



## **Diseño de una red inteligente basada en radios digitales LoRa para la transmisión de múltiples variables usando estructuras JSON**

*Fernando Ríos Cortés<sup>1\*</sup>, Víctor Hugo Pérez Concha<sup>1</sup>, Mario Alberto García Martínez<sup>1</sup> y Fernando Bautista Hernández<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>TecNM Campus Orizaba

\*fernando.rc@orizaba.tecnm.mx

### **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 claves: Estructuras JSON, Radios Lora, Redes Lorawan.

### **ABSTRACT**

This article addresses the design and development of a smart network topology based on LoRa digital radios for Multivariable Transmission using JSON structures. LoRa technology has become an efficient wireless connectivity solution for Internet of Things (IoT) applications due to its long range and low power consumption. The use of JSON structures allows for flexible and versatile data transmission, facilitating the integration of multiple variables and metadata in communication between devices.

Through the design of this network topology, we seek to optimize the monitoring and control of different parameters in real time, providing a solution adaptable to various applications and environments. The use of LoRa digital radios and JSON data structures provides an efficient and low-cost communication infrastructure, allowing the implementation of monitoring solutions in large or difficult to access areas.

Key words: JSON Structures, Lora Radios, Lorawan Networks.

## 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 y “esta tendencia no aplica solo a personas en su vida cotidiana, sino que se convierte también en un factor determinante para las empresas.” (Aparicio, 2020). Para lograr esta conectividad, las Redes de largo alcance y bajo consumo (LoRaWAN) han surgido como una opción popular debido a su capacidad para proporcionar comunicación a larga distancia con un bajo consumo de energía.

La tecnología de Radios Digitales LoRa se ha destacado en el ámbito de las LoRaWAN debido a su capacidad para cubrir grandes áreas geográficas y proporcionar una excelente penetración de señal en entornos urbanos y rurales. 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 idea fundamental de la red es que permita transmitir información (mensajes y localización) desde cualquier dispositivo móvil al nodo central, incluso si estos se encuentran en zonas sin cobertura”, (Delgado F. 2021).

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. 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 diseñará una arquitectura de red que incluya 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 dar una idea inicial para comprender el diseño e implantación de redes de tipo LoRaWAN se presente el siguiente diagrama conceptual de la misma. Como puede observarse el diseño está basado en tres servicios o plataformas, los cuales se describen en la figura 1.

