.
- Límite superior: -118dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 6 y 9380bps

Núcleo de procesamiento ESP32 S2.

Antena con ganancia promedio a 2Dbi, interfaz: IPEX

Velocidad de datos: 1.2K ~ 300Kbps @ FSK@ CHIRP

- **Largo alcance**

Modelo E22-900T22D

Tipo de modulación: CHIRP

Potencia de transmisión: 29 mA @ + 21.3dBm a 120mA @ + 22.5dBm.

Frecuencia de desviación: +/- 15 Khz.

Sensibilidad de recepción por demanda de datos en transmisión bilateral abierta:

- Límite inferior: -146dBm @ LoRa y 62.5Khz y SF = 12 y 800bps.
- Límite superior: -148dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 12 y 10,000bps

Núcleo de procesamiento: Ninguno

Antena con ganancia promedio a 10Dbi, interfaz: SMA-K

Velocidad de datos: 1 K ~ 700Kbps @ CHIRP.

Los dispositivos aquí referidos ya han sido utilizados en distintos proyectos por separado y actualmente se están implementado en una red para comprobar su capacidad de interacción, se debe hacer notar que el único común denominador además de la modulación CHIRP es su frecuencia central de portadora la cual oscila a 915Mhz. Sin esta característica en común, no se lograría el enlace para la transmisión de información.

IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS JSON EN LA RED

En los sistemas LoRaWAN, las estructuras JSON son usadas para intercambiar datos y configuraciones entre dispositivos LoRaWAN, gateway y servidores de red LoRaWAN. JSON es un formato de datos ligero y legible por los usuarios que facilita la transmisión y el procesamiento de información en estos sistemas. Se muestra un ejemplo de una estructura JSON usada en la red. En este ejemplo la red LoRaWAN envía datos al servidor, se utiliza una estructura JSON para transmitir esa información.

```
{ "device_id": "abcdef123456",  
  "timestamp": "2023-09-17T10:30:00Z",  
  "data": "AQIDBA==",  
  "port": 1,  
  "rssi": -80,  
  "snr": 10.5,  
  "frame_counter": 1234}
```

La estructura anterior puede desglosarse de la siguiente forma:

- **device_id**: El identificador único del dispositivo.
- **timestamp**: La marca de tiempo de cuándo se recibió el mensaje.
- **data**: Los datos codificados en base64 enviados por el dispositivo.
- **port**: El número de puerto utilizado para la transmisión.
- **rssi**: La potencia de la señal recibida (RSSI).
- **snr**: La relación señal-ruido (SNR).
- **frame_counter**: El contador de tramas, utilizado para evitar duplicación.

En lo que respecta a los datos, el esquema inicial multivariable puede entenderse como se muestra en la figura 2.

