

INFORME DE PRUEBAS DE COMUNICACIÓN CON LORA

Cálculos teóricos sobre el alcance de la comunicación

En todas las pruebas que se tuvieron en cuenta a la hora de sacar conclusiones, se utilizaron los siguientes parámetros:

- Frecuencia: 433MHz
- Factor de propagación(SF): 11
- Potencia de transmisión: 13dBm (20mW)
- Ancho de banda: 500kHz

Utilizando el software de Semtech “LoRa Modem Calculator Tool” podemos introducir los parámetros a utilizar en la comunicación y obtener el balance del enlace en decibeles.

The screenshot displays the 'LoRa Modem Calculator Tool' interface. It is divided into several sections:

- Calculator Inputs:**
 - LoRa Modem Settings:** Spreading Factor (11), Bandwidth (500 kHz), Coding Rate (4), Low Datarate (Optimiser On).
 - Packet Configuration:** Payload Length (8 Bytes), Programmed Preamble (6 Symbols), Total Preamble Length (10.25 Symbols), Header Mode (Explicit Header Enabled), CRC Enabled (Enabled).
 - RF Settings:** Centre Frequency (433000000 Hz), Transmit Power (13 dBm), Hardware Implementation (RFIO is Shared).
 - Compatible SX Products:** 1276, 1278.
- Selected Configuration:** A circuit diagram showing the connection between VR_PA, RFO, RFI, and TRx, with a table below it showing the packet structure: Preamble, Header, Payload, and CRC.
- Calculator Outputs:**
 - Timing Performance:** Equivalent Bitrate (1342,77 bps), Time on Air (140,29 ms), Preamble Duration (41.98 ms), Symbol Time (4.10 ms).
 - RF Performance:** Link Budget (139,5 dB), Receiver Sensitivity (-126,5 dBm), Max Crystal Offset (288,7 ppm).
 - Consumption:** Transmit (35 mA), CAD/Rx (13 mA), Sleep (100 nA).

At the bottom, a summary bar shows: SF = 11, BW = 500 kHz, CR = 4/8, Header Enabled, Preamble = 10,25 syms, Payload = 8 bytes, Transmit Power = 13 dBm.

Teniendo como dato el balance del enlace (Link Budget), podemos calcular la distancia máxima aproximada que se puede lograr a través de un cálculo matemático.

Calculo de la pérdida en el espacio libre:

$$FSPL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) - G_{Tx} - G_{Rx}$$

Donde:

d = Distancia entre las antenas (metros).

f = Frecuencia (Hertz).

G (Tx) = La ganancia de la antena transmisora.

G (Rx) = La ganancia de la antena receptora.

c = Velocidad de la luz en el vacío (Metros por segundo)

Al realizar los cálculos, obtenemos los siguientes resultados en cuanto a las distancias máximas:

- ✓ Con antenas de 5dBi de ganancia: 1645 km.
- ✓ Con antenas de 3dBi de ganancia: 1035 km.
- ✓ Con antenas de 0dBi de ganancia: 520km

Sabiendo que la distancia máxima supera ampliamente lo requerido para realizar las pruebas, se procede a realizar los cálculos de curvatura de la tierra.

Calculo de la influencia de la curvatura de la tierra:

El cálculo se realizó en una calculadora de curvatura de la tierra teniendo en cuenta la altura del observador (emisor) en la peor situación (1era prueba, a 17 m s.n.m) y suponiendo que el receptor se encuentra a 0 m s.n.m, también para realizar el cálculo en la peor situación.

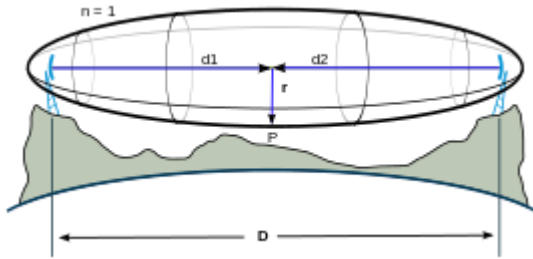
Units	<input checked="" type="radio"/> Metric	<input type="radio"/> Imperial
h0 = Eye height	<input type="text" value="17"/>	metres
d0 = Target distance	<input type="text" value="15"/>	km
<input type="button" value="Calculate"/>		

d1 = Horizon distance	14.717822	km
h1 = Target hidden height	0.0062	metres

Como se puede observar, con el observador a una altura de 17 m s.n.m. a una distancia de 15 km, el objetivo es casi completamente visible, teniendo únicamente 0,62 cm fuera del campo de visión. Viendo este resultado, podemos concluir que la curvatura de la tierra no es un problema para las pruebas a realizar.