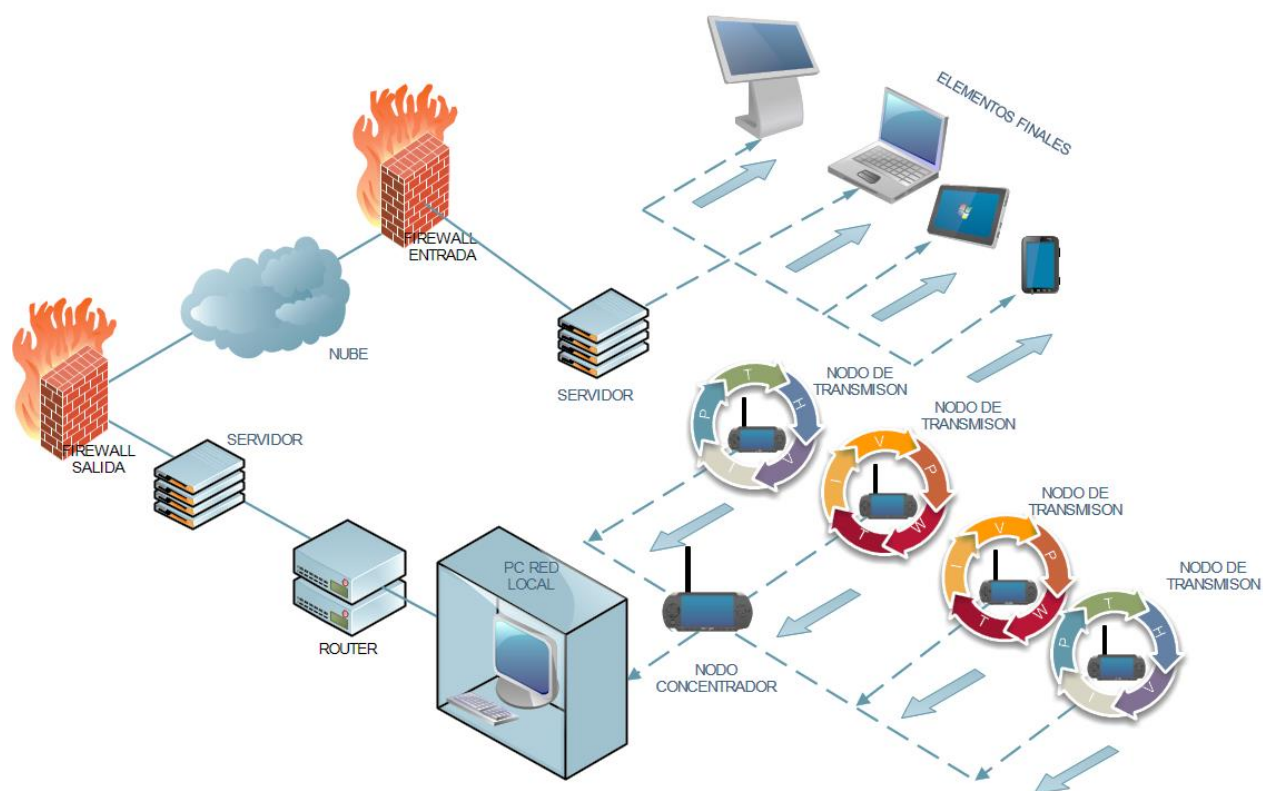


Figura 1. Diseño de la red LoRaWAN multivariable.

- 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 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 conectaran 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. A continuación, se presenta algunas características de arquitectura y operación por los que fueron elegidos

- **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 de la siguiente forma (figura 2)

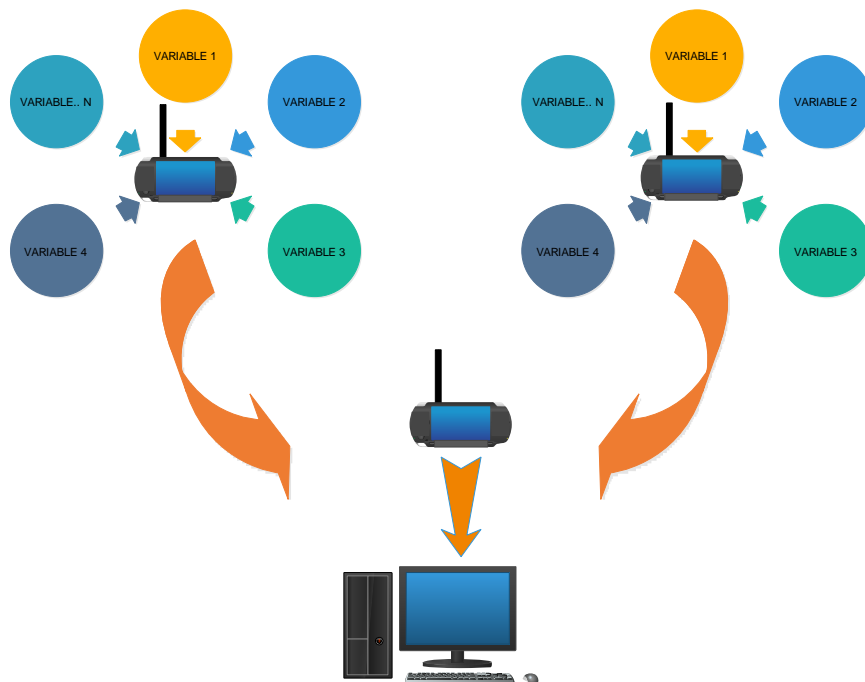


Figura 2. Esquema general de transmisión multivariable.

## 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 (figura 5). 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 siguiente tabla se puede 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.

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

Dispositivo	Distancia	$I_{Tx_{max}}$	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

Graficando los resultados expuestos se puede analizar de forma más directa la eficiencia del sistema, en su mayor rango de cobertura posible para la transmisión multivariable, estos valores se obtuvieron realizando una prueba de recepción y transmisión entre los nodos al concentrador o gateway con una distancia mínima de 50 metros a una máxima de 300 metros.

En la figura 3 puede observarse la gráfica resultante para una corriente de polarización a la antena de  $I_{TX \max}$  igual a 500 mA. Este valor se obtuvo del documento de diseño del fabricante y se expresó como el mínimo requerido para una transmisión viable. 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 aceptable.

