

Llave Digital Para un Vehiculo

Presentado por:

- Gabriel Felipe Ostos Iguavita
- Sebastián Jaramillo Verdugo
- Jorge Santiago Camargo Guerrero

Introducción

Se realizará la modulación de 3 señales transmitidas a través de un módulo LORA, estas tres señales se recibirán y demodularán por medio de un SDR conectado a una interfaz con ayuda de Python para mostrar diferentes estímulos en un simulador de automóvil.



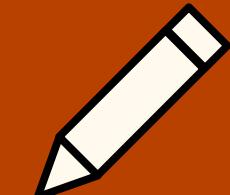
Información a transmitir

Una señal que se encargue de abrir la cerradura del carro

Una señal encargada de cerrar las cerraduras del carro

Una señal capaz de encender el automóvil

Introducción a



01

LoRa:

Protocolo de comunicación de
baja potencia

02

Aplicaciones:

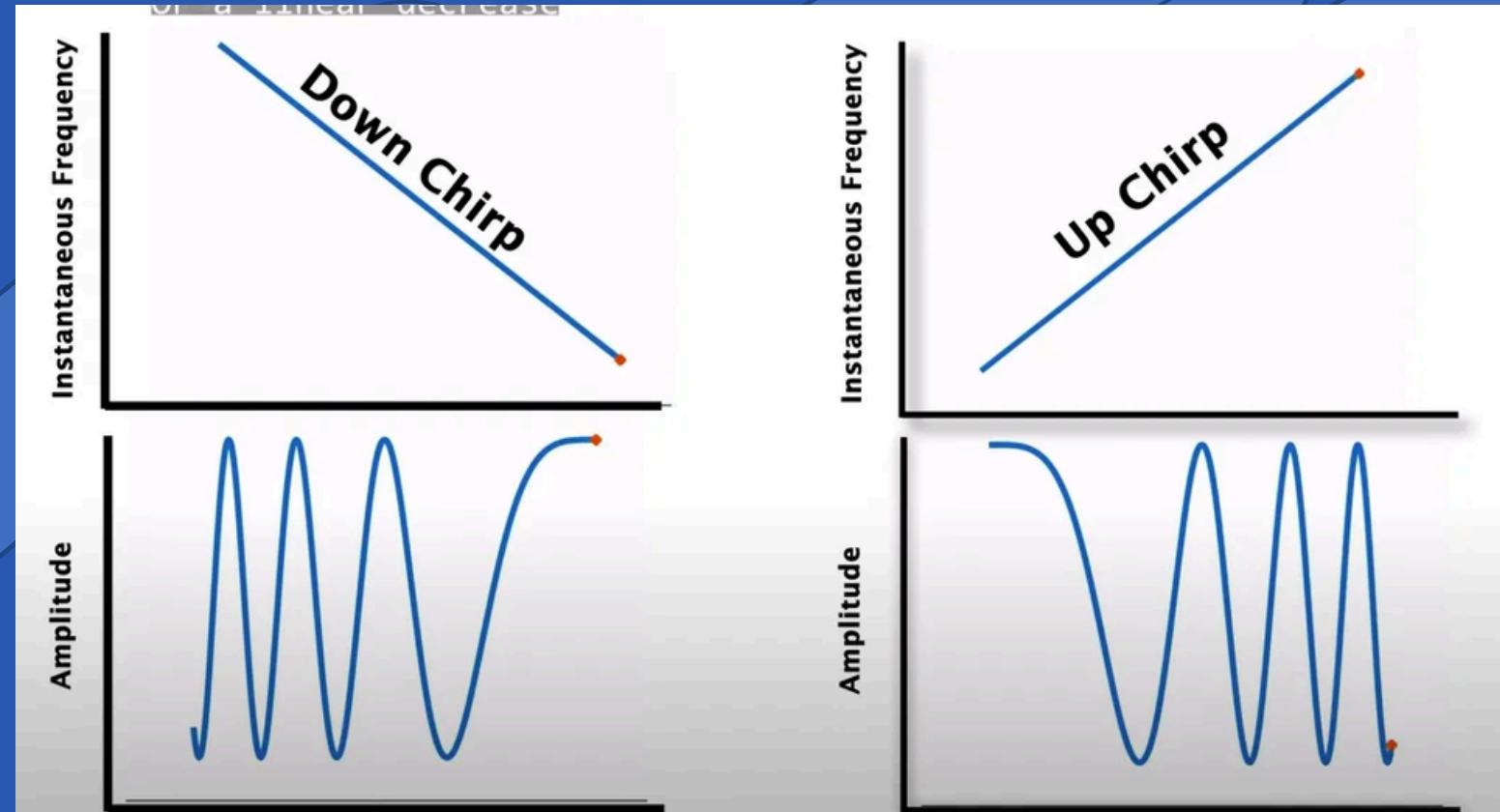
IoT, sensores remotos, redes
de área amplia (LPWAN).

03

Características clave:

Bajo consumo energético,
resistencia al ruido, cobertura
extensa.

La Forma de Onda Chirp como Base de



la frecuencia de la señal aumenta o disminuye linealmente con el tiempo

Modulación chirp

Aumento lineal de la frecuencia en el tiempo.

Tipos de Chirp

Ascendente (aumento de frecuencia) y descendente (disminución de frecuencia).

Ventajas

Distribución de energía en un amplio espectro, mejora la resistencia al ruido.

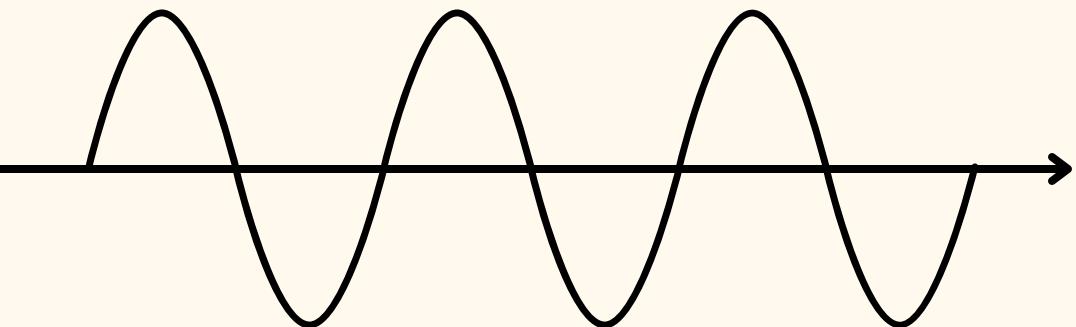
METODOLOGIA

Este tipo de modulación tiene un parámetro SF , este es importante porque decide como muchos tipos de símbolos se transferirán.

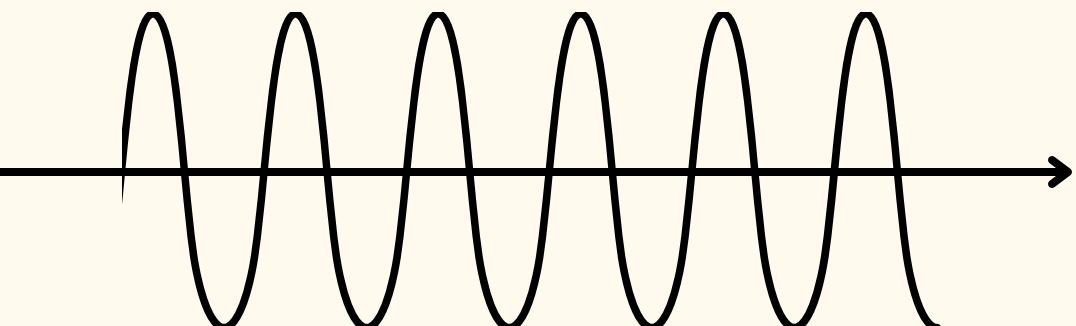
$$T = 2^{SF} - 1$$

Si $SF = 2$, solo soportara 4 tipos de símbolos.

low frequency



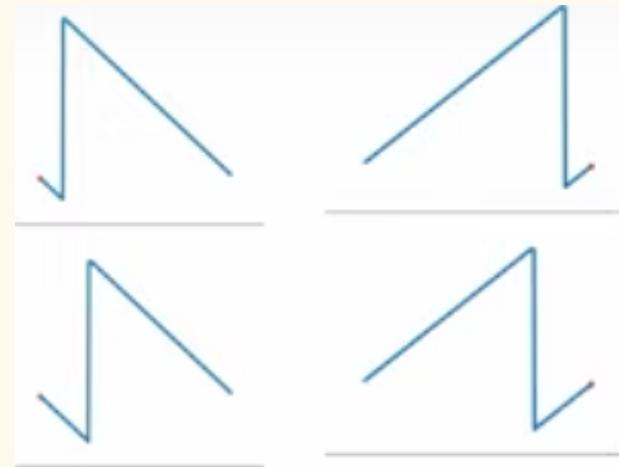
high frequency



Correlación y Demodulación en LoRa

Mecanismo clave para la demodulación.

$$\sum_{k=0}^{2^{SF}-1} r(nT_s + kT) \cdot c^*(nT_s + kT)$$



Ventajas

Permite demodular señales por debajo del nivel de ruido. compara la señal recibida con los símbolos posibles, buscando la máxima similitud.

Descripción Matemática del Símbolo LoRa

$$c(nT_s + kT) = \frac{1}{\sqrt{2^{SF}}} e^{j2\pi(s(nT_s)+k)} \mod 2^{SF} - \frac{k}{2^{SF}}$$

Factor de Expansión (SF): Determina el número de símbolos posibles (128 símbolos para SF=7).

Recuperar la información

$$c(nT_s + kT) = \frac{1}{\sqrt{2^{SF}}} e^{j2\pi((s(nT_s))+k) \mod 2^{SF}) \frac{k}{2^{SF}}}$$

K incrementa en cada simbolo/chirp.
Cada valor de S genera diferentes formas de onda

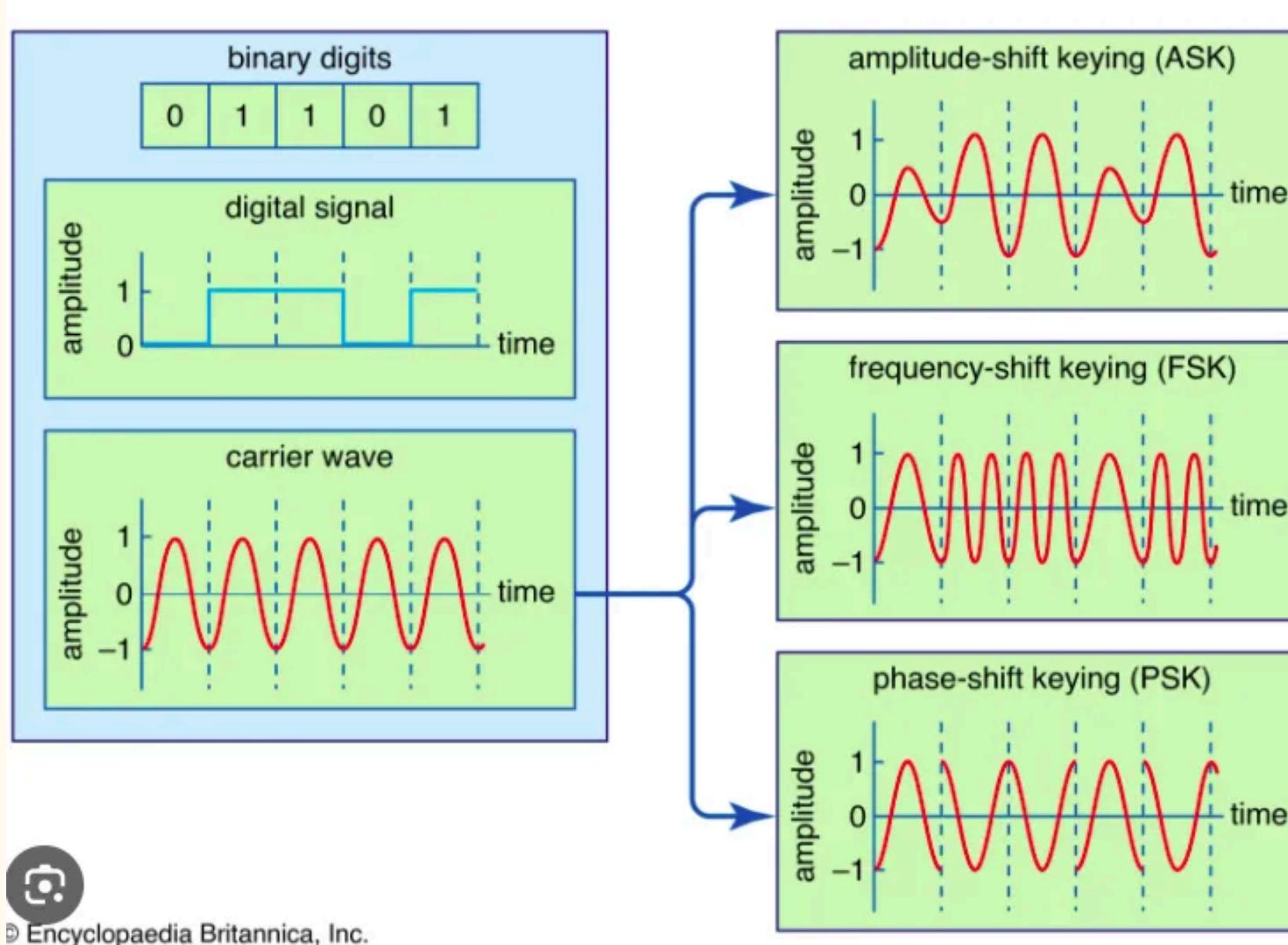
Demodulacion

Para decodificar LoRa, debemos extraer los chirps y analizar sus frecuencias. Podemos usar una transformada de Fourier (FFT) para detectar patrones.

