La investigación sobre la modulación LoRa (Long Range) se centra en explorar y optimizar las técnicas de transmisión de datos en redes de baja potencia y largo alcance. La tecnología LoRa utiliza una modulación de espectro ensanchado que permite la comunicación eficiente a largas distancias con un consumo mínimo de energía, lo que la hace ideal para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT). El estudio abarca la evaluación de diferentes parámetros de modulación, como el factor de difusión (Spreading Factor), la potencia de transmisión y la banda de frecuencia utilizada. Además, se analiza el impacto de estas variables en la tasa de datos, la fiabilidad de la comunicación y la penetración en entornos urbanos y rurales. A través de experimentos prácticos y simulaciones, se busca determinar configuraciones óptimas que maximicen el alcance y la eficiencia energética sin comprometer la integridad de los datos. Esta investigación es crucial para el desarrollo de aplicaciones IoT robustas y sostenibles, mejorando la conectividad en áreas remotas y reduciendo la dependencia de infraestructuras costosas.

La actividad de caracterización de comunicación en módulos LoRa se llevó a cabo para determinar una serie de parámetros esenciales de rendimiento para cada módulo listado en la tabla. Se evaluaron características como el rango de frecuencia, sensibilidad, potencia de transmisión, distancia en terreno plano, modulación utilizada (LoRa, GFSK, BPSK, FSK, MSK, OOK), clases de LoRa (A, B, C), interfaz de comunicación (UART, I2C, SPI, GPIO, ADC, USB), consumo de energía, tipo de MCU (Micro Control Unit), transceptor LoRa, SRAM disponible, presencia de OLED y GPS. La caracterización se realizó para módulos como SX1261, SX1262, SX1272, SX1276, Heltec HTCC-AB01, TTGO T-Beam, y RAK4630, entre otros. Cada módulo fue probado en diferentes condiciones para registrar su desempeño y comparar sus especificaciones técnicas, permitiendo una comprensión detallada de su capacidad de comunicación en diversas aplicaciones de IoT y redes de baja potencia y largo alcance. Esta actividad es crucial para seleccionar el módulo adecuado según las necesidades específicas del proyecto.

**Características LoRa**

Topología estrella.

LoRaWAN clases: A, B, C.

A: es asincrónico, modo suspensión, menor consumo de energía

B: se conectan por balizas periódicas, latencia determinada

C: menor latencia, consumo mayor

Tasa transferencia de datos: Spread Spectrum. 0.3 kbps 50 kbps.

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

Ancho de banda reducido, largas distancias, poco ruido.

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

**SX1262**

**Semtech SX1276/SX1278 🡪 Más usados para LoRaWAN**

**Ventajas**

1. Rango de frecuencias: 137 MHz a 1020 MHz
2. Bajo consumo de energía:

* Modo de transmisión: 120 mA
* Modo de recepción: 10.8 mA
* Modo de reposo: 1.6 μA

1. Alta resistencia a interferencias: Spread Spectrum y Chirp Spread Spectrum
2. 15 km en terreno plano
3. Clase LoRaWAN: A, B, C
4. Protocolo de comunicación: SPI
5. Soporte técnico, documentación y comunidad
6. Precio aproximado: $10 - $15. [Amazon.com : SX1276 LoRa module](https://www.amazon.com/s?k=SX1276+LoRa+module)
7. Topología estrella SI. Topología mesh NO

**Desventajas**

1. Complejidad y precio

**Documentación**

1. [Jamming LoRa and Evaluation of Ease of Implementation | SpringerLink](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-51572-9_3)
2. [Sensors | Free Full-Text | On-Demand LoRa: Asynchronous TDMA for Energy Efficient and Low Latency Communication in IoT (mdpi.com)](https://www.mdpi.com/1424-8220/18/11/3718)

**HopeRF RFM95/RFM96/RFM97/RFM98 🡪 Populares para LoRaWAN**

**Ventajas**

1. Rango de frecuencias: 137 MHz a 1020 MHz
2. Bajo consumo de energía:

* Modo de transmisión: 120 mA
* Modo de recepción: 12 mA
* Modo de reposo: 1.6 μA

1. Alta resistencia a interferencias: Chirp Spread Spectrum
2. 15 km en terreno plano
3. Clase LoRaWAN: A, B, C
4. Protocolo de comunicación: SPI
5. Soporte técnico, documentación y comunidad
6. Precio aproximado: $10 - $15. [Amazon.com : RFM95W LoRa module](https://www.amazon.com/s?k=RFM95W+LoRa+module)
7. Topología estrella SI. Topología mesh NO

**Desventajas**

1. El rango de alcance puede verse afectado por obstáculos y condiciones ambientales
2. Requiere antena externa para un rendimiento óptimo

**Documentación**

1. [LoRa-Based Farm Monitoring System | SpringerLink](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-6568-7_25)

**RA-02**

**Ventajas**

1. Rango de frecuencias: 433 MHz
2. Bajo consumo de energía en reposo:

* Modo de transmisión: 120 mA
* Modo de recepción: 12 mA
* Modo de reposo: 0.1 μA

