

# Estudio de la cobertura de una red de LoRaWAN

## Coverage Analysis of a LoRaWAN Network

Nahuel Hernán Bruno #, Rocío Ailén Gorosito #, Marcos Eduardo Bierzychudek #\*<sup>1</sup>

# *Universidad Nacional de Moreno*

*Moreno, Buenos Aires, Argentina*

\**Instituto Nacional de Tecnología Industrial*

*San Martín, Buenos Aires, Argentina*

<sup>1</sup> mbierzychudek@inti.gov.ar

Received: 2026-04-15; Accepted: 2026-06-03

**Resumen**— Este artículo presenta el estudio exploratorio de la cobertura geográfica de una red de LoRaWAN ubicada en una zona urbana. Se obtuvo un alcance estable de hasta 19 km utilizando un Field Tester especialmente desarrollado para este trabajo, vinculado a plataformas on-line para el registro y visualización de la información. Se observó una dependencia entre la máxima distancia y la instalación del gateway.

**Palabras claves:** Internet of Things; Field tester; GPS; LoRaWAN; RSSI; Antena.

**Abstract**— This paper presents an exploratory study of the geographic coverage of a LoRaWAN network located in an urban area. A communication range of up to 19 km was achieved using a custom-made field tester specifically developed for this research, integrated with online platforms for data logging and visualization. A correlation was observed between the maximum communication distance and the gateways placement.

**Keywords:** Internet of Things; Field tester; GPS; LoRaWAN; RSSI; Antenna.

### I. INTRODUCCIÓN

Las redes de protocolo LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) permiten comunicaciones a larga distancia y de bajo consumo de energía, características ideales para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT - Internet of Things), en donde dispositivos, usuarios y aplicaciones se interconectan a través de Internet. Una red LoRaWAN está formada por nodos, gateways, un servidor de red y el servidor de aplicación. Los nodos son dispositivos que recopilan datos del entorno o ejecutan acciones, pueden ser sensores, actuadores u otros dispositivos. Los gateways son dispositivos que actúan como intermediarios entre los nodos y el servidor de red, reciben los datos transmitidos por los nodos (uplinks) y los retransmiten al servidor de red a través de una conexión de mayor ancho de banda y consumo eléctrico (Ethernet, Wifi, LTE, etc.). Los gateways pueden manejar múltiples conexiones simultáneamente y registrar la información enviada por numerosos dispositivos. El servidor

de red procesa los datos recibidos de los gateways, maneja la autenticación y la gestión de dispositivos, y asegura la correcta entrega de los datos a las aplicaciones finales que se implementan en un servidor de aplicaciones. Este último es una plataforma que procesa y analiza los datos para su utilización específica y típicamente incluyen un dashboard que presenta la información obtenida a los usuarios finales.

LoRaWAN utiliza como capa física el protocolo LoRa, desarrollado por Semtech, que utiliza la técnica Chirp Spread Spectrum. Es una técnica de espectro ensanchado restrictiva que permite la interpretación de mensajes en presencia de ruido de similar amplitud. La calidad de la señal de comunicación es crucial para garantizar una transmisión de datos confiable y eficiente. El RSSI (Received Signal Strength Indicator) es una medida de la potencia de la señal recibida por un dispositivo y permite evaluar la calidad de la conexión. Un RSSI más alto generalmente significa una mejor calidad de señal. Por otro lado, el SNR (Signal-to-Noise Ratio) estima la relación del nivel de ruido del canal con la potencia de la señal recibida. El rango típico de SNR en LoRa va desde aproximadamente  $-20$  dB hasta  $+10$  dB, dependiendo del Spreading Factor (SF) y las condiciones del canal de comunicación. El SF es un parámetro de la modulación LoRa que determina la relación de compromiso entre alcance, velocidad de transmisión de datos y consumo energético.

El estudio de la cobertura de la red es una actividad importante para los usuarios y propietarios de una red inalámbrica de comunicación debido a que permite optimizar recursos, brindar servicios de calidad, y contar con información precisa para la planificación, diseño y expansión de la red y servicios asociados. La medición de la cobertura de la red permite identificar las áreas con señal débil o sin cobertura que podrían afectar el desempeño de un nodo. Esto permite la optimización de la ubicación de los nuevos gateways y nodos, y asegura que la red esté desplegada de manera eficiente, maximizando el alcance y minimizando los costos de infraestructura.

