



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
METROPOLITANA FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

ANÁLISIS DE COBERTURA E INTENSIDAD
DE SEÑAL DE TRANSCEPTORES LILYGO®
BASADOS EN TECNOLOGÍA LORA EN
ENTORNO URBANO

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN ELECTRÓNICA

AUTOR: RIQUELME CAMPOS, MATIAS MANUEL
PROFESOR GUÍA: DURNEY WASAFF, HUGO IVÁN

SANTIAGO - CHILE 2024

NOTA OBTENIDA: _____

Firma y timbre autoridad responsable

Autorización para la reproducción del trabajo de titulación

1. Identificación del trabajo de titulación

Nombre del alumno: Matias Manuel Riquelme

Campos

E-mail: matias.riquelmec@utem.cl

Título de la tesis: Desarrollo de un prototipo de sistema de localización y moni-toreo georreferencial en tiempo real basado en red mesh LoRa

Escuela: Escuela de Electrónica

Carrera: Ingeniería Civil Electrónica

Título al que opta: Ingeniero Civil en Electrónica

2. Autorización de reproducción

Se autoriza la reproducción total o parcial de este trabajo de titulación, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor. En consideración a lo anterior, se autoriza su reproducción de forma

X	Inmediata
	A partir de la siguiente fecha (mes/año)

Fecha: 26-SEP-2024

Firma:

Esta autorización se otorga en el marco de la ley N°17.336 sobre propiedad intelectual, con carácter gratuito y no exclusivo para la institución.

Agradecimientos

En este momento crucial, deseo expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que me animaron a terminar este trabajo de título, que creyeron en mis capacidades cuando yo no lo hacía.

Agradezco a la mujer que sacudió mi árbol y me sacó del letargo en el que estaba sumido, a los amigos que me escucharon, a mi hermana (Catalina) por su contención y a mis padres por demostrar ser un gran apoyo cuando más lo necesitaba. Son parte de un punto de inflexión importante en mi vida; me ayudaron a reconocer mis capacidades, y por ello recordaré con cariño y agradecimiento su influencia y participación en este proceso.

También agradezco a la UTEM por su apoyo, comprensión y por ser la institución donde me formé. Extiendo mi agradecimiento al programa PERNC (Programa de Energías Renovables y No Convencionales para el Desarrollo Sustentable), y a todos quienes participan en él por su constante respaldo en espacio y apoyo profesional. Asimismo, agradezco al Programa Institucional de Innovación INNOVA UTEM, a través de su director, Dr. Héctor Torres, y al ingeniero del HUB Nodo San Joaquín, Sr. Víctor Meza, quienes apoyaron y facilitaron el acceso a los dispositivos, instalaciones y experiencia en el uso de los sistemas LILYGO®. Un agradecimiento especial a mi Profesor Guía, Hugo Durney Wasaff, por alentarme, orientarme y apoyarme durante este importante proceso.

Finalmente, quiero agradecerme a mí mismo por volver a creer en mis capacidades y lograr completar este proceso, aprendiendo de los errores y valorando tanto las buenas como las malas experiencias. El fin de este camino es solo el inicio de nuevos desafíos.

Índice de contenido

	Página.
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Alcances y organización del trabajo.....	4
Capítulo 2. Marco Teórico y Estado del Arte	6
2.1 M2M o Comunicación entre máquinas.....	8
2.1.1 Sistemas de comunicación electrónicos.....	8
2.1.2 Modelo de comunicación OSI.....	9
2.1.3 Capa Física	10
2.1.4 Capa de enlace de datos	12
2.1.5 Capacidad del canal.....	13
2.1.6 CDMA mediante Spread Spectrum	14
2.2 Contexto y análisis de tecnologías LoRa	17
2.2.1 LPWAN	17
2.2.2 LoRa.....	19
2.2.3 LoRaWAN	20
2.2.4 Formato del paquete	21
2.2.5 Modulación.....	21
2.3 Factores que afectan la conectividad y la intensidad de señal en entornos urbanos.....	24
2.3.1 SNR.....	24
2.3.2 RSSI	25
2.3.3 Ruido y Pérdidas	26
2.4 Análisis similares alrededor del mundo.....	31

2.4.1	Evaluación de comunicaciones por radio de larga distancia y baja potencia en áreas urbanas	32
2.4.2	Evaluación de la cobertura de la red LoRa en zonas urbanas y Entorno densamente urbano	35
Capítulo 3.	Elementos de Hardware y Software	41
3.1	Hardware	41
3.1.1	Dispositivo principal.....	41
3.1.2	Antenas	43
3.2	Software.....	46
3.2.1	Firmware	48
Capítulo 4.	Implementación y Metodología.....	51
4.1	Metodología	51
4.1.1	Definición de pruebas a realizar.....	52
4.1.2	Selección de entorno para las pruebas	55
4.1.3	Configuración de dispositivos de prueba.....	58
4.2	Desarrollo de pruebas experimentales	61
4.2.1	Diferentes ganancias de antenas.....	63
4.2.2	Cambio de configuración preestablecida	67
4.2.3	Aumento de altura de la TEB	69
4.3	Simulaciones y análisis de cobertura.....	71
Capítulo 5.	Conclusiones y trabajos futuros	79
5.1	Conclusiones	80
5.2	Trabajos futuros.....	82
Capítulo 6.	Bibliografía y Referencias	84
Capítulo 7.	Anexos	86

Índice de Tablas

	Página.
Tabla 1: Eficiencia espectral [9].	19
Tabla 2: Valores SNR para cada factor de esparcimiento [10].	25
Tabla 3: atenuación para diferentes materiales de construcción [1].	29
Tabla 4: Resultados RSSI (dBm).	34
Tabla 5: Resultados SNR.	35
Tabla 6: Parámetros de simulación.	36
Tabla 7: Caracterización de las antenas a utilizar en las pruebas (ver anexo).	46
Tabla 8: Secciones para la configuración de la radio [14].	49
Tabla 9: Configuraciones pre sintonizadas de la radio LoRa [14], y se encuentran destacadas las que se utilizarán en la implementación.	50
Tabla 10: Configuraciones de Radio Realizadas.	59
Tabla 11: Test antena 2 dBi techo PERNC.	63
Tabla 12: Test antena 3 dBi techo PERNC.	65
Tabla 13: Test antena 5.8 dBi techo PERNC.	67
Tabla 14: test antena 3 dBi Very Long Range / Slow.	68
Tabla 15: Prueba en altura con antena 5.8 dBi edificio de Ingeniería.	69
Tabla 16: Parámetros de simulación para análisis de cobertura.	71

Índice de figuras

	Página.
Figura 1: Diagrama simplificado de la red de internet, sus enlaces y sus componentes [6].	7
Figura 2: Diagrama de bloques de un sistema de comunicación electrónico [7].	8
Figura 3: Capas del modelo OSI [7].	10
Figura 4: Distintas modulaciones para la misma información digital [8].	11
Figura 5: Ejemplo de DSSS [8].	15
Figura 6: Ejemplo de esparcimiento SS.	16
Figura 7: Comparativa de tecnologías LPWAN: Alcance vs. Tasa de datos [1].	18
Figura 8: Arquitectura de LoRaWAN en el modelo OSI.	20
Figura 9: Formato de paquete LoRa.	21
Figura 10: Grafico de Amplitud vs. Tiempo de la señal portadora de CSS, donde se aprecia el aumento progresivo de frecuencia [5].	22
Figura 11: Diferencia de SF y Trama LoRa [3].	23
Figura 12: Ejemplo de un error de bit, causado por ruido AWG [8].	27
Figura 13: Ejemplos de propagación multicamino [8].	30
Figura 14: Típico desvanecimiento lento y plano en ambientes urbanos [8].	31
Figura 15: Mapa de ubicaciones prueba de cobertura.	33
Figura 16: Resultados de simulación de cobertura en la Ciudad de Córdoba sin ajustar el simulador.	37
Figura 17: Resultados de simulación de cobertura en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires sin ajustar el simulador.	37
Figura 18: Diagrama general de la red.	38
Figura 19: Resultados de simulación de cobertura ajustada y mediciones en la Ciudad de Córdoba.	39
Figura 20: Resultados de simulación de cobertura ajustada y mediciones en la	

Ciudad Autónoma de Buenos Aires.....	40
Figura 21: Placa de desarrollo LILYGO® T-Beam v1.1 [12].	43
Figura 22: Patrón de radiación dipolo de media onda en 3D(a) y 2D(b) [13]. ...	44
Figura 23: TEB junto a las antenas.....	53
Figura 24: TBM.	54
Figura 25: disposición de la TEB sobre el PERNC. (a) Antena 5.8 dBi. (b) Antena 3 dBi. (c) Antena 2dBi.....	56
Figura 26: Montaje TEB en torre sobre edificio de ingeniería.	57
Figura 27: interfaz web de Meshtastic para flasheo de dispositivos.	58
Figura 28: interfaz web de Meshtastic para configuración de dispositivos.....	59
Figura 29: suscripción de canal mediante la app de Meshtastic.....	60
Figura 30: Panel de depuración (a) y estado de los dispositivos (b).....	61
Figura 31: TBM montado sobre un automóvil.	62
Figura 32: Test antena 2 dBi techo PERNC.	64
Figura 33: Test antena 3 dBi techo PERNC.	65
Figura 34: Test antena 5.8 dBi techo PERNC.....	66
Figura 35: Tabla TBM 3 dBi Very Long Range / Slow.....	68
Figura 36: TBM frente a la entrada del Parque Quebrada de Macul.....	69
Figura 37: Prueba en altura con antena 5.8 dBi edificio de Ingeniería.....	70
Figura 38: Registro del valor del piso de ruido.....	72
Figura 39: Simulación antena 2 dBi.	73
Figura 40: Simulación antena 3 dBi.	75
Figura 41: Simulación antena 5.8 dBi.	76
Figura 42: Simulación antena 3 dBi Very Long Range / Slow.....	77

RESUMEN:

El siguiente trabajo de titulación, se centra en el análisis de la cobertura de la tecnología LoRa en entornos urbanos, utilizando los dispositivos LILYGO® T-BEAM con distintas configuraciones de antenas y parámetros de transmisión. El objetivo principal fue evaluar cómo la altura de las antenas, sus ganancias y las configuraciones de red influyen en el rendimiento de las comunicaciones en áreas densamente pobladas. Para ello, se llevaron a cabo cinco pruebas experimentales en la comuna de Ñuñoa, complementadas con simulaciones en el software CloudRF. A través de estas pruebas, se definieron parámetros clave como el RSSI, SNR y el rango de propagación, y se seleccionaron ubicaciones estratégicas, como el edificio de Ingeniería de la UTEM, evaluar el impacto de obstáculos físicos o zonas de interferencias, como el Mall Portal Ñuñoa o el Estadio Nacional respectivamente en la propagación de la señal. Los resultados experimentales se representaron en mapas de calor, identificando zonas de cobertura y áreas con pérdidas de señal, los cuales fueron comparados con las simulaciones teóricas, ajustadas con base en los datos observados. Estos resultados proporcionan una herramienta útil para mejorar la precisión en la estimación de la cobertura de redes LoRa en futuras implementaciones urbanas.

Palabras clave: LoRa, cobertura urbana, LILYGO® T-BEAM, RSSI, SNR.

ABSTRACT:

The following thesis focuses on the analysis of LoRa technology coverage in urban environments, using LILYGO® T-BEAM devices with different antenna configurations and transmission parameters. The main objective was to evaluate how the height of the antennas, their gains and the network configurations influence the performance of communications in densely populated areas. To this end, five experimental tests were carried out in the commune of Ñuñoa, complemented by simulations in the CloudRF software. Through these tests, key parameters such as RSSI, SNR and propagation range were defined, and strategic locations were selected, such as the UTEM Engineering building, to evaluate the impact of physical obstacles or interference zones, such as the Mall Portal Ñuñoa or the National Stadium respectively on signal propagation. The experimental results were represented in heat maps, identifying coverage zones and areas with signal losses, which were compared with theoretical simulations, adjusted based on the observed data. These results provide a useful tool to improve the accuracy in estimating the coverage of LoRa networks in future urban deployments.

Keywords: LoRa, urban coverage, LILYGO® T-BEAM, RSSI, SNR.

Capítulo 1. Introducción

Con las nuevas tendencias en el IoT (Internet of Things, por sus siglas en inglés), el uso de tecnologías de largo alcance y bajo consumo de potencia para resolver los requerimientos de movilidad y acceso a lugares remotos se vuelve indispensable; ante esto el uso de Tecnologías como LoRa (Long Range, por sus siglas en inglés) en redes LPWAN (Low Power Wide Area Network, por sus siglas en inglés) surge como una solución práctica y relativamente económica que permite establecer comunicaciones de baja velocidad a grandes distancias con un muy bajo consumo de energía. De esta forma tanto la industria como la academia dedican sus esfuerzos a la investigación para explotar al máximo el rendimiento y la escalabilidad de las redes que usan esta técnica de capa física basada en CSS (Chirp Spread Spectrum, por sus siglas en inglés [1]).

A niveles superiores de la capa OSI la tecnología LoRa puede comunicarse con distintas instancias de gestión de red y acceso al medio, sin embargo, existe la tecnología LoRaWAN, instancia de gestión de red especialmente desarrollada para LoRa, la cual gestiona de manera optimizada el protocolo de comunicación del sistema. Es un estándar de control de acceso al medio que gestiona la comunicación de dispositivos inalámbricos con diversas tecnologías en la capa física, incluida LoRa. Es crucial considerar lo siguiente: LoRa se refiere a la capa física (capa 1 del modelo OSI) y abarca aspectos como la modulación, el ancho de banda y la frecuencia, mientras que LoRaWAN define cómo se realizan las comunicaciones, (correspondiente a las capas 2 y 3 del modelo OSI) [2] [3].

La tecnología LoRa está siendo ampliamente aplicada en los denominados sistemas IoT. Es así como los sensores en una red LoRaWAN integrada en un proyecto de Smart City pueden aplicarse para monitorear el ruido ambiental, la

contaminación del aire o del agua, informando a los ciudadanos sobre la calidad del aire y los contaminantes presentes, optimizar el riego de parques y jardines al controlar la humedad del suelo, reduciendo así el desperdicio del agua o enviar alertas de mantenimiento no programado. En la gestión de seguridad, la podemos utilizar para que nos proporcione información sobre la ubicación de activos, detección de apertura de puertas o ventanas, el envío de alertas en caso de humo o fuego. En el ámbito de la sustentabilidad puede aportar a la eficiencia energética, detectando cortes de energía, gestionando la iluminación urbana, monitoreando la capacidad de los contenedores de basura para una planificación de ruta más eficiente, evitando desbordamientos y reduciendo la contaminación [4].

Las tecnologías LPWAN (que incluyen LoRa) han surgido con el propósito de facilitar el despliegue de redes de sensores y dispositivos, cada una dirigida a usos específicos para permitir la recepción de diversos tipos de datos. Sin embargo, la adopción de esta solución plantea nuevos desafíos, ya que implica la conexión masiva de dispositivos a una misma red utilizando el mismo canal de transmisión, el espectro radioeléctrico. Este escenario puede dar lugar a una serie de problemas si no se realiza una planificación, dimensionamiento y diseño adecuados. Por ejemplo, una disminución en la potencia de transmisión del sensor podría hacer que la recepción de información sea imposible durante situaciones críticas de funcionamiento de los dispositivos, o debido a las características del canal de propagación. Por otro lado, el uso de una modulación que ofrezca una alta inmunidad puede reducir la tasa binaria y aumentar la energía necesaria, disminuyendo así la vida útil de los dispositivos [5]. Distintos escenarios urbanos, semi urbanos y rurales presentan particularidades que los hacen propicios para la aplicación de estas tecnologías, pero también incorporan desafíos técnicos que pueden dificultar su buen funcionamiento. En entornos

urbanos esto incluye, por ejemplo, densidad y altura de edificaciones, materialidad, niveles de ruido e interferencia, etc.

Es por estas razones que se hace necesario un análisis previo de la cobertura y funcionalidad de los dispositivos que conformarán las futuras redes, ya que, nos brinda datos empíricos de su comportamiento en un ambiente definido como sus limitaciones técnicas, la potencia de transmisión, el ancho de banda y la robustez frente al ruido. Estos pueden ser útiles para trabajos futuros como por ejemplo el diseño de la topología más adecuada para un correcto funcionamiento de la misma, definiciones sobre potencia de los terminales, ganancias y tipos de antenas a utilizar, niveles esperables de autonomía energética de los sensores inalámbricos, etc.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

“Desarrollar un análisis comparado (modelo de propagación simulado versus mediciones prácticas) de cobertura y funcionalidad básica en capas 1 y 2 (física y enlace de datos) en una línea de dispositivos específicos basados en tecnología LoRa para evaluar su comportamiento en entorno urbano.”

1.1.2 Objetivos específicos

OE 1. Caracterizar y analizar los dispositivos y antenas basadas en tecnología LoRa que serán utilizados para efectuar las pruebas de cobertura y funcionalidad, a fin de disponer de un marco técnico de referencia previo a las pruebas experimentales.

- OE 2. Proponer un entorno físico de interés, de tipo urbano, como base para el análisis, definiendo puntos estratégicos para la localización de los dispositivos y el desarrollo de pruebas viables de cobertura punto a punto.
- OE 3. Configurar y desplegar en terreno los transeptores para realizar las pruebas de cobertura y funcionalidad incluyendo todas las consideraciones metodológicas que minimicen las fuentes de imprecisión que pudieran afectar las medidas prácticas.
- OE 4. Replicar las pruebas de cobertura realizadas y comparar los resultados con datos obtenidos de simulaciones con software de modelamiento.

1.2 Alcances y organización del trabajo

Este trabajo de título tiene como enfoque principal contribuir con mediciones reales del comportamiento de los dispositivos T-BEAM de LILYGO® aplicados al análisis de cobertura de la tecnología LoRa en ambiente urbano. Considerando que en el marco del Programa de Energías Renovables No Convencionales (PERNC-UTEM), solo habían sido probados y utilizados en entornos rurales, zonas con alta densidad de vegetación, pero buenas condiciones de visibilidad y con cobertura celular limitada o inexistente lo cual supone un bajo nivel de ruido e interferencia. Este trabajo tiene por objetivo aportar con datos empíricos que fortalecerán la postulación y ejecución de proyectos que requieren el uso de enlaces de comunicaciones basados en tecnología LoRa ejecutados en zonas urbanas bajo el alero del programa.

A continuación, se describen punto a punto la planificación en la cual se basa la ejecución del presente trabajo:

- Recopilación de información del estado de la técnica relacionados con la cobertura de dispositivos LoRa en entornos urbanos.
- Definición del entorno de pruebas y puntos georreferenciados estratégicamente conforme a criterios de accesibilidad, cobertura esperada y otras condiciones definidas para la tecnología LoRa.
- Definición y caracterización de dispositivos y antenas requeridos para el análisis conforme a los parámetros de transmisión y recepción definidos.
- Instalación de componentes configurados y habilitación de enlace de comunicación.
- Medición y sistematización de datos de conectividad, intensidad de señal y parámetros funcionales en puntos establecidos.
- Simulación de datos de conectividad, intensidad de señal y funcionalidad en software de simulación según los parámetros de enlace establecidos en las pruebas.
- Análisis comparativo de datos obtenidos en pruebas con los simulados por software, identificando patrones y tendencias en la cobertura y funcionalidad de la tecnología LoRa en entornos urbanos.
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones de trabajos futuros basados en los resultados obtenidos.

Capítulo 2. Marco Teórico y Estado del Arte

En este capítulo se presentan los elementos clave necesarios para comprender el tema de este trabajo de título. En primer lugar, se explorarán aspectos fundamentales de la comunicación entre máquinas y los enlaces inalámbricos, con especial énfasis en la tecnología LoRa. A continuación, se analizará la importancia de la relación señal-ruido (SNR, por sus siglas en inglés) y los factores que afectan la conectividad y la intensidad de la señal en entornos urbanos, así como las causas de las pérdidas en la comunicación. Además, se examinarán los aspectos regulatorios nacionales e internacionales pertinentes a las bandas de radiofrecuencia (RF) y se revisarán ejemplos de análisis similares realizados en otras regiones del mundo.

Para medir y estudiar la cobertura inalámbrica alcanzada con la tecnología LoRa se deben conocer las capas más bajas del modelo OSI, la capa física y la capa de enlace. Como se puede ver en la Figura 1 los paquetes de información, conocidos como paquetes en la jerga informática, se envían a través de los enlaces de la red hasta el sistema terminal receptor. En la capa más alta, la capa de aplicación, un paquete de información va desde una APP (software) a otra, por ejemplo, desde Google drive(emisor), hasta el servidor donde se almacena (la nube), atravesando por distintos chips, enlaces físicos, sistemas operativos, redes y aplicaciones, hasta finalmente, quedar almacenado en un servidor (receptor) donde los datos pueden ser consultados y requeridos posteriormente. Mientras, en la capa física la información es encapsulada y transmitida a través

de un solo medio físico, como por ejemplo lo sería las pistas de la tarjeta madre dentro de un computador.

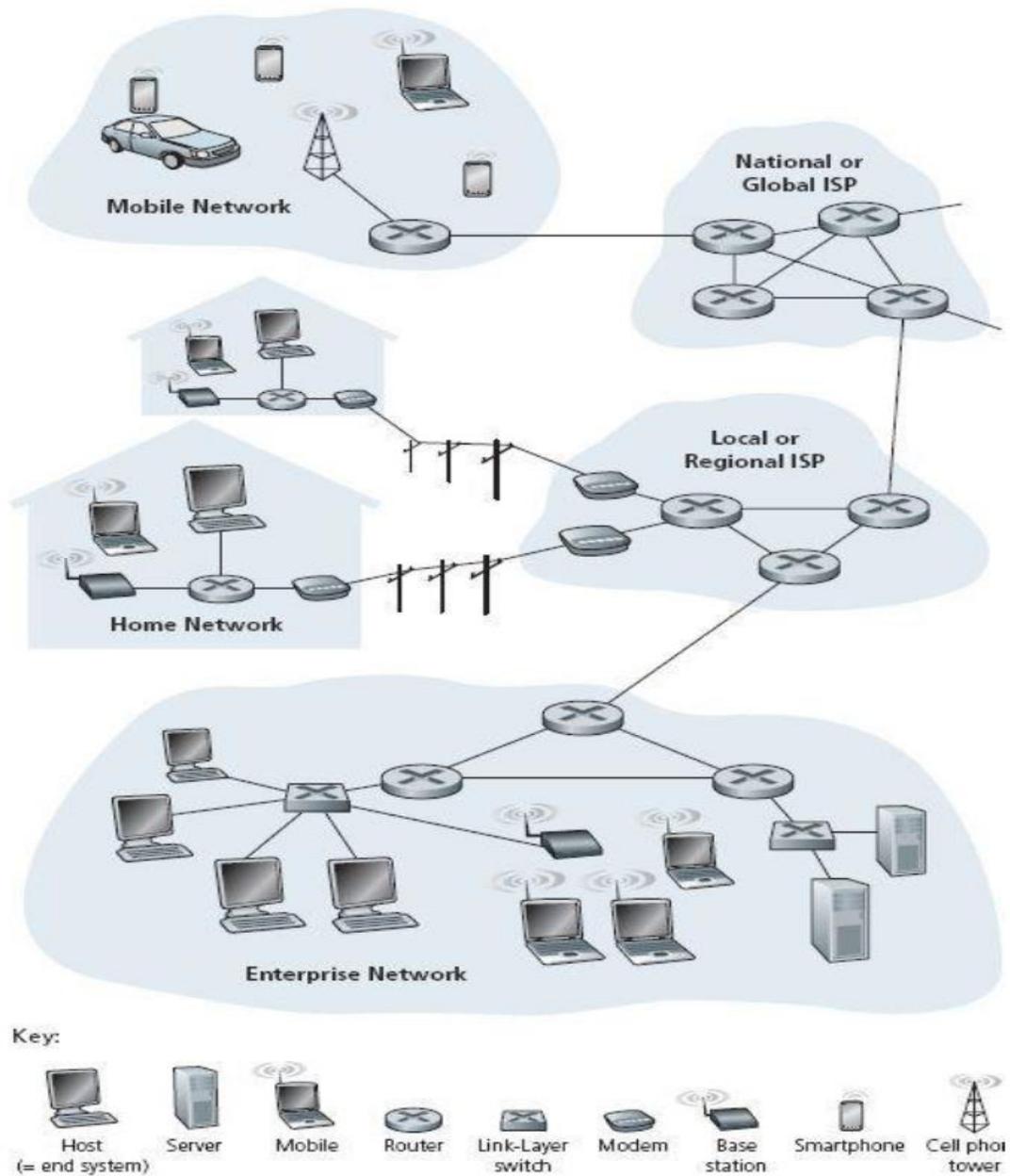


Figura 1: Diagrama simplificado de la red de internet, sus enlaces y sus componentes [6].

2.1 M2M o Comunicación entre máquinas

Tanto en internet como en las redes de dispositivos, los protocolos son las reglas que rigen la comunicación desde los protocolos simples que permiten a dos dispositivos intercambiar datos hasta los complejos sistemas que gestionan el tráfico de internet, todos ellos son fundamentales. En el contexto de las comunicaciones M2M, LoRa ha emergido como un protocolo especializado, diseñado para optimizar la transmisión de datos en entornos con limitaciones de energía y alcance, como los que se encuentran en las aplicaciones de IoT.

2.1.1 Sistemas de comunicación electrónicos

Tal como se describe en [7] los sistemas de comunicación electrónicos son aquellos que comunican máquinas y su objetivo principal es la transmisión, recepción y procesamiento de información mediante el uso de circuitos electrónicos. Toda información, analógica o digital se debe convertir en energía electromagnética para ser propagada por algún medio (cable, fibra óptica o aire) entre el transmisor y receptor. Los sistemas de comunicación electrónicos están compuestos por tres partes como se puede ver en la Figura 2 estas son: transmisor, receptor y medio.

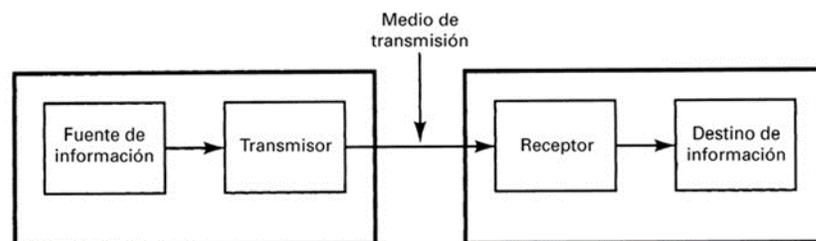


Figura 2: Diagrama de bloques de un sistema de comunicación electrónico [7].

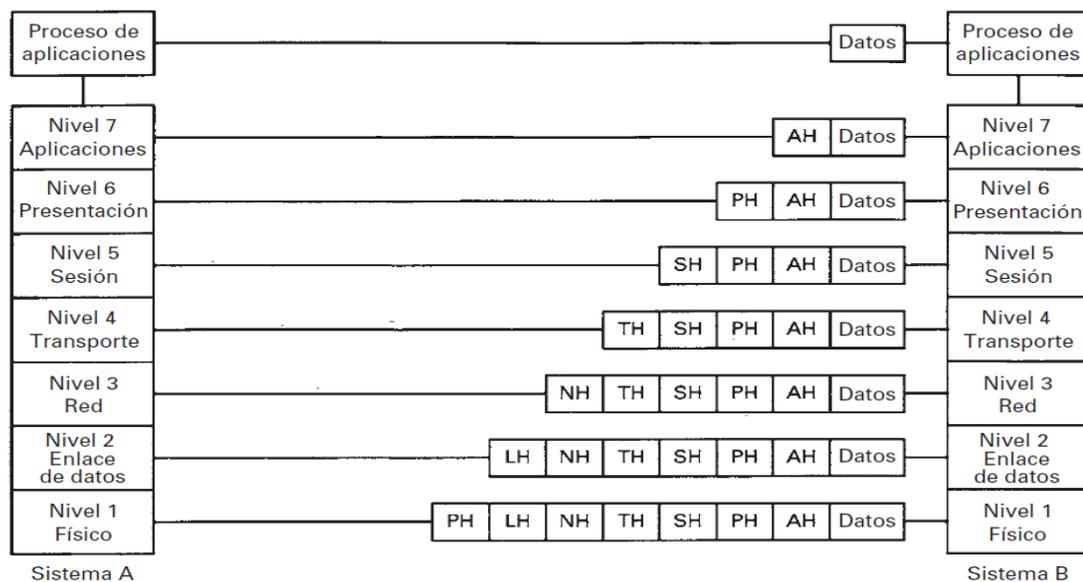
En el caso particular de este trabajo, la comunicación es inalámbrica haciendo uso del espectro de RF recomendado en Chile para esta tecnología que va entre los 902MHz y los 928MHz para comunicar al transmisor con el receptor (art 42. Decreto 127 de 2006 MTT Chile, Plan general de uso de Espectro Radioeléctrico la señala como banda o licenciada ISM). Las ondas moduladas con LoRa permitirán la transmisión de paquetes de información estableciendo un enlace de comunicación entre ambos nodos, nodo transmisor y nodo receptor.