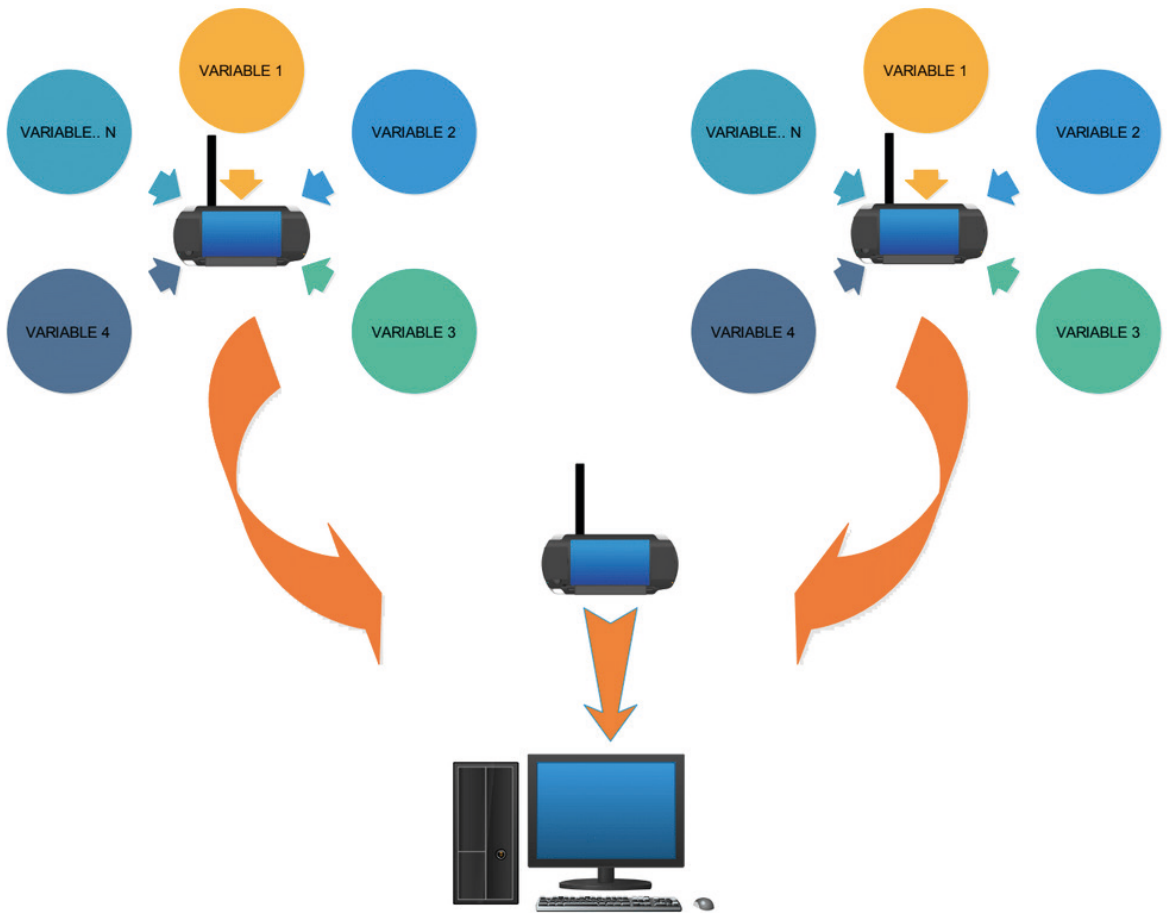


Figura 2. Esquema general de transmisión multivariable.

RESULTADOS

Para la presentación de los resultados de este trabajo de parametrización de radios Lora se presenta un esquema más específico para la transmisión multivariable en la figura 3. Este diseño de red nos ha permitido el monitoreo de diversas variables y los resultados han sido óptimos cubriendo distancias de no más de 300 metros con obstáculos.

En la tabla 1 se pueden observar los resultados obtenidos con una antena de un cuarto de longitud de onda y una ganancia máxima de 2 dbi en el lóbulo de radiación resultante.

Graficando los resultados obtenidos, se puede analizar de forma más directa la eficiencia del sistema, en su mayor rango de cobertura posible para la transmisión multivariable.

En la figura 4 se muestra la gráfica resultante para una corriente de polarización a la antena de $I_{TX\ max}$ igual a 500 mA.

Se pueden observar en la gráfica las distancias entre los diferentes nodos de transmisión y recepción, desde un valor mínimo de 50 metros a un máximo de 300 sobre el primer nodo, logrando aun con esto una transmisión de información aceptable

En la figura 5 puede observarse la gráfica resultante para una corriente de polarización a la antena de $I_{TX\ max}$ igual a 1.0 A. Este valor se calculó como una corriente máxima cercana al límite requerido para una transmisión a plena potencia, considerando el tipo de antena y el amplificador que se utiliza en los modelos antes mencionados.