Traducción

El siguiente paso es detectar los chirps y mapearlos a símbolos LoRa. Para esto, se puede implementar un detector basado en correlación.

Tipos de Modulaciones Relacionadas con CSS



FSK (Frequency Shift Keying):

En lugar de saltos discretos de frecuencia, CSS usa un barrido continuo

PSK (Phase Shift Keying):

CSS comparte la idea de codificar información en cambios de fase, pero con un enfoque en el barrido de frecuencia.

ASK (Amplitude Shift Keying):

Eficiencia energética y aplicaciones en sistemas de baja potencia.



Rendimiento de LoRa en Condiciones de Ruido

Tasa de error de símbolo vs. SNR.

A pesar de que la señal se encuentra por debajo del nivel de ruido, LoRa puede mantener comunicaciones efectivas, con un rendimiento notable incluso con SNR de -20 dB.

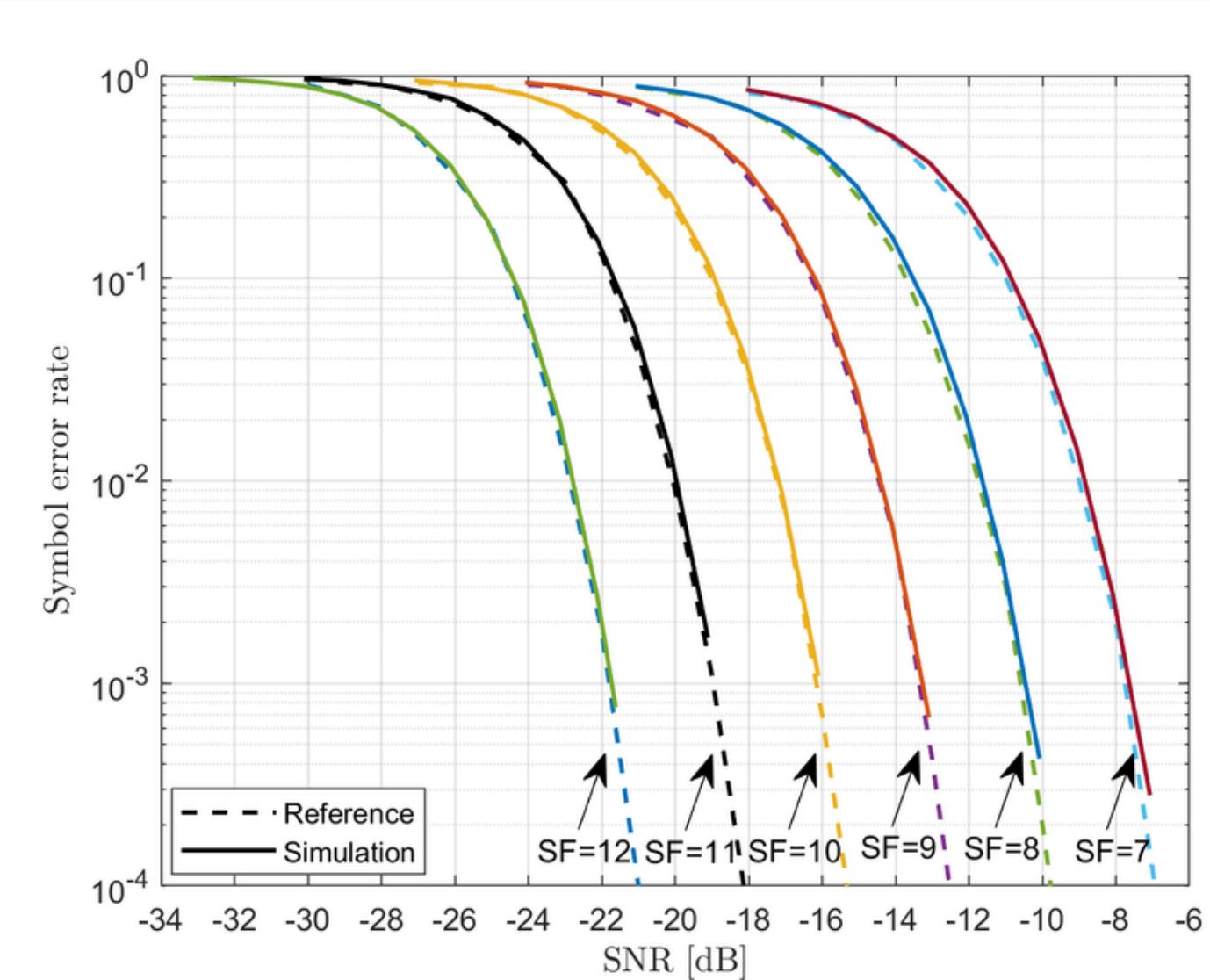
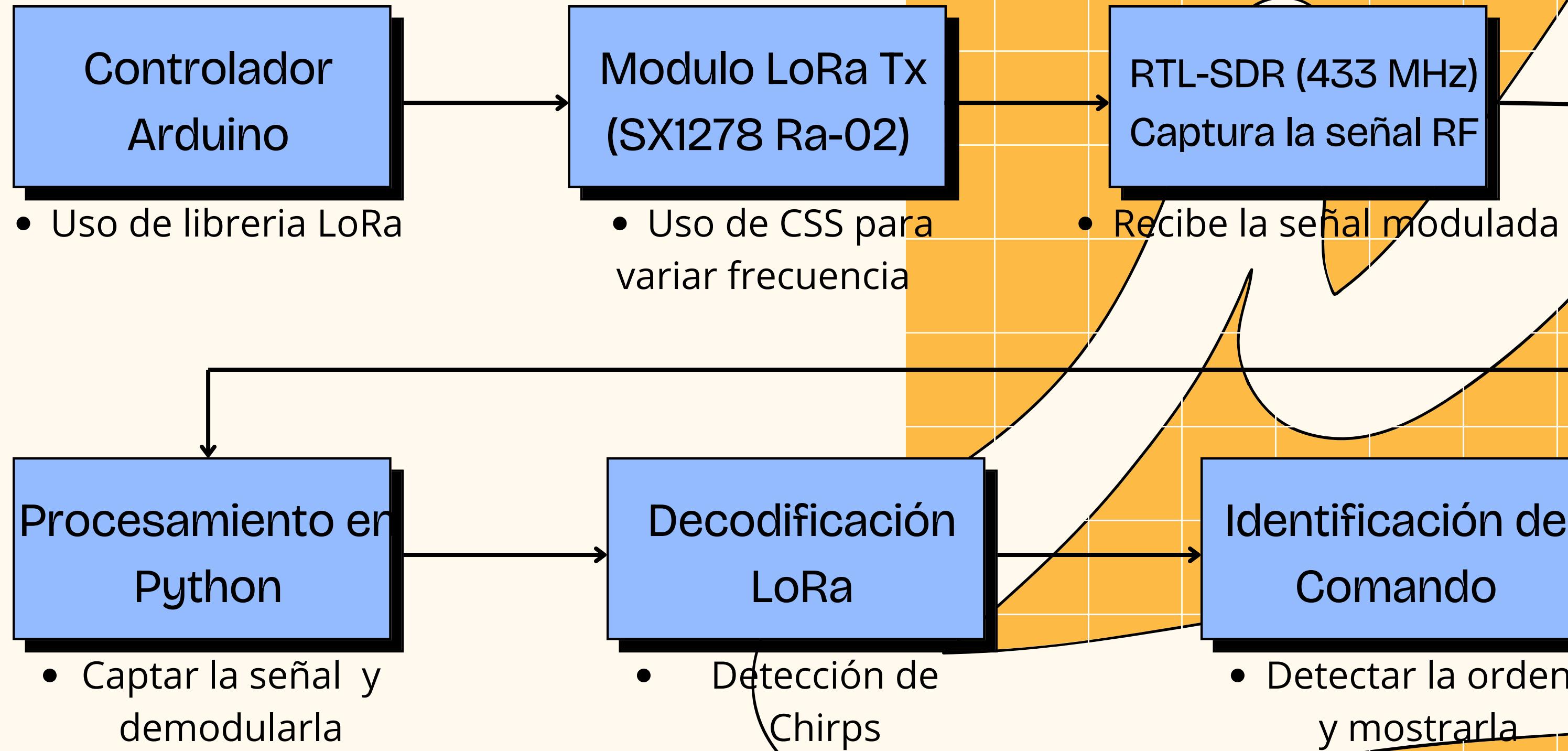


DIAGRAMA DE BLOQUES

Metodología

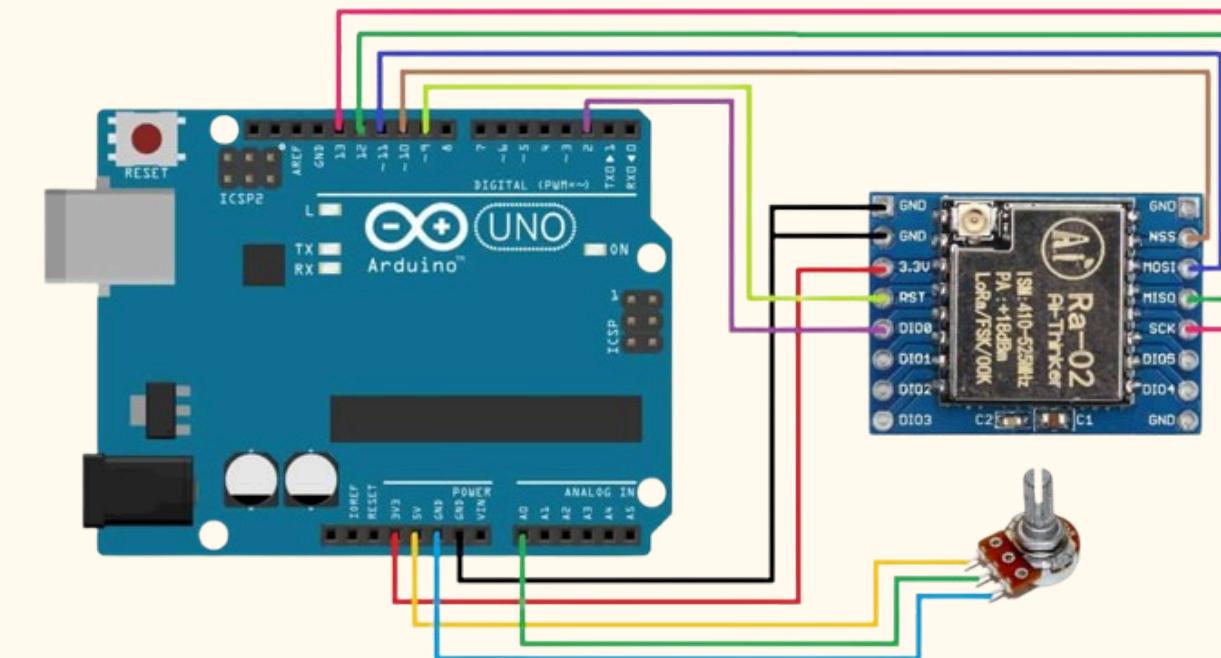


Resultados Preliminares

Digital Car Key

Modulacion y envío

Se hace a través de Arduino con el módulo LoRa, esto con una librería correspondiente, este envía por medio del protocolo CSS, modula la información utilizando chirps, que son señales de frecuencia que aumentan (up-chirps) o disminuyen (down-chirps) de manera lineal en el tiempo.