2.1.2 Modelo de comunicación OSI

El modelo de referencia Open System Interconnection (OSI) [7] es un conjunto de normas que guían la comunicación entre máquinas (computadoras, terminales y redes). El OSI fue desarrollado a inicios del '77 por la International Organization for Standardization (ISO) y por el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT). Una vez terminado fue publicado en el '84 y el '83 respectivamente. El modelo OSI corresponde a un modelo de comunicación de 7 capas, en la Figura 3 se pueden observar cómo se ordenan y su posición jerárquica dentro del protocolo. También se puede apreciar que cada capa agrega encabezados a la información, generalmente menos del 15% del mensaje es de la fuente.

Hay que destacar que, cada capa consta de un protocolo específico de comunicación, por ejemplo, en el estándar IEEE 802 (Institute of Electrical and Electronics Engineers), basado en las referencias que hace el modelo OSI, la sección 802.1 define la relación entre los dos estándares 802 y OSI, en la sección 802.2 se define el protocolo de control del enlace lógico (LLC) que forma parte de la capa de enlace de datos. El protocolo 802 en su sección 802.11, una de las más conocidas, se encarga de definir el funcionamiento de Wi-Fi(wireless).

Los niveles superiores (3, 4, 5, 6 y 7) permiten la comunicación directa entre computadoras, mientras que las capas inferiores (1 y 2) tienen que ver con la mecánica real de transmitir datos (a nivel de bits y tramas). Los parámetros utilizados para evaluar el enlace de LoRa corresponden a las dos primeras capas que se verán a continuación.



Jerarquías del protocolo internacional ISO. AH = encabezado de aplicaciones; PH = encabezado de presentación; SH = encabezado de sesión; TH = encabezado de transporte; NH = encabezado de red; LH = encabezado de enlace; PH = encabezado físico

Figura 3: Capas del modelo OSI [7].

2.1.3 Capa Física

En la capa física la unidad básica de información son los bits, los frames o tramas utilizadas en la capa de enlace son básicamente la unión de bits en paquetes. La capa física es el primer nivel, y especifica las normas físicas, eléctricas, funcionales y de procedimiento. En esta capa se definen valores máximos y mínimos para aspectos como el voltaje, frecuencia o la duración de los pulsos. Mientras, el trabajo de la capa de enlace es mover las tramas completas de un

nodo de la red hasta el nodo adyacente, el trabajo de la capa física es el de mover los bits individuales de la trama de un nodo al siguiente. Como se puede ver en la Figura 4 existen distintos protocolos de modulación de señales para transmitir la información por el canal EM. En cada caso, los bits se desplazan a través del enlace de forma diferente.

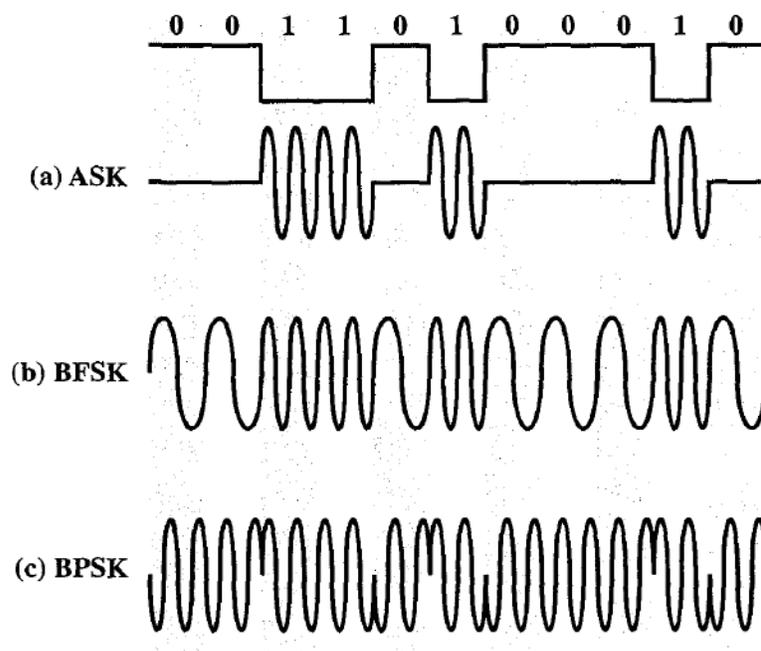


Figura 4: Distintas modulaciones para la misma información digital [8].

Es importante tener en consideración que existe una gran variedad de protocolos de capa física, por ejemplo, para Ethernet (protocolo de capa de enlace) existe un protocolo de capa física para cada medio de transmisión que se utilice al enlazar los elementos de la red, como por ejemplo un cable de cobre, fibra óptica o, en el caso de LoRa, el aire. Es decir, define las características eléctricas, mecánicas y funcionales de la interfaz física a través de la cual se envían los datos.

2.1.4 Capa de enlace de datos

La capa de enlace de datos, la segunda en el modelo OSI, es crucial para garantizar la transferencia efectiva de información entre los nodos de una red, gestionando la transmisión de paquetes entre enlaces individuales. Toma los datagramas de la capa de red, los encapsula en tramas y se asegura de transmitir cada trama de manera fiable. Esta capa se divide en dos subcapas: la de control de enlace lógico (LLC) y la de control de acceso al medio (MAC).

En redes con enlaces individuales, como los enlaces punto a punto (PPP), la coordinación para evitar colisiones de tramas es relativamente sencilla. Sin embargo, en comunicaciones inalámbricas, donde muchos dispositivos comparten un mismo canal de comunicación, la coordinación es más compleja y esencial. La capa de enlace utiliza un protocolo de acceso al medio para organizar las transmisiones y prevenir colisiones de tramas, además de proporcionar mecanismos para activar, mantener y desactivar el enlace de datos, y gestionar la detección y corrección de errores [8].

La capa de enlace de datos desempeña un papel crucial en las comunicaciones LoRa, asegurando una transmisión eficiente y confiable entre dispositivos. En redes LoRa, donde múltiples dispositivos comparten un mismo canal de radiofrecuencia, el protocolo de acceso múltiple (MAC) LoRaWAN es esencial para coordinar las transmisiones y prevenir interferencias. Este mecanismo permite que cada dispositivo acceda al medio de manera ordenada, evitando colisiones que podrían corromper los datos.

Además de la coordinación del acceso, la capa de enlace de datos en LoRa incorpora robustos mecanismos de detección y corrección de errores, garantizando así la integridad de la información transmitida, incluso en entornos con alto nivel de ruido o interferencia. Por último, los protocolos de la capa de enlace de datos en LoRa están optimizados para maximizar la eficiencia

energética y espectral, lo cual es fundamental para prolongar la vida útil de las baterías en dispositivos IoT y minimizar el impacto en el espectro radioeléctrico siendo una muy buena opción para aplicaciones en entornos urbanos.

2.1.5 Capacidad del canal

La capacidad del canal se define como la máxima velocidad de transmisión de información (data rate [bps]) que un canal puede soportar. En el contexto del enlace de comunicación entre dos nodos, esta velocidad de transmisión de bits por trama depende intrínsecamente del protocolo de transmisión en la capa de enlace y la capa física, es decir, la cantidad de información que se envía y la frecuencia con la que se transmite. Hay cuatro conceptos fundamentales a considerar:

- Data Rate: La velocidad de transmisión de información, medida en bits por segundo [bps].

- Bandwidth: El ancho de banda de la señal transmitida, que es el rango de frecuencia en el que la señal es emitida, medido en ciclos por segundo o Hertz [Hz].

- Noise: El nivel de ruido promedio presente en el canal de comunicación.

- Error Rate: La tasa de error en los bits transmitidos, que indica la confusión entre 0 y 1.

La tecnología LoRa, al operar en bandas de frecuencia específicas y con anchos de banda estrechos, tiene una capacidad de canal inherentemente limitada en

comparación con otras tecnologías inalámbricas de mayor ancho de banda. Sin embargo, esta limitación se compensa con una mayor penetración en edificios y obstáculos, lo que la hace ideal para aplicaciones de IoT en entornos desafiantes.

En general, se busca un uso eficiente del ancho de banda, maximizando el data rate para un límite particular de error rate en un ancho de banda dado. El principal desafío para alcanzar esta eficiencia es el ruido (Noise). El parámetro clave para evaluar esta eficiencia es la relación SNR, que es la proporción entre la potencia de la señal emitida y la potencia del ruido. La señal recibida es la suma de la señal emitida más el ruido. Este parámetro se mide típicamente en el receptor, donde es necesario procesar la señal y eliminar el ruido no deseado, y se expresa en decibelios [dB]. Un SNR alto indica una alta calidad de señal. En LoRa, un SNR elevado permite lograr mayores distancias de comunicación y una menor tasa de errores. Sin embargo, para optimizar el consumo de energía, los dispositivos LoRa suelen operar con márgenes de SNR relativamente bajos.

2.1.6 CDMA mediante Spread Spectrum

El Espectro Ensanchado (Spread Spectrum, SS) es una técnica de comunicación que consiste en dispersar una señal de información a través de un ancho de banda mucho mayor que el estrictamente necesario. Esta dispersión se logra mediante la modulación de la señal original con una secuencia pseudoaleatoria conocida como código de esparcimiento, algunas de sus principales ventajas son:

- **Robustez:** Al extender la señal sobre una banda más amplia, se vuelve más resistente a interferencias y ruido, mejorando la calidad de la comunicación, especialmente en entornos con mucho ruido o multitrayecto.

- Seguridad: La señal esparcida es difícil de interceptar y decodificar sin conocer el código de esparcimiento, lo que brinda un nivel adicional de seguridad.
- Acceso múltiple: Varias señales pueden compartir el mismo ancho de banda utilizando diferentes códigos de esparcimiento, lo que permite un acceso múltiple eficiente (CDMA).

Existe un tipo particular de *Spread Spectrum (SS)* llamado DSSS, que es similar al proceso de modulación de LoRa. En la Figura 5 se puede ver un ejemplo de la multiplexación de la información por un *spreading code (Locally generated PN bit stream)* en el emisor y como es recuperada mediante la misma técnica en el receptor. La frecuencia de la información ($1/T$) aumenta cuatro veces al ser multiplexada con el código ($1/T_c$), un ejemplo de este proceso se puede apreciar a continuación.

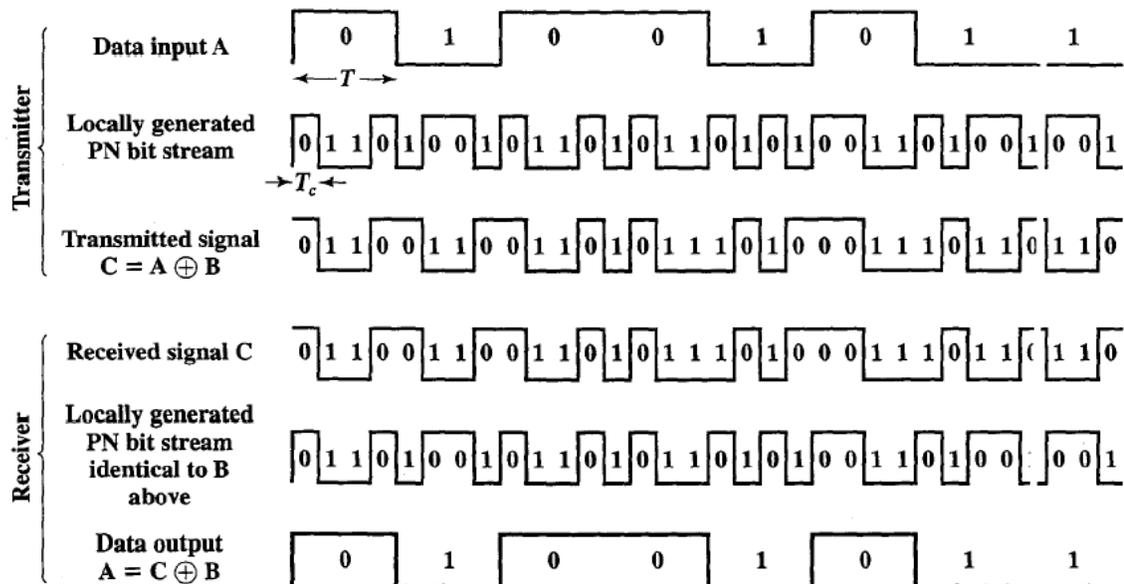


Figura 5: Ejemplo de DSSS [8].

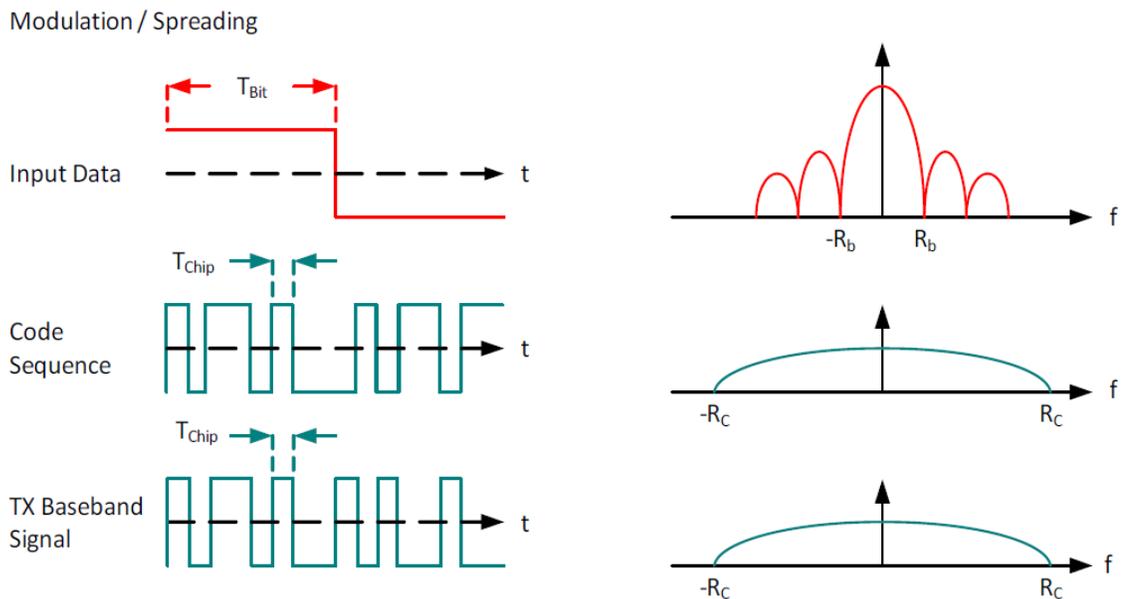


Figura 6: Ejemplo de esparcimiento SS.

La Figura 6 muestra el efecto del esparcimiento en el dominio de la frecuencia. La señal original, que ocupa un ancho de banda estrecho, se expande al multiplicarla por el código de esparcimiento, ocupando un ancho de banda mucho mayor.

Aunque LoRa utiliza una técnica de modulación diferente (Chirp Spread Spectrum), comparte con DSSS el principio fundamental de esparcir la señal para mejorar su robustez y eficiencia. Ambas técnicas permiten transmitir información de manera confiable en entornos desafiantes, como aquellos con interferencias o multitrayecto.

2.2 Contexto y análisis de tecnologías LoRa

2.2.1 LPWAN

Las redes de área amplia y baja potencia (LPWAN, por sus siglas en inglés) se han consolidado como una solución fundamental en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT) debido a su capacidad para proporcionar conectividad inalámbrica a un gran número de dispositivos con un alcance extenso y un bajo consumo energético. Estas redes son ideales para aplicaciones donde se necesita transmitir pequeñas cantidades de datos a largas distancias, sin requerir una infraestructura compleja o costosa. En este contexto, se han desarrollado diversas tecnologías para atender diferentes necesidades de alcance y tasa de datos. Entre ellas, LoRa se ha destacado por su capacidad para ofrecer comunicaciones de largo alcance, su robustez en entornos con interferencias y su operación en bandas ISM sin licencia, lo que reduce los costos en comparación con otras tecnologías como NB-IoT y Sigfox, que poseen características similares. No obstante, es crucial comprender que la elección de una tecnología LPWAN depende en gran medida de los requisitos específicos de cada aplicación, como el alcance, la tasa de datos y el nivel de tolerancia a la latencia. En la Figura 7 se presenta una comparación visual de distintas tecnologías en relación con su tasa de datos y rango de cobertura.

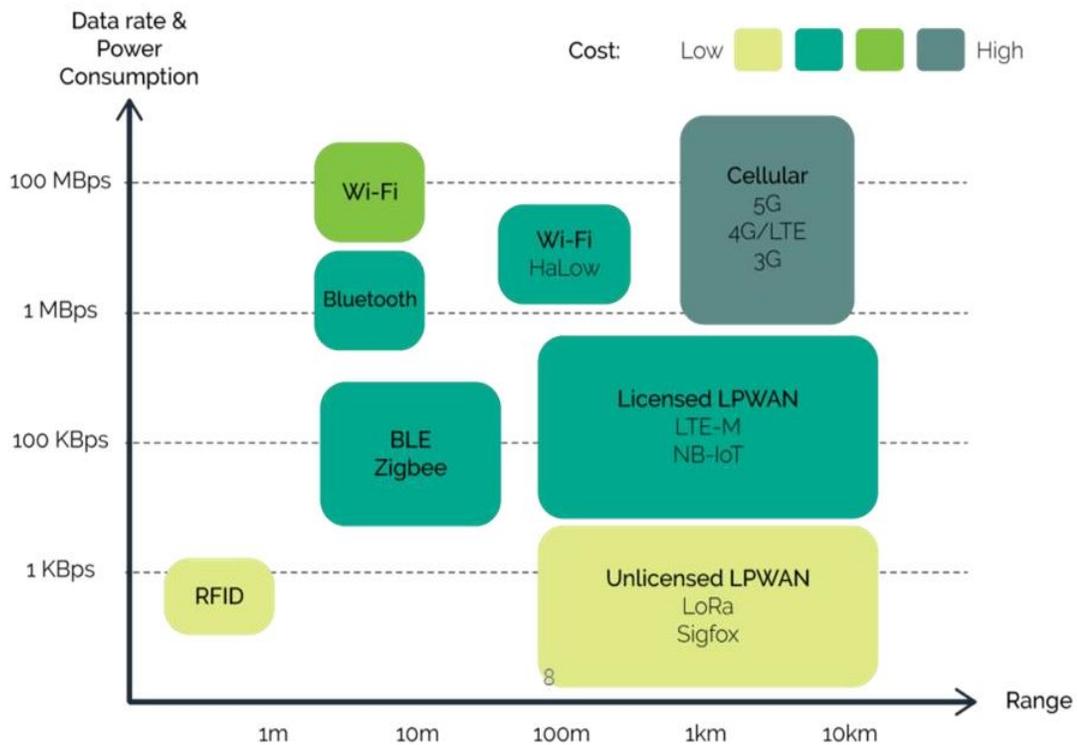


Figura 7: Comparativa de tecnologías LPWAN: Alcance vs. Tasa de datos [1].

En cuanto a la eficiencia espectral, la cual se define como:

$$\text{Spectral Efficiency} = \frac{\text{Data rate or Throughput (bps)}}{\text{Channel Bandwidth (Hz)}}$$

A diferencia de otras tecnologías dentro del ámbito de las LPWAN, LoRa utiliza una modulación de espectro ensanchado, cuya explicación se detallará más adelante. Este tipo de modulación hace que tanto la tasa de datos como el ancho de banda (BW) sean variables y dependan directamente del Spread Factor (SF).

En términos de eficiencia, LoRa se encuentra por debajo de otras tecnologías como NB-IoT y Sigfox. Esto se debe a que, aunque NB-IoT no cuenta con un ancho de banda amplio, su tasa de datos es superior. Por otro lado, Sigfox, con un ancho de banda y tasa de datos más estrechos, logra ser más eficiente en comparación. En la Tabla 1 se presentan algunos valores de eficiencia espectral de LoRa, como se expone en [9], donde se destaca su dependencia del Spread Factor (SF).

$M = 2^{SF}$	$SE \left[\frac{bps}{Hz} \right]$
2^3	0,375
2^5	0,156
2^7	0,055
2^{10}	0,0098
2^{12}	0,00293

Tabla 1: Eficiencia espectral [9].

2.2.2 LoRa

Es una tecnología inalámbrica propietaria, fue desarrollada por Cycleo en Francia, Cycleo fue adquirida por Semtech en 2012, LoRa utiliza una modulación de amplio espectro (Spread Spectrum). El uso de este tipo de modulación permite una mejor tolerancia al ruido y de esta forma alcanzar largas distancias con un consumo muy bajo de energía, LoRa es el protocolo a Nivel de capa física (Capa OSI Nivel 1) [3].

2.2.3 LoRaWAN

Corresponde al protocolo de comunicación a Nivel de red (Capa OSI Nivel 2,3) que va sobre la capa física LoRa, el protocolo de comunicación LoRaWAN es abierto, esto permite que multitud de fabricantes puedan desarrollar dispositivos y de esta forma abaratar los costes de estos. En la Figura 8 podemos observar en que capas del modelo OSI actúa la tecnología LoRa y el Protocolo LoRaWAN [5].

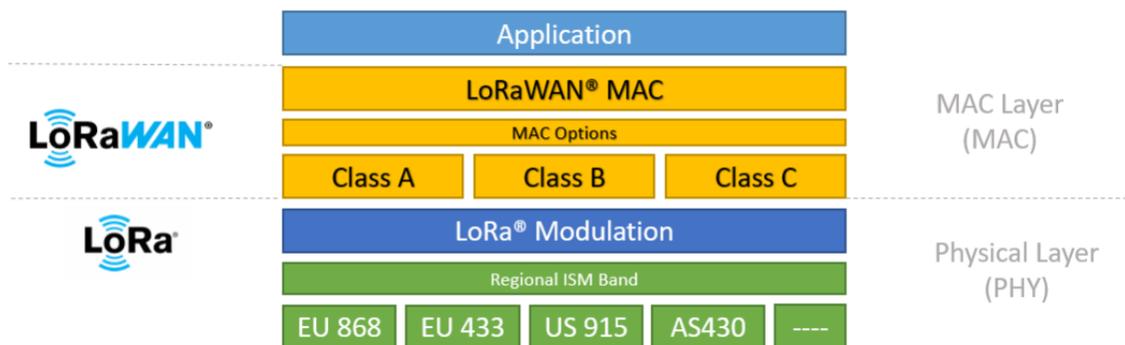


Figura 8: Arquitectura de LoRaWAN en el modelo OSI.

De forma análoga a una red Ethernet se podría decir que LoRa son los cables que conectan los dispositivos en una red Ethernet y LoRaWAN es la comunicación de los dispositivos a nivel de la dirección MAC y de la dirección IP de red de los dispositivos en la red Ethernet.

2.2.4 Formato del paquete

LoRa utiliza dos tipos de formatos de paquetes que se denominan explícitos e implícitos. El paquete explícito es el que incluye un encabezado corto que contiene información sobre el número de bytes, la velocidad de codificación y si se utiliza un CRC en el paquete.

El paquete LoRa consta de tres partes, un preámbulo, encabezado opcional y carga útil de datos como se muestra en la Figura 9 [3].

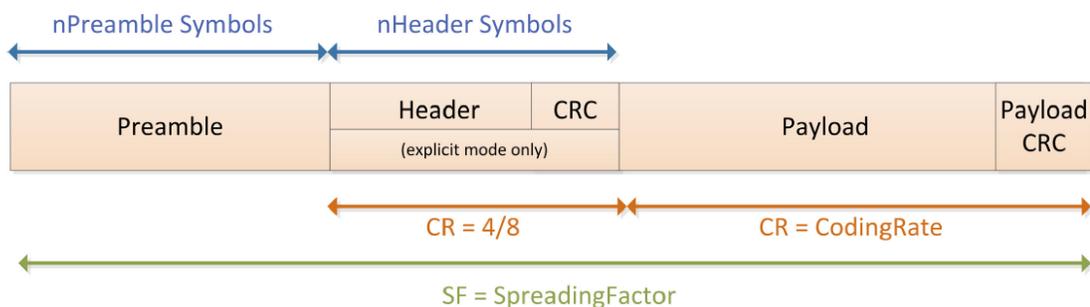


Figura 9: Formato de paquete LoRa.

2.2.5 Modulación

LoRa utiliza la técnica de modulación CSS, Chirp Spread Spectrum, este tipo de modulación utiliza como portadora una señal sinusoidal que aumenta su frecuencia a medida que pasa el tiempo como se puede observar en la Figura 10. Es una modulación sencilla haciendo posible que las tramas a enviar sean robustas al ruido y puedan alcanzarse grandes distancias de recepción.

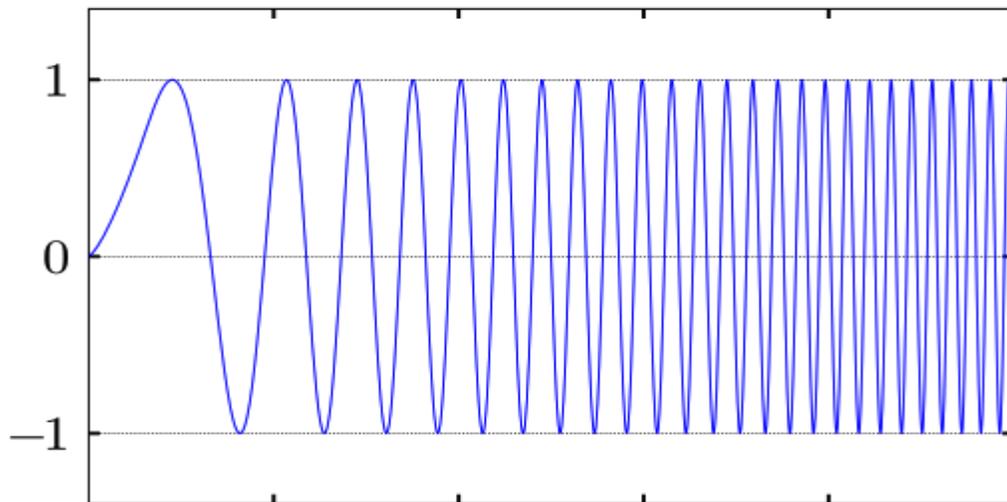


Figura 10: Grafico de Amplitud vs. Tiempo de la señal portadora de CSS, donde se aprecia el aumento progresivo de frecuencia [5].

Un parámetro importante que afecta a la modulación es el Spread Factor (SF), con él se configura la duración de cada símbolo y el “ensanchamiento” que se le otorga. Siendo de mayor inmunidad el SF de mayor valor. por el contrario, este posee una tasa binaria menor al poder ser enviados con un SF menor más símbolos en el mismo periodo.

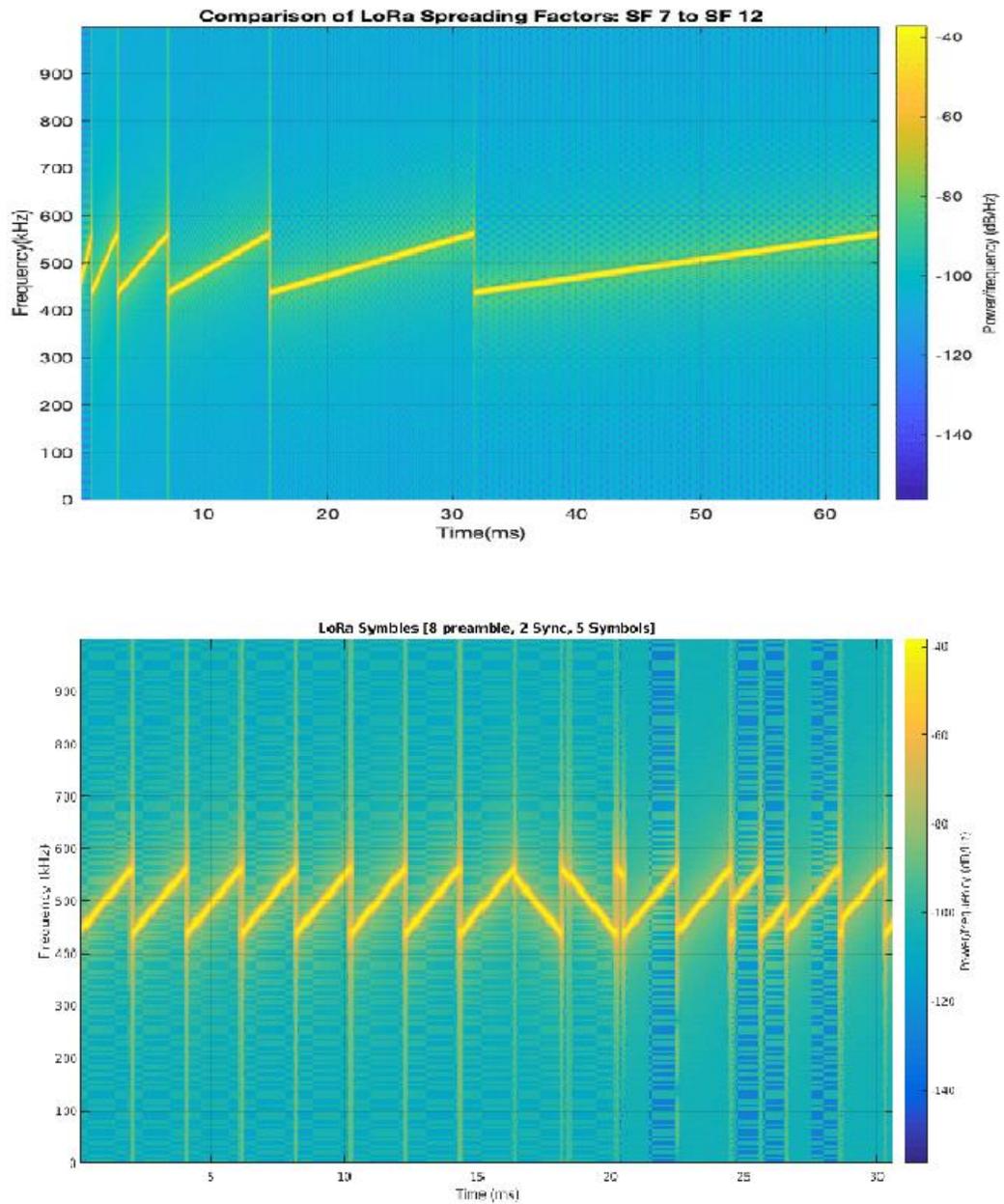


Figura 11: Diferencia de SF y Trama LoRa [3].