Calculo de la Fresnel Zone:

La Fresnel Zone es un volumen de espacio libre de obstáculos necesario entre el emisor de una onda electromagnética y un receptor para que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.



La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40%. La obstrucción máxima recomendada es el 20%. La fórmula para realizar el cálculo es la siguiente:

$$\text{Radius (mts.)} = 17.31 \times \sqrt{\frac{D \text{ (in km)}}{4 \times f \text{ (in GHz)}}$$

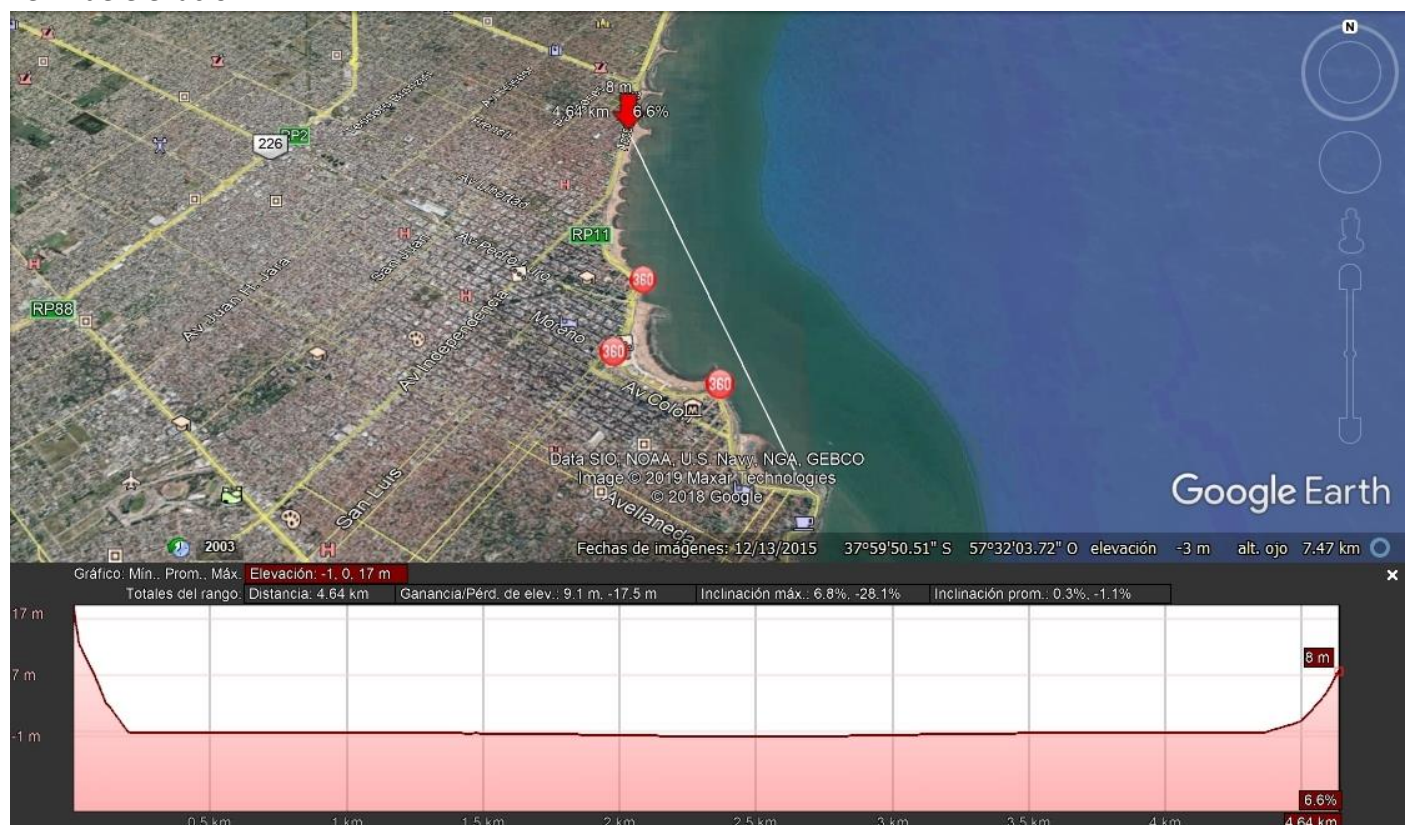
Los resultados son los siguientes (Frecuencia = 433MHz):