La referencia [1] estudia la cobertura de una red LoRaWAN en ambientes urbanos y los efectos de los

edificios en la comunicación. El trabajo reporta mediciones de la potencia de la señal y estudia los efectos de la ubicación de la antena y del Spreading Factor. Se realizaron mediciones de la intensidad de la señal en diferentes escenarios: transmisores dentro de edificios, entre edificios y en espacios abiertos con vehículos aéreos no tripulados. Los resultados indican que la altura del transmisor mejora la cobertura en áreas suburbanas, mientras que la orientación de la antena influye en el alcance de la comunicación. La referencia [2] analiza el alcance de la tecnología LoRaWAN en diferentes condiciones urbanas y suburbanas para aplicaciones en ciudades inteligentes. Se realizaron mediciones en un centro urbano y en una zona periférica con bosque de coníferas, mostrando que la señal LoRaWAN se atenúa más en zonas arboladas debido a la absorción de humedad. Esta conclusión se complementa con [3] que analiza la utilización de LoRaWAN en la vigilancia forestal. Se realizó un estudio experimental sobre la comunicación basada en LoRaWAN en dicho entorno, evaluando el impacto de la longitud de los paquetes de datos y la altura de las antenas en la transmisión. Los resultados muestran que LoRaWAN tiene un buen desempeño en entornos boscosos, con una cobertura aceptable para la aplicación. La relación entre la cobertura de la red y las condiciones meteorológicas despertaron interés en los últimos años. Por ejemplo, en [4] se presenta un conjunto de datos de RSSI con la temperatura, la humedad y la presión obtenidos durante 85 días. Otros factores a considerar en el estudio son las propias configuraciones del transmisor, en [5] se informa una campaña de medición para evaluar la cobertura del gateway RAK7249 en entornos urbanos utilizando un gateway y varios nodos con diferentes configuraciones de antena y bandas (EU868MHz y CN470MHz), se realizaron pruebas tanto en movimiento como en posiciones estacionarias. Los resultados mostraron que el sistema mantiene una comunicación hasta 22 km, con una mínima pérdida de paquetes cuando se utilizan antenas de mayor ganancia. Los nodos eran clase A, transmitió cada 60 s en dos potencias de transmisión y con dos Spreading Factors. Utilizaron una antena de ganancia 3 dBi y otra de ganancia 1,5 dBi. El trabajo reporta el RSSI, la relación señal ruido y la pérdida de paquetes.

En las siguientes secciones se explicará la red bajo estudio y la metodología planteada para la realización de las mediciones de manera sistematizada. También, se explicará el instrumento desarrollado, las antenas utilizadas y la plataforma on-line que permitió adquirir la cobertura de la red en distintas condiciones. Por último, se explicarán los resultados y conclusiones obtenidas.

#### A. La red LoRaWAN bajo estudio

La Universidad Nacional de Moreno posee con una red de LoRaWAN de frecuencia 915 MHz desde el año 2022 que se utiliza en distintas aplicaciones en la cercanía de la Universidad. La red se materializa en un gateway Multitech Conduit instalado a 80 m de altura en una antena de radio en el campus de la Universidad. El gateway cuenta con conexión a Internet vía Ethernet (con alimentación POE) y telefonía

móvil. Además, posee un GPS para determinar con exactitud el momento de recepción de los mensajes. La altura de instalación supera ampliamente los edificios de la zona brindando una línea de visión con baja cantidad de obstáculos. En la siguiente foto se puede observar la diferencia de altura al edificio de la Universidad, y edificios vecinos.



Fig. 1. Foto del gateway instalado aproximadamente a 80 m de altura. Se observan las antenas de LoRa, GPS y LTE.

#### B. Metodología de trabajo

La cobertura de la red de LoRaWAN se evaluó mediante el registro del RSSI en diferentes ubicaciones geográficas, distintas configuraciones de transmisión y antenas fueron evaluadas. Para llevar a cabo esta tarea se utilizó un Field Tester para enviar paquetes de información constantemente a herramientas de mapeo y registro para visualizar la cobertura de la red y realizar cálculos con ellos. En este trabajo dos Field Tester fueron desarrollados por los autores, uno móvil que incluye un GPS y el otro para uso en posición fija. Las antenas fueron también desarrolladas por el grupo de trabajo para mejorar su adaptación a la frecuencia de trabajo. La información registrada fue el RSSI, la ubicación del Field Tester, la temperatura y la humedad. El análisis de los datos se enfocó en el RSSI, y en la distancia entre nodo y el gateway.