En la Figura 11 se observa la comparativa de los diferentes SF utilizados para un mismo símbolo. Se aprecia que el ancho de banda para todos ellos es el mismo

125kHz. También se obtiene de forma clara la diferencia entre un tipo de SF u otro en la duración final de los símbolos. En la segunda imagen se observa una trama LoRa en la que se diferencian claramente el preámbulo, los símbolos de sincronización y los datos [5].

Un dato interesante es que los pulsos chirp son usados en la naturaleza desde hace miles de años por delfines y murciélagos para la ecolocalización y recién fueron patentados durante 1940 para su aplicación en radares.

2.3 Factores que afectan la conectividad y la intensidad de señal en entornos urbanos

2.3.1 SNR

La relación señal-ruido (SNR) es una medida fundamental en las comunicaciones que indica la fuerza de una señal deseada en comparación con el nivel de ruido presente. En términos simples, una alta SNR significa que la señal es mucho más fuerte que el ruido, lo que facilita su detección y decodificación. Una baja SNR, por el contrario, dificulta la recuperación de la señal original, ya que el ruido puede enmascararla.

En el contexto de la tecnología LoRa, la SNR juega un papel crucial en la determinación del alcance y la fiabilidad de la comunicación. Un valor adecuado garantiza que los datos transmitidos puedan ser decodificados correctamente en el receptor, a pesar de la presencia de interferencias y ruido en el canal de comunicación. La modulación LoRa, al ser una técnica de espectro ensanchado, es especialmente robusta frente a condiciones de baja SNR debido a que tiene

la capacidad de trabajar por debajo del nivel de ruido de fondo y puede demodular la señal en un valor SNR de hasta -20 dB, tal como se muestra en la Tabla 2.

Spreading Factor	Chips / symbol	SNR Limit(dB)
7	128	-7,5
8	256	-10
9	512	-12,5
10	1024	-15
11	2048	-17,5
12	4096	-20

Tabla 2: Valores SNR para cada factor de esparcimiento [10].

Esto significa que LoRa puede operar de manera confiable en entornos con niveles de ruido elevados, como los que se encuentran en entornos urbanos o industriales.

2.3.2 RSSI

Son las siglas de Received Signal Strength Indicator, que en español significa Indicador de Fuerza de Señal Recibida. Es un parámetro que mide la potencia de una señal de radio cuando llega a un receptor. En términos más simples, nos indica qué tan fuerte es la señal que está recibiendo un dispositivo y la importancia de su valor radica en lo siguiente:

- Cobertura de red: Un valor de RSSI bajo indica que la señal es débil y por tanto limita el tamaño del área de servicio y cobertura, con lo que se puede provocar pérdidas de paquetes o una mayor latencia en la comunicación al acercarse al borde crítico de dicha zona de cobertura.

- Bloqueos, obstáculos y multitrayecto: Un RSSI bajo también puede ser causado por obstáculos y bloqueos físicos que incrementan la atenuación, dificultan la propagación y penetración de las señales de radio en los distintos entornos. Asimismo, el efecto de desvanecimiento selectivo en frecuencia debido a propagación multitrayecto puede resultar en una reducción permanente (canal fijo) o temporal (canal móvil) del RSSI en puntos específicos de la banda utilizada.
- Distancia: A medida que aumenta la distancia entre el transmisor y el receptor, el RSSI tiende a disminuir debido a la atenuación de la señal.
- Calidad de servicio: Un RSSI adecuado es esencial para garantizar una comunicación confiable y estable en una red LoRa.

El RSSI se expresa en unidades de dBm (decibelios-milivatios) o en milivatios (mW), y está directamente relacionado con la tasa de error de bits (BER por sus siglas en ingles). A menor RSSI, mayor es la probabilidad de que se produzcan errores en la decodificación de los datos. Por lo tanto, establecer un umbral de RSSI mínimo es crucial para garantizar un nivel de servicio aceptable en una red LoRa.

2.3.3 Ruido y Pérdidas

Existen tres factores fundamentales en la degradación del SNR, por un lado, las pérdidas que hacen referencia a la energía de la señal transmitida que no llega al receptor por efectos de absorción, reflexión, difracción y scattering (dispersión),

por otro lado, el ruido que hace referencia a la energía de ondas que generan interferencia junto a la señal transmitida y finalmente el ruido térmico. Estos factores afectan la inteligibilidad de la señal original al llegar al receptor. En la Figura 12 se puede apreciar la pérdida de información transmitida debido al ruido.

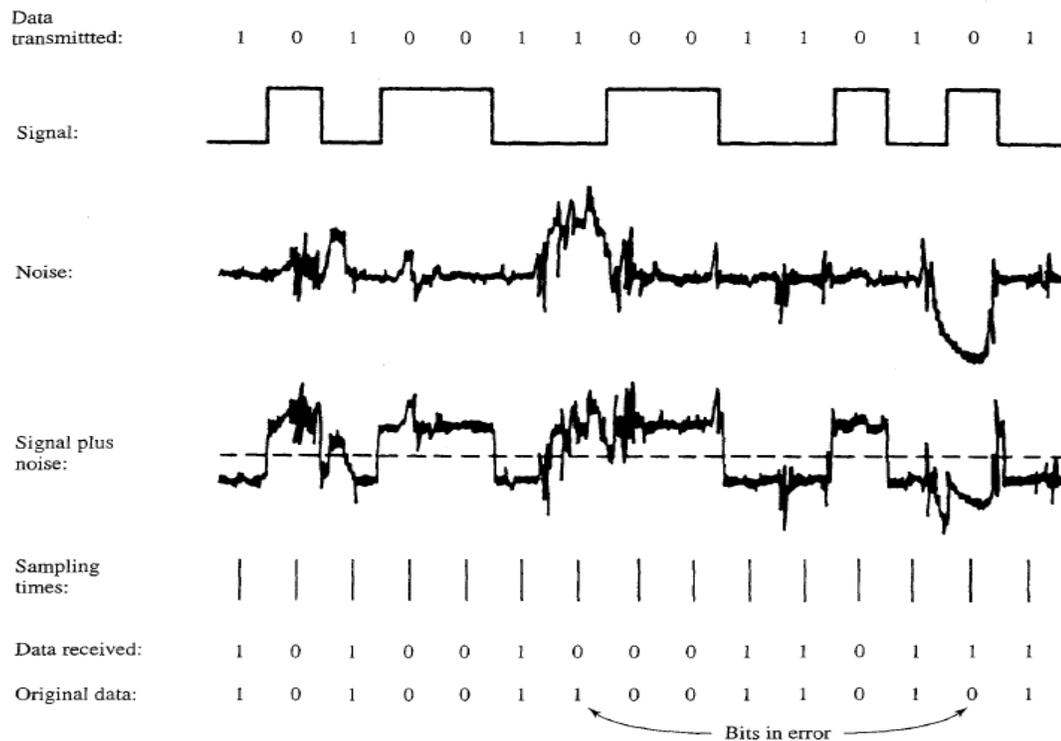


Figura 12: Ejemplo de un error de bit, causado por ruido AWG [8].

Como ya se esclareció anteriormente, las transmisiones inalámbricas tienen mayor tasa de error de bits que los medios cableados, es por esto que los protocolos de enlaces inalámbricos emplean potentes códigos de chequeo de redundancia cíclica (CRC según sus siglas en inglés) y transferencia fiable, con el objetivo de retransmitir tramas erradas. Además, los protocolos de capa física

se diseñan para tratar de resolver las problemáticas intrínsecas de los canales de enlace Wireless, algunas de estas complejidades son [6]:

- **Intensidad Decreciente de la señal:** La radiación electromagnética se atenúa a medida que atraviesa el canal, inclusive en el espacio vacío debido a que se dispersa, como resultado la intensidad de señal decrece siempre a medida que se incrementa la distancia entre el emisor y el receptor. Esto también es conocido como pérdida de propagación o path loss o free space loss.
- **Interferencia de otras fuentes:** Un receptor que recibe la intensidad de señal en cierta banda de frecuencia, escuchará todas las fuentes de radio que transmiten en esa banda, por lo tanto, todas las fuentes que no sean el emisor como tal generar interferencia. Además de otras fuentes de transmisión, existe el ruido electromagnético (EM) presente en el entorno que también genera interferencia pues está distribuido en todas las frecuencias del espectro EM.
- **Pérdida de propagación multicamino:** Este efecto, también conocido como multipath fading, tiene lugar cuando partes de la onda EM se reflejan en los objetos y en el suelo, tomando caminos de diferentes longitudes entre el emisor y el receptor. Como resultado la señal del emisor llega desde distintos ángulos y con diferentes retardos. Se pueden ver tres ejemplos importantes de multipath en la Figura 13 ; Reflexion (R), Scattering (S) y Difracción (D).

- El factor de atenuación estructural determina la pérdida de potencia de una señal de radio al atravesar diferentes materiales. Esta atenuación, expresada en decibelios (dB), varía según el tipo de material y su espesor. Por ejemplo, el vidrio presenta una atenuación significativamente menor que el hormigón. Este fenómeno influye directamente en el alcance y la calidad de las comunicaciones inalámbricas, especialmente en entornos urbanos con múltiples obstáculos. En la Tabla 3 podemos observar distintos materiales y su atenuación más común.

Materiales de construcción	Atenuación (db)
Vidrio (6mm)	0,8
Vidrio (13mm)	2
Madera (76mm)	2,8
Ladrillo (89mm)	3,5
Ladrillo (178mm)	5
Ladrillo (267mm)	7
Hormigón(102mm)	12
Muro de Piedra(203mm)	12
Bloques de hormigón(192mm)	14
Muro de Piedra(406mm)	17
Hormigón(203mm)	23
Hormigón armado(89mm)	27
Muro de piedra(610mm)	28
Hormigón(305mm)	35

Tabla 3: atenuación para diferentes materiales de construcción [1].

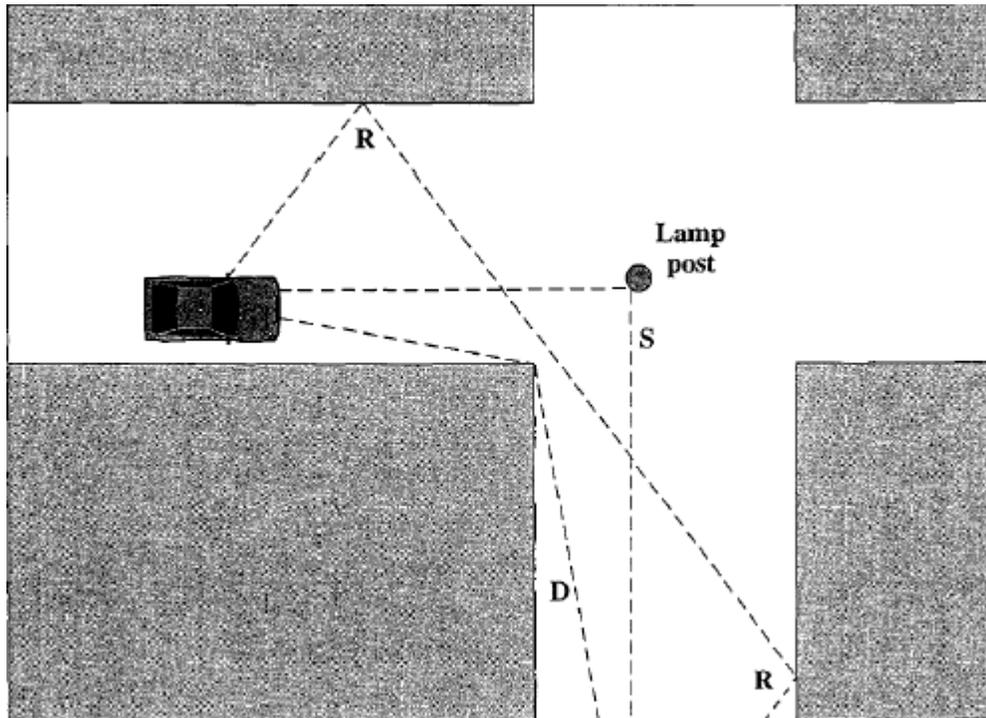


Figura 13: Ejemplos de propagación multicamino [8].

Existe un modelo estadístico llamado Rayleigh que es utilizado en comunicaciones inalámbricas para describir la fluctuación aleatoria de la amplitud de una señal recibida debido a múltiples trayectorias de propagación. En términos más simples, imagina que una señal de radio viaja por varios caminos para llegar a su destino, como si rebotara en edificios u obstáculos. Al llegar al receptor, estas diferentes versiones de la señal se suman, pero con diferentes fases y amplitudes, lo que resulta en una señal recibida que fluctúa en el tiempo. Como se ve en la Figura 14 este desvanecimiento es típicamente lento y plano a medida que se aumenta el radio de cobertura (en caso de cobertura omnidireccional).

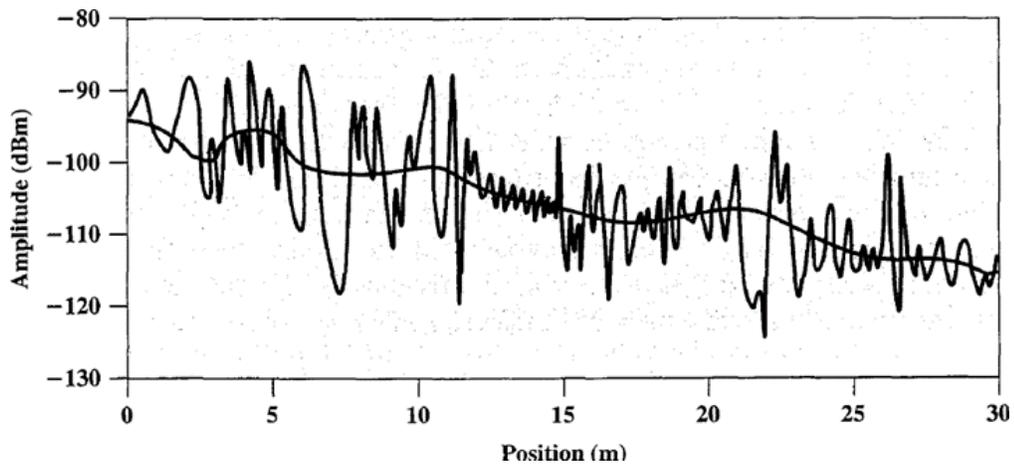


Figura 14: Típico desvanecimiento lento y plano en ambientes urbanos [8].

Si volcamos nuestra atención en el nodo receptor de la señal EM y consideramos las problemáticas del medio antes descritas, nos damos cuenta que la señal recibida en la antena receptora es una combinación de la señal original emitida por el emisor, degradada por el medio, y del ruido de fondo. Es debido a esto que la relación de señal a ruido (SNR) en unidades de decibelios (dB), es la medida más utilizada para evaluar el desempeño de un protocolo de comunicación Wireless, mientras mayor sea el SNR más fácil será para el receptor extraer la trama transmitida del ruido de fondo.

2.4 Análisis similares alrededor del mundo

En este punto se presentarán un par de ejemplos de pruebas de cobertura LoRa en un escenario urbano en distintas ciudades, cada cual con sus distintos desafíos y objetivos.

2.4.1 Evaluación de comunicaciones por radio de larga distancia y baja potencia en áreas urbanas

Las pruebas fueron realizadas en la Universidad Técnica Karadeniz Trabzon, Turquía, y los resultados fueron publicados en un documento el año 2019 [10]. Para las mediciones se utilizó el edificio de la universidad y otros circundantes que se muestran en la Figura 15. Las condiciones urbanas a considerar son las siguientes: hay edificios abarrotados, árboles densos y diferencia de altura entre el transmisor y el receptor. En cuanto al hardware se utilizó el kit Discovery B-L072Z-LRWAN1 de la marca ST, que contiene el chip Semtech SX1276. El kit es capaz tanto de recibir como de transmitir datos. Gracias a la estructura incorporada, la información del GPS se puede leer con la ayuda de la pantalla. Valores RSSI y SNR accesibles a través de una PC que monitorea el puerto serie (UART). El kit ST LoRa y el sistema GPS.

El punto rojo en el mapa de la Figura 15. La imagen representa el transceptor base en el edificio de la universidad. Las manchas amarillas que se ven en diferentes lugares muestran a los destinatarios. Para los puntos de medición mostrados con los números del 1 al 6, solo en el punto de medición 1, el transmisor y el receptor se encuentran en la misma elevación mientras que en las demás mediciones los puntos están ubicados en elevaciones significativamente diferentes a las del transceptor base.



Figura 15: Mapa de ubicaciones prueba de cobertura.

Las mediciones de LoRa se ejecutaron a diferentes distancias y en diferentes condiciones urbanas. Las distancias que se pueden comunicar van desde los 300 metros hasta los 2,2 km. Las condiciones urbanas pueden considerarse como urbanas densas y medianamente densas, esto implica que no hay línea de vista (LOS) entre los transceptores durante la duración de las mediciones. En la radio LoRa, los valores del SF se cambiaron a 7, 10 y 12 y las mediciones se realizaron a las mismas distancias. Los valores que se fijan en la aplicación son los siguientes:

- Power transmission: 20 dBm.
- Bandwidth: 125 kHz.
- Coding rate: 4/8.
- Radio frequency: 868MHz

En el transcurso del estudio, se observaron valores RSSI y SNR para cada SF, este factor tiene un impacto significativo en la cobertura. En la Tabla 4 se presentan los valores de RSSI obtenidos en las pruebas, y las áreas grises indican que no hay comunicación.

SF/Places(meter)	1 (651)	2 (371)	3 (944)	4 (1120)	5 (1910)	6 (2200)
7		-105	-105	-112		
10	-113	-113	-125	-122		
12	-126	-109	-125	-129	-133	-126

Tabla 4: Resultados RSSI (dBm).

El factor de dispersión bajo proporciona una ventaja cuando se consideran distancias más cortas. Especialmente en aplicaciones donde se requiere una alta velocidad de datos, se deben preferir los valores más bajos para el factor de dispersión. Como puede verse en las mediciones, a largas distancias no se podían alcanzar 7 o 10 valores del factor de dispersión. Por lo tanto, cuando se trata de una distancia larga, el factor de dispersión 12 podría ser la única opción.

Las condiciones geográficas probadas no proporcionan visibilidad directa y hay caminos de elevación difíciles en las mediciones. Esto afecta en gran medida las comunicaciones entre dispositivos. Sin embargo, en caso de visibilidad directa, la comunicación se podría realizar a distancias mucho mayores. Al mismo tiempo, en comparación con las condiciones urbanas, se pueden alcanzar valores RSSI más altos cuando se evalúan las mismas distancias.

Los resultados de la medición de SNR se observan en la Tabla 5, el factor de dispersión 7 tiene mejores valores que los más altos. Aunque tenemos los valores SNR proporcionados por la hoja de datos en la tabla anterior, se obtuvieron valores más bajos durante la aplicación. Esta diferencia es un ejemplo digno para el propósito de estas pruebas.

SF/Places(meter)	1 (651)	2 (371)	3 (944)	4 (1120)	5 (1910)	6 (2200)
7		-4	-5	-9		
10	-7	-9	-16	-16		
12	-8	0	-12	-17	-15	-13

Tabla 5: Resultados SNR.

2.4.2 Evaluación de la cobertura de la red LoRa en zonas urbanas y Entorno densamente urbano

Pruebas de simulación y validación en la Ciudad de Córdoba y la Autónoma de Buenos Aires, y los resultados fueron publicados en un documento el año 2017 [11]. Este trabajo muestra un análisis de cobertura y la validación de los datos simulados mediante ensayos en campo para una red LoRaWAN desplegada en un ambiente tanto urbano como densamente urbano. Para lograr el objetivo se realizaron dos campañas de validación de datos simulados, una en la Ciudad de Córdoba (ambiente urbano, con edificios de hasta 50 metros) y otra en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (ambiente densamente urbano, con edificios de hasta 175 metros). Con los datos obtenidos en la Ciudad de Córdoba se ajustaron los parámetros de simulación permitiendo así validar las simulaciones en ambientes urbanos.

Se realizaron simulaciones de RF utilizando el software CloudRF con el objetivo de estimar el área de cobertura de un Gateway LoRa. En la Tabla 6 se presentan los parámetros de simulación utilizados. Estos surgen a partir de las hojas de datos de los dispositivos utilizados y del contexto en el que se realizarán las simulaciones y posteriores ensayos.

Parámetro	Configuración
Patrón de Antena	Isotrópica
Ganancia de Antena TX	6 dBi
Altura de Antena TX	40 m / 33 m
Potencia del TX	20 dBm
Ganancia de Antena RX	0 dBi
Altura de Antena RX	1 m
Sensibilidad del RX	-137 dBm
Frecuencia	915 MHz
Piso de Ruido	-90 dBm / -95 dBm
Ancho de Banda	1 MHz
Bit Error Rate (BER)	1×10^{-5} (90%)
Modelo de Propagación	ITWOM
Clima	Continental Templado
Altura de Clutter	30 m
Conductividad del Terreno	Ciudad con Concreto
Ubicación de Estación Terrena	Latitud y Longitud

Tabla 6: Parámetros de simulación.

Luego de realizar un análisis sobre los diferentes modelos de propagación disponibles en la herramienta de simulación se decidió utilizar el modelo de ITWOM (Irregular Terrain With Obstructions Model) ya que es el que mejor representa las condiciones del escenario planteado en este trabajo.

Se realizaron simulaciones para la Ciudad de Córdoba y para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, pudiéndose observar los resultados en la Figura 16 y Figura 17 respectivamente. De acuerdo a estas imágenes, los resultados son sumamente optimistas, logrando una cobertura mayor a 5 kilómetros desde la radio-base y con un nivel de señal alto, pero a la vez irregular según la zona. Estos valores serán ajustados con los datos obtenidos en los ensayos de campo.

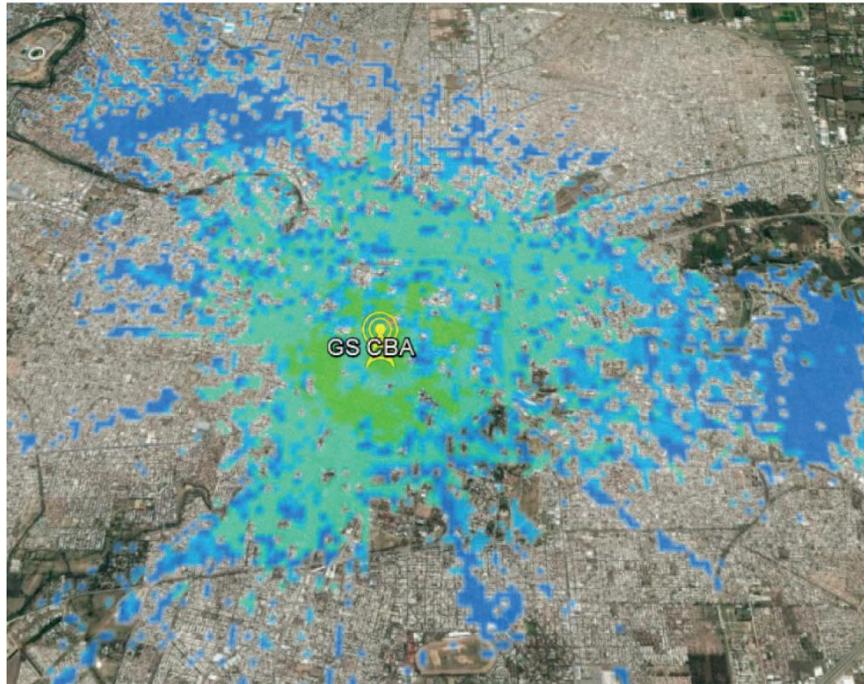


Figura 16: Resultados de simulación de cobertura en la Ciudad de Córdoba sin ajustar el simulador.

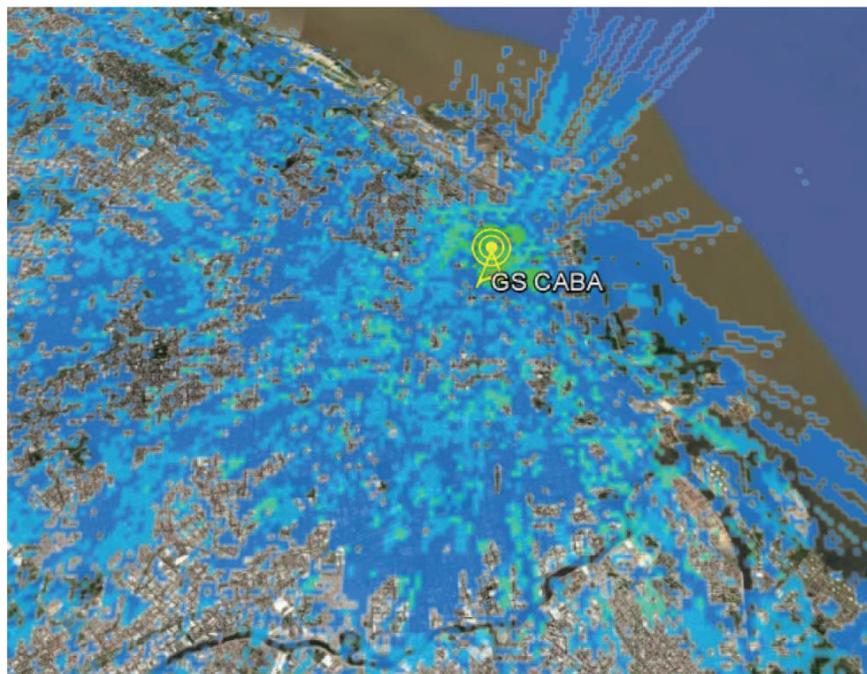


Figura 17: Resultados de simulación de cobertura en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires sin ajustar el simulador.

Se realizaron ensayos de campo caminando por las principales calles de la Ciudad de Córdoba para relevar datos que permitan ajustar y validar las simulaciones. Los dispositivos remotos fueron ubicados en una mochila y se programaron para transmitir la posición determinada por GPS cada 20 segundos y se relevó un área de 2 kilómetros de radio alrededor de la radio-base. En la Figura 18 se puede observar la topología de la red utilizada durante el ensayo.

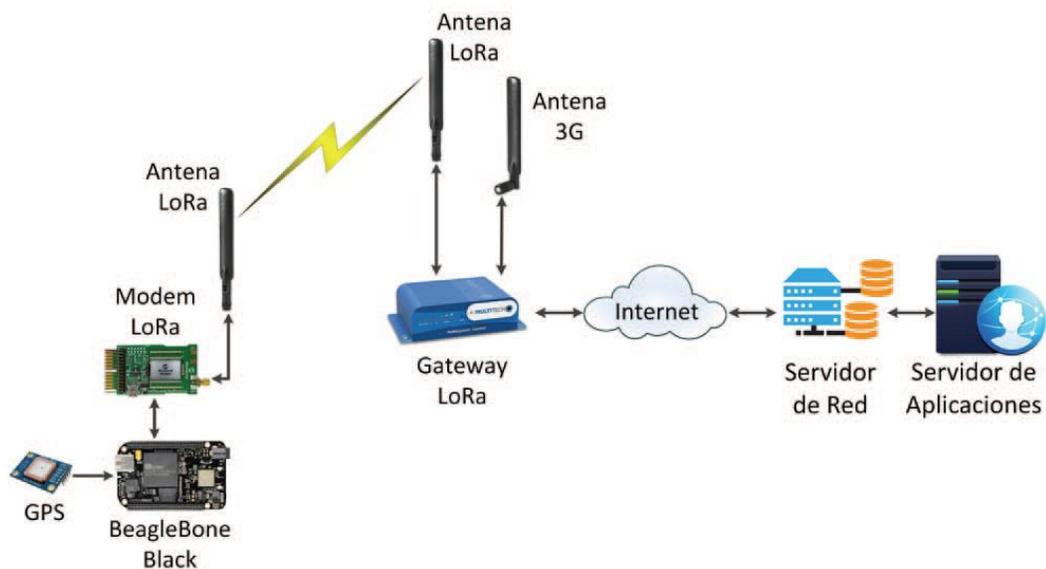


Figura 18: Diagrama general de la red.

