La actividad de acotar el proyecto experimental sobre la modulación LoRa se enfoca en evaluar el desempeño de esta tecnología en dos escenarios distintos: un entorno urbano (800 mts) que abarca de esquina a esquina del campus San Joaquín, y un entorno rural (250 mts) en la zona de deportes, cancha San Joaquín. Durante los experimentos, se observarán variables clave como el RSSI (Received Signal Strength Indicator), la tasa de pérdida de paquetes (Packet Loss Rate), la cantidad de paquetes y bytes corruptos, el tiempo de ida y vuelta (RTT - Round-Trip Time), y la hora exacta de cada experimento. Las variables controladas incluyen el tamaño del paquete, con opciones de carga útil baja (1-50 bytes), media (51-150 bytes) y alta (151-255 bytes), así como la tasa de datos, con opciones de baja (0.3 a 1.2 kbps), media (5.47 kbps) y alta (21.9 kbps). También se controlarán la distancia y los tipos de modulación (LoRa y BPSK). Este experimento permitirá obtener curvas detalladas de pérdida de datos en función del tiempo, con 1000 puntos de muestreo, evaluando si el dato enviado es igual al recibido. Finalmente, se registrarán los equipos y módulos utilizados para garantizar la reproducibilidad y precisión del estudio.

Setup experimental:

Escenarios:

1- Urbano (800 mts). De esquina a esquina del campus san joaquin.

2- Rural (250 mts). Zona deportes, cancha san joaquin.

Variables observadas:

1- RSSI (si el sistema lo dispone)

2- Packet loss rate. Curva de perdida de datos en función del tiempo. 1000 pts. La pérdida de datos se calcula comparando si el dato que se envió es el mismo que el dato que se recibió 0 = es el mismo. 1 = no es el mismo.

3- Registrar tanto los packets corruptos como el numero de bytes corruptos.

4- Registrar el delay de ida y vuelta. RTT (Round-Trip Time). Es una métrica clave en redes de comunicación que ayuda a evaluar la eficiencia y la latencia de la conexión.

5- Hora del experimento

Variables controladas:

1- Tamaño del paquete. El tamaño máximo de la carga útil de un paquete LoRa es de 255 bytes. Las opciones son: BAJA (1-50 bytes), MEDIA (51-150 bytes), ALTA (151-255 bytes).

2- Tasa de datos. Las opciones son: BAJA (0.3 a 1.2 kbps, SF alto, como SF12, y BW bajo, como 125 kHz​), MEDIA (5.47 kbps, SF7 y BW 125 kHz), ALTA (21.9 kbps, SF6 y BW 500 kHz).

3- Distancia

4- Modulación LoRa y BPSK.

5- Parámetros = equipos/módulos utilizados.

La tasa de datos máxima para un módulo Heltec LoRa 32 utilizando comunicación LoRa depende del factor de expansión (SF), el ancho de banda (BW) y la tasa de codificación (CR).

1- Spreading Factor (SF): Los valores típicos oscilan entre 6 y 12. Un valor más bajo de SF proporciona mayores tasas de datos, pero reduce el alcance de la comunicación.

2- Ancho de Banda (BW): Las opciones de ancho de banda incluyen 125 kHz, 250 kHz y 500 kHz. Un BW más alto permite alcanzar mayores tasas de datos.

3- Coding Rate (CR): Normalmente, se utiliza una tasa de codificación de 4/5, lo cual equilibra la corrección de errores y la eficiencia de la transmisión.