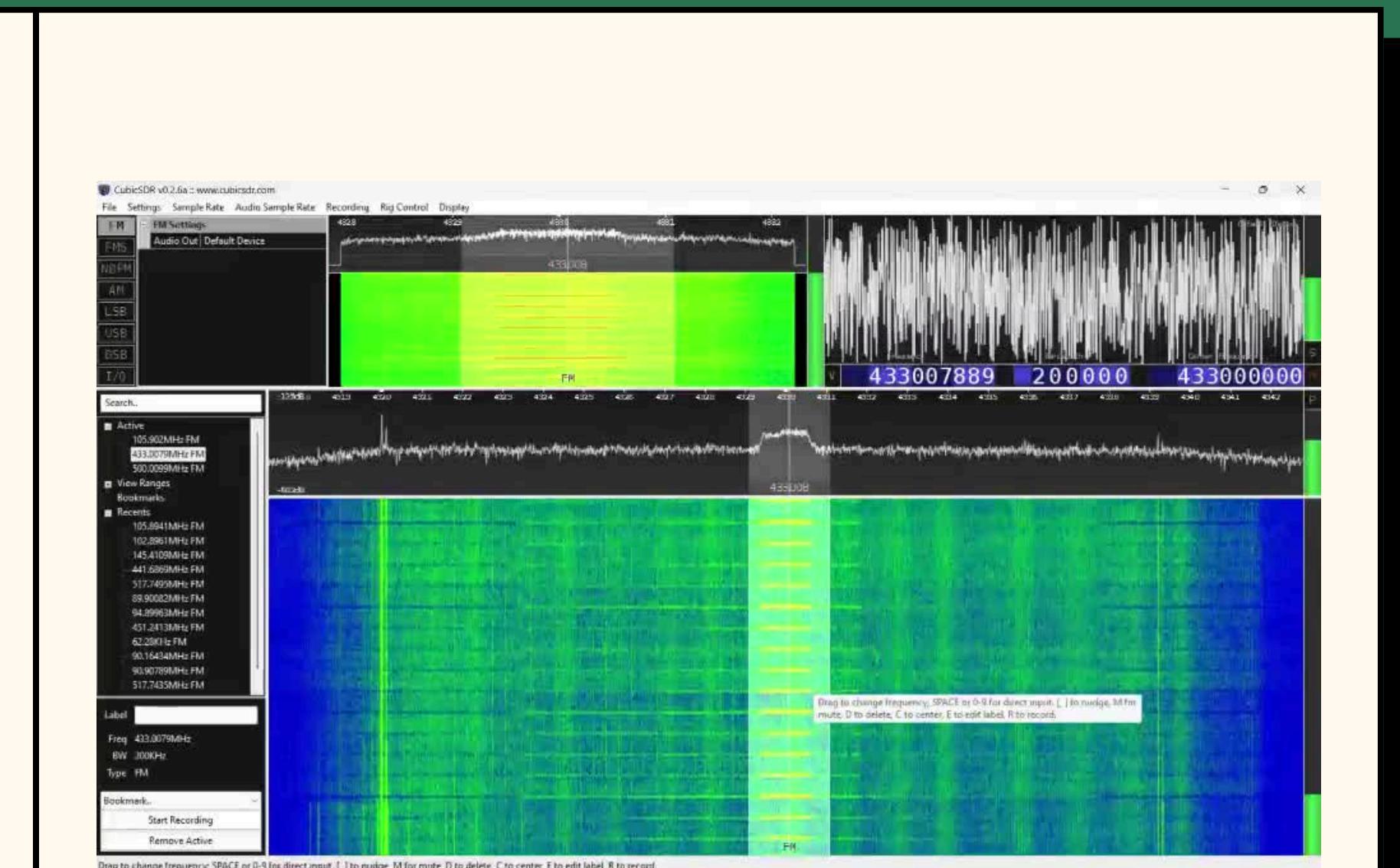
Interfacing SX1278 (Ra-02) LORA Module with Arduino, Mamtaz Alam 2022

Resultados Preliminares

Digital Car Key

Recepción

Primero se hizo una recepción con el Cubic, allí se pudo observar que había una señal que correspondía con un pulso que enviábamos cada segundo desde el LoRa.

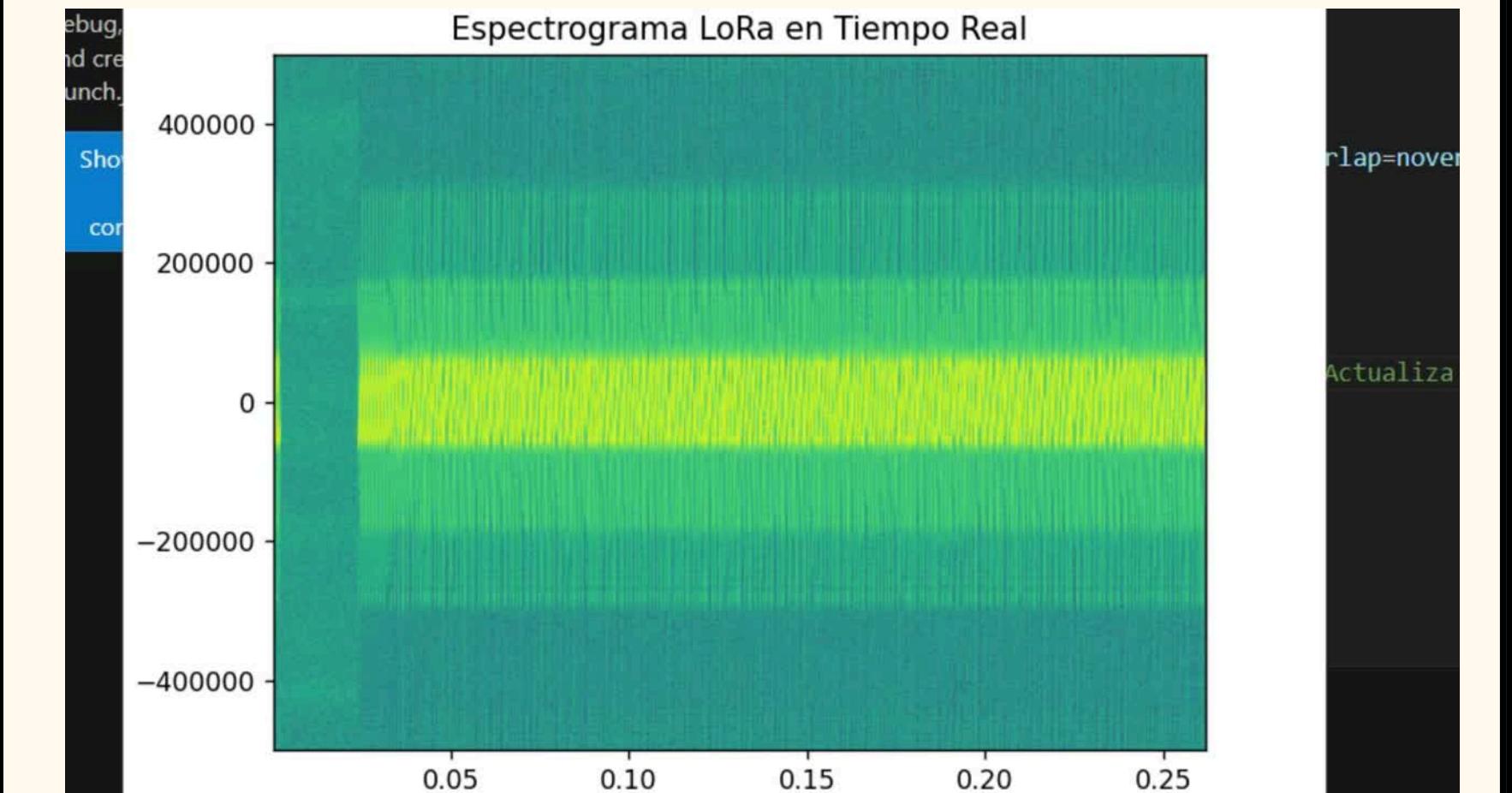


Resultados Preliminares

Digital Car Key

Mostrar en Python

Para mostrar en Python se usó la librería del radio, además de la del LoRa, se logra captar el pulso cada segundo, pero aun sin demodular.

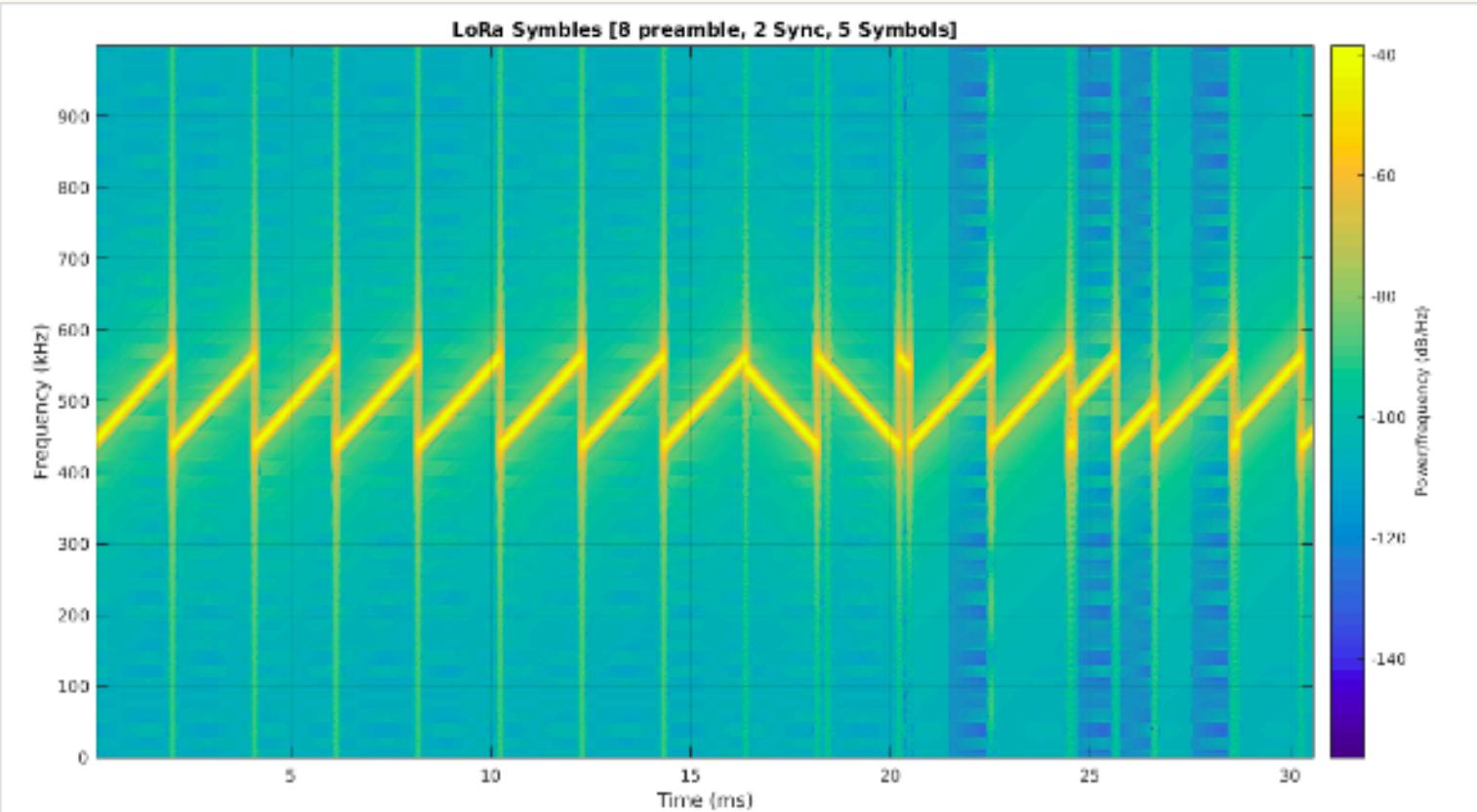


Resultados Preliminares

Digital Car Key

Mostrar en Python

Para mostrar en Python se usó la librería del radio, además de la del LoRa, se logra captar el pulso cada segundo, pero aun sin demodular.