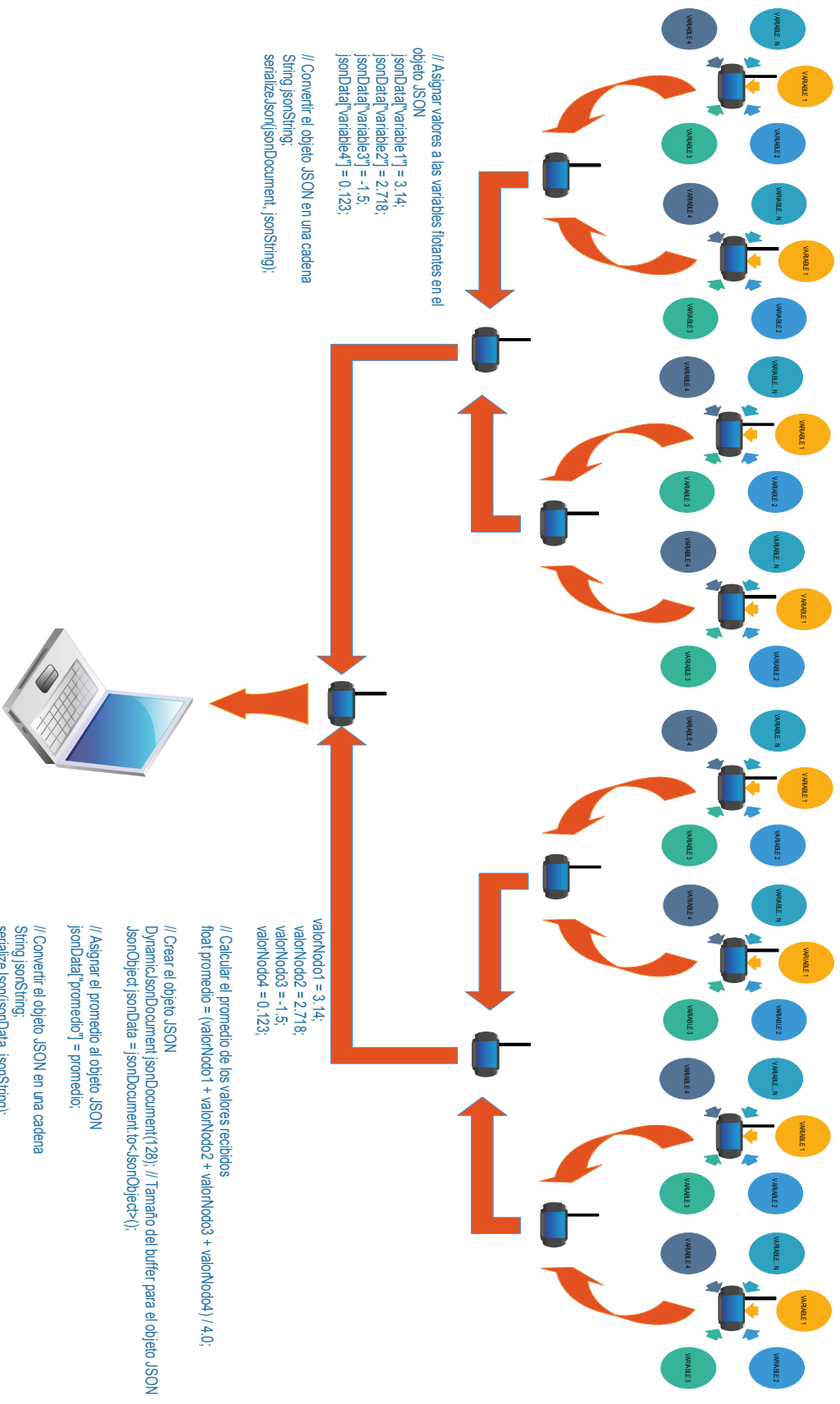


Figura 3. Diagrama esquemático para la transmisión multivariable.