## II. DESARROLLO DEL NODO

#### A. Desarrollo del Field Tester

El Field Tester fue desarrollado utilizando un módulo de desarrollo Wifi LoRa 32 V3 de la marca Heltec Automation, la cual integra el microcontrolador ESP32-S3 de Espressif Systems junto con el transceptor de radiofrecuencia SX1262 de Semtech Corporation. El SX1262 es un transceptor LoRa de alta sensibilidad y bajo consumo energético capaz de operar en bandas sub-GHz dentro del rango de 902 MHz a 928 MHz. El módulo incorpora una pantalla OLED SSD1306 comunicada mediante interfaz I<sup>2</sup>C para la visualización local de parámetros de operación y diagnóstico del sistema. La geolocalización y registro de posición durante las pruebas de campo se logró mediante un módulo GPS GY-NEO6MV2,

comunicado mediante interfaz UART. Asimismo, el sistema integra un sensor digital de temperatura y humedad SHT31 de Sensirion, también comunicado mediante interfaz I<sup>2</sup>C. La alimentación del dispositivo se realiza mediante una batería recargable de ion-litio tipo 18650, con tensión nominal de 3,7 V y capacidad especificada de 2200 mAh. El gabinete fue diseñado e impreso en 3D, ver la Fig. 2. Una vez conectado a una red LoRaWAN, el equipo transmite su posición geográfica obtenida mediante el módulo GPS, junto con los valores ambientales registrados por el sensor y la cantidad de paquetes enviados. Esta información constituye el payload del mensaje y permite no solo evaluar parámetros clave del enlace, como el RSSI, sino también analizar cómo las condiciones ambientales pueden influir en la calidad de la comunicación. Estos datos, combinados con la ubicación del dispositivo, se utilizan para evaluar de forma precisa la cobertura efectiva de la red. Además, el sistema verifica si la conexión a la red fue exitosa y muestra la cantidad de paquetes enviados y recibidos para un diagnóstico completo del desempeño de la red en distintos entornos.

El Field Tester fue configurado como dispositivo final Clase A y con la potencia de transmisión máxima permitida por el módulo SX1262, 22 dBm, con el fin de aprovechar la capacidad del hardware. En caso de querer realizar ensayos con valores distintos de potencia se puede modificar entre 2 a 22 dBm. En cuanto a los parámetros de modulación, se realizaron pruebas utilizando Spreading Factors de 7 y 9, con un ancho de banda de 125 kHz, recomendado para largas distancias [6], y un Code Rate de 4/5. La selección de estos valores se fundamentó en el compromiso existente entre alcance, robustez del enlace, tasa de transmisión y ocupación temporal del canal, parámetros fundamentales en redes de larga distancia y bajo consumo [6]. Un aumento del SF incrementa la sensibilidad del receptor y mejora la capacidad de comunicación en condiciones de baja relación señal-ruido, permitiendo alcanzar mayores distancias de transmisión. Sin embargo, esto también incrementa significativamente el tiempo en aire de cada paquete, reduciendo la tasa de datos efectiva y el tamaño de payload, aumentando la probabilidad de colisiones y disminuyendo la capacidad global de la red. En este trabajo se priorizó incluir las coordenadas del Field Tester, la temperatura, la humedad y la cantidad de uplinks en el payload, obteniendo un total de 12 bytes. Bajo estas condiciones, no fue posible utilizar SF igual a 10 debido a que se excede el tamaño de payload permitido [7]. El modo de activación utilizado fue OTAA (Over-The-Air Activation), que permite una autenticación segura mediante el intercambio dinámico de claves durante el proceso de conexión a la red. No obstante, para pruebas específicas o entornos controlados, también se contempla el uso del método ABP (Activation By Personalization), que permite una conexión directa mediante la configuración manual de las claves en el dispositivo, aunque con menor flexibilidad y seguridad que OTAA [6].

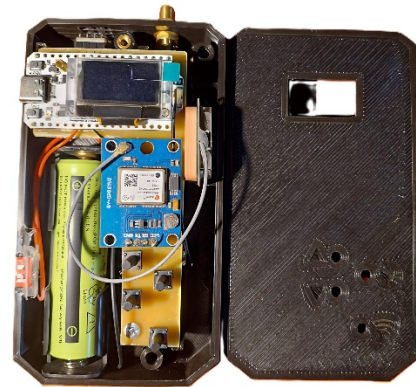


Fig. 2. Foto del Field Tester construido. Se puede observar el módulo de desarrollo marca Heltec, el módulo de GPS y la batería tipo 18650.