Understanding of LoRa

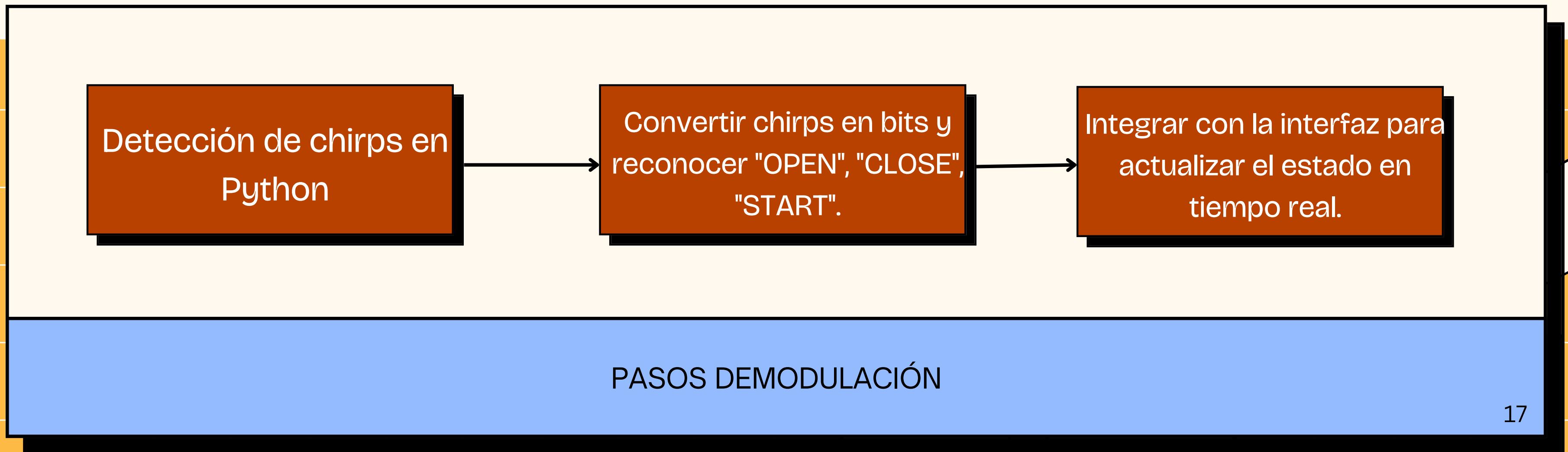
Lora is a proprietary physical layer protocol developed by Semtec Corporation. It is based on spread spectrum modulation, where modulated...

Medium / Ian 30

Demodular

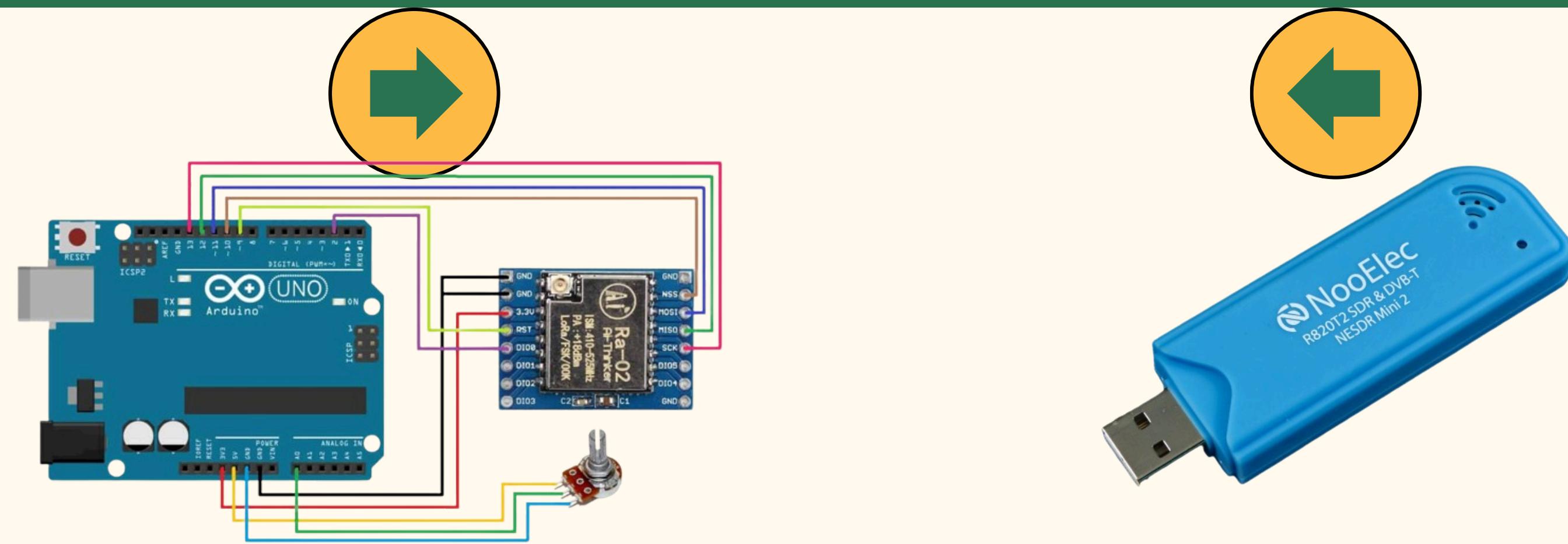
Para demodular la señal hace falta una serie de filtros, además de traducir el CSS para convertir el cambio en los chirps en bits.

También después de ello habría que conectar la información recibida a la interfaz



Analisis del Código

El envío se hizo con Arduino,
mientras que la recepción
en Python con SDR



Interfacing SX1278 (Ra-02) LORA Module with Arduino, MamtaZ Alam 2022

<https://www.rtl-sdr.com/>

Transmisión

Importación de Librerías

Uso de la librería LoRa.h pero de sandeep

Variables y Pines

Se declaran 2 interruptores y la palabra de sincronización

Bloque setup()

Se declara el modo de los pines, la inicialización del módulo y la frecuencia de funcionamiento.

Configuraciones del LoRa

Spreading Factor

Ancho de Banda

Tasa de Codificación

Palabra de Sincronización

Potencia de Transmisión

Transmision

Función loop()

Envía el mensaje cada cierto tiempo, e imprime si fue exitoso

Función sendLoRaMessage

Inicia un paquete de datos LoRa, escribe el mensaje en el paquete y lo envia.



Recepción

Uso de Librerías

Se importan librerías como numpy, scipy, matplotlib y rtlsrd

Se configura el SDR

Características como tasa de muestreo, ganancia y frecuencia

Captura de Muestras

Se capturan las muestras y luego se cierra la conexión

Filtro Pasa-Banda

Se pasa por un filtro para evitar la interferencia fuera de la banda

Análisis en Frecuencia (FFT)

Se grafica la amplitud en función de la frecuencia.

Detección de Chirps

Se compara entre la señal filtrada y un chirp de referencia

Recepción

Generación de un Chirp de Referencia

$$T = \frac{2^{SF}}{BW}$$

Detectar Chirps en la Señal Filtrada

Se buscan coincidencias en la señal y se imprimen las posiciones donde se detectaron chirps.

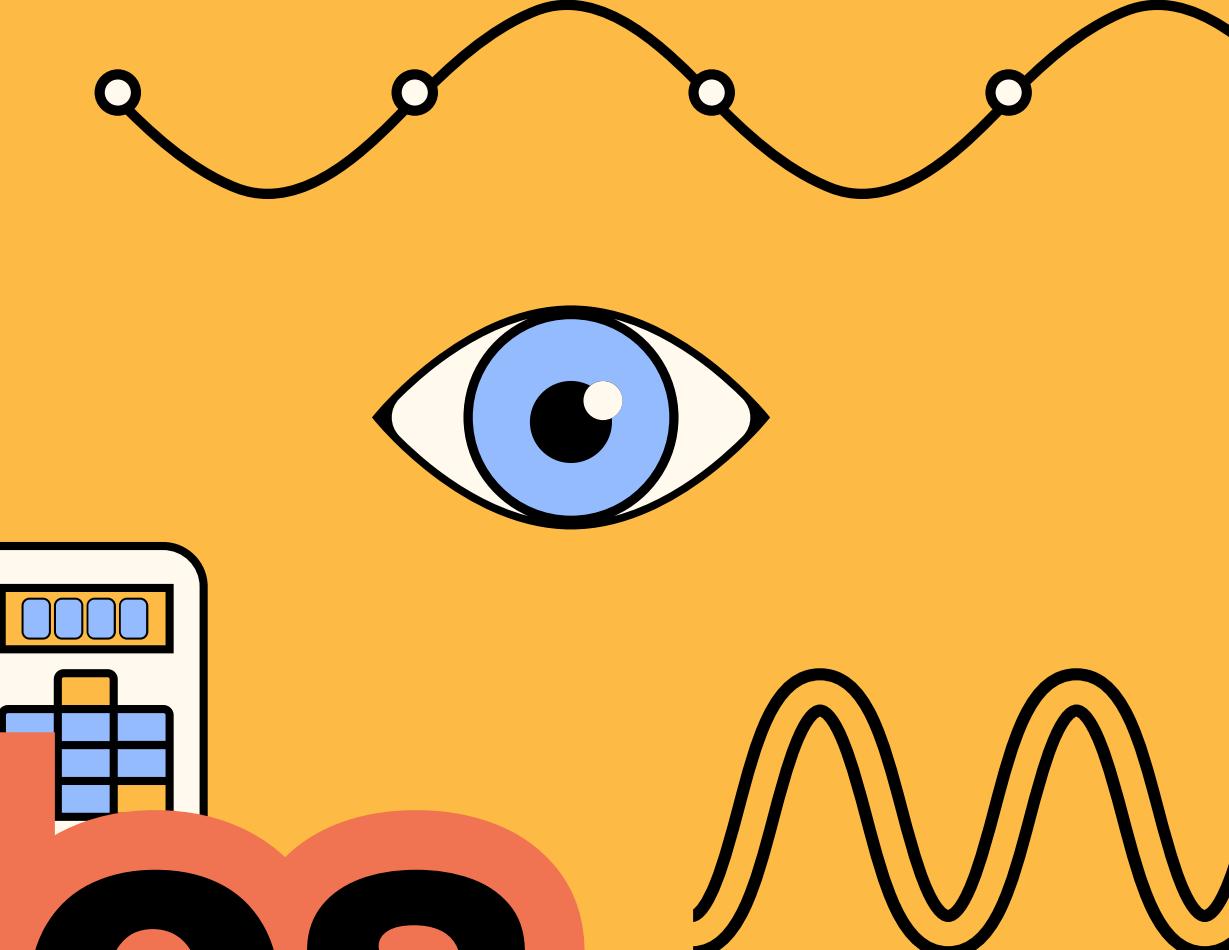
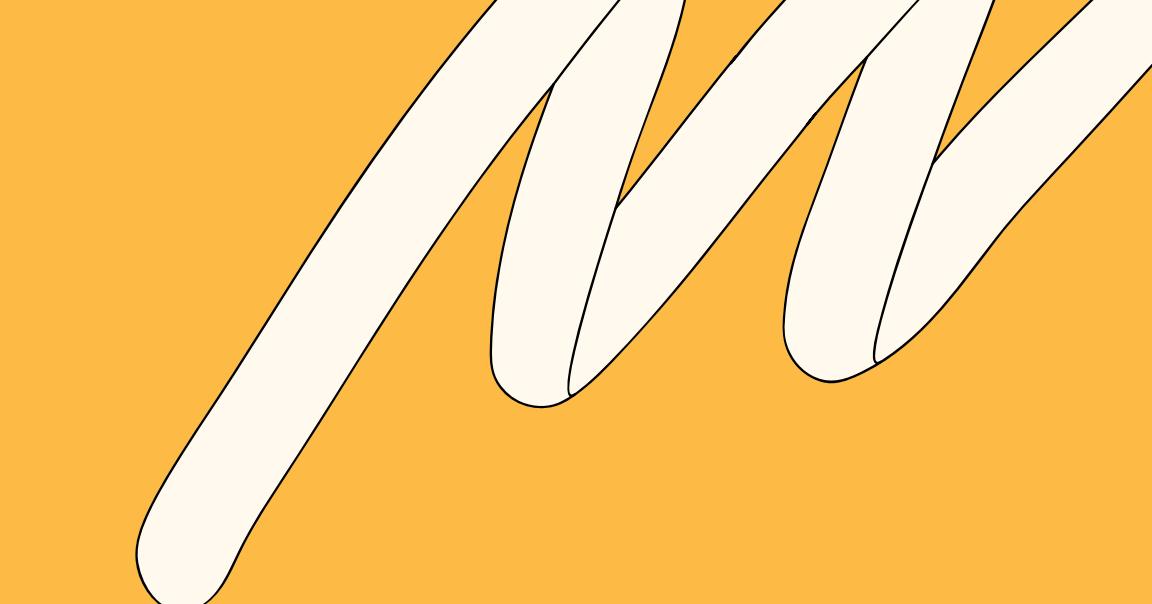
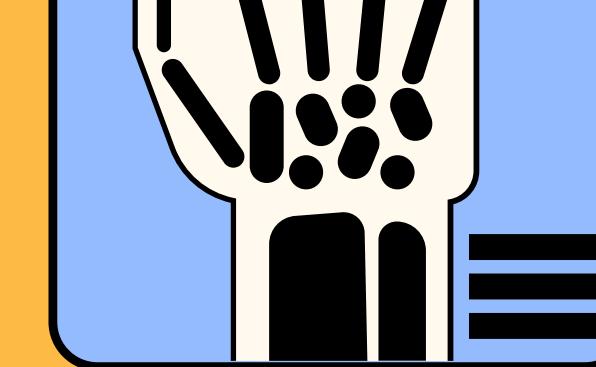
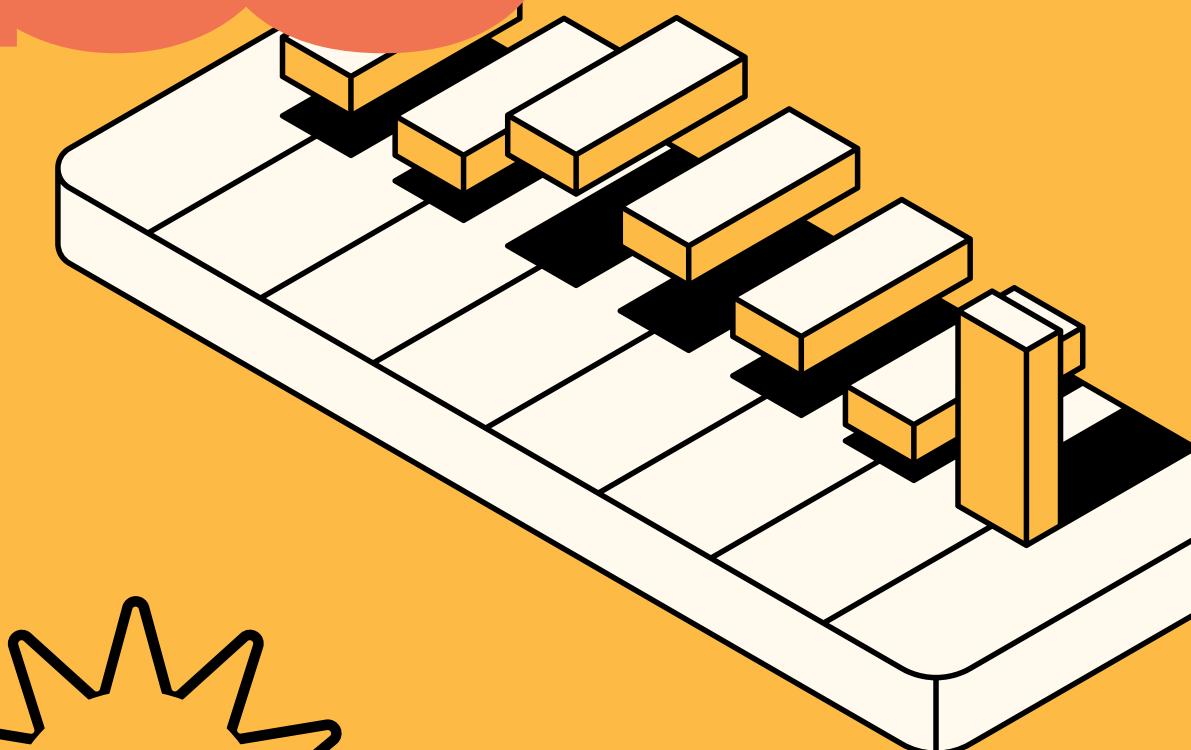
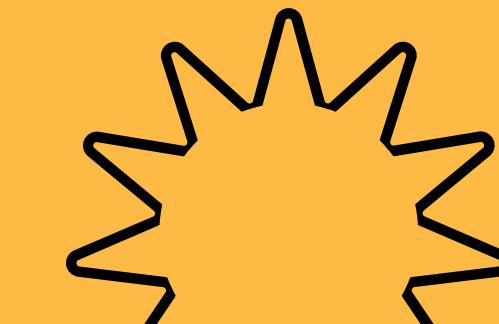
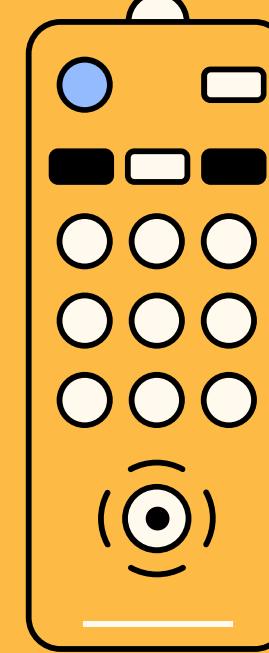
Extracción de Bits desde los Chirps