- ✓ Radio de la fresnel zone a 5km: **29.42m**
60% Fresnel zone: **17.65m**
- ✓ Radio de la fresnel zone a 10km: **41.61m**
60% Fresnel zone: **24.96m**
- ✓ Radio de la fresnel zone a 15km: **50.97m**
60% Fresnel zone: **30.58m**

Primer prueba

5km

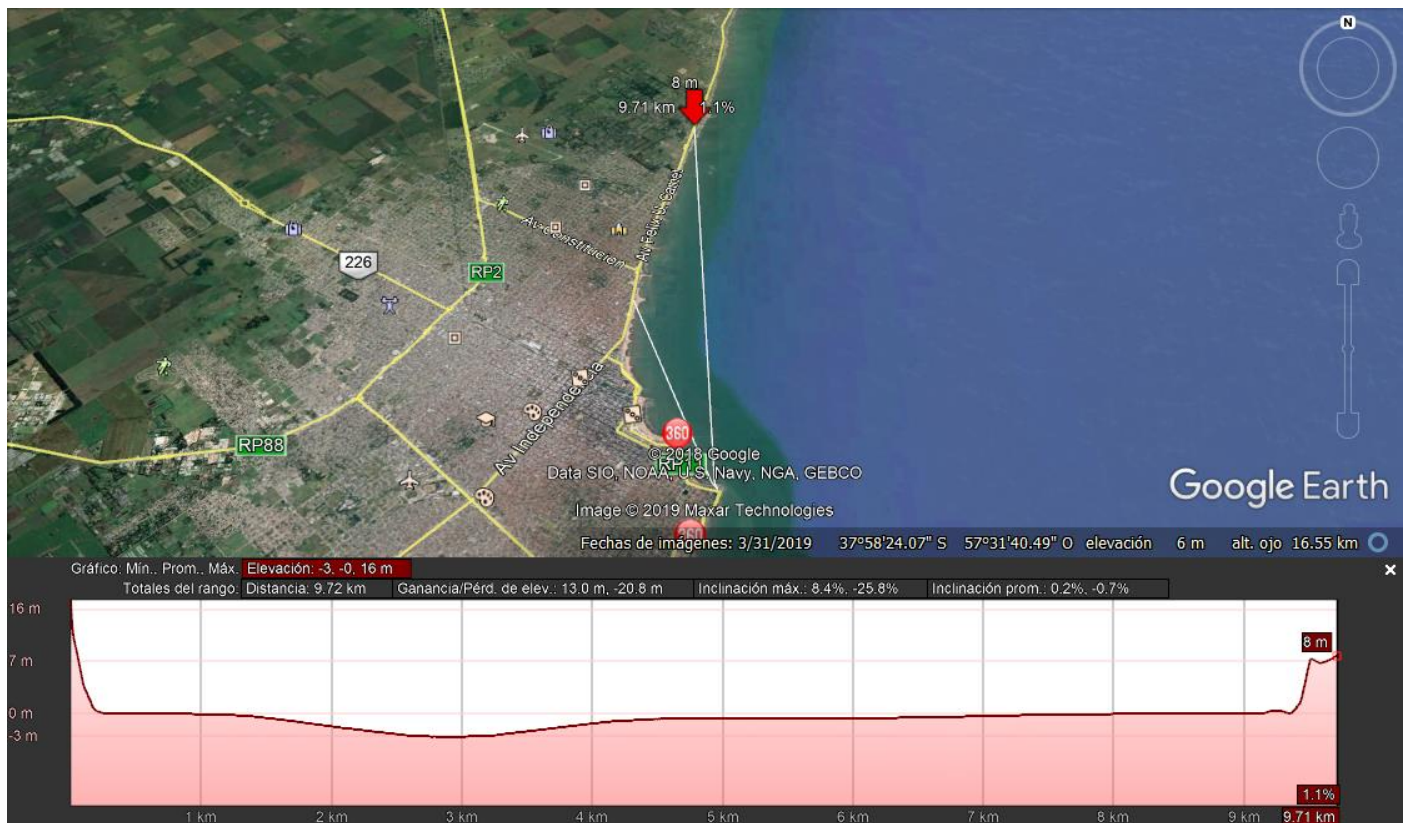
Perfil de elevación



En esta primer prueba, siendo el radio de la fresnel zone(60% libre) de 17.65m, podemos ver que la incidencia de la misma ya es significativa, ya que una de una de las antenas se encuentra a 17m(+2m) y la otra a 8m(+2m). Por lo tanto, el porcentaje libre de la fresnel zone está un poco por debajo de lo necesario para considerar que no hay obstrucción. Sin embargo, a esta distancia se pudo establecer una comunicación estable.

10km

Perfil de elevación



A la distancia de 10km, la incidencia de la fresnel zone es se hace mucho más grande, ya que su radio en un 60% libre es de casi 25m, muy por encima de la altura a la que se encuentran ambas antenas. En este caso se logró recibir únicamente un paquete, pero con una señal muy pobre y una comunicación extremadamente inestable.

En ambas pruebas, a 5 y 10km, las pruebas realizadas con la librería LoRaNow y las realizadas con el ESP8266 con módulo RF96 nunca funcionaron.