### B. Desarrollo y selección de antenas

El desempeño general del Field Tester está fuertemente influenciado por las características de su sistema de antenas, ya que estas determinan la eficiencia en la transmisión y recepción de señales. Las antenas fueron evaluadas mediante un Analizador de Redes Vectoriales (VNA) con el objetivo de caracterizar su comportamiento en la banda de operación deseada, 915 MHz para este trabajo. En particular, se midió el ROE (Relación de Onda Estacionaria, también conocida como VSWR por sus siglas en inglés), un parámetro que representa la relación entre la onda transmitida y la reflejada. Un valor de ROE cercano a 1:1 implica una adaptación óptima de impedancia y mínima pérdida por reflexión. En este trabajo se buscó que las antenas posean el ROE por debajo de 1:1,5, lo cual garantiza una transmisión eficiente, minimiza las pérdidas por reflexión y contribuye a proteger el circuito transmisor frente a posibles daños por desadaptación de impedancia.

Se estudiaron distintas antenas comerciales especificadas para esta aplicación, tales como una “Log. Periódica”, una antena de “¼ de onda” y la antena omnidireccional incluida en el gateway LoRaWAN modelo RO8063/21704. Sin embargo, se consideró que la fabricación de antenas propias no solo permitía ajustarlas específicamente a las necesidades del proyecto, sino también la optimización de su desempeño y la verificación experimental de sus parámetros mediante instrumentación de laboratorio. Se decidió construir un conjunto de antenas para este fin, se planteó el uso de una variedad de antenas con el objetivo de cubrir diferentes escenarios de prueba o medición [8]. Se consideraron tres tipos de antenas: un “dipolo de media onda”, una “J-pole” y una antena direccional “Yagi-Uda”. El dipolo fue seleccionado por su tamaño compacto y facilidad de manipulación, siendo útil para pruebas rápidas donde la portabilidad es prioritaria. La “J-pole” se adoptó como solución general debido a su buena eficiencia y patrón de radiación relativamente omnidireccional. Finalmente, la antena “Yagi-Uda” se consideró para aplicaciones de largo alcance y estáticas, ya que su ganancia direccional permite establecer enlaces estables en condiciones de cobertura débil o distancias extendidas. Para el diseño de las antenas se

realizó inicialmente el cálculo de la longitud de onda correspondiente a la frecuencia de operación del sistema utilizando la ecuación  $\lambda = c/f$ , donde  $\lambda$  representa la longitud de onda,  $c$  la velocidad de la luz en el vacío y  $f$  la frecuencia de operación igual a 915 MHz. El valor obtenido para la longitud de onda fue de 32,76 cm. A partir del valor calculado, se procedió al diseño de una antena dipolo de media onda, ver Fig. 3, considerando una longitud total equivalente a  $\lambda/2$  (16,38 cm), con cada brazo radiante dimensionado a  $\lambda/4$  (8,19 cm). La antena fue fabricada utilizando conductor de cobre rígido de 2,5 mm<sup>2</sup> de sección, seleccionado debido a su estabilidad mecánica y facilidad de conformado durante el proceso de construcción y ajuste. Con el objetivo brindar protección al elemento conductor, se diseñó y fabricó un radomo mediante impresión 3D, proporcionando aislamiento eléctrico entre los elementos radiantes y el entorno, además de incrementar la rigidez estructural del conjunto. Para la alimentación de la antena se empleó cable coaxial RG-174, finalizado con un conector SMA macho compatible con la interfaz SMA hembra integrada en el Field Tester. La ganancia teórica de este dipolo es de 2 dBi.



Fig. 3. Foto del dipolo de media onda construido.

La antena J-pole, ver Fig. 4, fue construida con una longitud total de 24 cm, una sección de adaptación de cuarto de onda de 8 cm, la conexión de alimentación ubicada a 0,8 cm de la base y una separación entre elementos de 0,7 cm. El elemento radiante fue fabricado utilizando alambre de cobre de 1,6 mm<sup>2</sup> de sección y su ganancia teórica es 3 dBi. Se construyó un radomo mediante un tubo de PVC de 20 mm de diámetro. Asimismo, se imprimieron en 3D separadores que se ubicaron a lo largo del elemento radiante para brindar rigidez a la estructura final.