Convierte posiciones de chirps a símbolos LoRa, luego a bits y ahí se imprimen

Conversión de Bits a Texto

Convierte los bits en caracteres ASCII y luego se imprime

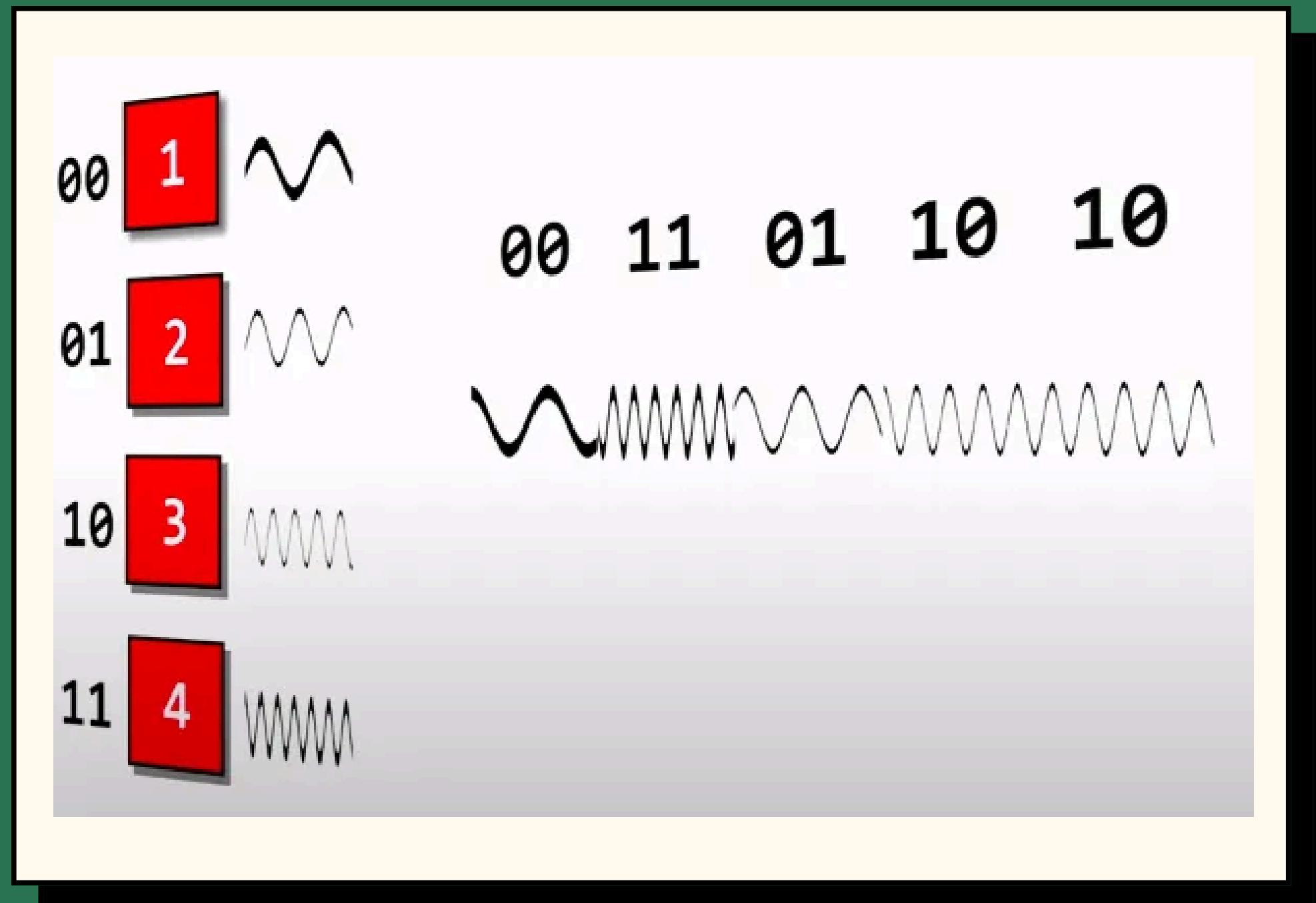
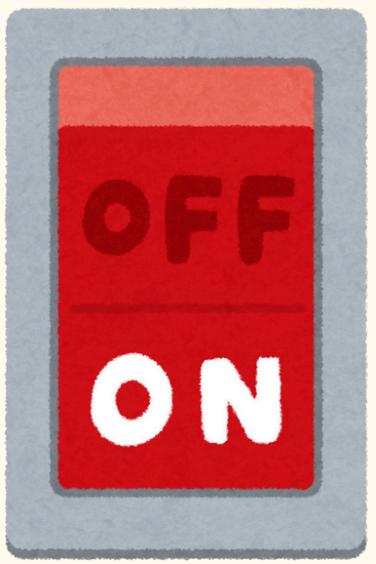
Resultados



¿Que enviamos?

MENSAJES:

Con los interruptores se define el mensaje a enviar, si enviamos un “10” se abren las puertas, un “00” se cierran mientras que un “11” enciende el motor.



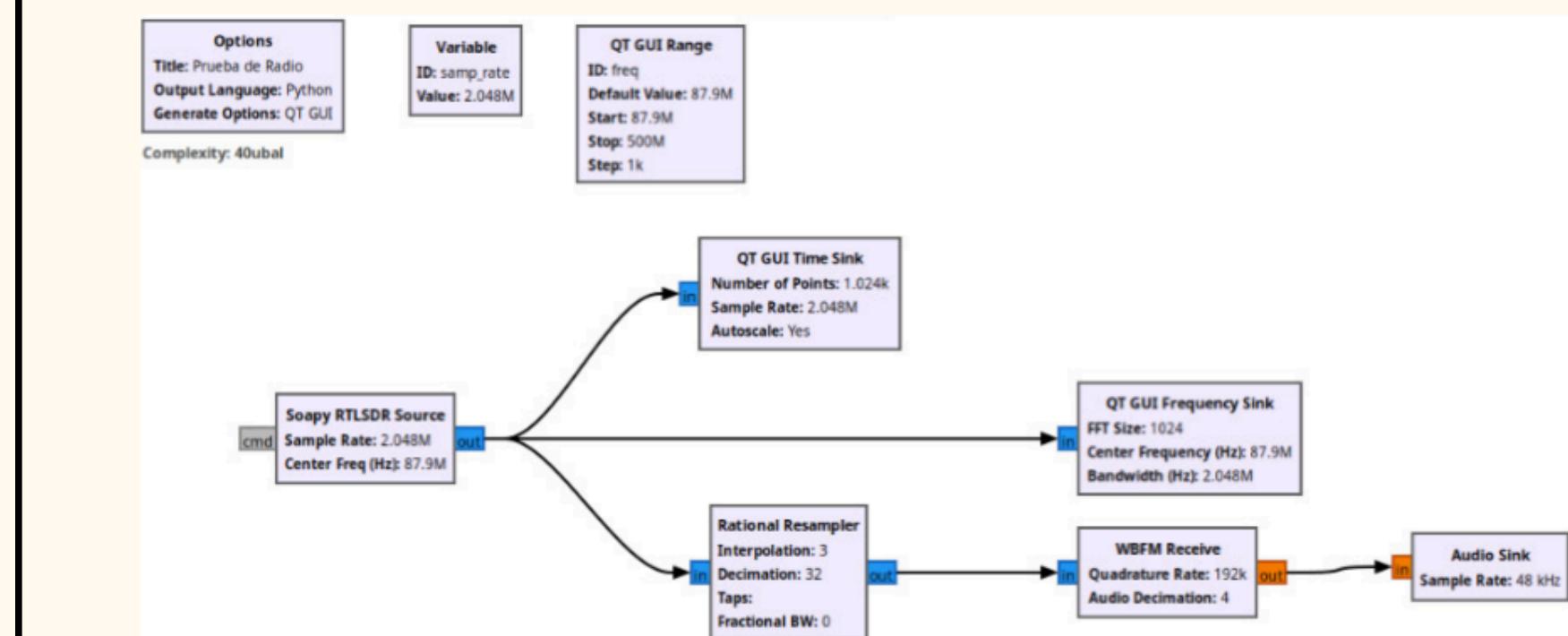
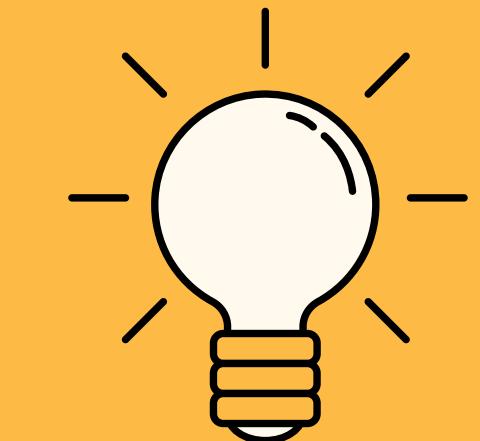
GNU RADIO