Con la información relevada durante los ensayos se modificaron los parámetros de ganancia de antena transmisora y sensibilidad del receptor para ajustar el modelo de simulación a las condiciones reales del ensayo. Se redujo la ganancia de antena de transmisión para incluir las pérdidas de inserción de cableado y conectores. También se disminuyó la sensibilidad del receptor para incluir las pérdidas producidas por la ubicación del dispositivo remoto (próximo al cuerpo humano). Por último, se midió la potencia a la salida de los módems LoRa con el analizador de espectro y se corroboró que la potencia efectiva es 1 dBm menor

a la configurada. En la Figura 19 se observan los resultados obtenidos tanto para la simulación como para el ensayo realizado en el ambiente urbano. Con un círculo rojo se marca un radio de 1,6 kilómetros desde la radio-base.

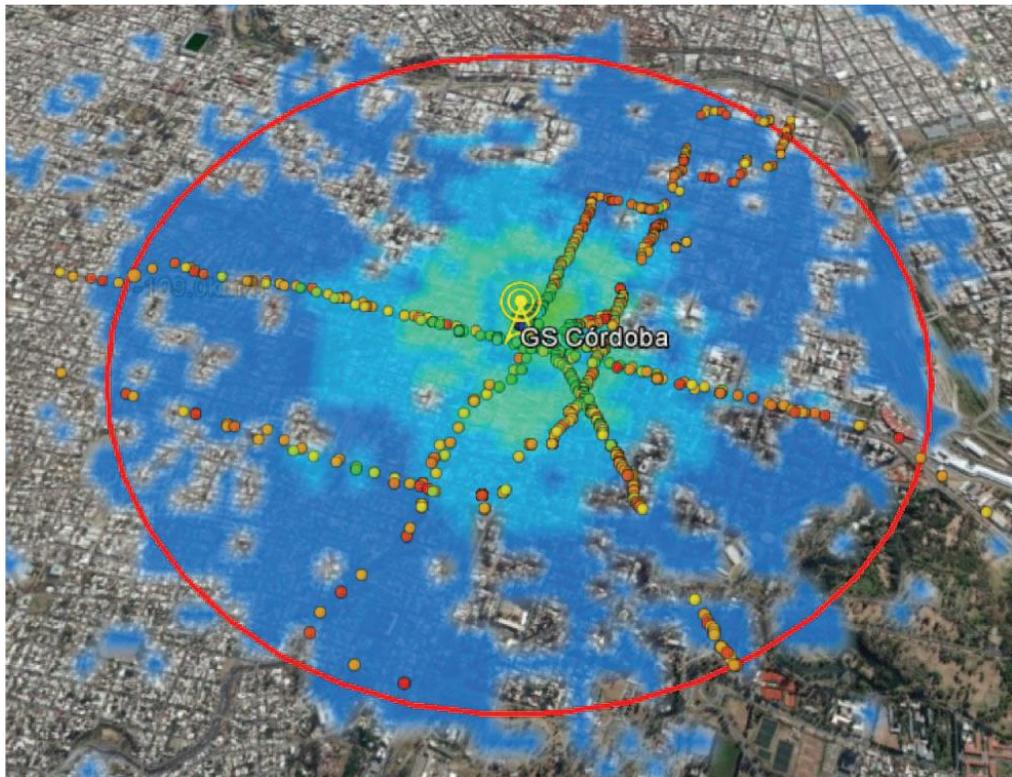


Figura 19: Resultados de simulación de cobertura ajustada y mediciones en la Ciudad de Córdoba.

Luego, al igual que en Córdoba, se realizaron ensayos caminando por las calles que rodeaban a la radio-base de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires para realizar las pruebas y ajustar los parámetros de simulación correspondientes a un ambiente densamente urbano. Esta se ajustó inicialmente con los parámetros para ambiente urbano, sabiendo a priori que los mismos deberán ser reajustados. La configuración de los dispositivos remotos fue igual a la utilizada en los ensayos

de la Ciudad de Córdoba. Los datos relevados permitieron ajustar el modelo de simulación a este ambiente, disminuyendo la sensibilidad del receptor en aproximadamente un 20%, compensando así las mayores pérdidas del ambiente densamente urbano. Los resultados se pueden observar en la Figura 20, en donde se superpone la simulación con los valores obtenidos en los ensayos (puntos). También se incluye un círculo rojo de 1 kilómetro de radio alrededor de la radio base.



Figura 20: Resultados de simulación de cobertura ajustada y mediciones en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Capítulo 3. Elementos de Hardware y Software

3.1 Hardware

En esta sección se detallan las principales características técnicas y funcionales del dispositivo seleccionado para el análisis de cobertura. Además, se describirán las especificaciones técnicas de las antenas que se utilizarán durante las mediciones, subrayando su relevancia en el desarrollo de las pruebas.

3.1.1 Dispositivo principal

En esta sección se describen las características del dispositivo escogido para llevar a cabo las pruebas de cobertura.

La Lilygo T-Beam ESP32, desarrollada por LILYGO®, fue elegida para las pruebas de cobertura por su popularidad en el ámbito del IoT y la tecnología LoRa. Su versatilidad, facilidad de uso y amplia disponibilidad la convierten en una opción ideal para analizar el rendimiento de LoRa en entornos urbanos. A continuación, se detallan algunas de sus principales especificaciones técnicas:

- Corazón de la placa: cuenta con un microcontrolador ESP32 de doble núcleo, Wi-Fi y Bluetooth integrados, y una amplia variedad de periféricos para una máxima flexibilidad.
- Comunicación de largo alcance: incorpora un módulo LoRa SX1276 para una transmisión de datos confiable a grandes distancias y bajo consumo energético con una alta sensibilidad de hasta -148 dBm.
- Antena GPS: la placa viene equipada con una antena GPS cerámica para determinar la ubicación geográfica en tiempo real.
- Autonomía: batería recargable 18650 de alta capacidad para un funcionamiento independiente y su duración dependerá de su configuración, tales como el uso del GPS, transmisiones frecuentes, tiempo activo de la pantalla, etc.
- Conectividad versátil: puerto USB para programación y expansión, además de múltiples pines de entrada/salida para conectar sensores y actuadores.

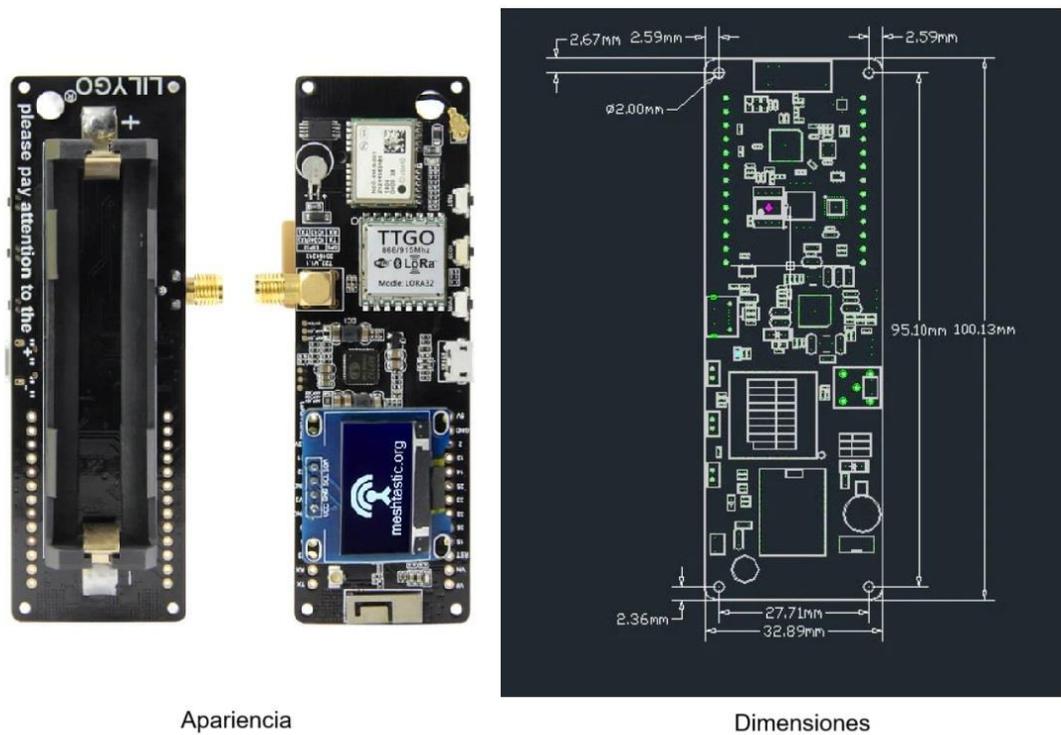


Figura 21: Placa de desarrollo LILYGO® T-Beam v1.1 [12].

3.1.2 Antenas

En esta sección se describen las características de las antenas seleccionadas para las pruebas de cobertura. La antena omnidireccional se destaca como la mejor opción para este tipo de pruebas, debido a su diseño que permite irradiar señales de manera uniforme en todas las direcciones dentro de un plano específico, generalmente el plano horizontal. Estas antenas son ampliamente utilizadas en comunicaciones inalámbricas por su capacidad de cubrir grandes áreas de forma homogénea, sin necesidad de orientarlas hacia una dirección particular. Esto las convierte en una excelente opción para dispositivos IoT, ya

que permiten que los receptores se ubiquen en cualquier dirección con respecto de la antena transmisora.

Su característica distintiva es el patrón de radiación, que en condiciones ideales es uniforme en el plano horizontal, formando un diagrama de radiación circular. En el plano vertical, sin embargo, el patrón de radiación adopta la forma de uno o varios lóbulos, lo que refleja variaciones en la intensidad de la señal a medida que se aleja de la antena en distintas direcciones verticales. Al observar el patrón en tres dimensiones, se asemeja a un toroide (con forma de donut), con la antena en el centro, como se muestra en la Figura 22. La radiación es máxima en el plano perpendicular al eje de la antena y mínima a lo largo de este eje.

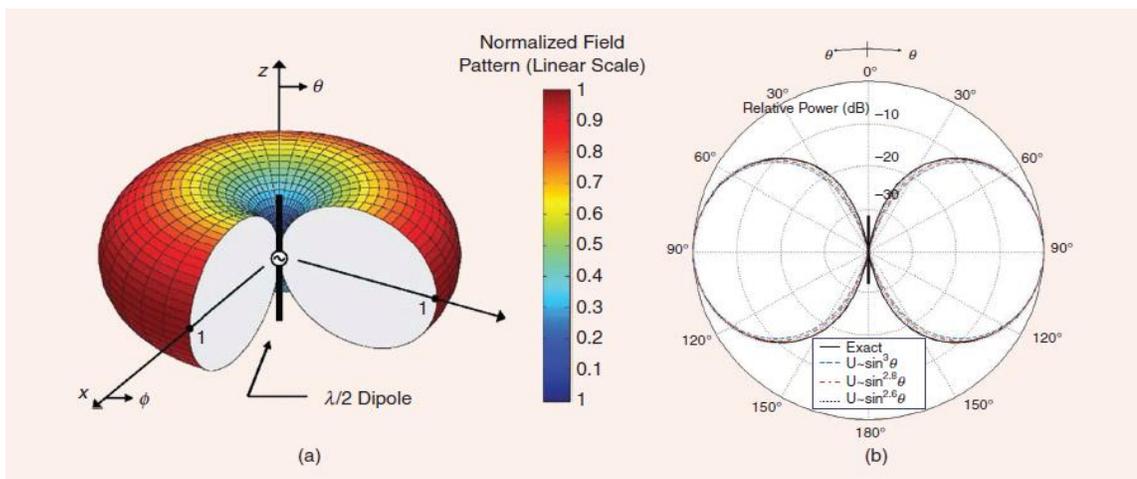


Figura 22: Patrón de radiación dipolo de media onda en 3D(a) y 2D(b) [13].

Las principales variables que caracterizan a una antena omnidireccional son:

- Frecuencia de operación: Afecta tanto al tamaño físico de la antena como a su patrón de radiación. Las antenas deben ser diseñadas para operar a frecuencias específicas para maximizar la eficiencia.
- Ganancia: Es una medida de la directividad de la antena y se expresa en dBi (decibelios sobre isotrópico). En este caso, la ganancia indica cómo se concentra la energía radiada en el plano horizontal. Una mayor ganancia implica un patrón de radiación más aplanado en el plano vertical, lo que puede ser beneficioso para cubrir mayores distancias horizontales.
- Impedancia: Es la relación entre la tensión y la corriente en los terminales de la antena y debe ser adaptada a la impedancia característica de la línea de transmisión.
- Polarización: Indica la orientación del campo eléctrico de la onda radiada. Las antenas omnidireccionales pueden ser polarizadas linealmente (vertical u horizontal) o circularmente.

Al comprender las variables relevantes y los patrones de radiación de estas antenas, podemos seleccionar la antena adecuada para cada aplicación y optimizar el rendimiento de nuestros sistemas de comunicación. A continuación, en la Tabla 7 se observa una comparativa de las 3 antenas a utilizar en el desarrollo de las pruebas.

Características	Antenas		
	LILYGO® SMA Antenna	VERT900 Antenna	SIGNALPLUS LoRa Antena
Radiación	Omnidireccional	Omnidireccional	Omnidireccional
Polarización	Lineal	Lineal	Lineal
Rango de Frecuencia	868~915-2400~2500MHz	824~960-1710~1990MHz	824~960MHz
Ganancia	2dBi	3dBi	5.8dBi
Impedancia	50Ω	50Ω	50Ω
Conector	SMA(Male)	SMA(Male)	SMA(Male)
Cable	N/A	N/A	RG58 (3mts)

Tabla 7: Caracterización de las antenas a utilizar en las pruebas (ver anexo).

3.1.3 Software

En esta sección, se describe el software seleccionado para el desarrollo de las pruebas de cobertura. A continuación, se detalla la plataforma utilizada:

Meshtastic es una plataforma de software de código abierto basado en Python diseñada para facilitar la comunicación y el seguimiento georreferencial en redes mesh basadas en dispositivos que utilizan la tecnología LoRa, en este caso la T-Beam. Esta plataforma proporciona una serie de características y funcionalidades

que son relevantes para el proyecto. A continuación, se destacan algunas de ellas:

- **Monitoreo de la Intensidad de Señal:** Proporciona información sobre la intensidad de la señal recibida en cada nodo, lo que permite analizar la cobertura de cada dispositivo. Los datos recolectados pueden graficarse para mostrar cómo varía la señal según la distancia y los obstáculos en el entorno.
- **Registro de Posiciones Geográficas:** Gracias a los módulos con GPS, se puede realizar un mapeo detallado de la cobertura en función de la ubicación geográfica. Esta característica es fundamental para generar mapas de calor y visualizar las zonas con mejor y peor recepción de señal.
- **Evaluación de la Calidad de la Red:** El software en su aplicación de test de cobertura nos entrega datos relevantes como lo son el SNR y RSSI. Estos parámetros son útiles para determinar la efectividad de la red en condiciones reales.
- **Análisis de Factores Ambientales:** Durante las pruebas, se pueden evaluar cómo factores como edificios, árboles u otros obstáculos influyen en la cobertura, combinado con la información de intensidad de señal y GPS, permite analizar cómo el entorno impacta la propagación de la señal.
- **Interfaz de usuario intuitiva:** La plataforma ofrece una interfaz de usuario amigable y de fácil comprensión, y cuenta con una aplicación disponible para Android y iOS que permite la configuración de los nodos, la visualización de la ubicación en mapas interactivos y la gestión de la red.

3.1.4 Firmware

El firmware es el software que controla el funcionamiento interno de dispositivos compatibles con Meshtastic, como la T-Beam. Actúa como el núcleo de la red LoRa, gestionando la comunicación entre nodos, la configuración del hardware LoRa, y otras funcionalidades como la geolocalización mediante GPS y el intercambio de mensajes.

Como plataforma de código abierto, Meshtastic ofrece varias versiones de firmware, que se clasifican de la siguiente manera:

- **Stable:** Conjunto de funciones probadas y revisadas por los contribuyentes al desarrollo de la plataforma.

- **Alpha:** Nuevas propuestas con cambios y funciones experimentales, disponibles para aquellos que deseen probarlas.

- **Bleeding:** Última compilación exitosa del código, destinada a quienes deseen experimentar con las características más recientes.

La configuración de la radio puede realizarse mediante distintos métodos, como la interfaz Meshtastic Web, que se ejecuta directamente en el navegador (preferiblemente Chrome); la interfaz de línea de comandos de Python, que ofrece una API sencilla para enviar y recibir mensajes; mediante una aplicación nativa de Linux utilizando Visual Studio Code; o a través de las aplicaciones disponibles para Android y iOS. Las primeras tres opciones permiten la comunicación serial a través de un puerto USB o mediante la asignación de una

IP fija al dispositivo. En todas las opciones, también es posible establecer comunicación a través de Bluetooth, siempre que el equipo sea compatible.

Independientemente del método utilizado, todas las configuraciones se basan en las secciones definidas dentro del firmware de Meshtastic, descritas en la Tabla 8. Estas secciones están estructuradas de manera que puedan enviarse como pequeños mensajes de administración a través de la malla, lo que permite realizar configuraciones de forma remota. Es importante destacar que cada cambio debe configurarse individualmente, ya que el dispositivo se reinicia con cada modificación para guardar la nueva configuración.

Nombre	Descripción de las opciones de configuración
Bluetooth	Habilitado, Modo de emparejamiento y PIN fijo.
Channels	Índice, Rol y Configuración.
Device	Función del dispositivo, Salida en serie, Registro de depuración y Restablecimiento de fábrica.
Display	Duración de pantalla encendida, Intervalo de carrusel automático, Apuntar siempre al norte y Formato GPS.
LoRa	Región, Modos preestablecidos, Saltos máximos, Potencia de transmisión, Ancho de banda, Factor de expansión, Velocidad de codificación, Desplazamiento de frecuencia, Transmisión deshabilitada e Ignorar matriz entrante.
Network	Wi-Fi habilitado, Wi-Fi SSID, Wi-Fi PSK, Modo Wi-Fi y Servidor NTP.
Position	GPS habilitado, Intervalo de actualización de GPS, Tiempo de intento de GPS, Posición fija, Transmisión inteligente, Intervalo de transmisión y Banderas de paquetes de posición.
Power	Corriente de carga, Ahorro de energía, Apagado después de perder energía, Intervalo de espera de Bluetooth de anulación del multiplicador ADC, Intervalo de suspensión ligera e Intervalo mínimo de activación.
User	Nombre largo, Nombre corto y Tiene licencia

Tabla 8: Secciones para la configuración de la radio [14].

Además, la interfaz de Meshtastic incluye ocho configuraciones de radio LoRa preestablecidas, caracterizadas en la Tabla 9. Estas son las configuraciones más comunes y han demostrado funcionar de manera eficaz en diversos entornos.

Channel setting	Alt Channel Name	Data-Rate	SF / Symbols	Coding Rate	Bandwidth	Link Budget
Short Range / Fast	Short Fast	10.94 kbps	7 / 128	4 / 5	250	143dB
Short Range / Slow	Short Slow	6.25 kbps	8 / 256	4 / 5	250	145.5dB
Medium Range / Fast	Medium Fast	3.52 kbps	9 / 512	4 / 5	250	148dB
Medium Range / Slow	Medium Slow	1.95 kbps	10 / 1024	4 / 5	250	150.5dB
Long Range / Fast	Long Fast	1.07 kbps	11 / 2048	4 / 5	250	153dB
Long Range / Moderate	Long Moderate	0.34 kbps	11 / 2048	4 / 8	125	156dB
Long Range / Slow	Long Slow	0.18 kbps	12 / 4096	4 / 8	125	158.5dB
Very Long Range / Slow	Very Long Slow	0.09 kbps	12 / 4096	4 / 8	62,5	161.5dB

Tabla 9: Configuraciones pre sintonizadas de la radio LoRa [14], y se encuentran destacadas las que se utilizarán en la implementación.

Capítulo 4. Implementación y Metodología

En este capítulo se explica cómo se utilizaron los elementos descritos en el capítulo anterior y las características del terreno seleccionado para las pruebas. También se mostrará el formato de las muestras obtenidas y como se contrastarán con las simulaciones.

4.1 Metodología

Para el desarrollo experimental de las pruebas de cobertura, se diseñó una planificación que abarcó varios aspectos clave. En primer lugar, se establecieron los tiempos necesarios para completar las mediciones de campo, considerando tanto la logística como las posibles condiciones adversas que podrían influir en el proceso. Se seleccionaron ubicaciones que permitieran realizar las pruebas sin inconvenientes de acceso y con libertad de movimiento, teniendo en cuenta las características topográficas del área urbana.

El diseño experimental también incluyó la definición de variables clave, como el RSSI, el SNR y la estimación de un radio de cobertura estable. Además, se evaluaron las configuraciones físicas y de software que podrían influir en el comportamiento de los dispositivos en relación con estas variables.

De acuerdo con la planificación establecida en la carta Gantt, se asignaron dos semanas para la ejecución de pruebas preliminares en diversas ubicaciones. Durante este periodo, se analizaron las distintas configuraciones preestablecidas para el módulo LoRa en el modo "Range Test" de la T-BEAM. También se probaron antenas con distintas ganancias y se ubicó la radio que funcionaría como estación base a diferentes alturas, con el fin de identificar cuál configuración ofrecía el mejor rendimiento en términos de alcance y calidad de la señal. Paralelamente, se realizaron simulaciones computacionales que permitieron comparar los datos experimentales con los resultados teóricos, facilitando la validación de las pruebas y sirviendo como base para ajustar los experimentos finales.

Finalmente, los resultados obtenidos tanto en las pruebas prácticas preliminares como en las simulaciones se utilizaron para refinar la estrategia experimental, definiendo, con base en la experiencia empírica, las mediciones que se incluirían en el informe final. Esta planificación permitió optimizar el tiempo y los recursos disponibles, asegurando un enfoque metodológico riguroso en el análisis de la cobertura de los transceptores LILYGO® basados en tecnología LoRa en entornos urbanos.

4.1.1 Definición de pruebas a realizar.

Considerando la experiencia adquirida durante las pruebas preliminares, se decidió establecer cinco escenarios distintos de prueba con el objetivo de comparar y analizar cómo afectan la elección del hardware, la configuración del software y la implementación física de las antenas en las pruebas de cobertura y la intensidad de la señal emitida. Para este propósito, una de las T-BEAM se utilizará como estación base, denominada de forma abreviada TEB (T-BEAM Estación Base), la cual se muestra en  Figura 23. Otro dispositivo cumplirá

la función de end-device y se le asignará el nombre abreviado TBM (T-BEAM Móvil), que se mantendrá en movimiento durante las pruebas, equipado con una antena de 2 dBi a lo largo de todo el desarrollo experimental, como se observa en la Figura 24.



Figura 23: TEB junto a las antenas.



Figura 24: TBM.

Los escenarios a comparar son los siguientes:

- Ubicar la TEB en una posición fija e intercambiar su antena entre las tres opciones disponibles para observar cómo las distintas ganancias afectan la cobertura.

- Manteniendo la TEB a la misma altura, se utilizará una antena de 3 dBi para comparar dos configuraciones preestablecidas de Meshtastic: la recomendada y la de mayor alcance.
- Manteniendo la misma configuración y utilizando una antena de 5.8 dBi, se colocará la TEB a dos alturas diferentes para determinar su impacto en la cobertura.

4.1.2 Selección de entorno para las pruebas

El entorno para llevar a cabo las pruebas dependerá de la ubicación de la TEB. En las pruebas con diferentes ganancias de antena y la comparación de configuraciones preestablecidas, es necesario definir una altura adecuada para instalar las antenas, asegurando que el entorno circundante permita el libre tránsito y no interfiera con las mediciones. Para este propósito, se utilizaron las instalaciones del PERNC-UTEM, donde se colocó un atril sobre una estructura en el techo del programa, como se muestra en la Figura 25, lo que representaba una altura aproximada de 7 metros sobre el nivel del suelo.

En el caso de la prueba que requiere posicionar la TEB a diferentes alturas, se solicitó acceso a la cubierta del edificio de ingeniería de la facultad, por su proximidad a las instalaciones del programa, para ubicar la antena en la torre situada sobre el piso mecánico del edificio. El detalle de su montaje se puede observar en la Figura 26. La torre tiene una altura de 9 metros, y sumada a la altura del edificio, estimada en función del número de pisos, se calculó una altura total aproximada de 30 metros sobre el nivel del suelo.

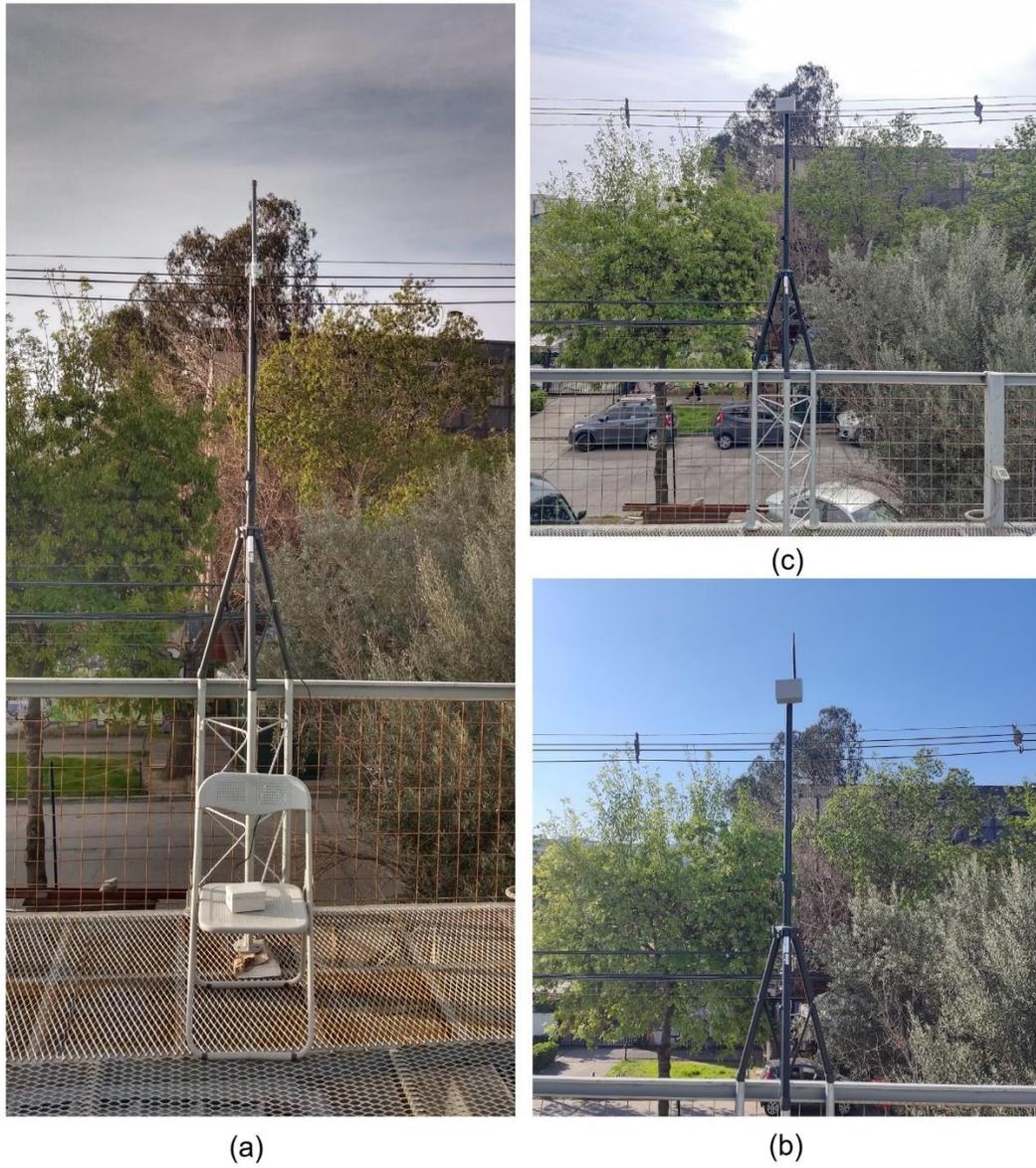


Figura 25: disposición de la TEB sobre el PERNC. (a) Antena 5.8 dBi.
(b) Antena 3 dBi. (c) Antena 2dBi.