Dado lo anterior, una tasa de datos máxima teórica considerando SF6, BW 500 kHz y CR 4/5 puede alcanzar aproximadamente 21.9 kbps. [Using 2 Heltec WiFi-LoRa 32 V2 boards to transmit and respond to sensed data – SENSING THE CITY](https://www.sensingthecity.com/using-2-heltec-wifi-lora-32-v2-boards-to-transmit-and-respond-to-sensed-data/)

Ejemplo de configuración típica SF7, BW 125 kHz y CR 4/5. En este caso, la tasa de datos sería aproximadamente 5.47 kbps. [HeltecTM ESP32+LoRa Series Frequently Asked Questions — esp32 latest documentation](https://docs.heltec.org/en/node/esp32/esp32_general_docs/frequently_asked_questions.html)

Para estandarizar el tamaño de un paquete bajo, medio y alto en relación con la tasa de datos de un módulo Heltec LoRa 32 V2, podemos establecer las siguientes categorías, teniendo en cuenta las capacidades y configuraciones típicas de LoRa:

Tamaño de Paquete Bajo

1- Rango de tamaño: 1 a 50 bytes

1.1- Uso común: Sensores de baja tasa de datos, como sensores de temperatura y humedad que envían datos periódicamente. Estos paquetes pequeños son ideales para aplicaciones que requieren una alta eficiencia energética y mínima interferencia.

1.2- SF alto, como SF12, y un ancho de banda bajo, como 125 kHz, la tasa de datos sería baja, lo que es adecuado para estos tamaños de paquetes.

Tamaño de paquete medio

2- Rango de tamaño: 51 a 150 bytes

2.1- Uso común: Aplicaciones de telemetría más complejas, como seguimiento de vehículos o monitoreo de condiciones ambientales con múltiples parámetros. Este tamaño de paquete permite una transmisión más rica en datos, sin comprometer demasiado la eficiencia.

2.2- Con un SF más equilibrado, como SF7 y BW 125 kHz, se obtiene una tasa de datos moderada.

Tamaño de paquete alto

3- Rango de tamaño: 151 a 255 bytes

3.1- Uso común: Transmisión de datos que requieren mayor detalle o que incluyen múltiples tipos de información, como imágenes pequeñas, datos combinados de varios sensores o configuraciones de dispositivos. Este tamaño es adecuado para aplicaciones que pueden tolerar un mayor consumo de energía y menor alcance.

3.2- Ejemplo de tasa de datos: Para maximizar la tasa de datos, se podría usar SF6 y BW 500 kHz. Esta configuración es ideal para transmitir paquetes de datos grandes.

-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

El SF es un parámetro esencial en las comunicaciones de radio de baja potencia y larga distancia, especialmente en tecnologías como LoRa (Long Range). Este factor determina el número de símbolos utilizados para representar cada bit de datos transmitido, influyendo tanto en la tasa de datos como en la sensibilidad del receptor y el alcance de la transmisión. Los valores típicos del SF van del 6 al 12, donde un SF más bajo significa una transmisión más rápida, pero con menor alcance y sensibilidad, mientras que un SF más alto implica una transmisión más lenta, pero con mayor alcance y sensibilidad. Además, un SF más alto aumenta la sensibilidad del receptor, permitiendo la detección de señales más débiles y extendiendo el alcance de la comunicación, aunque también reduce la tasa de datos y puede afectar la capacidad de la red.

La elección del SF también tiene implicaciones energéticas y de interferencia. Un SF más bajo consume menos energía por bit transmitido debido a la mayor velocidad de transmisión, mientras que un SF más alto consume más energía ya que la transmisión de cada bit toma más tiempo. Además, aunque un SF más alto es más robusto frente a interferencias, su uso puede disminuir la capacidad de la red debido al mayor tiempo y ancho de banda ocupado por las transmisiones. En resumen, el SF permite equilibrar la velocidad de datos, la fiabilidad de la transmisión y el consumo de energía en sistemas de comunicación como LoRa, y su elección depende de las necesidades específicas de la aplicación, considerando los requisitos de alcance, velocidad de datos y eficiencia energética.

Links de referencia:

[HTIT-WB32LA\_V3(Rev1.1).pdf (heltec.cn)](https://resource.heltec.cn/download/WiFi_LoRa_32_V3/HTIT-WB32LA_V3(Rev1.1).pdf) para especificaciones detalladas y ejemplos de configuración. Página 14 mediciones físicas.