Recepción



Se hizo una previa visualización en GNU para ver que se enviaba en tiempo y frecuencia

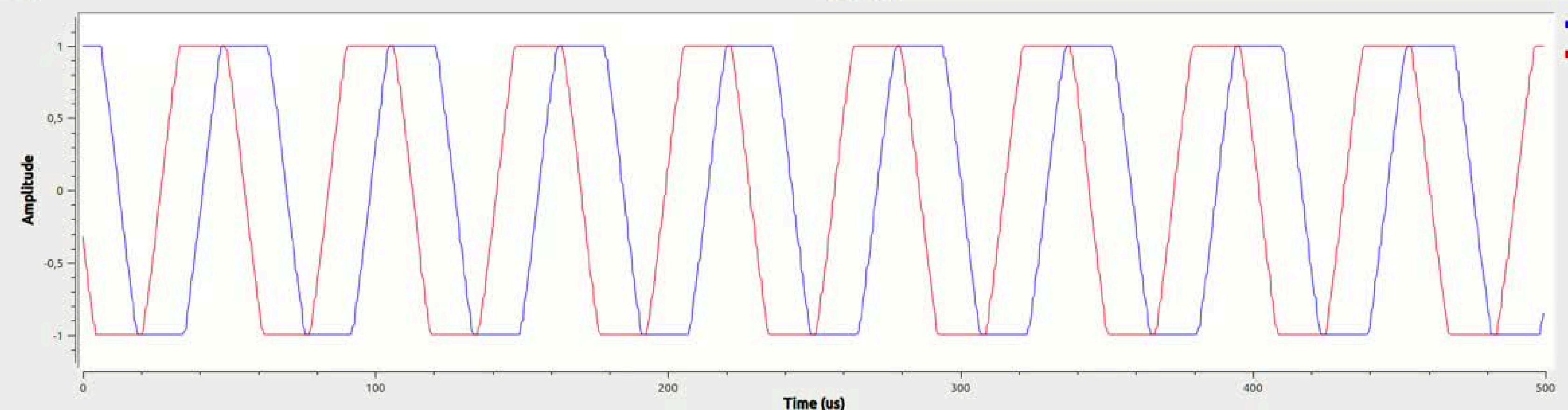
Se enviaron señales con muchos caracteres y con pocos para evaluar el comportamiento



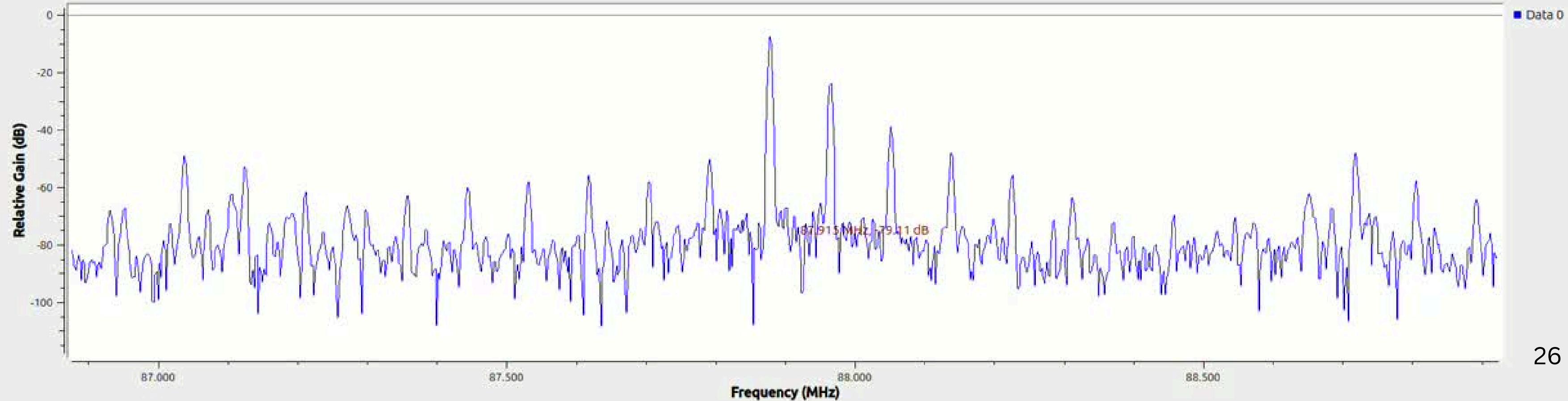
LOS PATRONES DE MENSAJES LARGOS TARDAN MÁS

Prueba de Radio

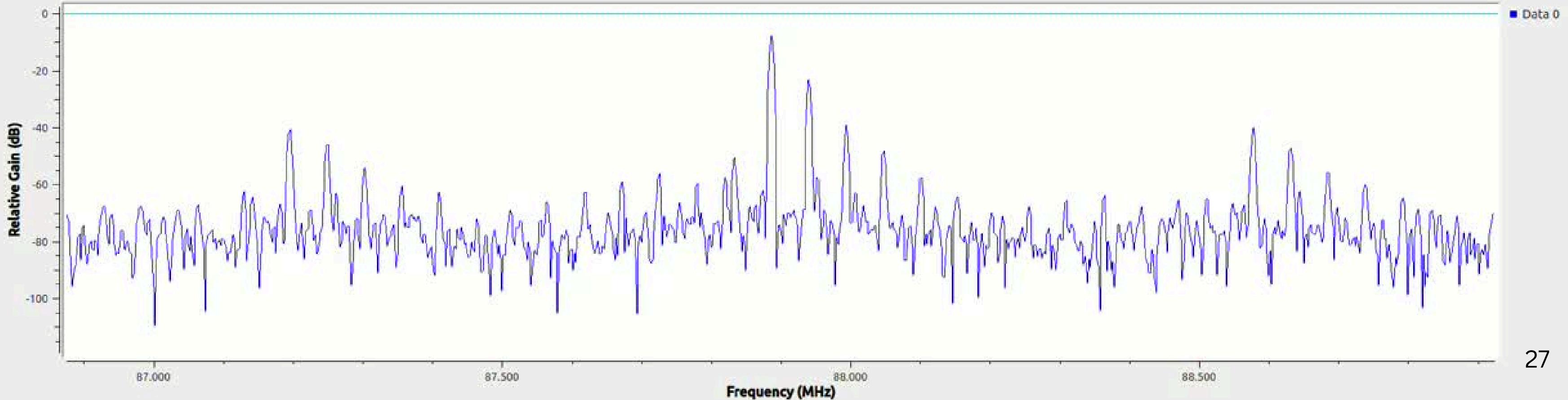
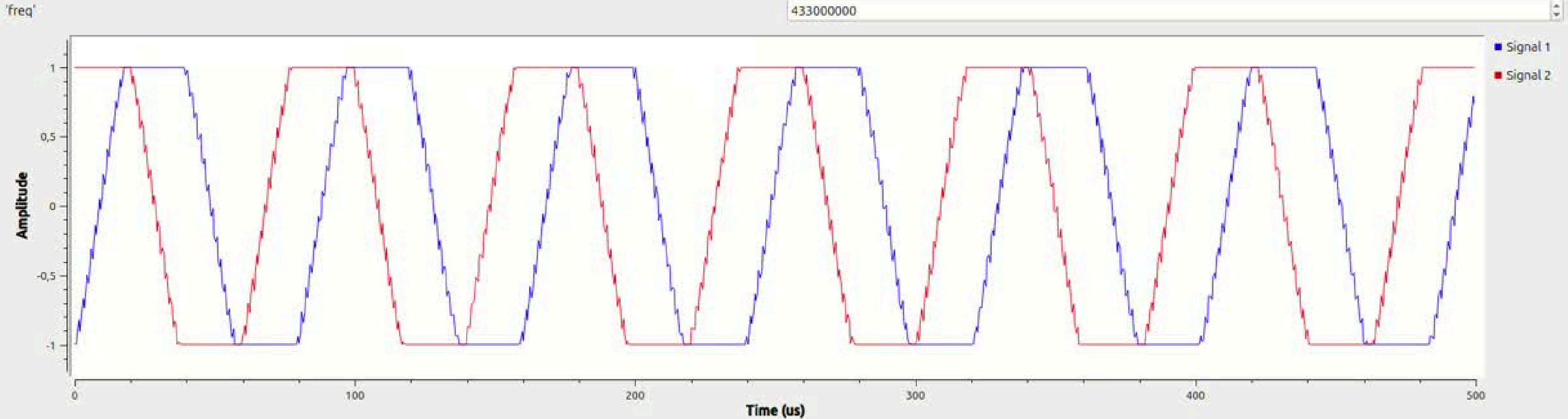
'freq'



Relative Gain (dB)



Prueba de Radio



File Settings Sample Rate Audio Sample Rate Recording Big Control Display

FM
FMS
NRFM
AM
LSB
USW
DSB
I/Q

Search...

■ Active
433.002MHz FM

■ View Range
Bookmarks
■ Recents

344.899MHz FM
540.994MHz FM
458.936MHz FM
433.003MHz FM
400MHz FM
140.002MHz FM
120.009MHz FM
110.009MHz FM
550.002MHz FM
105.902MHz FM
433.0079MHz FM
500.009MHz FM
105.8941MHz FM
102.8961MHz FM
145.4102MHz FM