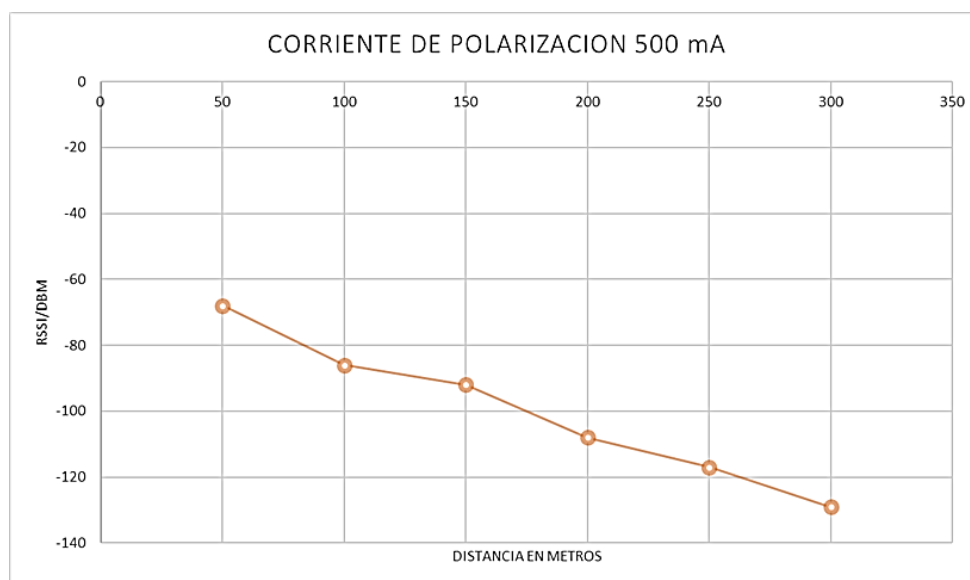


Figura 3. Grafica de potencia de transmisión a 500 mA.

En la figura 4 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 obtuvo del documento de diseño del fabricante, como la 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 mencionado. 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.

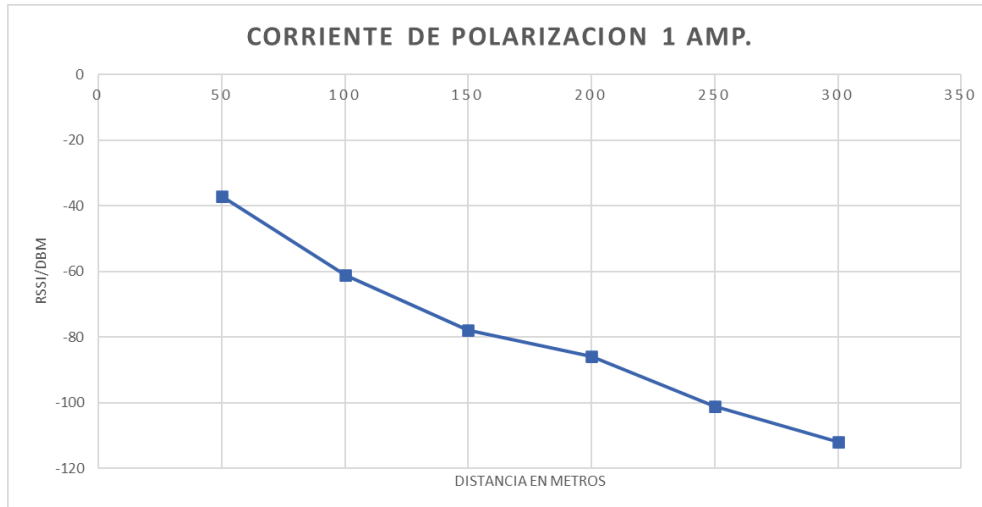


Figura 4. Grafica de potencia de transmisión a 1 Ampere.

