



RTL-SDR

▼ Calibración

El receptor RTL-SDR, caracterizado por tener tolerancias de ± 30 a ± 50 ppm, este parámetro varía en función del fabricante y modelo de RTL-SDR por lo que es necesario calibrar.

El calibrado de un dispositivo SDR consiste en calcular la desviación en frecuencia medida en ppm de forma que se ajuste el oscilador para la sintonización a la frecuencia RF deseada. El receptor SDR se calienta a medida que aumenta el tiempo de trabajo por lo que es recomendable dejar en funcionamiento el dispositivo cierto tiempo antes de calibrarlo, por ejemplo unos 20 minutos.

Software kalibrate

El Software Open-Source kalibrate es una aplicación de consola disponible en los sistemas operativos GNU/Linux y Windows, la cual se puede descargar a partir de los siguientes comandos:

```
$ git clone https://github.com/steve-m/kalibrate-rtl.git
$ sudo apt-get install libtool libfftw3-dev
```

Debido a que se trata de una aplicación de consola se trabaja desde la terminal del sistema operativo utilizado, accediendo al directorio donde se descargó el archivo. Luego, ingresando el comando `kal -h` se despliega las diferentes acciones que se pueden realizar.

```
apavet@becarios206:~/kalibrate-rtl$ kal -h
kalibrate v0.4.1-rtl, Copyright (c) 2010, Joshua Lackey
modified for use with rtl-sdr devices, Copyright (c) 2012, Steve Markgraf
Usage:
  GSM Base Station Scan:
    kal <-s band indicator> [options]
```

```
Clock Offset Calculation:
kal <-f frequency | -c channel> [options]
```

Where options are:

```
-s band to scan (GSM850, GSM-R, GSM900, EGSM, DCS, PCS)
-f frequency of nearby GSM base station
-c channel of nearby GSM base station
-b band indicator (GSM850, GSM-R, GSM900, EGSM, DCS, PCS)
-g gain in dB
-d rtl-sdr device index
-e initial frequency error in ppm
-E manual frequency offset in hz
-v verbose
-D enable debug messages
-h help
```

Para calibrar un dispositivo SDR se escanea la banda de frecuencia GSM900 mediante el comando `kal -g 42 -e 22 -s GSM900`.

```
apavet@becarios206:~/kalibrate-rtl$ kal -g 42 -e 22 -s GSM900
Found 1 device(s):
 0: Generic RTL2832U OEM

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
Exact sample rate is: 270833.002142 Hz
[R82XX] PLL not locked!
Setting gain: 42.0 dB
kal: Scanning for GSM-900 base stations.
GSM-900:
  chan: 12 (937.4MHz - 22.781kHz)    power: 427823.64
  chan: 17 (938.4MHz + 38.017kHz)    power: 439039.85
  chan: 33 (941.6MHz - 23.407kHz)    power: 425968.08
  chan: 35 (942.0MHz + 9.555kHz)     power: 816800.53
```

Tras el escaneo de canales, se observa que el canal recibido con mayor potencia es el canal 35, con 816800.53 W por lo que se recibirá la señal de dicho canal para obtener la desviación en frecuencia con el comando `kal -e 41 -c 35 -v`

```
apavet@becarios206:~/kalibrate-rtl$ kal -e 41 -c 35 -v
Found 1 device(s):
 0: Generic RTL2832U OEM

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
Exact sample rate is: 270833.002142 Hz
[R82XX] PLL not locked!
kal: Calculating clock frequency offset.
Using GSM-900 channel 35 (942.0MHz)
Tuned to 942.000000MHz (reported tuner error: 0Hz)
offset 1: 28108.20
offset 2: 36089.25
offset 3: 20156.07
offset 4: 21548.76
offset 5: 16052.42
offset 6: 10672.83
offset 7: 20692.28
offset 8: 30518.53
offset 9: 30326.36
```

```
offset 10: -452.08
offset 11: 17833.56
offset 12: 21557.03
offset 13: 24491.16
offset 14: 16556.60
offset 15: 15702.18
offset 16: 11575.80
offset 17: 14084.28
offset 18: 27725.94
offset 19: 22900.11
offset 20: 14491.34
offset 21: 15717.68
offset 22: 38111.12
offset 23: 23622.28
offset 24: 27732.13
offset 25: 16968.82
offset 26: 13144.11
offset 27: 21118.97
offset 28: 27324.04
offset 29: 13642.09
offset 30: 23497.27
offset 31: 14712.43
offset 32: 26723.78
offset 33: 31199.37
offset 34: 20626.16
offset 35: 14803.35
offset 36: 20287.28
offset 37: 22536.45
offset 38: 18251.99
offset 39: 11502.45
offset 40: 12187.42
offset 41: 39579.22
offset 42: 10903.22
offset 43: 16477.04
offset 44: 26861.19
offset 45: 10335.00
offset 46: 29893.48
offset 47: 14492.37
offset 48: 20324.48
offset 49: 9841.15
offset 50: 27146.34
offset 51: 15293.06
offset 52: 15009.98
offset 53: 11540.67
offset 54: 28077.21
offset 55: 8559.01
offset 56: 23034.42
offset 57: 28627.87
offset 58: 30270.57
offset 59: 28562.78
offset 60: 16190.86
offset 61: 28885.13
offset 62: 23236.92
offset 63: 22436.23
offset 64: 21441.31
offset 65: 15650.53
offset 66: 15129.82
offset 67: 15994.57
offset 68: 6396.64
offset 69: 22980.70
offset 70: 21636.57
offset 71: 23069.55
offset 72: 24844.49
offset 73: 22736.88
offset 74: 14662.84
offset 75: 22090.13
```

```

offset 76: 8135.42
offset 77: -4770.63
offset 78: 22113.88
offset 79: 18391.46
offset 80: 9814.28
offset 81: 26118.36
offset 82: 22525.08
offset 83: 13916.91
offset 84: 5981.31
offset 85: 28735.32
offset 86: 16451.21
offset 87: 24973.63
offset 88: 23437.35
offset 89: 23026.16
offset 90: 27730.07
offset 91: -24.36
offset 92: 16359.27
offset 93: 25898.30
offset 94: 27256.88
offset 95: 14533.70
offset 96: 14843.64
offset 97: 23017.89
offset 98: 16614.46
offset 99: 18300.55
offset 100: 24542.81
average [min, max] (range, stddev)
+ 19.963kHz [10673, 28628] (17955, 5098.722656)
overruns: 0
not found: 1137
average absolute error: 19.808 ppm