Label

Freq 433.002MHz

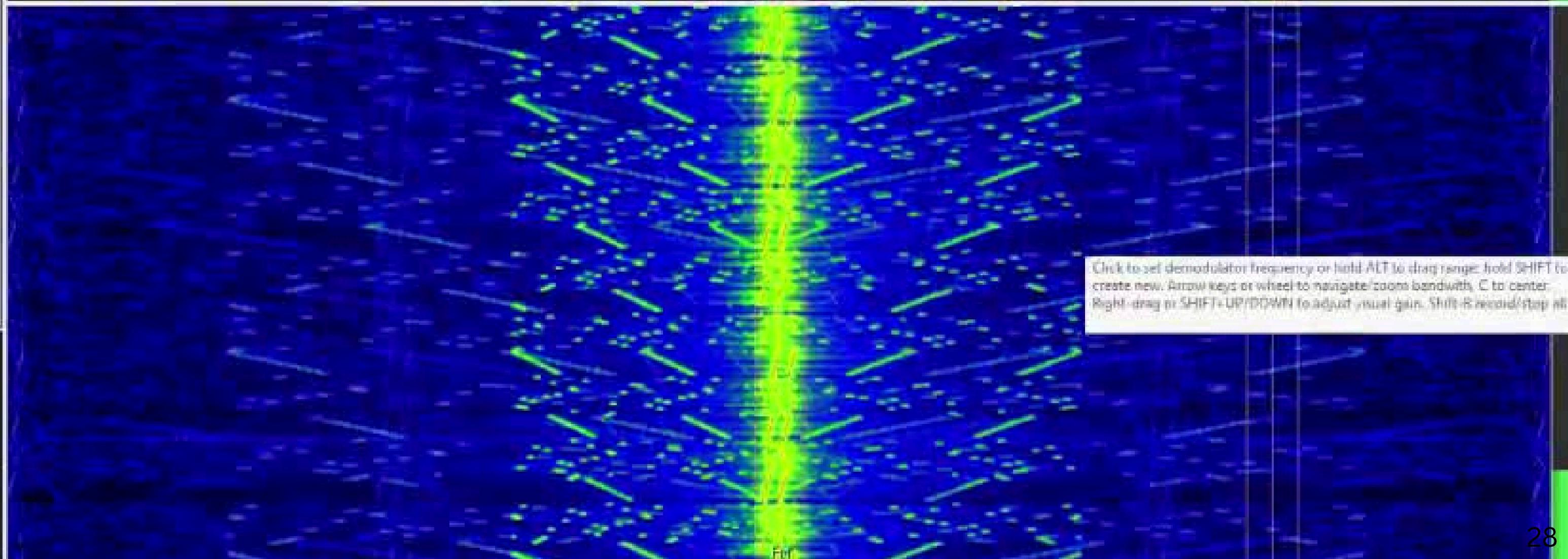
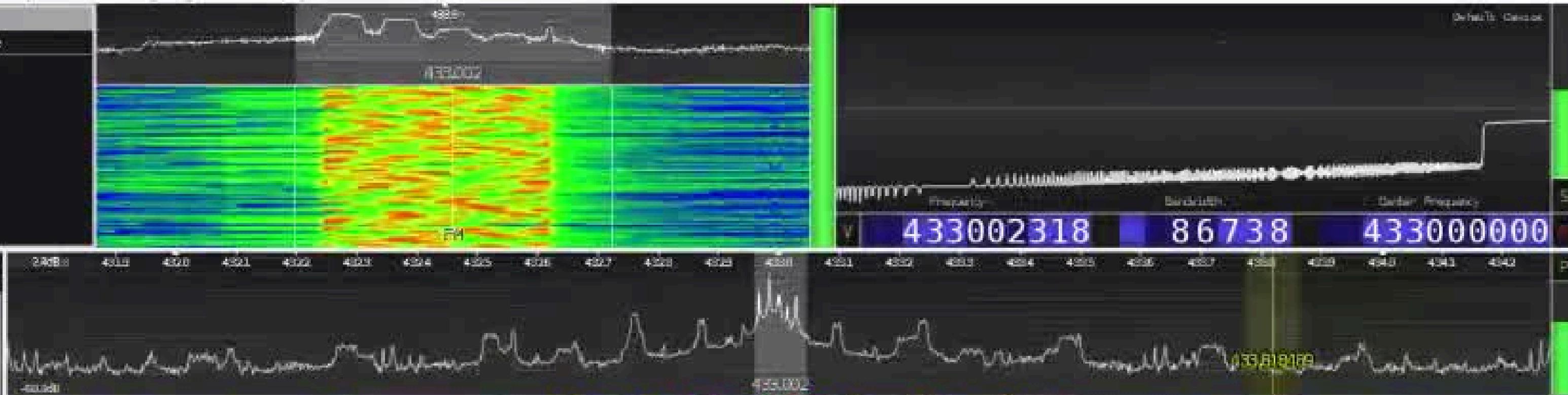
BW 86.74KHz

Type FM

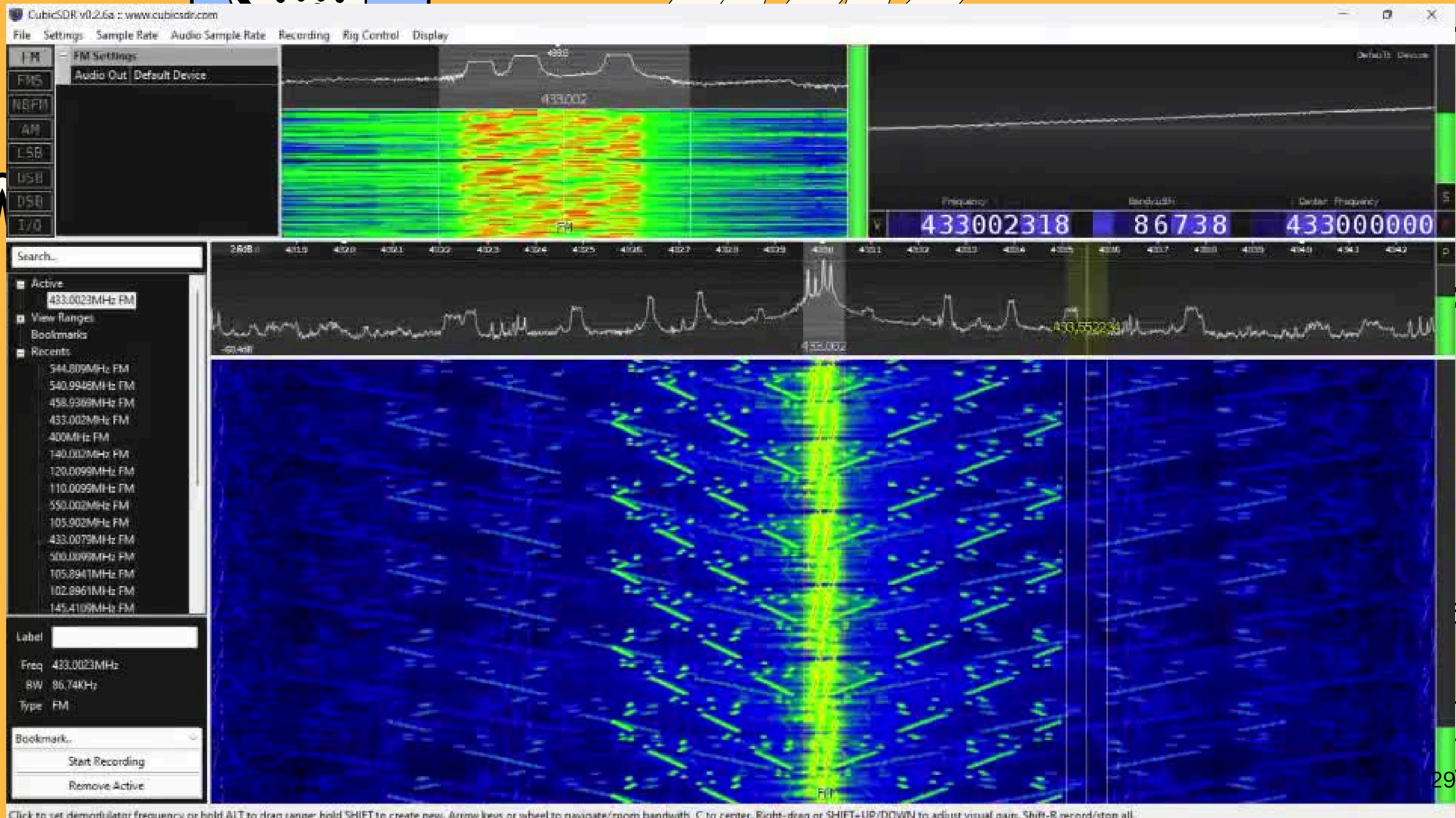
Bookmark...

Start Recording

Remove Active



Click to set demodulator frequency or hold ALT to drag range; hold SHIFT to create new. Arrow keys or wheel to navigate/zoom bandwidth. C to center. Right-drag or SHIFT+UP/DOWN to adjust visual gain. Shift-R record/stop all.



¿Que recibimos?

MENSAJES:

Se está enviando la señal durante un tiempo que dura cada paquete, este depende del mensaje, estos se capturan y se analiza un archivo .bin que se sobreescribe.

01000
00101
01100
01100
01111

Enviado	Recibido
11 00110001 00110001	Ä11 11000100 00110001 00110001
10 00110001 00110000	L 00001100 01001100
00 00110000 00110000	00 00110000 00110000

DEMODULACIÓN

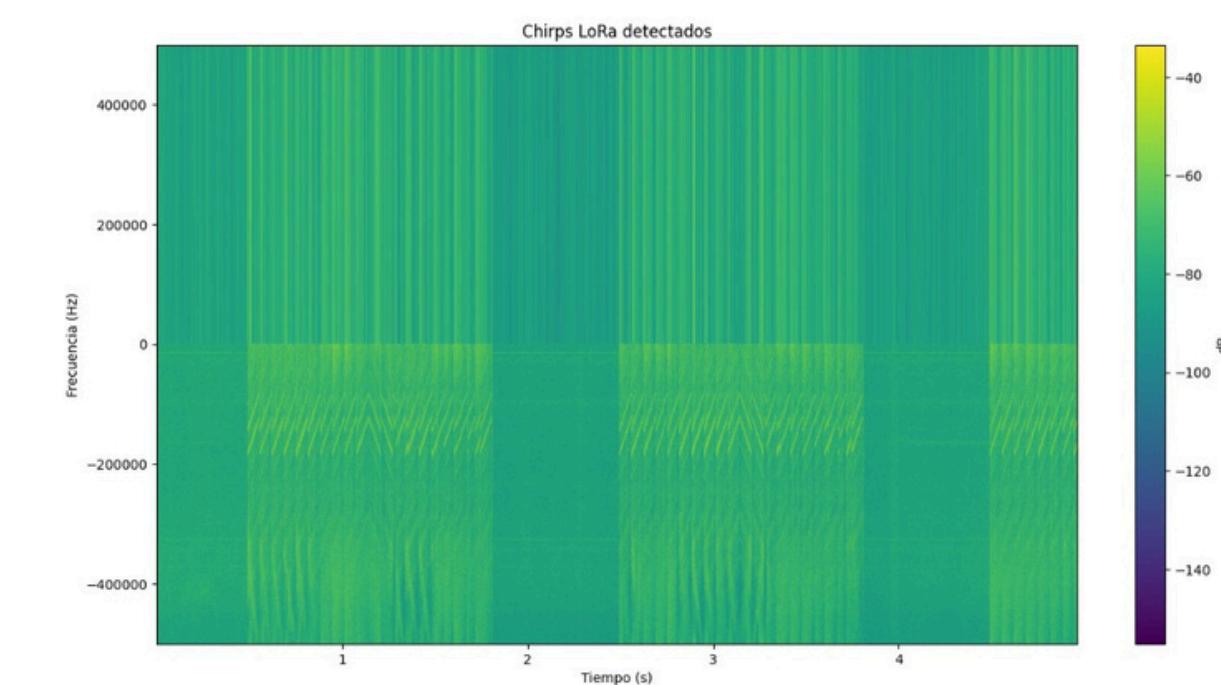
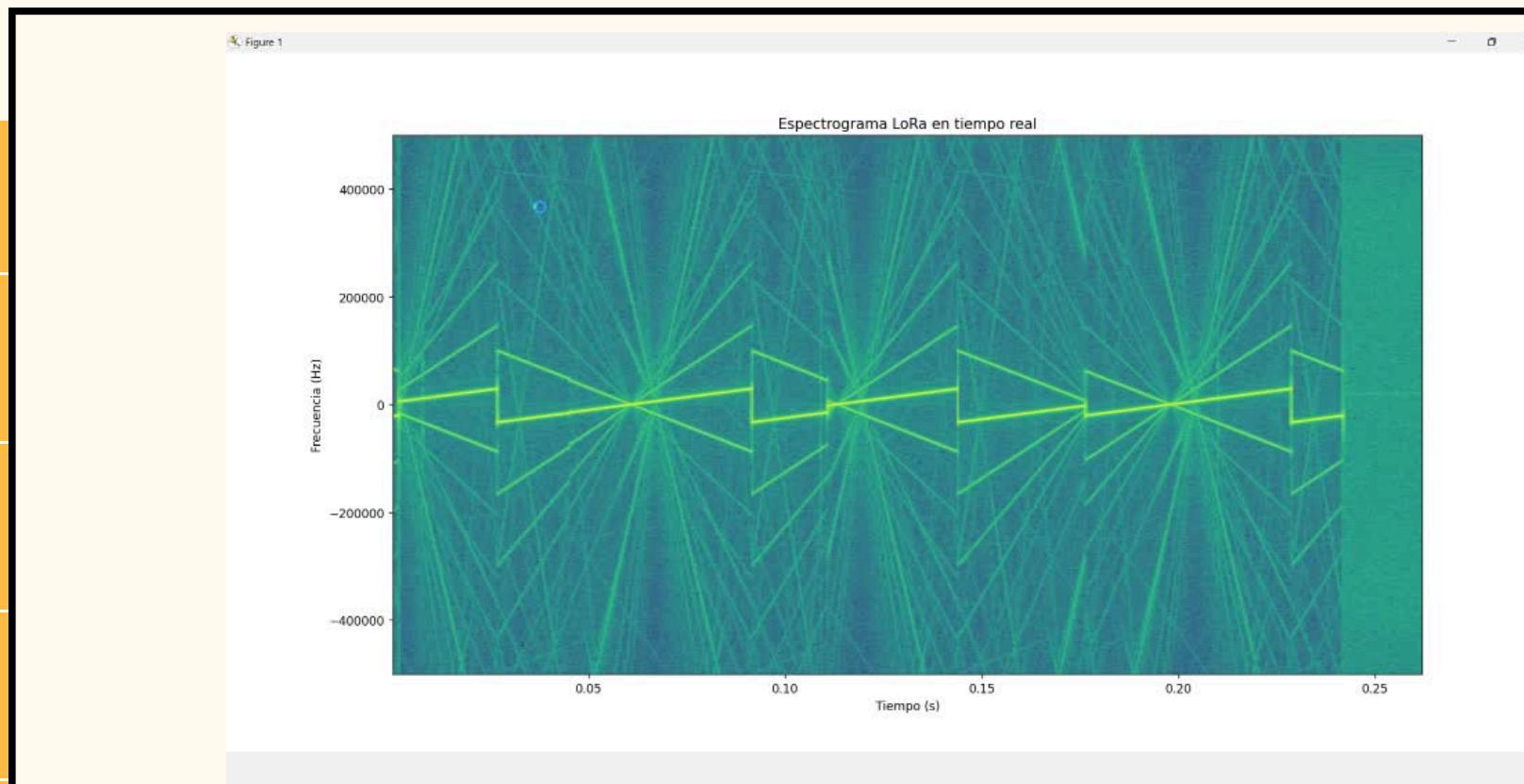
Resultados en

Python

Fue más complicado de lo que suena

Objetivos conseguidos - Se logra recibir una señal y entender los bits que envia

Posibles Mejoras - En varias ocasiones no se logra percibir el mensaje, por lo cual se demodula información equivocada.