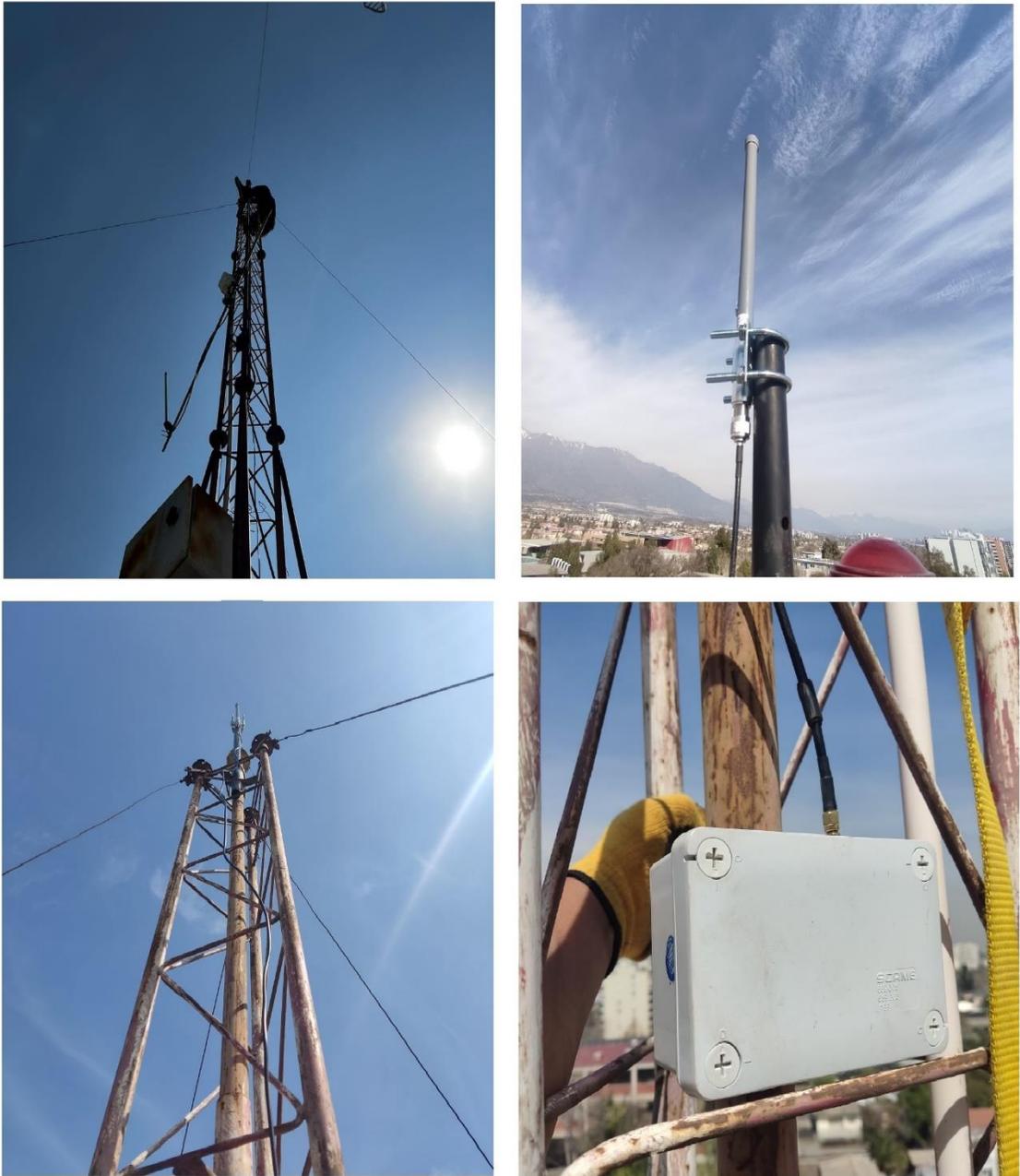


Figura 26: Montaje TEB en torre sobre edificio de ingeniería.

4.1.3 Configuración de dispositivos de prueba

La configuración inicial de los dispositivos comenzó con el proceso de flasheo de las T-BEAM, utilizando la interfaz web proporcionada por Meshtastic, como se muestra en la Figura 27, la cual al ser intuitiva facilitar la gestión de la instalación del firmware. Se seleccionó la versión de Stable 2.3.15.deb7c27 Beta, una versión probada que ofrece estabilidad en las comunicaciones LoRa y compatibilidad con las funciones requeridas.

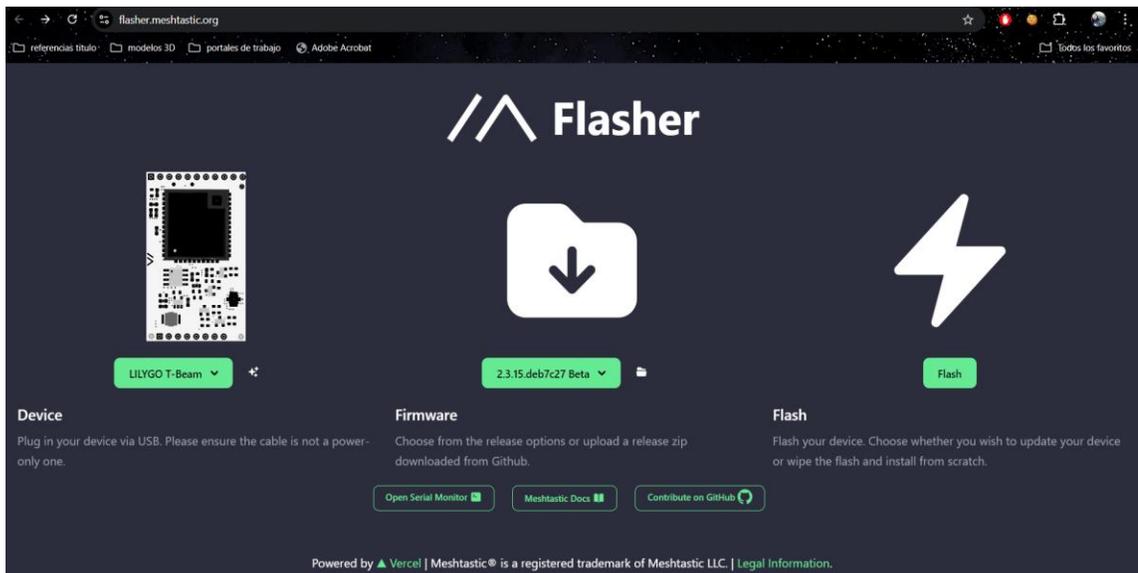


Figura 27: interfaz web de Meshtastic para flasheo de dispositivos.

Para configurar los radios, utilizamos la interfaz web proporcionada por Meshtastic (client.meshtastic). El dispositivo se conecta al PC vía USB, y luego se selecciona el puerto serial a través de la web. Una vez conectado, comienza el proceso de configuración de la T-BEAM. Como se observa en la Figura 28, la interfaz es bastante clara e intuitiva, facilitando la interacción incluso para usuarios con poca experiencia en configuración de dispositivos LoRa. En la Tabla 10 se detallan las configuraciones de radio que se realizarán.

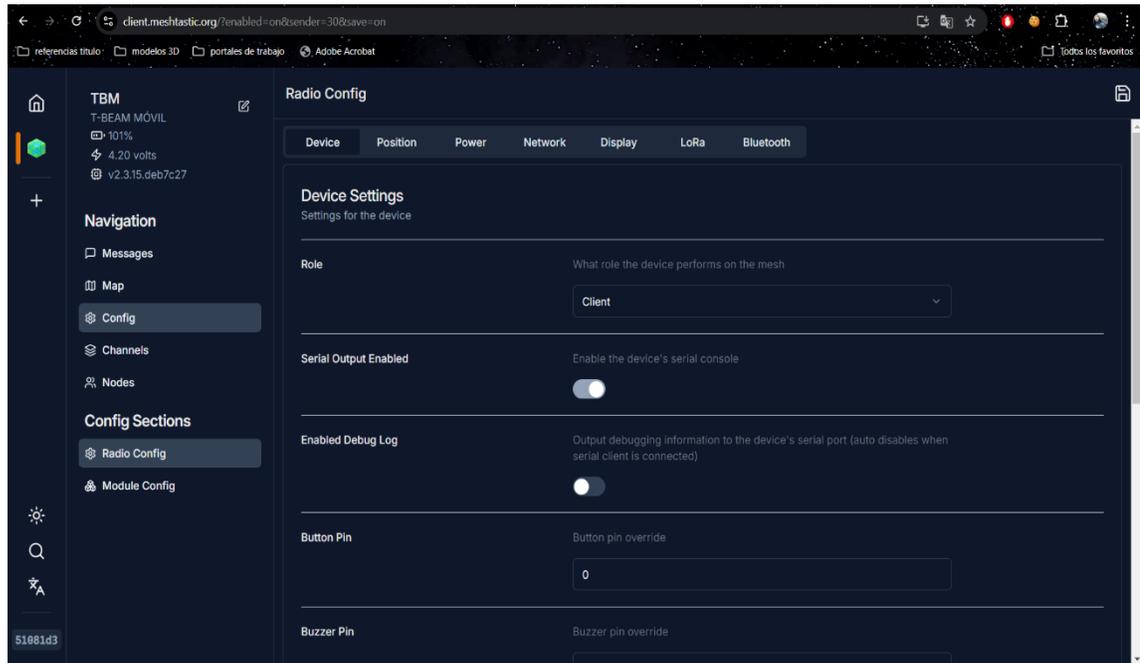


Figura 28: interfaz web de Meshtastic para configuración de dispositivos.

Sección	Configuración a realizar
Bluetooth	Fijar un PIN de seguridad para el emparejamiento del dispositivo.
Channels	Definir un nombre para el canal primario que se utilizará en el test de cobertura.
Device	El dispositivo viene configurado por defecto en el rol de cliente. Mantener esta configuración.
Display	Reducir el tiempo de encendido de la pantalla a 60 segundos y activar la brújula, fijando el norte como referencia.
LoRa	Establecer el código de región en "ANZ" para el rango de frecuencia de operación. Mantener el preset de configuración en "LONG_FAST" por defecto. Deshabilitar cualquier otro método alternativo de envío de datos que no sea LoRa.
Network	Mantener todas las opciones de red deshabilitadas.
Position	Activar solo el modo GPS, desactivando las demás opciones. Establecer el intervalo de actualización de la posición y transmisión en 20 segundos para todas las pruebas, excepto cuando se modifique el preset de configuración, en cuyo caso el intervalo se cambiará a 45 segundos.
Power	Mantener la configuración por defecto.
User	Definir un nombre largo para el dispositivo y una versión abreviada para facilitar su identificación.

Tabla 10: Configuraciones de Radio Realizadas.

Como se indica en la tabla de configuraciones, en el apartado de posición se aumenta el intervalo de actualización, ya que los paquetes de datos permanecen más tiempo en el aire debido al aumento del SF, lo que ralentiza la comunicación. Extender el intervalo ayuda a reducir la probabilidad de pérdida de datos.

Es importante tener en cuenta que, por cada ajuste en estas configuraciones, se envíe una actualización a la radio para registrar los cambios. Tras cada actualización, el dispositivo debe reiniciarse. Este proceso es válido para cualquiera de las interfaces de configuración de Meshtastic.

Antes de iniciar las pruebas, es necesario suscribir las radios al mismo canal. Para esto, y las actualizaciones durante las pruebas, se utilizará la aplicación de Android. Cada dispositivo se emparejará vía Bluetooth con un equipo que servirá como interfaz para monitorear y recopilar datos. La suscripción al canal puede realizarse escaneando un código QR o enviando una invitación a través de un enlace, como se muestra en la Figura 29.



Figura 29: suscripción de canal mediante la app de Meshtastic.

4.2 Desarrollo de pruebas experimentales

Comenzamos cada prueba configurando el módulo LoRa en el modo "Range Test". En este modo, la radio envía mensajes secuenciales cada 30 segundos en formato "seq n". Es necesario limpiar el panel de depuración al inicio de cada prueba y guardar el archivo "rangetest.csv" para asegurar que la recolección de datos sea independiente en cada ejecución. En la

Figura 30 se muestra el panel de depuración y el estado de los dispositivos.

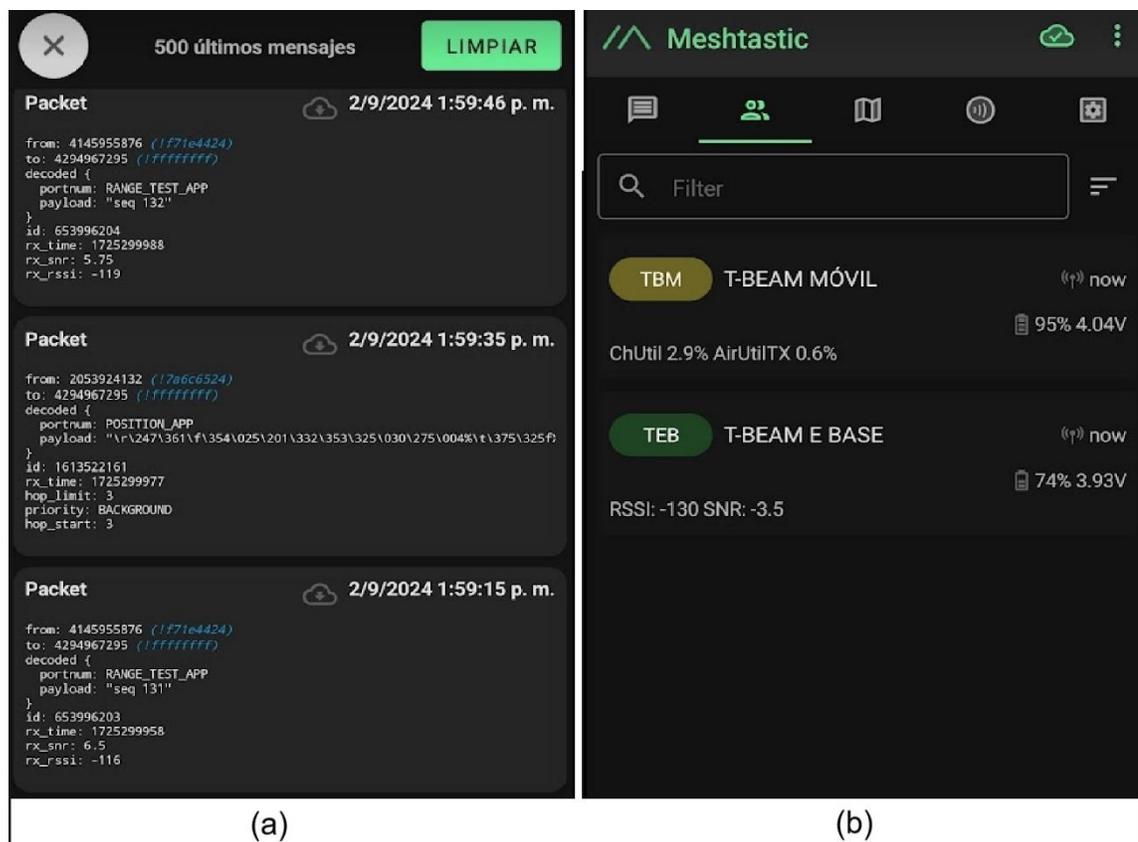


Figura 30: Panel de depuración (a) y estado de los dispositivos (b).

Durante el proceso, inicialmente se movilizó la TBM a pie, ya que el rango de cobertura con la antena de 2 dBi no era muy amplio. Sin embargo, al aumentar la cobertura en las siguientes configuraciones, se optó por montarla en un soporte sobre el techo de un auto, como se observa en la

Figura 31.



Figura 31: TBM montado sobre un automóvil.

En cada prueba realizada, el objetivo principal fue identificar el límite de la cobertura alrededor de la TEB. Utilizando el panel de depuración y la información proporcionada por el fabricante de las T-BEAM, fue posible estimar de manera experimental cuándo se alcanzaba dicho límite. Al llegar a ese punto, se optó por seguir una trayectoria lo más circular posible alrededor de la TEB, con el fin de obtener datos que permitan estimar su radio de cobertura.

Esta metodología permitió evaluar el rendimiento de la cobertura en distintas configuraciones a nivel de hardware y software. A continuación, se presentan los

mapas correspondientes a las diferentes pruebas, junto con un resumen de los datos más relevantes obtenidos durante cada una de ellas.

A continuación, se presentan los resultados de las cinco pruebas realizadas con los dispositivos LILYGO®. En los mapas correspondientes, se muestran las ubicaciones de la TBM al recibir un mensaje o al actualizar su posición dentro del intervalo de tiempo configurado. Además, se implementa un mapa de calor que utiliza puntos de colores que indican para distintos rangos de niveles de SNR en dB.

Se seleccionaron y destacaron puntos clave como referencia para determinar el límite de la cobertura, con las distancias representadas en relación a la TEB. Esta última se identifica en el mapa con un punto verde. Las figuras están acompañadas por tablas que contienen la información relevante para este análisis, derivada de las mediciones realizadas en los puntos destacados. La información completa de las mediciones puede consultarse en los anexos.

4.2.1 Diferentes ganancias de antenas.

sender name	rx snr (dB)	distance (mts)	hop limit	payload	rsi (dBm)
T-BEAM E BASE	-16,00	267.0	0.0	seq 35	-129
T-BEAM E BASE	-13,75	333.0	0.0	seq 50	-139
T-BEAM E BASE	-12,25	361.0	0.0	seq 109	-140
T-BEAM E BASE	-8,75	241.0	0.0	seq 101	-136
T-BEAM E BASE	-15,50	395.0	0.0	seq 130	-144

Tabla 11: Test antena 2 dBi techo PERNC.

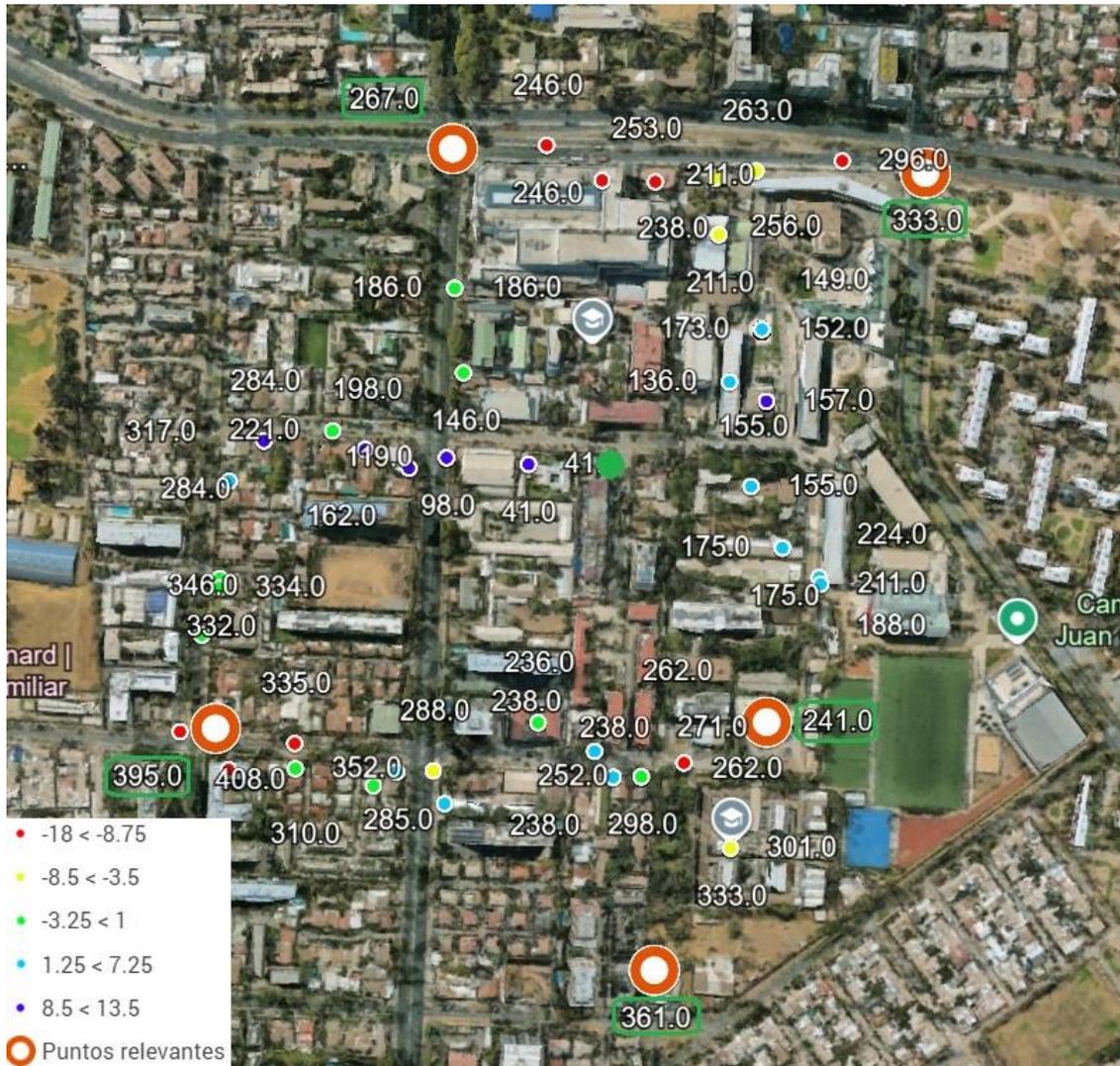


Figura 32: Test antena 2 dBi techo PERNC.

la Figura 32 corresponde a la prueba con la antena de 2 dBi, esta se realizó a pie ya que se transitó por las inmediaciones de la sede JGM (Juan Gomez Millas) de la Universidad de Chile encontrando en estas zonas el límite de la prueba de cobertura en relación a este test. En la Tabla 11 se presenta un resumen de los resultados principales.

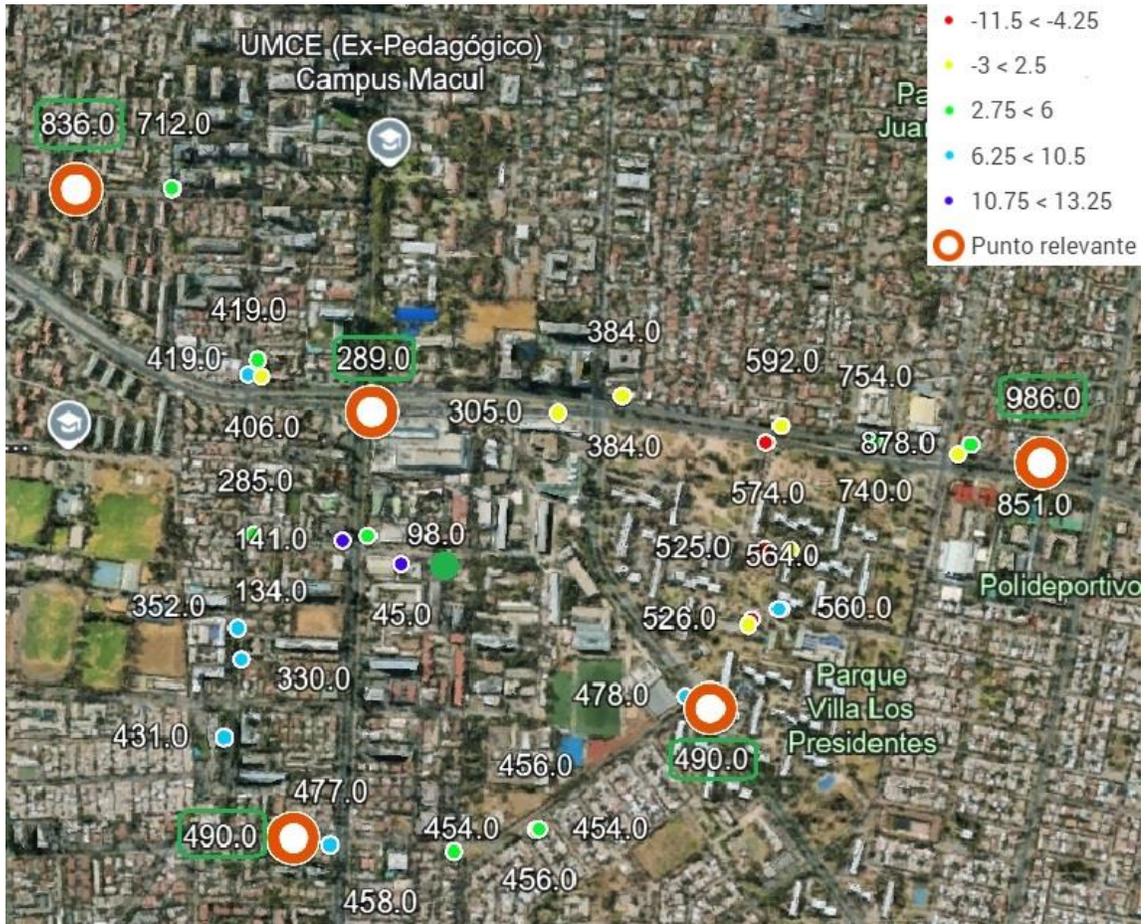


Figura 33: Test antena 3 dBi techo PERNC.

sender name	rx snr (dB)	distance (mts)	hop limit	payload	rss (dBm)
T-BEAM E BASE	-2,75	490.0	0.0	seq 35	-129
T-BEAM E BASE	8	490.0	0.0	seq 25	-111
T-BEAM E BASE	-8,25	836.0	0.0	seq 67	-134
T-BEAM E BASE	-7,25	289.0	0.0	seq 64	-117
T-BEAM E BASE	-9,75	986.0	0.0	seq 54	-135

Tabla 12: Test antena 3 dBi techo PERNC.

La Figura 33 corresponde a la prueba realizada con la antena de 3 dBi. A partir de esta prueba, la TBM fue montada sobre un automóvil, ya que las distancias de cobertura comenzaron a ampliarse en comparación con la prueba anterior, y los límites de cobertura se encuentran en zonas de calles públicas. En la Tabla 12 se presenta un resumen de los resultados principales obtenidos.

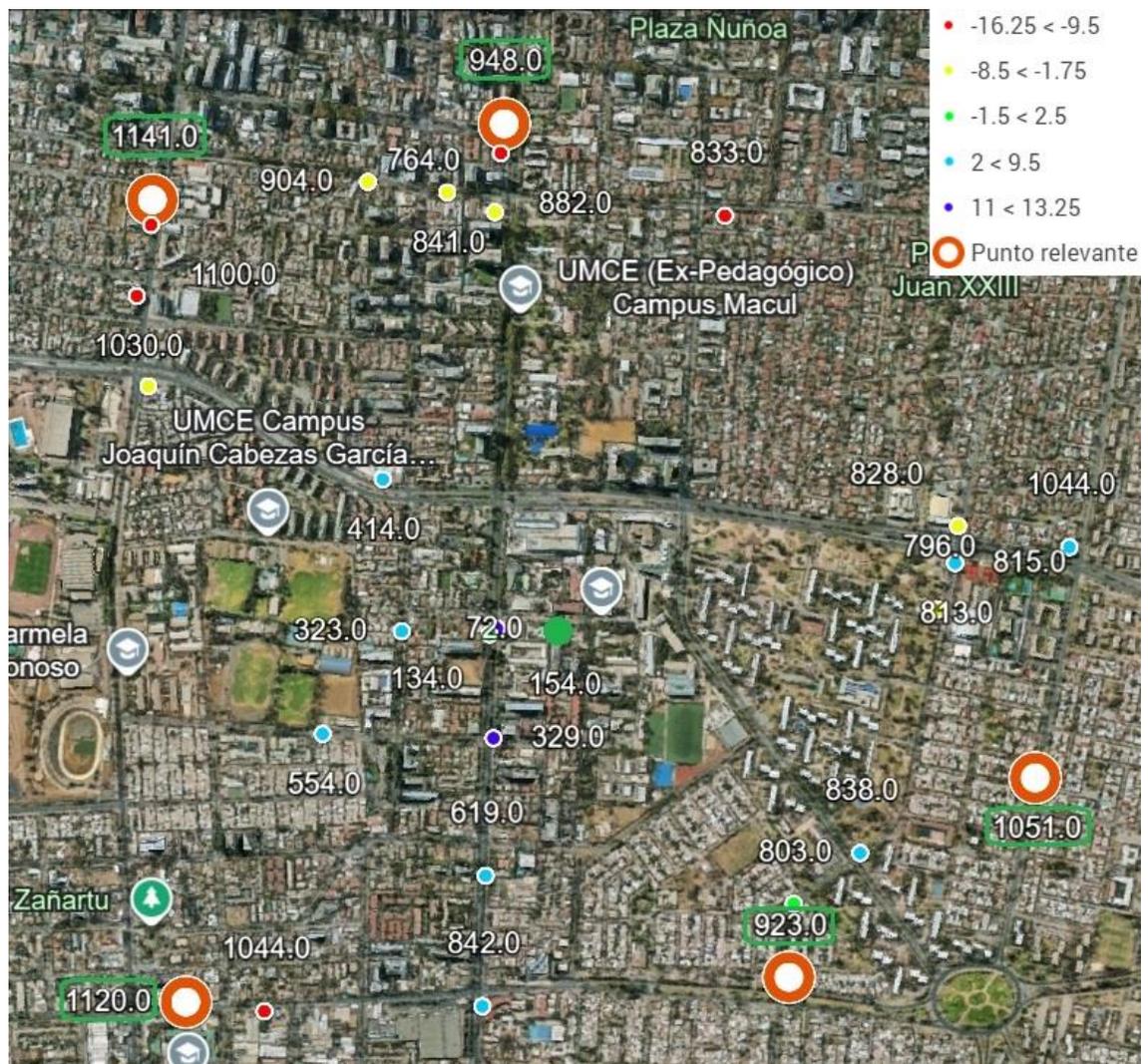


Figura 34: Test antena 5.8 dBi techo PERNC.

sender name	rx snr (dB)	distance (mts)	hop limit	payload	rss (dBm)
T-BEAM E BASE	-8,25	1051.0	0.0	seq 51	-133
T-BEAM E BASE	-14,75	948.0	0.0	seq 18	-139
T-BEAM E BASE	2,50	1120.0	0.0	seq 42	-123
T-BEAM E BASE	-15,00	1141.0	0.0	seq 29	-125
T-BEAM E BASE	-7,50	923.0	0.0	seq 62	-124

Tabla 13: Test antenna 5.8 dBi techo PERNC.