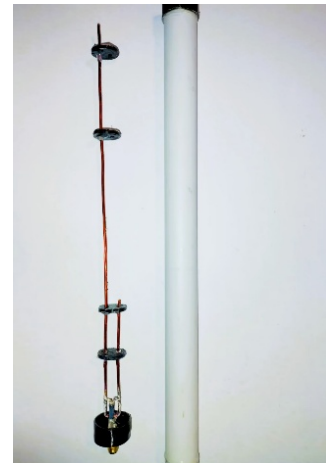


Fig. 4. Foto de la antena J-pole desarmada.

Para el desarrollo de la antena Yagi-Uda, ver Fig. 5, se diseñó una estructura direccional optimizada para operación en la banda de 902 MHz a 928 MHz, tomando como frecuencia central 915 MHz. La antena fue construida utilizando un boom de 169 mm<sup>2</sup> de sección cuadrada y una longitud total de 83,6 cm, compuesta por un reflector, un dipolo y nueve directores. Los elementos reflectores y directores fueron fabricados utilizando caño de aluminio de 8 mm de diámetro, mientras que para el elemento radiante se eligió usar alambre de cobre rígido de 1,6 mm<sup>2</sup> de sección para facilitar la soldadura y calibración de la antena. El reflector fue dimensionado con una longitud de 16,5 cm y ubicado en la posición de referencia del boom. El dipolo fue diseñado con una longitud de 15,7 cm y posicionado a 6,65 cm del reflector. Los directores fueron dimensionados progresivamente entre 14,1 cm y 12,8 cm de longitud, con separaciones crecientes a lo largo del boom para optimizar la directividad y obtener una ganancia teórica de 14,4 dBi.



Fig. 5. Foto de la antena Yagi-Uda construida.

Los prototipos de las 3 antenas armadas fueron verificados y ajustados con un VNA. Durante el proceso de ajuste, las antenas fueron modificadas manualmente (en su longitud y geometría) para centrar su frecuencia de resonancia en 915 MHz, correspondiente al rango de operación del módulo LoRa en la región. Tras múltiples pruebas de transmisión, se determinó que la antena “J-pole”, fabricada por el equipo de trabajo y presentada en la Fig. 4, ofrecía el mejor rendimiento

general para pruebas en movimiento, combinando buena adaptación de impedancia, cobertura estable y facilidad de instalación, por lo que fue seleccionada como la opción principal para las pruebas.

C. Medición de antenas

Con el objetivo de establecer una referencia de desempeño para futuras pruebas y disponer de una base comparativa frente a posibles inconvenientes en campo, se realizaron mediciones controladas utilizando las antenas seleccionadas en un escenario de enlace fijo. Las pruebas se llevaron a cabo en un domicilio ubicado a aproximadamente 4 km de distancia en línea recta respecto del gateway LoRaWAN utilizado. Cada antena fue evaluada utilizando la potencia máxima de 22 dBm, con SF igual a 7 y a 9, durante 12 horas en cada caso. Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. 6, donde se muestra el RSSI registrado a lo largo del día para cada antena. Las antenas direccionales (“Yagi-Uda” y “Log. Periódica”) proporcionaron los mejores resultados en términos de intensidad de señal, mostrando la primera un RSSI alrededor de -80 dBm. Esto confirma su capacidad para concentrar la energía radiada y maximizar la relación señal-ruido en enlaces estáticos de media y larga distancia. En contraste, las antenas omnidireccionales devolvieron valores menores, pero aun así satisfactorios. En este conjunto, la antena comercial RO8063 presentó el mayor RSSI y es seguida por la antena J-pole fabricada por los autores.

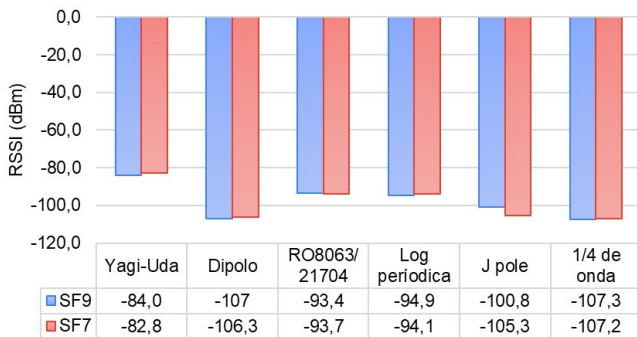


Fig. 6. Medición de RSSI de las antenas estudiadas con Spreading Factor de 9 (Azul) y 7 (Rojo).