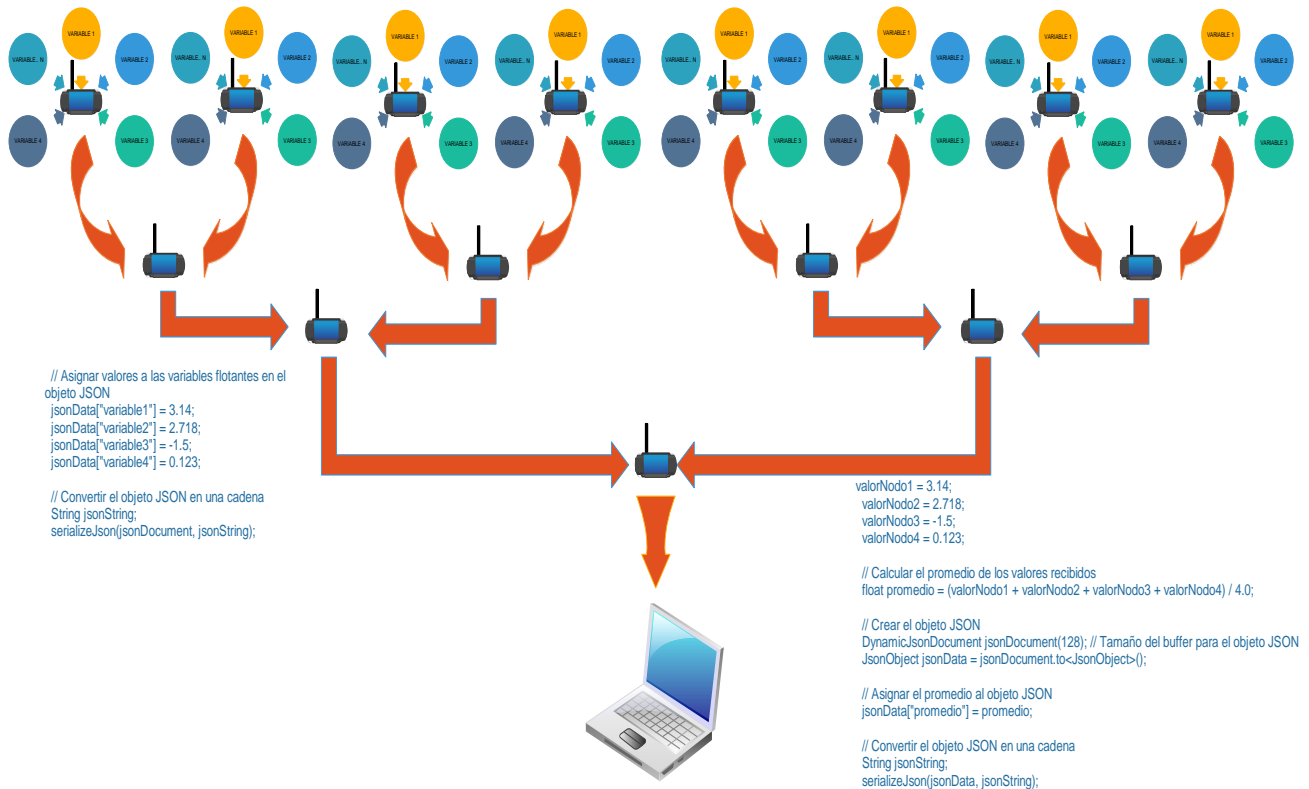


Figura 5. Diagrama esquemático para la transmisión multivariable.

## 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 en Camarena (2022) se presenta el uso de dos dispositivos Loras 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 tres trabajos muy meritorios, Vera (2022) donde se describe de una forma muy analítica los espectros de trafico de información de dos nodos, niveles de RSSI y perdidas, los cuales coinciden con las mostradas en este artículo, Mejías (2021) 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 y por último Gómez (2017) donde se plantea la necesidad de una “transmisión segura de los datos la cual se garantiza mediante claves que cifran los mensajes de extremo a extremo entre el nodo y el servidor de la aplicación y asegurando que no puedan ser alterados en su recorrido”.

## **CONCLUSIONES.**

La capacidad de trafico 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 otra parte, el uso de las estructuras JSON, dentro del diseño de una red LoRaWAN proporciona una mayor flexibilidad en la estructuración de datos, lo que facilita la interpretación y lectura de la información. Esto puede ser beneficioso para aplicaciones como esta que requieren una representación más semántica de los datos. 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.

## LITERATURA CITADA.

Aparicio, J. R. 2020. *Contribución al desarrollo de sistemas de telelectura inteligente con IOT*. <https://doi.org/10.31428/10317/8366>.

Delgado F. 2021. *Arquitectura LoRaWAN para entornos sin cobertura*. Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones, Universidad de Granada.

Camarena, P. A. 2022. *Desarrollo de una red LoRaWAN® para IoT*. ETSEIB. Barcelona, España.

Mejías, D. 2021. *Diseño de protocolos de redes Mesh basada en LoRa*. Universidad Politécnica de Valencia. España.

Vera, L. 2022. *Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para las estaciones hidrometeorológicas*. Escuela superior politécnica del litoral. Ecuador.

Gómez, J. 2017. *Diseño y fabricación de capa de comunicaciones basada en LoRa para plataforma modular de redes de sensores inalámbricas*. Universidad Politécnica de Madrid. España.