La Figura 34 corresponde a la prueba realizada con la antena de 5.8 dBi. A partir de esta prueba, las distancias de cobertura se ampliaron significativamente, logrando incluso atravesar la barrera física representada por el Mall ubicado en la esquina de Av. José Pedro Alessandri y Av. Grecia. En la Tabla 13 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

4.2.2 Cambio de configuración preestablecida

Como se mencionó anteriormente, para esta prueba fue necesario cambiar la configuración preestablecida de la radio LoRa. Se utilizó la configuración que ofrece la mayor cobertura, "Very Long Range / Slow", que, como su nombre lo indica, reduce la velocidad de comunicación. Por esta razón, también se ajustaron los tiempos de actualización de la ubicación y el envío de secuencias. En la Figura 35 se observa la prueba realizada bajo estas condiciones utilizando la antena de 3 dBi. En la Tabla 14 se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos.

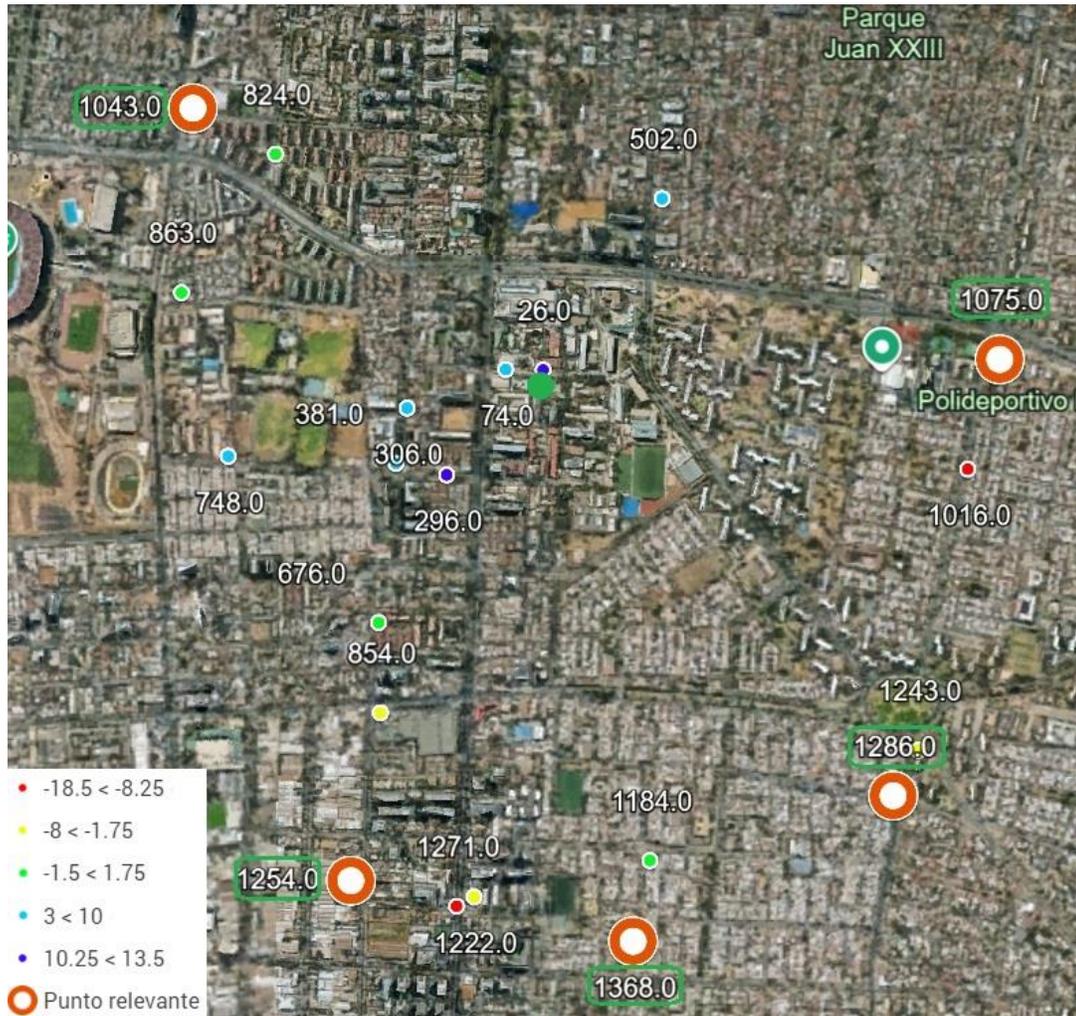


Figura 35: Tabla TBM 3 dBi Very Long Range / Slow.

sender name	rx snr (dB)	distance (mts)	hop limit	payload	rsi (dBm)
T-BEAM E BASE	-7,5	1043.0	0.0	seq 41	-127
T-BEAM E BASE	-3,5	1075.0	0.0	seq 31	-131
T-BEAM E BASE	-3	1286.0	0.0	seq 26	-129
T-BEAM E BASE	-8,25	1368.0	0.0	seq 22	-141
T-BEAM E BASE	-15	1254.0	0.0	seq 16	-147

Tabla 14: test antenna 3 dBi Very Long Range / Slow.

4.2.3 Aumento de altura de la TEB

Los resultados se muestran en la Figura 37, donde se observa un aumento considerable en las distancias alcanzadas en comparación con las pruebas anteriores. Aunque se estimaba que el rango llegaría hasta la entrada del Parque Quebrada de Macul, es destacable la estabilidad y potencia de la señal en relación a la distancia alcanzada. En la Figura 36 se muestra la información reflejada en la pantalla de la TBM, y en la Tabla 15 se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos.



Figura 36: TBM frente a la entrada del Parque Quebrada de Macul.

sender name	rx snr (dB)	distance (mts)	hop limit	payload	rssi (dBm)
T-BEAM E BASE	8,75	7887.0	0.0	seq 149	-111
T-BEAM E BASE	-16,65	2118.0	0.0	seq 183	-144
T-BEAM E BASE	-13,75	1780.0	0.0	seq 97	-146
T-BEAM E BASE	-9,00	1434.0	0.0	seq 117	-130
T-BEAM E BASE	-12,00	1511.0	0.0	seq 63	-135
T-BEAM E BASE	5,00	4779.0	0.0	seq 161	-123
T-BEAM E BASE	-6,50	3424.0	0.0	seq 130	-110

Tabla 15: Prueba en altura con antena 5.8 dBi edificio de Ingeniería.

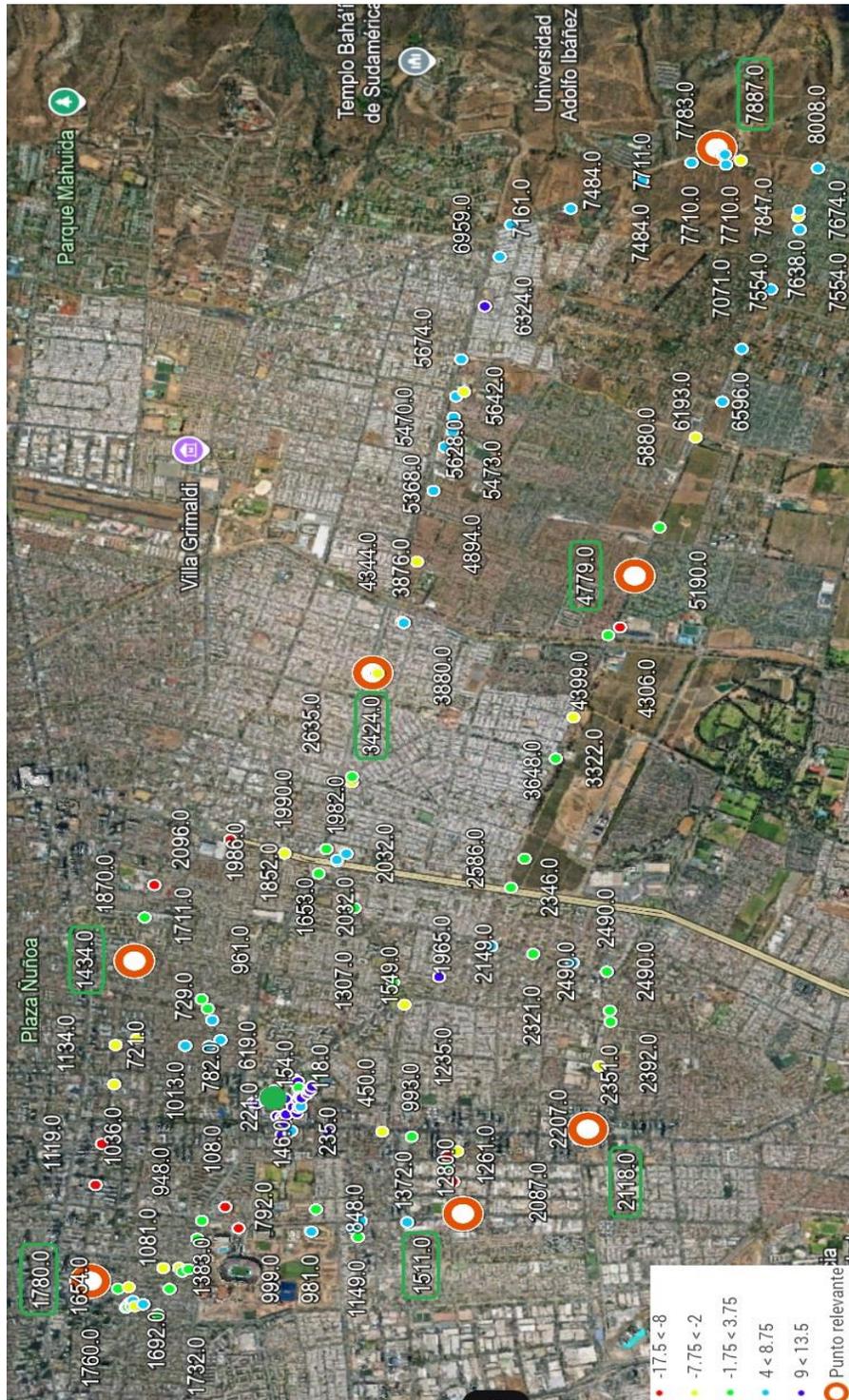


Figura 37: Prueba en altura con antena 5.8 dBi edificio de Ingeniería.

4.3 Simulaciones y análisis de cobertura

Para realizar las simulaciones de RF, se utilizó el software CloudRF en su versión gratuita. Aunque esta versión presenta limitaciones en cuanto a la frecuencia (1GHz) y el rango de radio (5 km), resulta adecuada para los parámetros a utilizar. Además, ofrece una interfaz interactiva que permite ajustar diversos parámetros relevantes para el análisis. En la Tabla 16 se detallan los parámetros utilizados en estas simulaciones.

Parámetro	Configuración
Patrón de Antena	Isotrópica
Ganancia de Antena TX	2/3/5.8 dBi
Altura de Antena TX	7 m / 30 m
Potencia del TX	30 dBm
Ganancia de Antena RX	2 dBi
Altura de Antena RX	1 m
Sensibilidad del RX	-140dBm
Frecuencia	915 MHz
Piso de Ruido	-90 dBm
Ancho de Banda	250/62.5 KHz
Bit Error Rate (BER)	1×10^{-5} (90%)
Modelo de Propagación	ITWOM
Clima	Continental Templado
Altura de Clutter	30 m
Conductividad del Terreno	Ciudad con Concreto
Ubicación de TEB	Latitud y Longitud

Tabla 16: Parámetros de simulación para análisis de cobertura.

El nivel de ruido de fondo se obtuvo utilizando un analizador de espectro disponible en el pañol de electrónica, como se muestra en la Figura 38. La

medición se realizó en las instalaciones del PERNC con la antena de 2 dBi incluida con la T-BEAM. Si bien esta metodología no es la más precisa, se considera válida debido a las limitaciones técnicas y económicas del estudio. La medición estándar del piso de ruido requiere equipos de mayor precisión, como analizadores de espectro avanzados y entornos controlados, cuyo costo y disponibilidad superaban el presupuesto y los recursos del proyecto. A pesar de estas restricciones, los resultados obtenidos son coherentes con los valores reportados en estudios similares, como el realizado en Buenos Aires [10], lo que refuerza la validez de los datos bajo las condiciones disponibles.

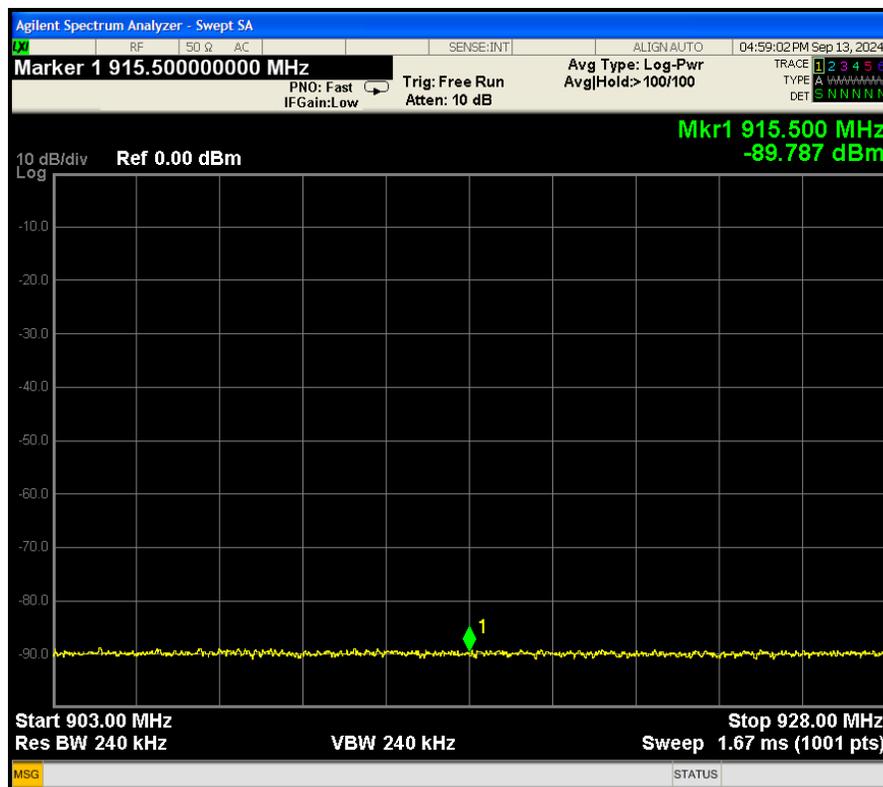


Figura 38: Registro del valor del piso de ruido.

Teniendo en cuenta que las simulaciones realizadas antes de las pruebas de cobertura fueron bastante conservadoras respecto al rango esperado, se decidió ajustar algunos parámetros en función de los resultados experimentales. Las pruebas de rango arrojaron resultados más favorables de lo previsto, lo que permitió refinar los ajustes para crear una herramienta que facilite la estimación del rango de cobertura en futuras implementaciones de redes mesh utilizando el protocolo LoRa. A continuación, se presentan las simulaciones correspondientes a las pruebas realizadas, destacando en una circunferencia roja el área estimada de cobertura según las pruebas en comparación con las simulaciones, acompañadas de algunas observaciones relevantes.

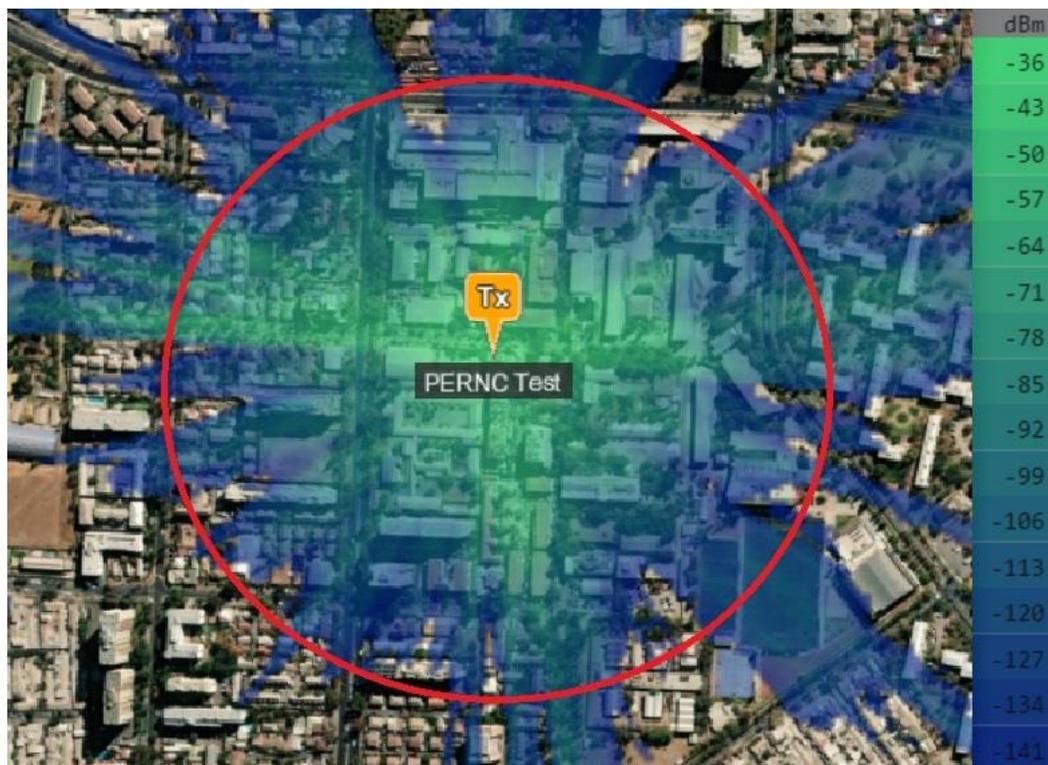


Figura 39: Simulación antena 2 dBi.

En la Figura 39, se puede observar que la simulación realizada se ajusta bastante bien a las mediciones obtenidas durante las pruebas experimentales. El radio de cobertura estimado es de aproximadamente 350 metros, lo cual coincide con los resultados experimentales, salvo en la zona afectada por la estructura física del Mall Portal Ñuñoa. Este edificio actúa como una barrera considerable para la propagación de la señal, causando una atenuación significativa. A pesar de ello, el patrón de radiación estimado es bastante regular dentro de este rango de distancias, lo que refleja una buena predicción en áreas abiertas.

En la siguiente figura, que corresponde a la simulación con la antena de 3 dBi, se puede notar que, aunque la simulación considera la estructura del Mall como una obstrucción para la propagación de la señal, el software es más optimista en cuanto a la atenuación real que dicha estructura produce. En la realidad, la pérdida de potencia es mayor de lo que se predijo, particularmente en las áreas de mayor densidad urbana. Sin embargo, la simulación acierta al mostrar que la mayor parte de la potencia de la señal se irradia en aquellas zonas con menor densidad de edificios, donde la propagación es más eficiente y la cobertura se extiende de manera más uniforme.

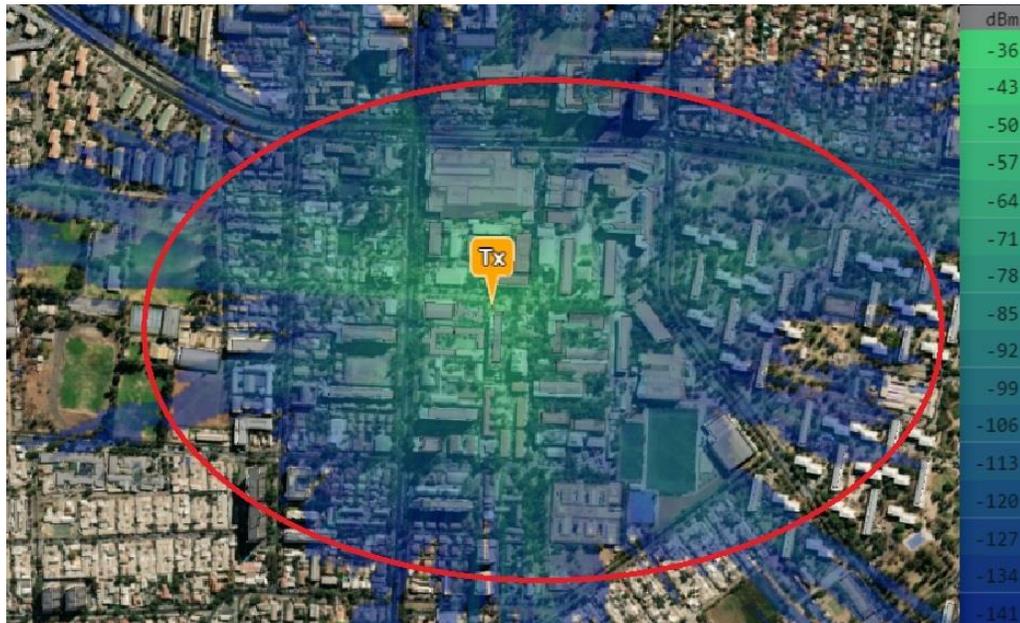


Figura 40: Simulación antena 3 dBi.

Al analizar los mapas correspondientes a las tres pruebas de cobertura con antenas de ganancia menor o igual a 3 dBi, se evidencia que el Mall Portal Ñuñoa actúa como un obstáculo significativo para la propagación de la señal. Este edificio impide que la señal atraviese Av. Grecia hacia el norte, generando una "sombra" dentro del área de cobertura estimada. En otras palabras, el edificio crea una zona sin cobertura en su proximidad.

En la Figura 41 se presenta la simulación para la antena de 5.8 dBi ubicada en el techo del PERNC. En este caso, el radio de cobertura considera la zona donde se encuentra el Mall, pero al contrastar estos resultados con los obtenidos experimentalmente, mostrado en la Figura 34, se valida la hipótesis de que el Portal Ñuñoa actúa como una barrera significativa para la propagación de RF. A pesar de aumentar la ganancia al utilizar la antena de 5.8 dBi en la TEB, y de que la TBM logró captar mensajes más allá del obstáculo, atribuido a fenómenos de propagación multicaminos, la cobertura fue intermitente y ningún mensaje fue

recibido en las zonas adyacentes a la barrera física. Esto confirma la dificultad de propagación en el campo cercano a este tipo de estructuras, destacando la importancia de considerar los efectos de obstrucción en entornos urbanos densos.

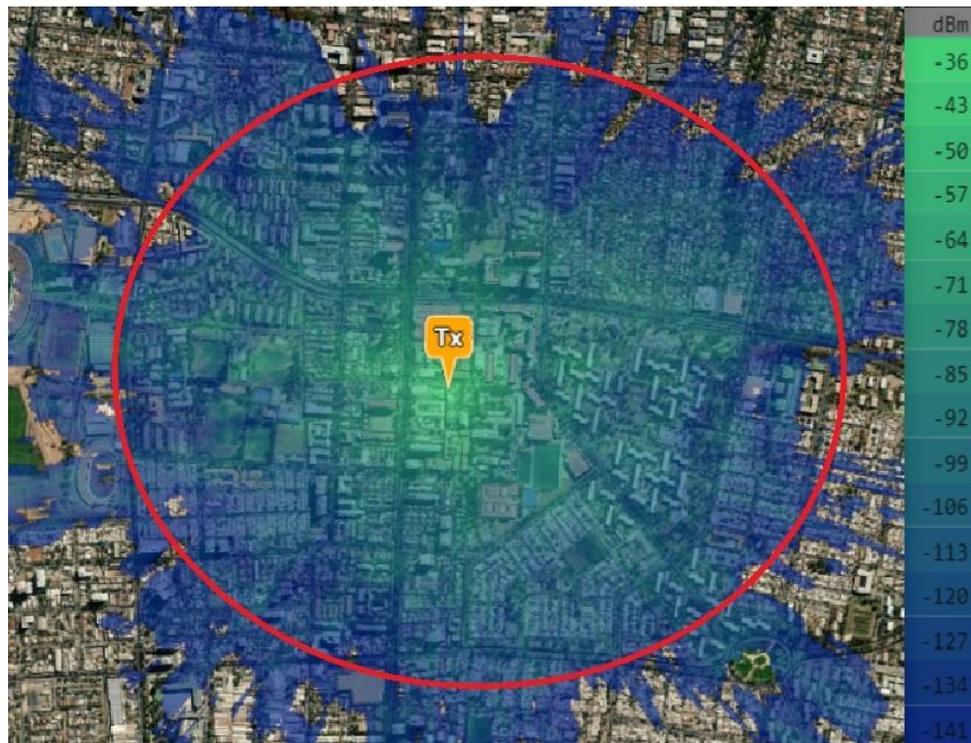


Figura 41: Simulación antena 5.8 dBi.

En la Figura 42 se muestra la simulación correspondiente a la prueba de cambio de configuración del canal en la radio LoRa. Al contrastar esta simulación con los datos obtenidos en el test, se observan discrepancias en términos de potencia de señal y radio de cobertura. Esta prueba fue diseñada para evaluar cómo el cambio de configuración afectaría al rango de cobertura, y efectivamente mostró un aumento significativo, duplicando el alcance en zonas de menor densidad urbana en comparación con el test realizado con la misma antena y altura.

No obstante, como se detalla en [14], el aumento en el rango trajo consigo un incremento en la latencia, lo que generó retrasos en la transmisión, pérdidas de paquetes de datos y problemas en la actualización de la posición de la TBM. Además, esta configuración reduce el ancho de banda (BW), lo que también afecta el rendimiento de la red.

En base a estos resultados, es posible concluir que, si bien la configuración permite un mayor alcance, su utilidad es limitada. Es adecuada para aplicaciones estáticas que no requieren un flujo constante o rápido de datos, siendo ideal para transmitir pequeños paquetes de información en intervalos prolongados, donde la latencia y la velocidad de transmisión no son factores críticos.

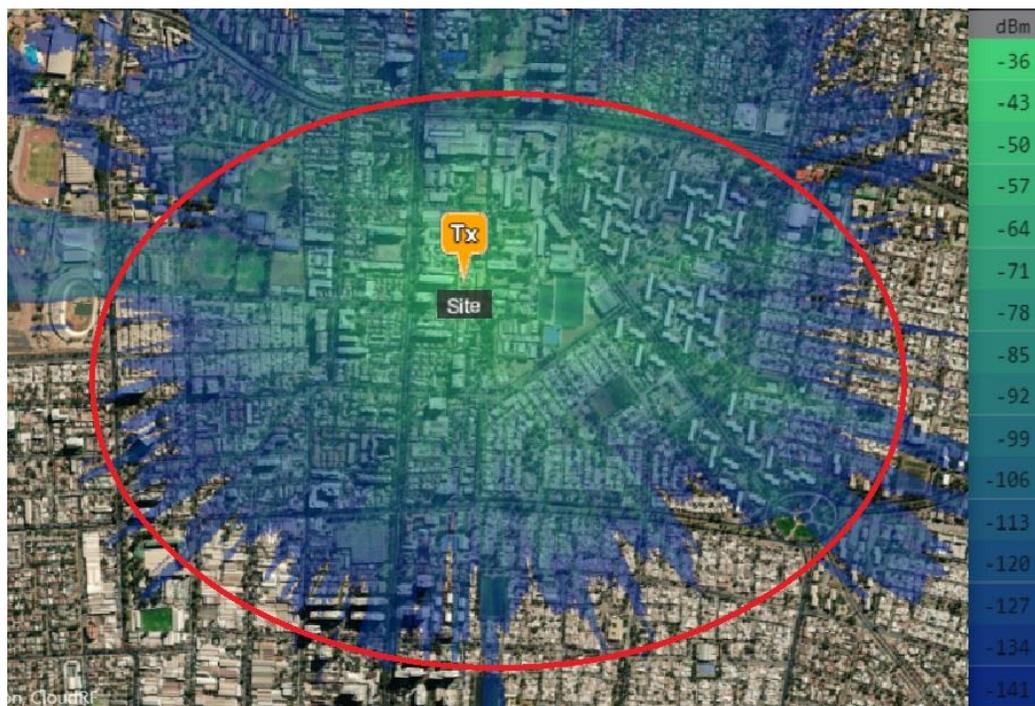


Figura 42: Simulación antena 3 dBi Very Long Range / Slow.

La prueba realizada con la antena de 5.8 dBi montada sobre la torre del edificio de ingeniería se diseñó específicamente para comparar cómo el cambio en la altura de la TEB influye en el rango de cobertura. Inicialmente, se estimaba que el aumento en altura podría extender la cobertura hasta la zona precordillerana, ubicada a aproximadamente ocho kilómetros. Sin embargo, debido a las limitaciones impuestas por la versión gratuita del software utilizado para las simulaciones, no fue posible modelar un rango tan amplio, lo que llevó a descartar su simulación.

En la Figura 37 se muestra el mapa correspondiente a la prueba con la TEB ubicada a mayor altura. Al comparar estos resultados con los obtenidos en el test realizado sobre el techo del PERNC (ver Figura 34), el aumento en el rango de cobertura es notable. A pesar de estar solo unos metros por debajo de la altura del Portal Ñuñoa, la señal muestra una mayor resiliencia frente a la barrera física que representa este edificio, lo que sugiere una mejora significativa en la propagación. Adicionalmente, se observó que la zona alrededor del Estadio Nacional representa un área de interferencia significativa. La señal de la TBM disminuye al acercarse a esta área, perdiéndose por debajo del piso de ruido. Esto se atribuye a la alta densidad de antenas y otros dispositivos de telecomunicación presentes en la estructura del estadio, que provoca un ambiente electromagnético saturado.