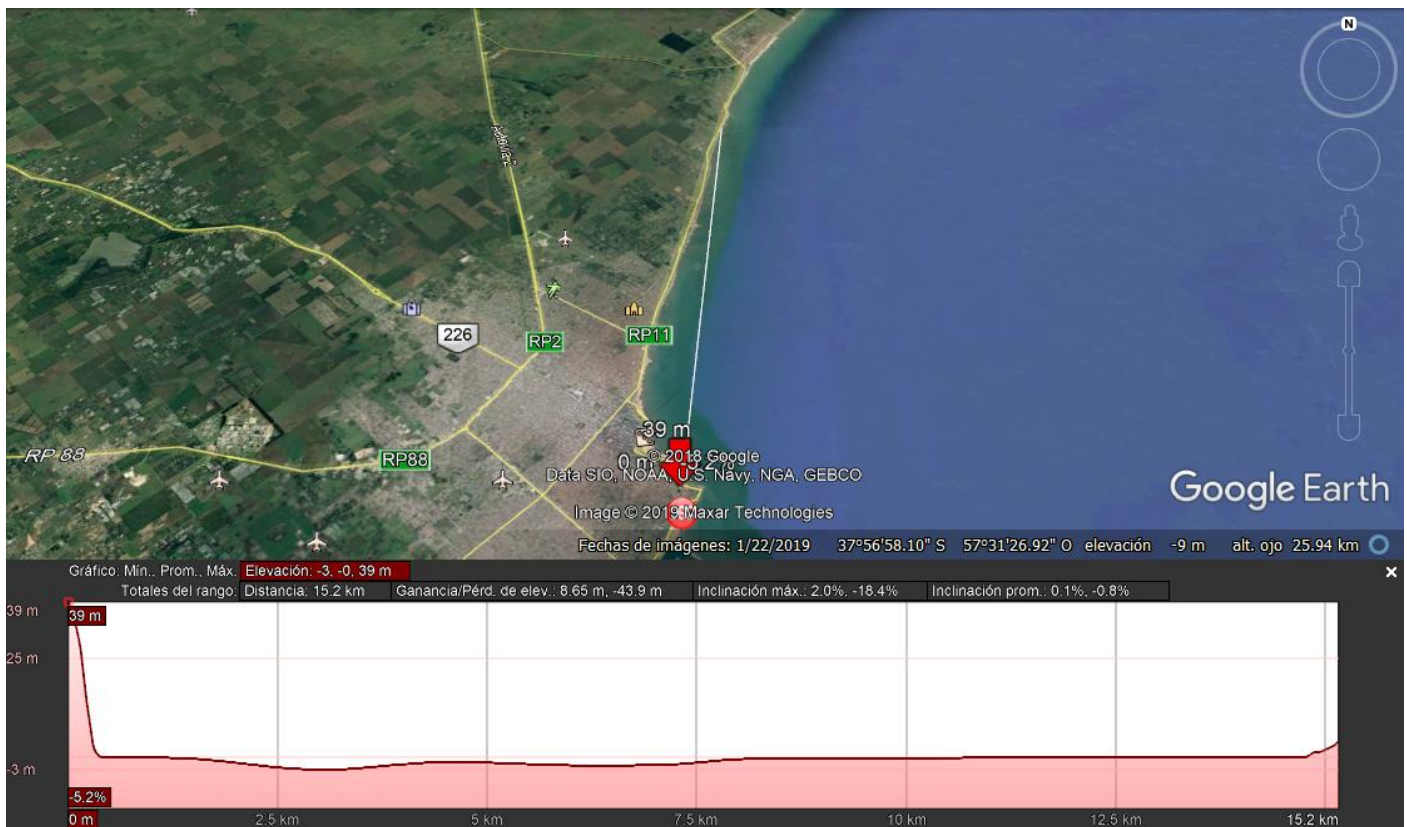
Segunda prueba

Viendo que el problema en la primera prueba fue la incidencia de la fresnel zone, se procedió a realizarlas nuevamente, esta vez elevando la altura del emisor a 120 m s.n.m.

En esta ocasión, a excepción de las pruebas realizadas con la librería LoRaNow y las realizadas con el ESP8266 con módulo RF96 (al igual que en la primera prueba), se pudo establecer una comunicación estable a 5.8, 10 y 15.6km.

Perfil de elevación a 15km

En este perfil podemos ver que la altura del suelo en la que se encuentra el emisor es de 39m s.n.m, pero a esto hay que sumarle la altura del edificio en su último piso (piso 29, 82m) y obtenemos como resultado una altura de 121m s.n.m., lo suficientemente alta como para que la fresnel zone no afecte significativamente en la comunicación



Los resultados de cada una de las pruebas realizadas se pueden ver en la planilla de Excel “Pruebas de alcance LoRa” adjuntada. [Pruebas alcance LoRa.xlsx](#)

A partir de los resultados obtenidos podemos concluir que la librería LoRaNow no funciona correctamente. En distancias cortas se comporta de manera inestable, en ocasiones sin siquiera poder establecer una comunicación, y en distancias de 5km o más no se logra establecer una comunicación utilizando la misma. Por otra parte, las librerías Heltec y RadioHead tienen un rendimiento parejo, pero se puede definir a esta última como la más apta debido a su simplicidad, organización y mayor compatibilidad.

Por otra parte, tampoco hubo diferencias significativas en el uso de distinto hardware, utilizando como emisor el ESP32 con chip LoRa SX1278, o el ATmega 32U4 con módulo RF95 con o sin sensores (distinta carga útil), se obtuvieron resultados similares. A excepción del ESP8266 con módulo RF96, con el cual no se pudo establecer una comunicación en pruebas a 5km o más.

La lectura de sensores, el envío a través de una estructura de datos, la recepción y posterior subida de datos a internet fue exitosa en las tres distancias evaluadas.

En cuanto a las antenas, se observó una ligera superioridad en la intensidad de la señal recibida en la antena de 3dBi sobre la antena de 5dBi. Por último, la antena de cinta métrica utilizada en el PoketQube tuvo un buen rendimiento, con recepción estable y sin pérdida de paquetes, aunque con una intensidad de señal un poco inferior a las demás antenas.