D. Vinculación con plataformas On-Line

Cómo servidor de red se utilizó The Things Network [9] configurado para transmitir a la plataforma Cloud Studio y a TTN Mapper. Cloud Studio nos permite un registro de los datos mediante dashboards modulares y la visualización en tiempo real del dispositivo [10], ver Fig. 7. Además, la plataforma ofrece una base de datos capaz de almacenar los paquetes transmitidos por el Field Tester. Con esta información se analizó la variación de la calidad de la transmisión en diferentes condiciones. Adicionalmente, se vinculó los datos medidos con la plataforma TTN Mapper [11], la cual se encarga de representar gráficamente los datos obtenidos por el módulo GPS generando un mapa de calor

que muestra la potencia de la señal recibida mediante un sistema de colores permitiendo visualizar la cobertura alrededor de la antena de la UNM.

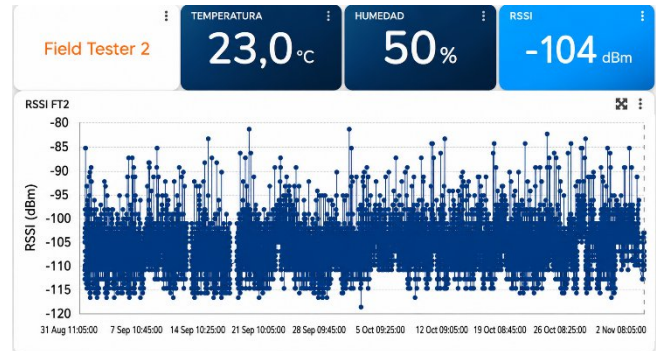


Fig. 7. Dashboard implementado en la plataforma Cloud Studio.

III. REALIZACIÓN DE MEDICIONES

Las mediciones se realizaron utilizando el dispositivo Field Tester instalado en un automóvil a una altura del piso de 1,4 m aproximadamente. La transmisión de datos se realizó automáticamente con envíos cada 15 s para enviar la mayor cantidad de paquetes en los viajes realizados. Se recorrieron distintas rutas para lograr visualizar la cobertura hacia distintas direcciones. Además, se realizaron numerosas pruebas sobre el Camino del Buen Ayre para analizar la repetibilidad de las mediciones, se realizaron 6 corridas con SF 9 y SF 7. Se obtuvo un alcance estable hasta 18,7 km con SF 9 y 16,2 km con SF 7. El RSSI registrado a mayor distancia fue menor a -120 dBm demostrando un límite para el Field Tester diseñado. Los datos registrados fueron analizados y geolocalizados como se presenta en la Fig. 8. El punto registrado más lejano se obtuvo con la recepción de un paquete a una distancia de 26 km utilizando SF 9. El mismo y otros paquetes recibos a distancias superiores al alcance estable se consideran eventuales. Los autores esperan profundizar en este comportamiento en siguientes investigaciones.

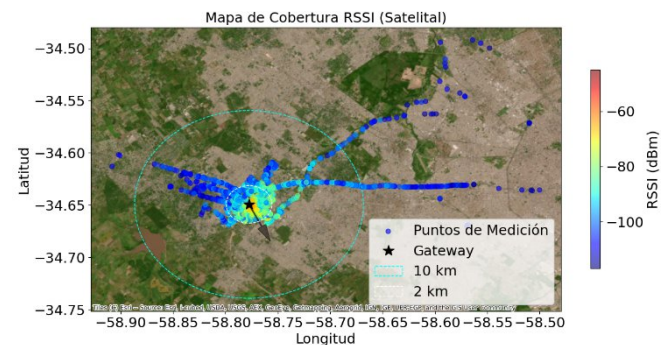


Fig. 8. Mapa de calor desarrollado en donde se visualiza la cobertura de la red. El color de los puntos se relaciona con el RSSI y la flecha indica hacia donde apunta el frente del gateway.