Un aspecto destacado de esta prueba es el alcance logrado en la zona precordillerana. Aunque se esperaba mantener comunicación en esa área, debido a la línea de vista directa observada desde la torre, no se anticipaba una recepción con tan buena calidad de señal (ver Figura 36). Este resultado resalta la capacidad de la antena de 5.8 dBi para mejorar significativamente el rendimiento en ubicaciones con baja densidad urbana, superando las expectativas iniciales y mostrando la importancia de la altura en la expansión del rango de cobertura, incluso en entornos complejos como los urbanos.

Al comparar esta prueba con la realizada en Argentina, descrita más atrás, y considerando que los parámetros utilizados son muy similares, especialmente en términos de altura y ganancia de la antena, se observa que los resultados obtenidos son comparables. El radio de cobertura cercana a la TEB es muy similar con el alcanzado en la prueba realizada en Córdoba [11] de aproximadamente 1.6 kilómetros. Sin embargo, es importante destacar que la TEB utilizada en esta prueba contaba con una mayor potencia de transmisión. Además, existen diferencias geográficas significativas entre ambas ciudades, mientras que Córdoba presenta una geografía predominantemente plana, lo que favorece una propagación más uniforme de la señal desde la estación base, en Ñuñoa-Peñalolén, la presencia de una zona precordillerana influye en la dispersión de la señal, proyectando un abanico de cobertura hacia esa dirección.

Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se presentan las conclusiones derivadas de este trabajo de título que tenía por objetivo principal desarrollar un análisis comparado de cobertura y funcionalidad básica en capas 1 y 2 del modelo OSI en los dispositivos T-Beam de LILYGO® basados en tecnología LoRa para evaluar su comportamiento en un entorno urbano. A continuación, se desarrollarán las conclusiones en relación a los objetivos planteados en el capítulo 1.

5.1 Conclusiones

Con respecto a los Objetivos específicos propuestos al inicio del trabajo de título podemos concluir:

1. Con el objetivo de proporcionar una base teórica sólida para el desarrollo de las pruebas de cobertura y funcionalidad, en el capítulo 2 se presenta una explicación detallada desde los fundamentos esenciales para comprender los aspectos técnicos de las redes inalámbricas. Se proporciona información relevante para entender tanto la teoría aplicada en la capa física como en la capa de enlace, así como el contexto específico de la tecnología LoRa y un análisis de su funcionamiento. Se abordaron las principales causas que originan las pérdidas en los enlaces inalámbricos en entornos urbanos, tales como las interferencias, el desvanecimiento de la señal, y la obstrucción por barreras físicas. Además, se resumieron y compararon estudios similares realizados en Argentina y Turquía, con el fin de contextualizar los resultados obtenidos en esta investigación. A partir de esta base teórica, en el capítulo 3 se explican las características técnicas del hardware y software utilizados en las pruebas experimentales, lo que permite comprender los ajustes y configuraciones realizados en cada test.
2. Para definir el entorno físico adecuado donde se llevaron a cabo las pruebas descritas en este trabajo, se realizaron simulaciones previas con el fin de estimar posibles resultados y se llevaron a cabo pruebas preliminares para entender el comportamiento de las T-BEAM y sus limitaciones experimentales en distintos puntos de la comuna de Ñuñoa. Con base en estas experiencias iniciales, se propuso una metodología

adecuada para la realización de las cinco pruebas de campo, junto con los parámetros que serían evaluados en el análisis de la cobertura. Las instalaciones del PERNC-UTEM fueron seleccionadas para ubicar la TEB en un atril sobre una estructura en el techo, dado que el entorno circundante ofrece libertad de tránsito. En el caso de la prueba que requería una mayor altura para la TEB, se solicitó acceso a la cubierta del edificio de Ingeniería de la Facultad, aprovechando su proximidad a las instalaciones del programa. Esta elección estratégica ayudó a minimizar el error experimental en el análisis posterior de los resultados.

3. Antes del montaje, las T-BEAM fueron configuradas en base a los resultados obtenidos en las pruebas preliminares, ajustando los parámetros para optimizar su rendimiento. Posteriormente, se ubicó la TEB en el entorno físico previamente definido, y se realizaron las pruebas de cobertura siguiendo una metodología estandarizada. Este enfoque permitió asegurar la consistencia y facilitar comparaciones entre los distintos test realizados. Se tomó especial precaución en mantener la batería del dispositivo por encima del 50% durante las pruebas, con el objetivo de minimizar posibles errores experimentales causados por variaciones en la potencia de la señal. Los datos recopilados durante estas pruebas proporcionan una base sólida para el análisis actual, como también un punto de partida para trabajos futuros en el contexto de la tecnología LoRa y su implementación en entornos urbanos.
4. Los datos obtenidos tras el desarrollo experimental fueron organizados en tablas y proyectados sobre planos satelitales de la zona estudiada, lo que facilitó su análisis visual y permitió comparar los resultados experimentales con las simulaciones ajustadas. Estos ajustes se realizaron en base a los

parámetros observados durante las mediciones, con el objetivo de mejorar la precisión de las predicciones y facilitar la planificación de futuras redes LoRa. Aunque los modelos no capturan la totalidad de las variables que influyen en la propagación de la señal en entornos urbanos, constituyen una herramienta valiosa para estimar la cobertura de manera preliminar y lograr los objetivos particulares propuestos, evitando realizar numerosos ensayos en campo que se traducen en un incremento de los costos de desarrollo.

5.2 Trabajos futuros

Con el objetivo de cumplir con los plazos establecidos, los alcances de este trabajo se han delimitado para obtener resultados preliminares sobre el comportamiento de la tecnología LoRa en entornos urbanos y fundamentalmente en capa física. Los datos recopilados a partir de las pruebas experimentales de cobertura proporcionan una base sólida para futuras investigaciones sobre el rendimiento de LoRa en estos entornos, así como para evaluar su viabilidad en aplicaciones prácticas. A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes líneas de investigación/desarrollo experimental:

- Estudios comparativos en distintos entornos (rural, suburbano, industrial), centrados en medir cómo las características de cada entorno afectan la cobertura, y cuáles antenas o configuraciones de dispositivos son más eficientes en diferentes escenarios.

- Optimización de redes mesh LoRa en zonas urbanas densamente pobladas, explorando la configuración ideal de parámetros (como el SF, la potencia de transmisión y la altura de las antenas) para mejorar la robustez de las redes mesh en condiciones de alta interferencia y obstáculos físicos.
- Análisis del impacto de las obstrucciones y multicamino, se podría llevar a cabo un análisis más detallado del impacto de barreras físicas como edificios, centros comerciales y estructuras metálicas en la atenuación de la señal LoRa.
- Aprovechando el alcance y la cobertura demostrada, se podría proponer un estudio sobre el uso de redes LoRa para el monitoreo ambiental en áreas urbanas, centrado en cómo sensores de bajo costo distribuidos en la ciudad podrían aprovechar esta infraestructura de red para enviar datos sobre contaminación, humedad, o temperatura en tiempo real.
- Proponer modelados predictivos para implementar redes LoRa en áreas de difícil acceso, como zonas rurales o de montaña, enfocado en desarrollar modelos que optimicen el despliegue de dispositivos en estas áreas, considerando factores como la topografía, los obstáculos naturales y las condiciones climáticas
- Evaluar la viabilidad de utilizar redes LoRa para comunicación en situaciones de emergencia en áreas urbanas, considerando su capacidad para cubrir grandes distancias con baja latencia en entornos con fallas en redes convencionales.

Capítulo 6. Bibliografía y Referencias

- [1] A. Andreu Dólera, «Modelado de redes LoRaWAN aplicadas a la conservación preventiva de patrimonio cultural,» 2019.
- [2] A. Wang, «Full understanding of LoRa and LoRaWAN,» [En línea]. Available: <https://www.mokolora.com/es/full-understanding-of-lora-and-lorawan/>.
- [3] LoRa Alliance, «About LoRaWAN,» [En línea]. Available: <https://loralliance.org/about-lorawan/>.
- [4] LoRa Alliance, «Cities Vertical Market,» [En línea]. Available: <https://loralliance.org/cities-vertical-market/>.
- [5] R. S. Esteban, «Estudio de los parámetros principales de la tecnología LoRa para el despliegue de redes e implementación de servicios IoT en la CAV-EAE,» 2018.
- [6] J. F. K. a. K. W. Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach, 6th ed., New Jersey, 2013.
- [7] W. Tomasi, Sistemas de comunicaciones electrónica, 4th ed., PEARSON Education, 2003.
- [8] W. Stallings, Wireless communications and networks, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [9] M. Chiani y A. Elzanaty, «On the LoRa Modulation for IoT: Waveform Properties and Spectral Analysis,» IEEE Internet of Things Journal, 2019.
- [10] S. Sağır, İ. Kaya, C. Şişman, Y. Baltacı y S. Ünal, «Evaluation of Low-Power Long Distance Radio Communication in Urban Areas: LoRa and Impact of Spreading Factor.,» Trabzon, Turkey, 2019.
- [11] F. J. Grión, G. O. Petracca, D. F. Lipuma y E. R. Amigó, «LoRa network coverage evaluation in urban and densely urban environment simulation and

validation tests in Autonomous City of Buenos Aires.,» Mar del Plata, Argentina, 2017.

[12] LILYGO®, «T-Beam V1.1 ESP32 LoRa Module.,» [En línea]. Available: <https://www.lilygo.cc/products/t-beam-v1-1-esp32-lora-module>.

[13] A. Balanis, «The Evolution of Antenna Technology,» *IEEE ANTENAS & PROPAGATION MAGAZINE*, pp. 42-51, 2024.

[14] Meshtastic®, «Meshtastic,» [En línea]. Available: <https://meshtastic.org/>.

Capítulo 7. Anexos

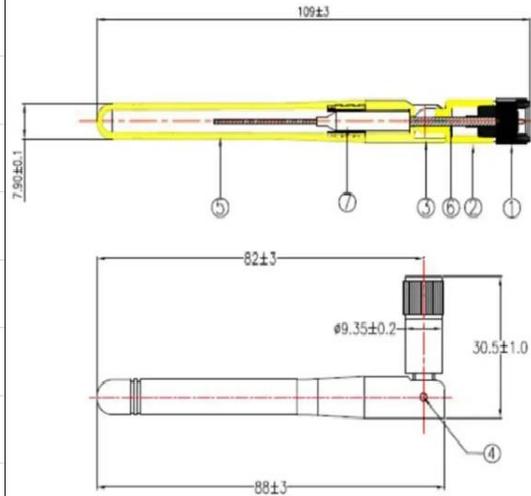
Carta Gantt

Meses	Mes 1				Mes 2				Mes 3			
Semanas	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Recopilación de información del estado de la técnica	■	■	■									
Definición de entorno de pruebas y puntos georreferenciados	■	■	■									
Caracterización de dispositivos y antenas requeridos	■	■	■									
Instalación y configuración de entorno Meshtastic		■	■	■	■							
Recopilación de datos de conectividad e intensidad de señal					■	■	■					
Simulación de enlaces en software de modelamiento					■	■	■					
Análisis comparativo de datos experimentales versus simulados							■	■	■			
Elaboración de conclusiones y recomendaciones								■	■	■		
Redacción del informe final y revisión								■	■	■	■	■

Antenas

LILYGO® SMA

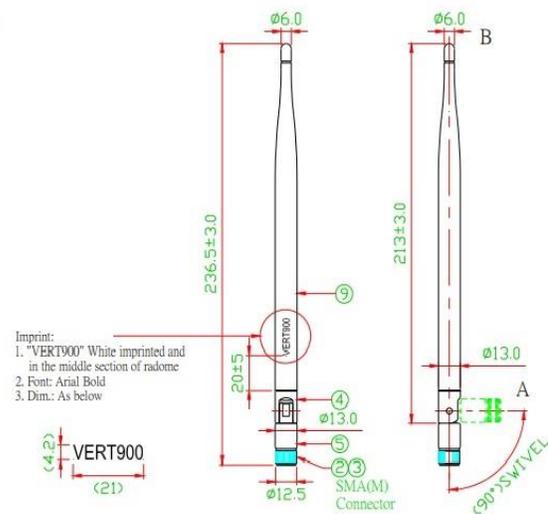
Frequency Range (MHZ)	2400-2500
Impedance(Ω)	50
Gain(dBi)	2±0.5
VSWR	≤1.92
Admitted Power	10W
Polarization	Linear,Vertical
Radiation	Omni-directional
Connector Type	SMA



VERT900

SPECIFICATION

1. Description	: WSS016 Antenna With SMA(M)
2. Customer	: Ettus Research LLC
3. Model No.	: WSS016
4. Part No.	: RU1MPA0001A
5. Antenna Profile	: 236.5 mm (see Drawing)
6. Color	: Black
7. Electrical Characteristics	
Operating Frequency	: 824~960-1710~1990MHz
Antenna Type	: Dipole
Polarization Type	: Linear
Type of Radiation	: Toroidal
Impedance	: 50 Ohm nominal
V.S.W.R.	: 3.0:1 Max.
8. Mechanical Characteristics	
Swivel	: 90 degrees
Connector	: SMA(M)
Core	: N/A
9. Raw Material	
Coaxial Cable	: RG-316
Housing	: TPU
Hinge	: PC+ALLOY



SIGNALPLUS

Antena	Radio
Marca	SIGNALPLUS
Color	Cable de 5.8dBi +9.8 ft
Impedancia	50 Ohmio
Rango máximo	3 metros
UPC	716837029649
Fabricante	qifan

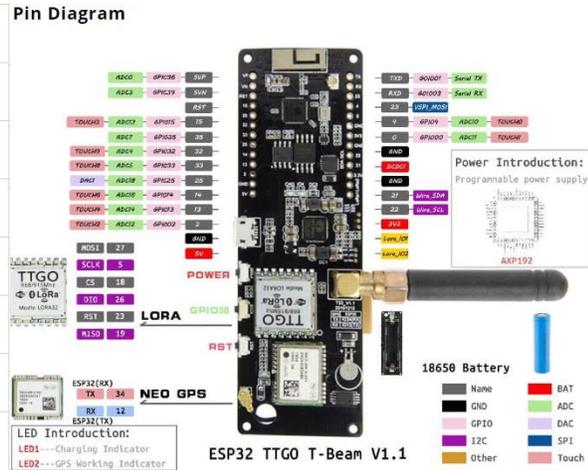
▼ [Ver más](#)

Sobre este artículo

- Aplicable a todas las marcas mineras: AU915 linxdot hotspot, Rak Miner 2v, kerlink wirnet ifemtocell miner, cotx-X3 heluim miner, LinxDot, FreedomFI, bobcat 300, finestra miner, sensecap, syncrobit, etc.
- Rango de frecuencia: 824 MHz - 960 MHz. Soporta 868 MHz 915 MHz 924 mhz. Ganancia: 5.8dBI @915 MHz. Impedancia: 50 Ohmios. Potencia máxima: 50W. Ancho de haz horizontal: 360 grados.
- Material: (antioxidante), la antena está hecha de fibra de vidrio. La estructura de la antena en el interior está hecha de cobre.El tubo de cobre (elemento) es mejor que la placa de circuito. El tubo de cobre (elemento) permite que la antena obtenga un VSWR más bajo y resista una mayor potencia.
- Interior/exterior/omnidireccional/impermeable/nieve: puedes ponerlo dentro si lo necesitas, pero fuera sería aún mejor.
El cable y la antena están diseñados para ser impermeables y durarán todas las estaciones al aire libre.
Generalmente, la temperatura ambiente de trabajo puede ser: °F °F a + 131.0 °F, funciona en la lluvia/nieve.
- Habilidades de uso: cualquier antena depende en gran medida del entorno. Para lograr mejores resultados, es posible que tengas que moverte por tu punto de acceso y antena (altura y ubicación de la instalación) hasta que determines un punto óptimo que te brinde las mejores recompensas. Debes tener en cuenta, altura de la antena, ubicación, espacio libre del edificio, línea de visión, problemas con el sistema ancho de blockchain, tipo de punto de acceso utilizado, etc.
- Arester de rayos: Si necesita montar la antena en un techo o muy alto, y se encuentra en un área propensa a los rayos, se recomienda instalar un pararrayos.si lo necesita, puede comprarlo en mi tienda de Amazon.
- si necesita el arresto de iluminación y el cable LMR400 u otra antena, puede entrar en mi tienda y ordenar.
- Lista de embalaje: 1xAntenna &3.3x 9.8 ft (10foots) RG58 cable & 1XRP-SMA adaptador y 1set U-clip código

T-BEAM

MCU	ESP32
Flash	4MB
PSRAM	8MB
Serial Chip	CH9102
Wireless protocol	Wi-Fi + Bluetooth 4.2
PMU	AXP2101
Cnboard functions	3 Buttons (Power+IO38+Reset)
Antenna	<ul style="list-style-type: none"> • 3D WiFi Antenna [Use by default] • (Support WiFi IPEX external antenna, but you need to jump resistance) • LoRa antenna • GPS ceramic antenna



Tablas de datos

Test 3 dBi Very Long Range

sender name	sender lat	sender long	rx lat	rx long	rx elevation	rx snr	distance	hop limit	payload	rssr
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.332.799.999.900	-7.059.568.709.999.900	780.0	7500000.0		0.0	seq 7	-67
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.663.138	-705.961.428	780.0	9750000.0		0.0	seq 8	-72
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.526.099.999.900	-705.963.621	695.0	1.2E7		0.0	seq 9	-65
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.473.799.999.900	-7.059.686.099.999.900	554.0	7500000.0		0.0	seq 10	-93
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.675.845	-70.600.315	585.0	1.0E7	306.0	0.0	seq 11	-117
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.721.123	-706.010.371	579.0	500000.0	676.0	0.0	seq 13	-126
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.740.173	-706.009.918	575.0	-4250000.0	854.0	0.0	seq 14	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.477.565.999.999.900	-7.060.173.979.999.900	667.0	-1.15E7		0.0	seq 15	-143
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.477.565.999.999.900	-7.060.173.979.999.900	667.0	-1.5E7	1254.0	0.0	seq 16	-147
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.778.435	-706.007.766	589.0	-1.65E7		3.0	<TELEMETRY_APP>	-150
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.778.435	-706.007.766	589.0	-7500000.0	1284.0	0.0	seq 17	-141
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.478.104	-70.599.065	575.0	-1.45E7	1271.0	0.0	seq 18	-150
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.779.075	-705.986.203	590.0	-8000000.0	1222.0	0.0	seq 19	-141
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.478.741	-705.950.225	594.0	-1.85E7	1347.0	0.0	seq 21	-137
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.788.371	-7.059.460.229.999.900	594.0	-8250000.0	1368.0	0.0	seq 22	-141
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.771.303	-705.941.785	621.0	1000000.0	1184.0	0.0	seq 23	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.757.548	-70.588.043	593.0	-3000000.0	1286.0	0.0	seq 26	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.474.793	-705.874.153	593.0	-1750000.0	1243.0	0.0	seq 27	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.688.726	-705.861.738	608.0	-8250000.0	1016.0	0.0	seq 29	-137
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.665.631	-705.853.733	634.0	-3500000.0	1075.0	0.0	seq 31	-131
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.665.631	-705.853.733	634.0	1750000.0	1075.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.631.745	-705.938.778	650.0	3000000.0	502.0	0.0	seq 38	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.622.205	-706.036.421	625.0	-2500000.0	824.0	0.0	seq 40	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-3.346.125	-7.060.573.149.999.900	588.0	-7500000.0	1043.0	0.0	seq 41	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.465.142	-70.606.025	615.0	-1500000.0	863.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-133
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.685.986	-706.048.423	576.0	5000000.0	748.0	0.0	seq 44	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.687.486	-706.005.983	639.0	1.0E7	381.0	0.0	seq 46	-105
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.689.926	-705.993.148	639.0	1.35E7	296.0	0.0	seq 47	-101
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.715	-705.978.236	592.0	9000000.0	74.0	0.0	seq 48	-77
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.806	-705.968.798	608.0	9750000.0	26.0	0.0	seq 49	-77
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.806	-705.968.798	608.0	1.2E7	26.0	0.0	seq 50	-97
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.806	-705.968.798	608.0	1,28E+10	26.0	0.0	seq 51	-99
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.806	-705.968.798	608.0	1,18E+10	26.0	0.0	seq 52	-100
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.806	-705.968.798	608.0	1,03E+10	26.0	3.0	<NODEINFO_APP>	-89
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.806	-705.968.798	608.0	9750000.0	26.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-81

Test 3 dBi

sender name	sender lat	sender long	rx lat	rx long	rx elevation	rx snr	distance	hop limit	payload	rss
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.995.499.999.900	-705.970.028	571.0	1,03E+10	12.0	2.0	<ROUTING_APP>	-69
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.995.499.999.900	-705.970.028	571.0	1,13E+10	12.0	0.0	seq 14	-69
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.995.499.999.900	-705.970.028	571.0	1,08E+10	12.0	0.0	seq 15	-63
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.669.253	-70.596.991	588.0	1.05E7	10.0	0.0	seq 16	-61
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.919	-705.969.971	588.0	1.05E7	9.0	0.0	seq 17	-72
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.668.346	-705.975.778	574.0	1,18E+10	45.0	0.0	seq 18	-77
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.611	-70.598.141	562.0	3250000.0	98.0	0.0	seq 19	-95
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.467.929.999.999.900	-70.600.443	571.0	7750000.0	330.0	0.0	seq 21	-112
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.684.558	-7.060.041.629.999.990	544.0	7500000.0	352.0	0.0	seq 22	-112
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.695.318	-7.060.054	532.0	7000000.0	431.0	0.0	seq 23	-116
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.709.068	-705.993.593	556.0	8000000.0	490.0	0.0	seq 25	-111
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-3.347.095	-705.988.793	550.0	4250000.0	477.0	0.0	seq 26	-118
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.470.966	-705.988.426	548.0	6500000.0	477.0	0.0	seq 27	-115
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.710.308	-705.967.213	563.0	3250000.0	458.0	0.0	seq 29	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.707.696	-705.953.926	580.0	2500000.0	456.0	0.0	seq 30	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.707.098	-705.954.205	580.0	1500000.0	449.0	0.0	seq 31	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.707.698	-705.954.495	552.0	3000000.0	454.0	0.0	seq 32	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.707.698	-705.954.495	552.0	3250000.0	454.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.707.308	-705.952.726	552.0	3250000.0	456.0	0.0	seq 33	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.469.057	-705.924.718	593.0	-2750000.0	490.0	0.0	seq 35	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.687.711	-70.592.438	616.0	7000000.0	478.0	0.0	seq 36	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.678.745	-705.916.675	590.0	-1750000.0	514.0	0.0	seq 38	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.678.186	-7.059.152.879.999.990	573.0	-4750000.0	526.0	0.0	seq 39	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.676.878	-7.059.112.979.999.990	599.0	6250000.0	560.0	0.0	seq 40	-116
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.467.616.299.999.900	-705.910.656	583.0	-2000000.0	564.0	0.0	seq 41	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.668.883	-705.909.838	574.0	2500000.0	567.0	0.0	seq 42	-125
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.475	-705.914.351	591.0	-1.15E7	525.0	0.0	seq 43	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.652.996	-705.912.235	585.0	-4250000.0	574.0	0.0	seq 45	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.465.065.599.999.900	-705.911.136	581.0	-2250000.0	592.0	0.0	seq 46	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.654.483	-7.058.931.799.999.990	556.0	2500000.0	740.0	0.0	seq 47	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.465.464.499.999.900	-70.586.602	590.0	-9750000.0	986.0	0.0	seq 54	-135
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.654.828	-705.866.001	605.0	1000000.0	986.0	0.0	seq 55	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.654.498	-705.880.895	604.0	500000.0	851.0	0.0	seq 56	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.652.931	-705.878.328	593.0	2500000.0	878.0	0.0	seq 57	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.650.563	-7.058.927.299.999.990	573.0	-5250000.0	754.0	0.0	seq 58	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.464.691	-705.939.295	578.0	-2750000.0	384.0	0.0	seq 59	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.464.691	-705.939.295	578.0	-1500000.0	384.0	0.0	seq 60	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.646.608	-705.952.338	640.0	-3000000.0	305.0	0.0	seq 61	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.464.549	-705.966.518	640.0	-1750000.0	267.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-117
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-3.346.431	-705.980.321	538.0	-5250000.0	303.0	0.0	seq 63	-109
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.645.515	-705.983.803	592.0	-7250000.0	289.0	0.0	seq 64	-117
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.621.148	-706.034.726	484.0	-1.05E7	796.0	0.0	seq 66	-138
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.614.753	-706.033.266	542.0	-8250000.0	836.0	0.0	seq 67	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.614.013	-70.602.862	552.0	-5750000.0	813.0	0.0	seq 68	-133
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.616.018	-706.013.728	611.0	2750000.0	712.0	0.0	seq 69	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.640.785	-706.000.676	571.0	6000000.0	419.0	0.0	seq 71	-114
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.641.575	-706.001.713	571.0	6750000.0	419.0	0.0	seq 72	-115
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.464.227.099.999.900	-706.000.526	513.0	-250000.0	406.0	0.0	seq 73	-111
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.478.099.999.900	-706.001.308	518.0	5750000.0	285.0	0.0	seq 75	-103
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.666.163	-70.598.578	556.0	1.1E7	141.0	0.0	seq 77	-90
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.028	-7.059.851.859.999.990	593.0	1.1E7	134.0	0.0	seq 78	-89
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.732	-705.970.978	577.0	1,33E+10	21.0	0.0	seq 80	-65
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.667.983	-7.059.700.959.999.990	599.0	1.25E7	16.0	0.0	seq 81	-77
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1.25E7	33.0	0.0	seq 82	-89
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1,23E+10	33.0	0.0	seq 83	-87
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1,23E+10	33.0	2.0	<NODEINFO_APP>	-85
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1.25E7	33.0	0.0	seq 84	-86
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1,18E+10	33.0	0.0	seq 85	-89
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1.2E7	33.0	0.0	seq 86	-88
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1,18E+10	33.0	3.0	<NODEINFO_APP>	-88
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1,23E+10	33.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-85
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.632.499.999.900	-7.059.701.079.999.990	572.0	1.2E7	33.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-98