DEMODULACIÓN

Resultados en GNU

Uso de gr-lora, pero ya es una
libreria algo obsoleta

Objetivos conseguidos - Se percibe el espectrograma de la señal

Posibles Mejoras - Adecuar un bloque para poder visualizar el mensaje.

```
[+] Configuración de LoRa: 433 MHz, SF 12, CR 4/8, BW 62.5 kHz, prlen 8, crc on, implicit off
[+] Decodificando la señal...
Bits (nominal) per symbol: 6
Bins per symbol: 4096
Samples per symbol: 65536
Decimation: 16
[+] Decodificación completada.
```

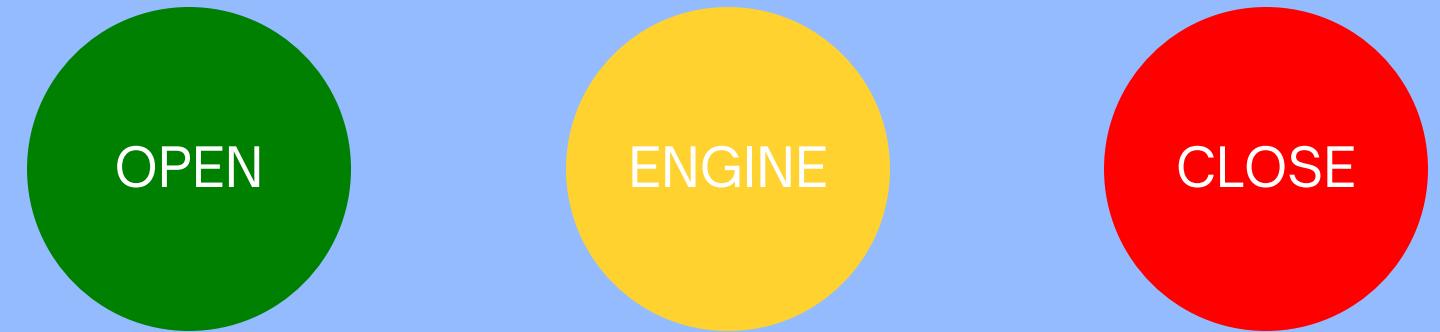
```
[+] Configuración de LoRa: 433 MHz, SF 12, CR 4/8, BW 62.5 kHz, prlen 8, crc on, implicit off
[+] Decodificando la señal...
Bits (nominal) per symbol: 6
Bins per symbol: 4096
Samples per symbol: 65536
Decimation: 16
AB 11 00 AB 11 00
[+] Decodificación completada.
```

Interfaz Grafica



Se conectó con una interfaz hecha en Python por medio de pygame y tkinter, esta interfaz se diseño con 4 estados.

Se diseñó un estado para abrir, uno para cerrar y uno para encender, se debió añadir un estado más como inconcluso cuando no se captaba bien la información

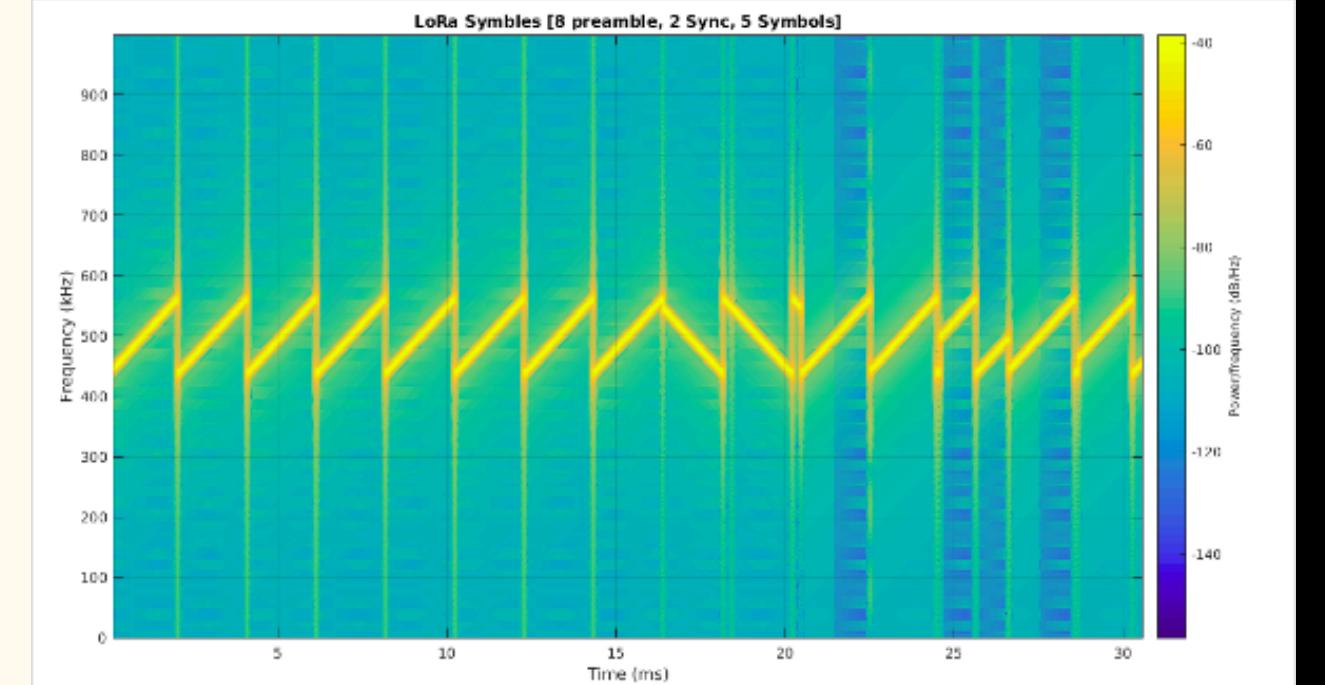


El estado inconcluso se ve como negro por 0.5 segundos para luego volver a leer la información.

¿Por qué el mal funcionamiento?

- Afectación de ruido alto
- Sensibilidad en la detección de Chirps
- Falsos Bits
- Intercepción con otras señales

La diferencia de comunicación que usan los módulos LoRa y el SDR, además de la poca documentación o actualización de esta, puede provocar inconvenientes en el entendimiento de los paquetes.



Understanding of LoRa

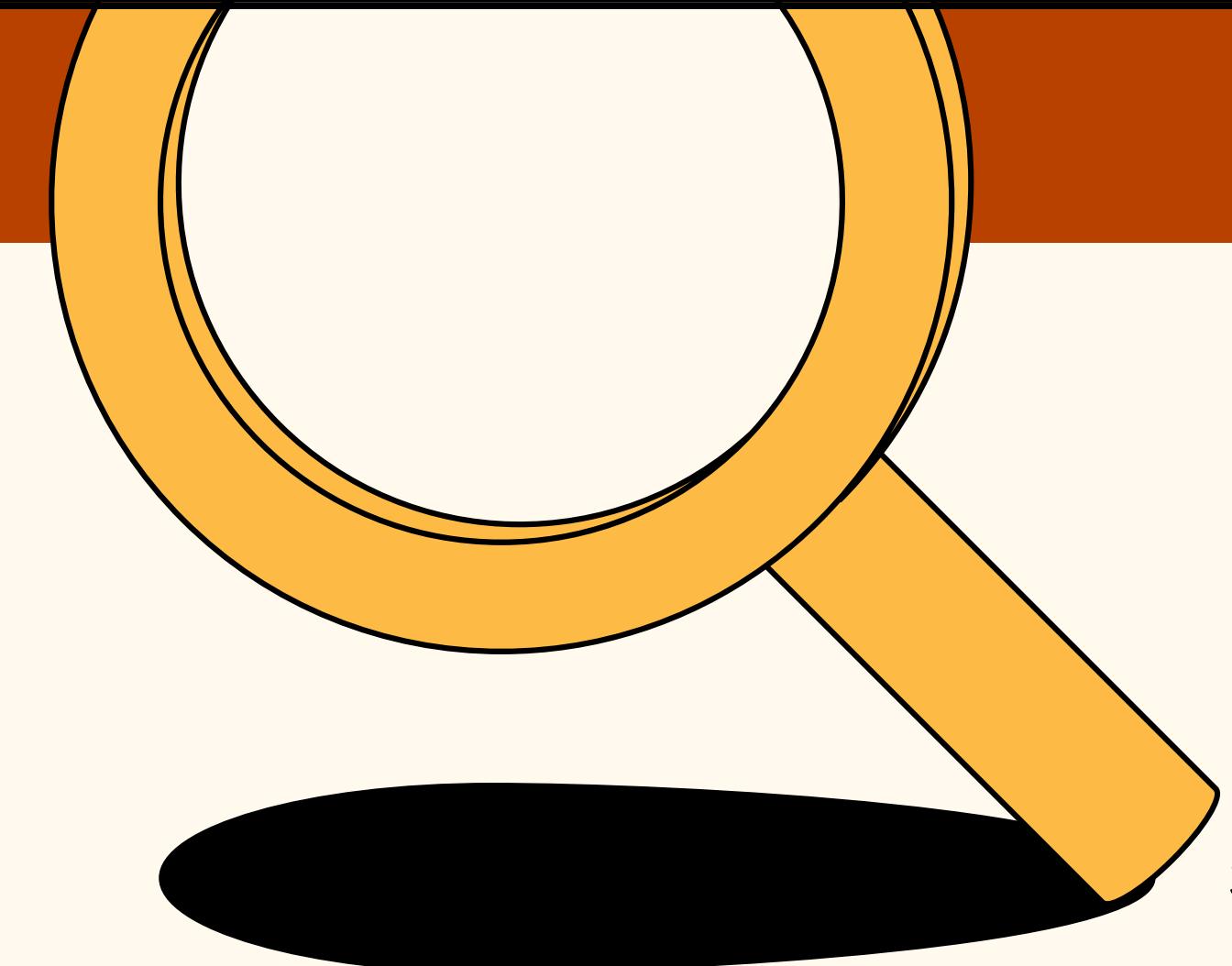
Lora is a proprietary physical layer protocol developed by Semtech Corporation. It is based on spread spectrum modulation, where modulated...

Medium / Ian_30

- A** Falta de Librerías
- B** Problemas de Ganancia
- C** Difícil Sincronización
- D** Interferencias Syncword

- Librería LoRa. (s.f.). Create a poster in Canva showing the properties and applications of each component of the electromagnetic spectrum.
- SX1278 datasheet, PDF. (s.f.). ALLDATASHEET.COM - Electronic Parts Datasheet Search. Create a poster in Canva showing the properties and applications of each component of the electromagnetic spectrum.
- Baral, T. (2023, 7 de octubre). Understanding of LoRa. Medium. <https://medium.com/@arghyababal/understanding-of-lora-066d89ed7bf4>

Referencias



**Muchas
Gracias**