1. Moderada resistencia a interferencias: Chirp Spread Spectrum
2. 10 km en terreno plano
3. Clase LoRaWAN: A, B, C
4. Protocolo de comunicación: SPI
5. Soporte técnico, documentación y comunidad.
6. Tamaño compacto ideal para proyectos de espacio reducido
7. Precio aproximado: $5 - $10. [Amazon.com : RA-02 LoRa module](https://www.amazon.com/s?k=RA-02+LoRa+module)
8. Topología estrella SI. Topología mesh NO

**Desventajas**

1. Menor rango de frecuencia
2. Documentación y soporte técnico limitado

**LoRa-E5**

**Ventajas**

1. Rango de frecuencias: 150 MHz a 960 MHz
2. Bajo consumo de energía en transmisión y recepción:

* Modo de transmisión: 42 mA
* Modo de recepción: 4.6 mA
* Modo de reposo: 2.1 μA

1. Alta resistencia a interferencias: Chirp Spread Spectrum
2. 10 km en terreno plano
3. Clase LoRaWAN: A, B, C
4. Protocolo de comunicación: UART. Se puede SPI en algunos módulos
5. Soporte técnico, documentación y comunidad
6. Precio aproximado: $10 - $20. [Amazon.com : LoRa-E5 module](https://www.amazon.com/s?k=LoRa-E5+module)
7. Topología estrella SI. Topología mesh NO

**Desventajas**

1. Precio alto

**RN2483**

**Ventajas**

1. Rango de frecuencias: 433 MHz a 868 MHz
2. Bajo consumo de energía en transmisión y reposo:

* Modo de transmisión: 38 mA
* Modo de recepción: 14.2 mA
* Modo de reposo: 0.1 μA

1. Alta resistencia a interferencias: Chirp Spread Spectrum
2. 15 km en terreno plano
3. Clase LoRaWAN: A, C
4. Protocolo de comunicación: UART
5. Soporte técnico, documentación y comunidad
6. Aplicaciones industriales
7. Precio aproximado: $15 - $25. [Amazon.com : RN2483 LoRa module](https://www.amazon.com/s?k=RN2483+LoRa+module)
8. Topología estrella SI. Topología mesh NO

**Desventajas**

1. Mayor consumo de energía en la recepción
2. Precio alto

**LoPy4 🡪 Más usados para mesh**

**Ventajas**

1. Rango de frecuencias: 863 MHz a 928 MHz
2. Alto consumo de energía en transmisión y reposo:

* Modo de transmisión: 100 mA
* Modo de recepción: 15 mA
* Modo de reposo: 10 μA

1. Buena resistencia a interferencias: Spread Spectrum
2. 10 km en terreno plano
3. Clase LoRaWAN: A, C. B con actualizaciones de firmware
4. Integra MCU (ESP32)
5. Protocolo de comunicación: UART. Hay soporte para SPI e I2C en ESP32
6. Soporte técnico, documentación y comunidad
7. Módulo multiprotocolo (LoRa, Wi-Fi, Bluetooth)
8. Precio aproximado: $35 - $45. [Amazon.com : LoPy4 LoRa module](https://www.amazon.com/s?k=LoPy4+LoRa+module)
9. Topología estrella SI. Topología mesh SI

**Desventajas**

1. Precio alto debido a sus múltiples funcionalidades
2. Alto consumo de energía debido a los múltiples radios

**Heltec HTCC-AB01**

**Ventajas**

1. Rango de frecuencias: 433 MHz, 868 MHz, y 915 MHz
2. Alto consumo de energía en transmisión y reposo:

* Modo de transmisión: 120 mA
* Modo de recepción: 12 mA
* Modo de reposo: 10 μA

1. Alta resistencia a interferencias: Chirp Spread Spectrum
2. 10 km en terreno plano
3. Clase LoRaWAN: A, B, C
4. Integra OLED (pantalla) y MCU (ESP32)
5. Protocolo de comunicación: SPI
6. Soporte técnico, documentación y comunidad
7. Precio aproximado: $20 - $30. [Amazon.com : Heltec HTCC-AB01](https://www.amazon.com/s?k=Heltec+HTCC-AB01)
8. Topología estrella SI. Topología mesh NO

**Desventajas**

1. Consumo de energía alto
2. Tamaño grande debido a la integración de OLED

**TTGO T-Beam**

**Ventajas**

1. Rango de frecuencias: 433 MHz, 868 MHz, y 915 MHz
2. Alto consumo de energía en transmisión y reposo:

* Modo de transmisión: 120 mA
* Modo de recepción: 12 mA
* Modo de reposo: 10 μA

1. Alta resistencia a interferencias: Chirp Spread Spectrum
2. 10 km en terreno plano
3. Clase LoRaWAN: A, B, C
4. Integra MCU (ESP32)
5. Protocolo de comunicación: UART. Hay soporte para SPI e I2C en ESP32
6. Soporte técnico, documentación y comunidad
7. Integra GPS
8. Precio aproximado: $30 - $50. [Amazon.com : TTGO T-Beam](https://www.amazon.com/s?k=TTGO+T-Beam)
9. Topología estrella SI. Topología mesh NO

**Desventajas**

1. Mayor consumo de energía debido a la integración de GPS
2. Tamaño grande y costo alto