A. Observación sobre la cobertura obtenida

La distribución de la cobertura obtenida presenta una marcada asimetría entre las mediciones realizadas hacia el sureste y hacia el oeste. Esta diferencia se explica por la ubicación física del gateway, instalado sobre la estructura metálica de soporte de la antena de la radio de FM de la Universidad. Dicha estructura actúa como un apantallamiento electromagnético, atenuando las señales incidentes desde el oeste. En cambio, las señales provenientes del este no encuentran elementos obstructivos relevantes en su trayectoria hacia la antena del gateway debido a su altura, lo que resulta en enlaces de mayor calidad en esa dirección. Es importante destacar que esta ubicación, aunque desfavorable desde el punto de vista de la cobertura hacia el oeste, no fue elegida al azar. El lado opuesto de la estructura alberga las antenas de radiodifusión FM de la radio universitaria, por lo que la instalación del gateway debió evitar esa zona. Al realizar un enfoque de los datos registrados en un radio de 2 km de la antena y presentarlos en un mapa de calor, ver Fig. 9, se observa con claridad la variación del RSSI según la posición. Los valores mayores, indicados en color rojo, se presentan en la dirección frontal del gateway.

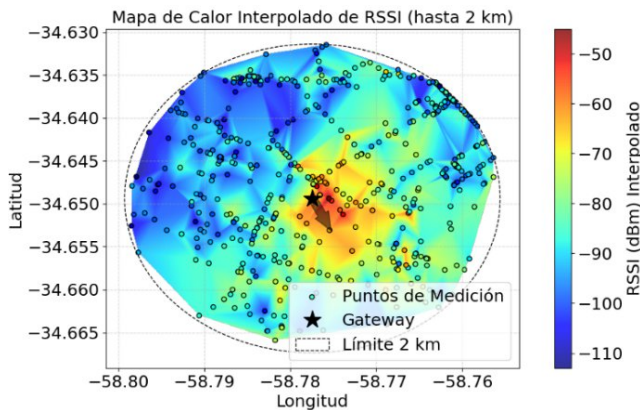


Fig. 9. Mapa de calor del RSSI medido en un radio de 2 km alrededor de la antena, mostrando una cobertura no uniforme debido al lugar de instalación del gateway.

B. Estabilidad a largo plazo

Con el objetivo de evaluar la estabilidad a largo plazo del sistema, se realizaron mediciones periódicas tanto del transmisor como los parámetros de recepción de la red LoRaWAN. Estas mediciones se realizaron utilizando un Field Tester fijo, ubicado en un punto de medición designado a una distancia aproximada de 4 km, durante un período de 4 meses. Como se muestra en la Fig. 10, el parámetro RSSI se mantuvo estable a lo largo del tiempo y se observó que las condiciones ambientales no produjeron variaciones significativas en el comportamiento del enlace de comunicación. La figura presenta los valores registrados, los valores filtrados mediante un promedio móvil de 10 muestras y la tendencia lineal calculada.

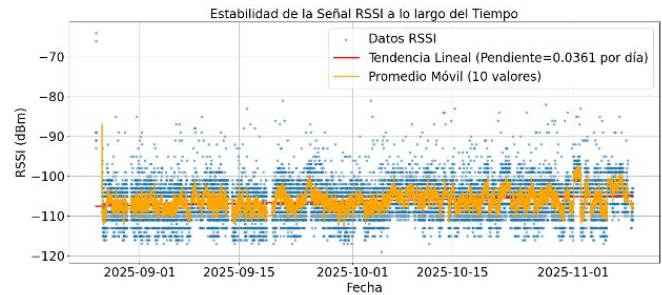


Fig. 10. RSSI medido durante la prueba de estabilidad. Máximo: -81 dBm, Mínimo: -119 dBm, Promedio: -106,18 dBm.

Además de evaluar la estabilidad del enlace, se analizó la estabilidad del Field Tester, realizando mediciones mensuales de la potencia de transmisión. Se utilizó un analizador de espectro junto con un atenuador de 30 dB, ya que la potencia del transmisor excedía las características máximas del instrumento. La Tabla 1 presenta los resultados medidos, la variación máxima es del 7%.

TABLA 1.

MEDICIÓN DE POTENCIA DEL TRANSMISOR DURANTE EL PERÍODO DE MEDICIONES DE RSSI.

Mes	Potencia (dBm)
Agosto	20,455
Septiembre	19,003
Octubre	19,151
Noviembre	19,049

IV. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un Field Tester junto con sus antenas, el cual fue utilizado exitosamente para caracterizar la cobertura de la red LoRaWAN de la Universidad Nacional de Moreno. Las mediciones realizadas permitieron determinar un alcance robusto en zona urbana de aproximadamente 19 km, llegando a tener transmisiones exitosas a más de 25 km empleando un SF de 9, una potencia de transmisión de 22 dBm y una antena J-pole.