Test 5.8 dBi E. Ingeniería

sender name	sender lat	sender long	rx lat	rx long	rx elevation	rx snr	distance	hop limit	payload	rsssi	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14		-334.681.038	-70.596.833	400.0	1.0E7	248.0	0.0	seq 16	-81
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14		-334.679.463	-705.962.645	305.0	6.750.000	196.0	0.0	seq 17	-105
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.679.463	-705.962.645	305.0	1.25E7	196.0	0.0	seq 18	-78
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.680.585	-705.960.343	252.0	1.05E7	217.0	0.0	seq 19	-80
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+14	-33.468.068.599.999.900	-705.959.426	290.0	9000000.0	265.0	0.0	seq 20	-91	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-33.468.785	-705.951.633	290.0	9500000.0	340.0	0.0	seq 21	-94
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.468.577.499.999.900	-705.954.866	227.0	9750000.0	299.0	0.0	seq 22	-89	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30		-334.686.581	-705.954.455	204.0	9500000.0	318.0	0.0	seq 23	-97
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.686.733	-705.954.845	235.0	8750000.0	321.0	0.0	seq 24	-94
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.685.075	-705.957.493	315.0	1,03E+10	300.0	0.0	seq 25	-90
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.467.439.299.999.900	-705.947.315	498.0	9750000.0	273.0	0.0	seq 26	-88	
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16		-334.679.913	-705.952.526	382.0	3750000.0	291.0	0.0	seq 27	-95
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16		-334.667.131	-705.953.143	622.0	8750000.0	185.0	0.0	seq 28	-89
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30		-334.678.148	-705.947.996	255.0	7000000.0	286.0	0.0	seq 29	-91
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.467.199.799.999.900	-7.059.618.809.999.990	695.0	1.1E7	152.0	0.0	seq 30	-85	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-33.467.068	-7.059.607.299.999.990	600.0	1,18E+10	146.0	0.0	seq 31	-82
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.660.778	-705.959.036	850.0	9500000.0	123.0	0.0	seq 32	-81
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16		-334.660.778	-705.959.036	850.0	9500000.0	104.0	0.0	seq 33	-78
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16		-334.659.585	-7.059.621.709.999.990	856.0	1,13E+10	91.0	0.0	seq 34	-72
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.268.299.999.900	-70.596.037	665.0	1,08E+10	107.0	0.0	seq 35	-76	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.665.745	-705.963.186	567.0	1,03E+10	84.0	0.0	seq 36	-72
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.665.745	-705.963.186	567.0	1.1E7	84.0	0.0	seq 37	-70
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+14		-334.652.993	-7.059.650.959.999.990	978.0	1.0E7	108.0	0.0	seq 38	-72
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.662.831	-705.960.205	646.0	1.1E7	115.0	0.0	seq 39	-70
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.753.499.999.900	-7.059.657.949.999.990	565.0	1.05E7	111.0	0.0	seq 40	-72	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.666.068	-705.959.991	604.0	1.25E7	132.0	0.0	seq 41	-73
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.665.481	-70.595.449	604.0	9750000.0	171.0	0.0	seq 42	-75
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14		-334.663.585	-7.059.606.029.999.990	685.0	500000.0	101.0	0.0	seq 44	-80
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.663.585	-7.059.606.029.999.990	685.0	8250000.0	101.0	0.0	seq 45	-75
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.677.678	-705.945.783	30.0	1,13E+10	302.0	0.0	seq 46	-83
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.679.451	-705.947.528	69.0	8750000.0	294.0	0.0	seq 47	-90
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.467.516.499.999.900	-7.059.712.999.999.990	450.0	9250000.0	184.0	0.0	seq 48	-92	
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16		-334.676.313	-705.968.908	416.0	1,28E+10	183.0	0.0	seq 49	-89
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.671.091	-7.059.787.159.999.990	547.0	1,33E+10	157.0	0.0	seq 50	-86
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-33.467.094.599.999.900	-705.979.658	601.0	1,03E+10	154.0	0.0	seq 51	-86	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-33.467.874	-705.973.858	343.0	1,23E+10	186.0	0.0	seq 52	-84
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.679.741	-705.969.508	343.0	1,03E+10	221.0	0.0	seq 53	-87
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.669.938	-7.059.865.049.999.990	536.0	8500000.0	181.0	0.0	seq 54	-84
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-3.346.754	-7.059.887.549.999.990	788.0	3250000.0	261.0	0.0	seq 55	-90
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.768.111	-70.600.978	398.0	-8000000.0	1278.0	0.0	seq 58	-125
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.477.401.799.999.900	-706.005.918	398.0	-3250000.0	1316.0	0.0	seq 59	-128	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.768.153	-706.018.328	659.0	-1250000.0	1294.0	0.0	seq 60	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.477.152.499.999.900	-706.031.323	659.0	-1,48E+10	1372.0	0.0	seq 61	-138	
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.777.358	-70.605.212	362.0	-1.2E7	1511.0	0.0	seq 63	-135
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.744.228	-70.606.532	329.0	2750000.0	1280.0	0.0	seq 65	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.716.668	-70.606.415	188.0	6250000.0	1067.0	0.0	seq 66	-116
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.687.325	-706.073.126	411.0	4000000.0	981.0	0.0	seq 68	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.690.073	-706.054.466	-106.0	3750000.0	848.0	0.0	seq 69	-118
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.636.108	-7.060.524	274.0	-1.75E7	792.0	0.0	seq 72	-138
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.622.253	-706.063.906	218.0	-1750000.0	948.0	0.0	seq 73	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.610.601	-706.106.451	325.0	3500000.0	1362.0	0.0	seq 76	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-33.460.872	-706.103.105	325.0	-1,43E+10	1347.0	0.0	seq 77	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.602.933	-706.121.026	553.0	1000000.0	1511.0	0.0	seq 78	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-33.459.598	-706.142.263	783.0	2000000.0	1732.0	0.0	seq 79	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16		-334.587.311	-70.613.377	423.0	4500000.0	1687.0	0.0	seq 80	-125
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.577.223	-7.061.366.029.999.990	423.0	3750000.0	1755.0	0.0	seq 81	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+30		-3.345.793	-70.613.323	820.0	4250000.0	1697.0	0.0	seq 82	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30		-33.458.743	-706.133.861	424.0	1750000.0	1723.0	0.0	seq 83	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.580.771	-706.131.886	671.0	3500000.0	1725.0	0.0	seq 84	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.457.719.499.999.900	-706.136.081	1068.0	3750000.0	1784.0	0.0	seq 85	-122	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30		-334.581.338	-706.130.861	788.0	4000000.0	1694.0	0.0	seq 86	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.458.035.599.999.900	-7.061.350.949.999.990	826.0	3750000.0	1741.0	0.0	seq 87	-120	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-33.457.811.299.999.900	-7.061.361.699.999.990	1079.0	3500000.0	1781.0	0.0	seq 88	-120	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.582.446	-706.135.346	669.0	-5750000.0	1755.0	0.0	seq 89	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.578.748	-706.119.413	731.0	-1000000.0	1654.0	0.0	seq 90	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.569.496	-706.115.118	470.0	-1750000.0	1683.0	0.0	seq 91	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.572.413	-706.120.706	701.0	-4750000.0	1692.0	0.0	seq 92	-136
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+30		-334.557.803	-706.109.795	95.0	-6750000.0	1710.0	0.0	seq 93	-138
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.558.671	-706.115.985	316.0	-8000000.0	1753.0	0.0	seq 94	-139
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-33.455.592.599.999.900	-706.117.733	691.0	-9000000.0	1798.0	0.0	seq 95	-140	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14		-334.556.148	-706.113.701	528.0	-1.3E7	1769.0	0.0	seq 96	-144
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.556.043	-7.061.141.649.999.990	528.0	-1,38E+10	1780.0	0.0	seq 97	-146
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14		-33.456.296	-7.059.994.329.999.990	817.0	-1,53E+10	1119.0	0.0	seq 104	-141
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14		-334.570.341	-705.949.723	680.0	-6250000.0	1036.0	0.0	seq 106	-133
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-334.583.918	-705.911.655	495.0	-4750000.0	1013.0	0.0	seq 109	-131
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16		-33.461.262	-705.917.525	686.0	6250000.0	729.0	0.0	seq 111	-113
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.463.348.499.999.900	-7.059.127.149.999.990	497.0	6000000.0	618.0	0.0	seq 112	-114	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-33.462.865	-705.896.143	463.0	6250000.0	766.0	0.0	seq 113	-112
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+14		-33.462.241	-705.878.575	1014.0	750000.0	961.0	0.0	seq 114	-114
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.460.452.599.999.900	-7.058.732.499.999.990	859.0	-2500000.0	1115.0	0.0	seq 115	-129	
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16		-334.583.083	-7.058.465.749.999.990	586.0	-9000000.0	1434.0	0.0	seq 117	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.458.611.499.999.900	-705.843.246	717.0	750000.0	1449.0	0.0	seq 118	-119	

T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.671.626	-705.756.885	755.0	-3750000.0	1986.0	0.0	seq 123	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.702.726	-705.762.286	583.0	1500000.0	1982.0	0.0	seq 125	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.696.473	-70.575.329	683.0	500000.0	2049.0	0.0	seq 126	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.711.606	-705.697.665	597.0	-8250000.0	2589.0	0.0	seq 127	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.711.766	-705.693.071	868.0	1250000.0	2635.0	0.0	seq 128	-115
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.726.968	-705.607.141	812.0	-1,28E+10	3442.0	0.0	seq 129	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.726.968	-705.607.141	812.0	-6500000.0	3424.0	0.0	seq 130	-110
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.474.243.799.999.900	-705.565.318	616.0	-2500000.0	3871.0	0.0	seq 131	-117
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.760.025	-7.054.561.629.999.990	679.0	5500000.0	4896.0	0.0	seq 133	-115
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.476.668.499.999.900	-70.542.017	752.0	8250000.0	5235.0	0.0	seq 134	-110
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.771.916	-70.539.592	700.0	7250000.0	5473.0	0.0	seq 135	-116
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.477.336	-705.378.853	700.0	7000000.0	5628.0	0.0	seq 136	-115
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.477.636	-7.053.488.329.999.990	670.0	8750000.0	5908.0	0.0	seq 137	-108
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.790.201	-705.306.183	678.0	8750000.0	6324.0	0.0	seq 138	-112
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.790.201	-705.306.183	678.0	4750000.0	6332.0	3.0	<POSITION_APP>	-118
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.798.906	-705.266.626	754.0	4750000.0	6711.0	0.0	seq 139	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.480.551	-705.240.985	774.0	3250000.0	6959.0	0.0	seq 140	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.881.415	-705.207.223	788.0	4250000.0	7484.0	0.0	seq 141	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.490.998	-705.193.585	721.0	4750000.0	7710.0	0.0	seq 142	-118
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.490.998	-705.193.585	721.0	-1750000.0	7711.0	3.0	<POSITION_APP>	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.932.588	-705.192.395	923.0	6000000.0	7831.0	0.0	seq 143	-117
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.927.815	-705.183.091	820.0	-3000000.0	7870.0	0.0	seq 144	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.492.822.499.999.900	-705.187.538	849.0	-8500000.0	7841.0	0.0	seq 145	-135
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.938.636	-7.051.913.549.999.990	794.0	-9250000.0	7860.0	3.0	<POSITION_APP>	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.938.636	-7.051.913.549.999.990	794.0	-2250000.0	7860.0	0.0	seq 147	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.929.371	-705.186.535	797.0	5250000.0	7847.0	0.0	seq 148	-117
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.924.475	-7.051.816.699.999.990	887.0	8750000.0	7887.0	0.0	seq 149	-111
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.983.061	-705.198.638	757.0	8500000.0	8000.0	0.0	seq 150	-109
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.973.156	-70.524.693	769.0	8500000.0	7554.0	0.0	seq 151	-106
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.498.783.599.999.900	-705.198.571	877.0	4750000.0	8024.0	0.0	seq 152	-117
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.988.738	-705.199.171	864.0	4250000.0	8029.0	0.0	seq 153	-116
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.985.103	-705.200.595	810.0	3750000.0	7999.0	0.0	seq 154	-116
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.498.757.999.999.900	-7.051.989.429.999.990	827.0	9500000.0	8024.0	0.0	seq 155	-107
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-3.349.722	-705.236.336	843.0	-3750000.0	7638.0	0.0	seq 156	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+14	-33.495.703.999.999.900	-7.052.943.359.999.990	756.0	3500000.0	7071.0	0.0	seq 157	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.940.481	-705.341.971	598.0	8000000.0	6596.0	3.0	<POSITION_APP>	-108
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.929.603	-705.384.376	689.0	5750000.0	6193.0	0.0	seq 158	-107
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.929.603	-705.384.376	689.0	8750000.0	6203.0	3.0	<POSITION_APP>	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+30	-33.491.415.599.999.900	-705.413.325	722.0	-2000000.0	5880.0	3.0	<POSITION_APP>	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.878.813	-70.552.661	663.0	500000.0	4779.0	0.0	seq 161	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+14	-334.863.248	-70.557.575	627.0	-500000.0	4306.0	0.0	seq 162	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.842.776	-7.056.438.299.999.990	628.0	-3000000.0	3648.0	3.0	<POSITION_APP>	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.832.373	-705.677.968	615.0	250000.0	3322.0	0.0	seq 165	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.481.405.599.999.900	-705.761.338	614.0	1750000.0	2586.0	0.0	seq 166	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.470.834.499.999.900	-70.575.718	715.0	-2250000.0	2032.0	0.0	seq 169	-126
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.713.115	-705.802.583	594.0	1500000.0	1653.0	3.0	<POSITION_APP>	-115
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.474.272.299.999.900	-705.883.301	564.0	-7000000.0	1235.0	0.0	seq 174	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.763.296	-70.586.007	622.0	1,13E+10	1549.0	0.0	seq 175	-106
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.479.431.999.999.900	-705.834.426	623.0	5500000.0	1965.0	0.0	seq 176	-117
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.819.111	-705.840.841	623.0	750000.0	2149.0	0.0	seq 177	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.486.289.299.999.900	-70.585.568	577.0	-2250000.0	2490.0	0.0	seq 178	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.486.289.299.999.900	-70.585.568	577.0	2750000.0	2490.0	0.0	seq 179	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-3.348.647	-70.588.822	568.0	-500000.0	2392.0	0.0	seq 180	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-334.858.531	-7.059.347.799.999.990	546.0	-5250000.0	2207.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-334.851.715	-705.987.495	555.0	-1.65E7	2118.0	0.0	seq 183	-144
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.858.355	-705.999.396	523.0	-1,28E+10	2223.0	0.0	seq 192	-140
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.747.015	-705.993.658	506.0	2750000.0	993.0	0.0	seq 195	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.747.015	-705.993.658	506.0	2250000.0	960.0	3.0	<POSITION_APP>	120
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+30	-334.696.955	-70.598.923	530.0	1,28E+10	451.0	0.0	seq 197	-90
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.977.299.999.900	-705.992.033	525.0	1,08E+10	228.0	0.0	seq 198	-92
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.671.678	-70.598.218	549.0	1,28E+10	159.0	3.0	<POSITION_APP>	-96
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.669.765	-705.977.571	411.0	1,13E+10	118.0	0.0	seq 199	-97
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.467.246.599.999.900	-705.974.986	567.0	1,08E+10	136.0	0.0	seq 200	-104
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.467.246.599.999.900	-705.974.986	567.0	1.3E7	116.0	0.0	seq 201	-96
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.467.246.599.999.900	-705.974.986	567.0	8750000.0	162.0	0.0	seq 202	-114
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.467.246.599.999.900	-705.974.986	567.0	8000000.0	125.0	0.0	seq 203	-114
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.467.246.599.999.900	-705.974.986	567.0	8500000.0	154.0	0.0	seq 204	-111
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.467.246.599.999.900	-705.974.986	567.0	-1,53E+10	154.0	0.0	seq 205	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.467.246.599.999.900	-705.974.986	567.0	4000000.0	109.0	0.0	seq 206	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.467.246.599.999.900	-705.974.986	567.0	2500000.0	132.0	0.0	seq 208	-122

Test 5.8 dBi

sender name	sender lat	sender long	rx lat	rx long	rx elevation	rx snr	distance	hop limit	payload	rsi
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.965	-705.969.556	566.0	1.1E7	72.0	2.0	<ROUTING_APP>	-73
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.965	-705.969.556	566.0	1,28E+10	72.0	0.0	seq 11	-71
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.669.386	-705.969.626	578.0	9500000.0	69.0	0.0	seq 12	-67
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.671.058	-705.981.966	597.0	1,18E+10	134.0	0.0	seq 13	-77
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.670.661	-705.985.055	603.0	-500000.0	154.0	0.0	seq 14	-105
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.459.511.299.999.900	-705.982.196	605.0	-1750000.0	764.0	0.0	seq 16	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.584.295	-705.981.103	663.0	-1.25E7	882.0	0.0	seq 17	-139
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.457.827	-705.980.335	728.0	-1,48E+10	948.0	0.0	seq 18	-139
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.594.758	-705.934.375	643.0	-1,13E+10	833.0	0.0	seq 25	-140
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.593.351	-705.960.801	594.0	-9750000.0	782.0	0.0	seq 26	-138
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.590.153	-705.994.503	601.0	-6000000.0	841.0	0.0	seq 27	-131
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.589.395	-7.060.119.379.999.990	645.0	-8500000.0	904.0	0.0	seq 28	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.591.083	-70.605.857	656.0	-1500000.0	1141.0	0.0	seq 29	-125
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.459.707	-706.059.313	623.0	-1,03E+10	1100.0	0.0	seq 32	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.460.893	-706.061.081	737.0	-1,63E+10	1030.0	0.0	seq 34	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.624.333	-706.060.281	621.0	-2500000.0	934.0	0.0	seq 35	-110
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.643.583	-70.600.899	554.0	5750000.0	414.0	0.0	seq 36	-101
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.467.105	-706.004.576	597.0	3000000.0	323.0	0.0	seq 37	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.690.298	-706.021.178	643.0	2500000.0	554.0	0.0	seq 38	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.473.963.499.999.900	-70.604.986	580.0	-250000.0	1120.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.473.963.499.999.900	-70.604.986	580.0	250000.0	1120.0	0.0	seq 42	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.740.271	-7.060.355.009.999.990	584.0	-9500000.0	1044.0	0.0	seq 43	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.738.038	-7.059.858.899.999.990	639.0	3000000.0	842.0	0.0	seq 47	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.697.536	-7.058.653.009.999.990	598.0	-8250000.0	1051.0	0.0	seq 51	-133
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.465.869	-705.858.566	639.0	2250000.0	1044.0	0.0	seq 53	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.653.455	-705.882.483	602.0	-3000000.0	828.0	0.0	seq 54	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.658.716	-705.883.436	599.0	-250000.0	813.0	0.0	seq 55	-126
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.659.056	-705.883.278	605.0	2000000.0	815.0	0.0	seq 56	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.666.256	-705.885.255	605.0	-4250000.0	796.0	0.0	seq 57	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.471.069.799.999.900	-705.900.795	587.0	2250000.0	838.0	0.0	seq 60	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.472.048.799.999.900	-705.918.051	605.0	250000.0	803.0	0.0	seq 61	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.734.133	-70.591.903	619.0	-1250000.0	923.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-126
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.734.133	-70.591.903	619.0	-750000.0	923.0	0.0	seq 62	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.717.565	-705.985.936	574.0	7500000.0	619.0	0.0	seq 65	-111
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.691.115	-705.982.841	562.0	1,33E+10	329.0	0.0	seq 66	-76
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.668.578	-7.059.685.259.999.990	549.0	1,23E+10	64.0	0.0	seq 67	-82
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.668.578	-7.059.685.259.999.990	549.0	1,33E+10	64.0	0.0	seq 68	-67
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.668.578	-7.059.685.259.999.990	549.0	9500000.0	64.0	0.0	seq 69	-89
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.668.578	-7.059.685.259.999.990	549.0	1,13E+10	64.0	2.0	<NODEINFO_APP>	-88
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.668.578	-7.059.685.259.999.990	549.0	1,13E+10	64.0	3.0	<NODEINFO_APP>	-88
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.668.578	-7.059.685.259.999.990	549.0	1,13E+10	64.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-88

Test 2 dBi

sender name	sender lat	sender long	rx lat	rx long	rx elevation	rx snr	distance	hop limit	payload	rsi
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.668.735	-7.059.795.679.999.990	582.0	1,18E+10	98.0	2.0	<ROUTING_APP>	-89
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.668.735	-7.059.795.679.999.990	582.0	1,08E+10	98.0	0.0	seq 25	-90
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.668.693	-705.981.393	582.0	9500000.0	115.0	0.0	seq 26	-98
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.668.451	-705.982.223	574.0	1.1E7	123.0	0.0	seq 27	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-33.466.257	-70.598.215	581.0	-750000.0	146.0	0.0	seq 30	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.656.893	-70.598.182	578.0	-4500000.0	186.0	0.0	seq 31	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.656.893	-70.598.182	578.0	1000000.0	186.0	2.0	<ROUTING_APP>	-125
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.648.305	-7.059.818.849.999.990	612.0	-1.6E7	267.0	0.0	seq 35	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.464.827.299.999.900	-7.059.749.529.999.990	586.0	-8500000.0	246.0	3.0	<POSITION_APP>	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.464.827.299.999.900	-7.059.749.529.999.990	586.0	-1.8E7	246.0	0.0	seq 41	-147
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.464.827.299.999.900	-7.059.749.529.999.990	586.0	-1,73E+10	246.0	3.0	<POSITION_APP>	-145
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.464.838.799.999.900	-705.968.266	586.0	-1.0E7	238.0	0.0	seq 42	-137
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.648.733	-705.969.903	586.0	-1,73E+10	235.0	3.0	<POSITION_APP>	-145
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.648.785	-7.059.668.959.999.990	573.0	-1,58E+10	235.0	0.0	seq 44	-144
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.648.588	-705.959.458	594.0	-1,03E+10	253.0	0.0	seq 45	-137
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.464.864.999.999.900	-705.956.515	594.0	-7250000.0	263.0	0.0	seq 46	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.464.917.799.999.900	-705.948.885	592.0	-9000000.0	296.0	0.0	seq 48	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.464.950.099.999.900	-705.942.766	615.0	-1,38E+10	333.0	0.0	seq 50	-139
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.648.715	-705.958.138	586.0	-3500000.0	256.0	0.0	seq 54	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.465.427.999.999.900	-705.956.128	588.0	-5000000.0	211.0	0.0	seq 55	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.465.427.999.999.900	-705.956.128	588.0	-4750000.0	211.0	0.0	seq 56	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.660.136	-70.595.545	568.0	1250000.0	166.0	0.0	seq 57	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.466.390.499.999.900	-7.059.557.699.999.990	568.0	2750000.0	140.0	0.0	seq 58	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.662.498	-7.059.549.009.999.990	568.0	2750000.0	155.0	3.0	<POSITION_APP>	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.184	-705.953.808	568.0	1500000.0	168.0	0.0	seq 59	-125
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.661.665	-70.595.331	655.0	-2750000.0	173.0	0.0	seq 60	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-334.661.665	-70.595.331	655.0	-3250000.0	173.0	0.0	seq 61	-130

T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+30	-33.466.135.099.999.900	-705.953.366	682.0	-2250000.0	174.0	0.0	seq 62	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.466.135.099.999.900	-705.953.366	682.0	-2000000.0	174.0	3.0	<POSITION_APP>	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.311	-705.955.668	590.0	-9250000.0	150.0	0.0	seq 64	-136
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.661.463	-70.595.406	662.0	-5750000.0	168.0	0.0	seq 65	-133
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.662.226	-70.595.483	615.0	-2000000.0	158.0	3.0	<POSITION_APP>	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.662.226	-70.595.483	615.0	1000000.0	158.0	0.0	seq 66	-125
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-334.661.706	-705.953.983	615.0	1500000.0	167.0	3.0	<POSITION_APP>	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.466.188.599.999.900	-705.954.208	640.0	3750000.0	164.0	0.0	seq 67	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+14	-7,06E+16	-33.466.188.599.999.900	-705.954.208	640.0	3750000.0	164.0	0.0	seq 68	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.636	-70.595.517	640.0	3500000.0	153.0	3.0	<POSITION_APP>	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.636	-70.595.517	640.0	2250000.0	153.0	0.0	seq 69	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.771	-70.595.565	579.0	3500000.0	148.0	0.0	seq 70	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.661.603	-705.955.911	579.0	3500000.0	153.0	0.0	seq 71	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.661.603	-705.955.911	579.0	3750000.0	153.0	3.0	<POSITION_APP>	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.663.045	-705.953.935	565.0	3000000.0	160.0	0.0	seq 72	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.662.096	-705.956.611	564.0	3750000.0	145.0	0.0	seq 73	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.662.048	-7.059.567.559.999.900	572.0	-250000.0	144.0	0.0	seq 74	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.662.116	-705.956.961	572.0	3750000.0	142.0	0.0	seq 75	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.662.246	-705.957.658	585.0	4250000.0	136.0	3.0	<POSITION_APP>	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.278.599.999.900	-705.954.983	570.0	750000.0	154.0	0.0	seq 76	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.278.599.999.900	-705.954.983	570.0	1750000.0	154.0	3.0	<POSITION_APP>	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.662.953	-705.954.558	602.0	2000000.0	156.0	0.0	seq 77	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.662.953	-705.954.558	602.0	-4000000.0	156.0	0.0	seq 78	-131
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.466.323.599.999.900	-705.955.176	569.0	250000.0	150.0	3.0	<POSITION_APP>	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.466.323.599.999.900	-705.955.176	569.0	2000000.0	150.0	0.0	seq 79	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.571	-705.955.895	569.0	-5500000.0	148.0	0.0	seq 80	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.661.798	-705.956.561	575.0	-7750000.0	148.0	0.0	seq 81	-135
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.645	-705.955.528	565.0	1750000.0	150.0	0.0	seq 82	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7059693.0	-334.662.545	-705.955.196	582.0	1750000.0	154.0	3.0	<POSITION_APP>	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7059693.0	-334.662.545	-705.955.196	582.0	3000000.0	154.0	0.0	seq 83	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7059693.0	-33.466.226	-705.955.776	590.0	3500000.0	151.0	0.0	seq 84	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7059693.0	-334.662.861	-705.955.026	578.0	-4250000.0	153.0	0.0	seq 85	-131
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.662.861	-705.955.026	578.0	2500000.0	154.0	3.0	<POSITION_APP>	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.189	-705.956.465	577.0	3500000.0	149.0	0.0	seq 86	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.466.282.299.999.900	-705.955.141	598.0	-1250000.0	153.0	0.0	seq 87	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.206	-705.955.903	578.0	-5000000.0	151.0	3.0	<POSITION_APP>	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.206	-705.955.903	578.0	-6000000.0	151.0	0.0	seq 88	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.662.168	-705.955.491	566.0	-3250000.0	154.0	0.0	seq 89	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-334.662.168	-705.955.491	566.0	-3250000.0	154.0	3.0	<POSITION_APP>	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-334.662.088	-705.956.515	579.0	-2500000.0	147.0	0.0	seq 90	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-33.466.263	-70.595.584	570.0	2000000.0	149.0	0.0	seq 91	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-33.466.263	-70.595.584	570.0	750000.0	149.0	3.0	<POSITION_APP>	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.662.295	-70.595.568	592.0	-2000000.0	152.0	3.0	<TELEMETRY_APP>	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.662.295	-70.595.568	592.0	4250000.0	152.0	3.0	<POSITION_APP>	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+14	-334.662.295	-70.595.568	592.0	-6750000.0	152.0	0.0	seq 92	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.665.955	-705.953.045	622.0	2000000.0	157.0	3.0	<POSITION_APP>	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.665.955	-705.953.045	622.0	5500000.0	157.0	0.0	seq 93	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.664.806	-705.953.016	594.0	8750000.0	162.0	0.0	seq 94	-105
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.665.775	-705.953.463	577.0	1,03E+10	154.0	2.0	<ROUTING_APP>	-106
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.665.775	-705.953.463	577.0	4750000.0	154.0	0.0	seq 95	-120
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-334.670.146	-70.595.266	602.0	-2750000.0	155.0	3.0	<POSITION_APP>	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-334.670.146	-70.595.266	602.0	2750000.0	155.0	0.0	seq 96	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-33.467.518.999.999.900	-705.951.575	564.0	3000000.0	175.0	0.0	seq 97	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+30	-33.467.518.999.999.900	-705.951.575	564.0	7000000.0	175.0	0.0	seq 98	-115
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.467.800.499.999.900	-705.951.666	597.0	2250000.0	188.0	3.0	<POSITION_APP>	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.468.119	-705.951.163	579.0	2750000.0	211.0	0.0	seq 99	-124
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.468.379.299.999.900	-705.951.876	592.0	-2250000.0	224.0	0.0	seq 100	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.685.945	-705.952.016	592.0	-8750000.0	241.0	0.0	seq 101	-136
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.690.763	-705.956.281	592.0	-9000000.0	262.0	0.0	seq 103	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.690.763	-705.956.281	592.0	-6250000.0	262.0	0.0	seq 104	-133
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.693.848	-7.059.613.809.999.900	574.0	-1.1E7	277.0	0.0	seq 105	-138
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.469.616.099.999.900	-7.059.617.879.999.900	570.0	-1,43E+10	301.0	0.0	seq 106	-142
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.702.093	-705.964.206	581.0	-1,23E+10	361.0	0.0	seq 109	-140
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.469.996	-70.596.398	581.0	-4000000.0	338.0	2.0	<ROUTING_APP>	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.699.453	-7.059.636.909.999.900	581.0	-8250000.0	333.0	0.0	seq 111	-136
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-33.469.628.799.999.900	-7.059.639.829.999.900	589.0	-9000000.0	298.0	3.0	<POSITION_APP>	-136
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.693.926	-705.964.333	589.0	-2750000.0	271.0	0.0	seq 112	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+16	-7,06E+16	-334.693.926	-705.964.333	589.0	-5750000.0	271.0	0.0	seq 113	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.692.315	-705.965.496	584.0	-3000000.0	252.0	3.0	<POSITION_APP>	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.691.263	-7.059.684.399.999.900	582.0	-4250000.0	238.0	0.0	seq 114	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.691.263	-7.059.684.399.999.900	582.0	6000000.0	238.0	3.0	<POSITION_APP>	-119
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.469.127.799.999.900	-7.059.710.679.999.900	592.0	2000000.0	238.0	0.0	seq 115	-121
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.690.195	-705.976.953	575.0	-500000.0	236.0	0.0	seq 116	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.690.195	-705.976.953	575.0	-7750000.0	236.0	0.0	seq 117	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-3.346.942	-705.984.498	584.0	2250000.0	304.0	0.0	seq 119	-123
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.469.251.799.999.900	-705.984.678	570.0	-5000000.0	288.0	0.0	seq 120	-126
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.469.178.299.999.900	-7.059.855.809.999.900	579.0	2250000.0	285.0	0.0	seq 121	-122
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.692.795	-705.988.655	571.0	-2500000.0	310.0	0.0	seq 122	-128
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.690.668	-705.995.666	598.0	-1.0E7	335.0	0.0	seq 123	-138
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.469.190.499.999.900	-7.059.967.929.999.900	571.0	-2750000.0	352.0	0.0	seq 124	-129
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.691.106	-706.002.601	582.0	-1.05E7	387.0	0.0	seq 125	-138
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.693.028	-706.007.743	600.0	-4500000.0	438.0	0.0	seq 126	-132
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.690.581	-706.005.816	596.0	-1.4E7	408.0	0.0	seq 128	-142
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.468.955.099.999.900	-706.006.151	592.0	-3500000.0	404.0	0.0	seq 129	-130
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-33.469.089	-706.003.856	563.0	-1.55E7	395.0	0.0	seq 130	-144
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.683.675	-706.004.401	600.0	-7000000.0	358.0	0.0	seq 131	-134
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.682.575	-706.003.526	572.0	-750000.0	346.0	0.0	seq 132	-127
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.680.166	-706.003.346	586.0	-1000000.0	334.0	0.0	seq 133	-126
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.678.095	-70.600.391	586.0	-1750000.0	332.0	0.0	seq 134	-125
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.671.981	-7.060.035.529.999.900	585.0	1250000.0	317.0	0.0	seq 135	-118
T-BEAM E BASE	-3,35E+32	-7,06E+16	-334.667.495	-7.059.999.859.999.900	586.0	-7250000.0	284.0	0.0	seq	