Dispositivo	Distancia	I_{Tx}	RSSI (Promedio)
NODO GATEWAY	50m	500mA	-68dBm
NODO GATEWAY RESP	100m	500mA	-86dBm
NODO CONCENTRADOR	150m	500mA	-92 dBm
NODO CONCENTRADOR	200m	500mA	-108dBm
NODO ADQUISICION	250m	500mA	-117dBm
NODO ADQUISICION	300m	500mA	-129dBm
NODO GATEWAY	50m	1A	-37dBm
NODO GATEWAY RESP	100m	1A	-61dBm
NODO CONCENTRADOR	150m	1A	-78dBm
NODO CONCENTRADOR	200m	1A	-86dBm
NODO ADQUISICION	250m	1A	-101dBm
NODO ADQUISICION	300m	1A	-112dBm

Tabla 1. Obtención de ganancias de recepción, considerando dos corrientes de ionización.

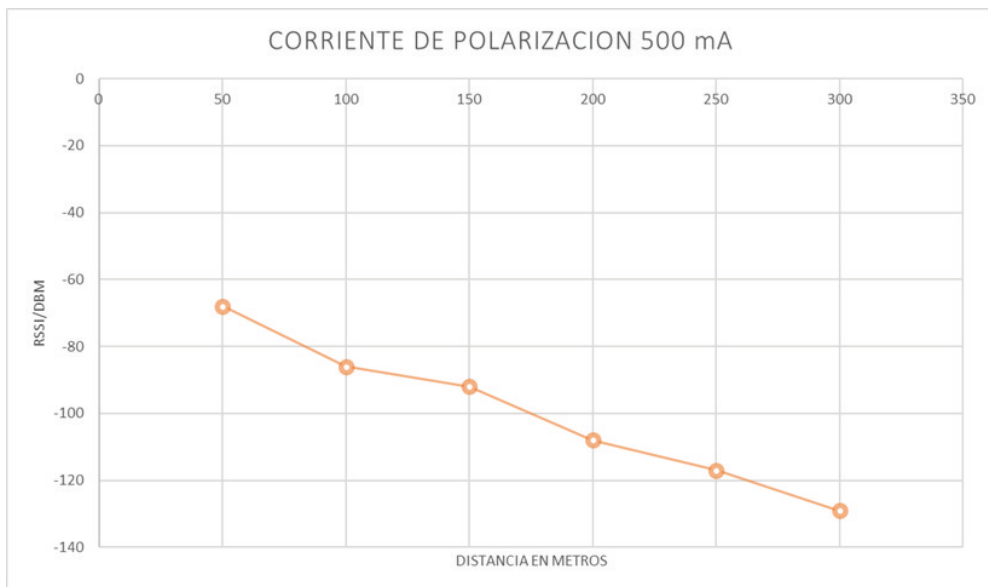


Figura 4. Grafica de potencia de transmisión a 500 mA.

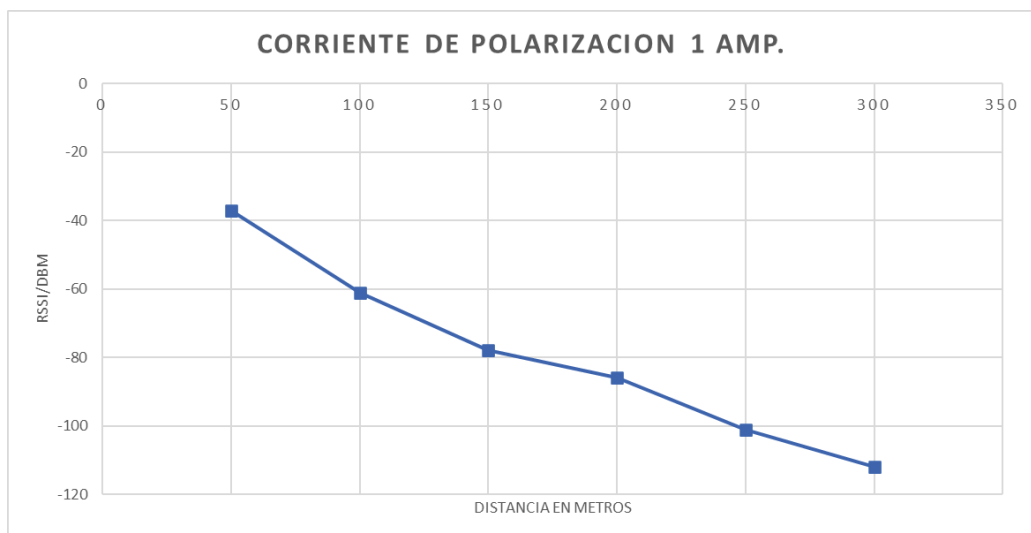


Figura 5. Grafica de potencia de transmisión a 1 Ampere.