```

De este modo, puede observarse que el receptor RTL-SDR tiene una desviación en frecuencia de 19.808 ppm.

▼ Implementación del algoritmo de recepción

Respecto a la herramienta Software utilizada para el diseño del algoritmo de decodificación se ha escogido trabajar en el lenguaje Python puesto que incorpora gran cantidad de funciones que permiten el análisis, procesado y extracción de características de señales con muy buenas prestaciones.

En primera instancia se deben instalar bibliotecas y herramientas de desarrollo necesarias desde la terminal:

1. Instalar el paquete de Python `sudo apt install python3`
2. Instalar las dependencias del sistema `sudo apt-get install libusb-1.0-0-dev`
3. Instalar las herramientas de RTL-SDR `sudo apt-get install rtl-sdr`
Si surgen problemas de compilacion se puede revisar: [rtl-sdr installation](#)
4. Instalar pyrtlsdr `pip install pyrtlsdr`

La IDE que se va a utilizar para desarrollar el código es Visual Studio Code, que para su instalación debe descargarse el paquete de VSC y ejecutar en la terminal: `sudo dpkg -i archivo.deb`

Procesamiento de Señales

Aquí se incluye el código en Python implementado para la recepción de muestras del RTL-SDR utilizando la librería rtlsdr.

Se centra la frecuencia en la emisora 99.9 FM para trabajar en una señal conocida.

```
import numpy as np
import rtlsdr
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.signal import find_peaks

def detectar_modulacion_fm(muestras, tasa_muestreo):
    # Transformada de Fourier y frecuencias correspondiente de las muestras
    # en el dominio de la frecuencia
    fft_result = np.fft.fft(muestras)
    magnitud_fft = np.abs(fft_result)
    frecuencias = np.fft.fftfreq(len(muestras), d=1/tasa_muestreo)

    # Grafica de la transformada de Fourier
    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.plot(frecuencias, magnitud_fft)
    plt.title('Transformada de Fourier')
    plt.xlabel('Frecuencia (Hz)')
    plt.ylabel('Magnitud')
    plt.show()

    picos, _ = find_peaks(magnitud_fft, height=0.1) # Encontrar picos en el espectro de frecuencia

    umbral = 0.01 # umbral para determinar si la señal está modulada en frecuencia

    # Analizar los picos y determinar si la señal está modulada en frecuencia
    for pico_idx in picos:
        frecuencia_pico = frecuencias[pico_idx]
        amplitud_pico = magnitud_fft[pico_idx]

        if amplitud_pico > umbral:
            # La señal está modulada en frecuencia si hay un pico significativo en el espectro
            return True, frecuencia_pico

    # Si no se encontraron picos significativos, la señal no está modulada en frecuencia
    return False, None

# ----- RTL-SDR Configuration -----

sdr = rtlsdr.RtlSdr() # Inicializar el dispositivo RTL-SDR

sample_rate = 1e6

# Configurar parámetros
sdr.sample_rate = sample_rate # Tasa de muestreo en muestras por segundo
sdr.center_freq = 99900000 # Frecuencia central en Hz (99.9 MHz)
sdr.gain = 42 # Ganancia del receptor

output_file = "fm999.bin" # Nombre del archivo de salida con las muestras capturadas

samples = sdr.read_samples(1024 * 1024) # Cantidad de muestras a capturar
np.save(output_file, samples) # Guardar las muestras en un archivo binario

sdr.close() # Cerrar el dispositivo RTL-SDR
# -----

# Muestras capturadas
plt.plot(np.abs(samples))
```

```

plt.xlabel('Muestras')
plt.ylabel('Amplitud')
plt.title('Muestras capturadas')

# Detectar FM
modulada, frecuencia_pico = detectar_modulacion_fm(samples, sample_rate)

if modulada:
    print(f"La señal está modulada en frecuencia. Frecuencia pico: {frecuencia_pico} Hz")
else:
    print("La señal no está modulada en frecuencia.")

plt.show()

# Espectro de frecuencia
frequencies, spectrum = plt.psd(samples, NFFT=1024, Fs=sample_rate, scale_by_freq=True)
plt.xlabel('Frecuencia (Hz)')
plt.ylabel('Densidad espectral de potencia')
plt.title('Espectro de frecuencia')
plt.show()

```