Durante el estudio se identificó una asimetría marcada en la cobertura, atribuida a la ubicación del gateway sobre una estructura metálica que atenúa las señales provenientes del oeste. Este hallazgo resalta la importancia de considerar el entorno físico de instalación del gateway en el análisis de desempeño de la red. Asimismo, el hecho de haber diseñado y construido antenas propias permitirá plantear soluciones específicas, tales como el uso de antenas direccionales para optimizar la cobertura en las zonas con cobertura débil. Las pruebas realizadas a largo plazo permitieron confirmar la elevada confiabilidad del sistema desarrollado y de la red LoRaWAN evaluada. El enlace de comunicación mostró un comportamiento estable, evidenciado por la consistencia del RSSI a lo largo del tiempo y por la ausencia de degradaciones significativas respecto de su valor promedio.

En conjunto, los resultados presentados demuestran una cobertura estable y amplia de la red. Además, se validó que el Field Tester desarrollado constituye una herramienta

confiable y adecuada para el relevamiento de la cobertura y la evaluación del desempeño de redes LoRaWAN en condiciones reales de operación.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Gabriel Venturino y José María Borgatello por su valioso apoyo y opiniones en el desarrollo de este trabajo. También se agradece a Joaquín Cervera de la plataforma Cloud Studio por poner la misma a disposición para este desarrollo.

#### DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles a través de los autores ante una solicitud razonable.

#### CONTRIBUCIONES DE AUTORES

Nahuel H. Bruno: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción-Borrador original, Software, Validación, Visualización. Rocío A. Gorosito: Conceptualización, Redacción-Borrador original. Marcos E. Bierzychudek: Administración del proyecto, Escritura - revisión y edición, Investigación, Visualización.

#### REFERENCIAS

- [1] V. A. Dambal, S. Mohadikar, A. Kumbhar and I. Guvenc, "Improving LoRa Signal Coverage in Urban and Sub-Urban Environments with UAVs," in *2019 International Workshop on Antenna Technology (IWAT)*, pp. 210-213, 2019, doi: 10.1109/IWAT.2019.8730598.
- [2] V. A. Shpenst and A. V. Terleev, "Analysis and research of the coverage area of the LoRaWAN gateway in various conditions for smart city applications". *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*, 2020, pp. 390-396, doi: 10.1201/9781003164395-49.
- [3] A. Sharma, B. S. Sohi and S. Chandra. "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for Environmental Monitoring and Sensing". *Journal of Green Engineering*, vol. 10, n. 11, nov. 2020.
- [4] E. Goldoni, P. Savazzi, L. Favalli and A. Vizziello, "Correlation between weather and signal strength in LoRaWAN networks: An extensive dataset", *Computer Networks*, vol. 202, 2022, doi: 10.1016/j.comnet.2021.108627.
- [5] LoRAWAN Coverage Drive Test Repor, RAK wireless technology. [Online]. Available: [https://downloads.rakwireless.com/LoRa/DIY-Gateway-RAK7249/Application-Notes/RAKwireless\\_LoRAWAN\\_Coverage\\_Drive\\_Test\\_Report.pdf](https://downloads.rakwireless.com/LoRa/DIY-Gateway-RAK7249/Application-Notes/RAKwireless_LoRAWAN_Coverage_Drive_Test_Report.pdf).
- [6] *LoRa and LoraWAN*, Semtech Corporation, version 1, AN1200.86, March 2024. [Online]. Available <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/lora-and-lorawan.pdf>.
- [7] *LoRaWAN 1.0.3 Regional Parameters*, LoRa Alliance Technical Committee Regional Parameters Workgroup, Rev. A, July 2018. [Online] available: [https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan\\_regional\\_parameters\\_v1.0.3reva\\_0.pdf](https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan_regional_parameters_v1.0.3reva_0.pdf).
- [8] C. A. Balanis, *Antena Theory – Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> ed., Canada: Ed. John Wiley&Sons, 1997.
- [9] The Things Network (2026) [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/>.
- [10] Cloud Studio - Product technical documentation. (2026) [Online]. Available: <https://cloudstudioiot.com/docs/apis-de-extraccion-de-datos>.
- [11] TTN Mapper (2026) [Online]. Available: <https://ttnmapper.org/heatmap/>.