Se puede observar en la gráfica las distancias entre los diferentes nodos de transmisión y recepción, desde un valor mínimo de 50 metros a un máximo de 300 sobre el primer nodo, logrando aun con esto una transmisión de información con un mayor rendimiento.

DISCUSIÓN

Los diseños de redes de transmisión de datos basados en radios digitales LoRa como ya se mencionó anteriormente puede ser de distintos niveles, por lo general muchos de los desarrollos que se presentan solo alcanzan niveles básicos con transferencias 1:1 o en el mejor de los casos redes básicas sin llegar al análisis de ganancias, niveles de penetración o potencia de transmisión. Por ejemplo citando el trabajo “Desarrollo de una red LoRaWAN para IOT” de la ETSIB(2022), aunque se presenta el uso de dos dispositivos LoRa’s de alta potencia de transmisión STM32WL55, se ocupa un microcontrolador de 8 bits y su alimentación es tan solo la suministrada por el puerto USB una laptop el cual apenas y puede suministrar 5 volts en un rango de 400 mA en carga, sin hablar de que en realidad nunca se formó una red solo fue una transmisión 1:1. Sin embargo debe mencionarse dos trabajos muy meritorios el primero lleva el nombre de: “Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para estaciones hidrometeorológica”, trabajo de grado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, donde se describe de

una forma muy analítica los espectros de tráfico de información de dos nodos, niveles de RSSI y perdidas, los cuales coinciden con las mostradas en este artículo. El segundo “Diseño de protocolos de redes Mesh basado en LoRa”, Universidad Politécnica de Valencia, donde se analiza y se diseña de forma muy critica las diferentes variantes de topologías de redes soportadas por estos radios y los distintos tipos de protocolos que pueden implementarse dentro de una red, esta información fue usada para el modelado de este trabajo.

CONCLUSIONES

La capacidad de tráfico de una topología de red basada en radios LoRa, dependerá del número de elementos o nodos diferenciados que pueda contener, entendiendo como nodos diferenciados a las distintas jerarquías de operación que cada dispositivo va desarrollando dentro de la red. Otro parámetro importante para el diseño de una red multivariables es la capacidad de ionización de la antena de transmisión la cual permitirá un adecuado alcance y una potencia de transmisión efectiva por encima de los -140 dbm. Por último, el diseño de redes de tipo LoRaWAN es un campo fecundo para el desarrollo de un sinnúmero de aplicaciones tecnológicas, el presente trabajo fue apenas una pequeña contribución al análisis de redes LoRaWAN para el diseño de aplicaciones más detalladas y específicas para el diseño y conformación de redes de radios digitales.

REFERENCIAS

- Delgado-Ferro F, Navarro-Ortiz J., Chinchilla-Romero N., Ramos-Muñoz J.J. **Arquitectura LoRaWAN para entornos sin cobertura.** Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones, Universidad de Granada. 2021.
- Gómez Ortiz G.J. **Diseño y fabricación de capa de comunicaciones basada en LoRa para plataforma modular de redes de sensores inalámbricas.** Universidad Politécnica de Madrid. España. 2017.
- Mejías Rojas D. A. **Diseño de protocolos de redes Mesh basada en LoRa.** Universidad Politécnica de Valencia. España. 2021.
- Vera M. L.A. **Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para las estaciones hidrometeorológicas.** Escuela superior politécnica del litoral. Ecuador. 2022.