

Resumen— Este informe presenta el análisis y procesamiento de cuatro tipos de señales, tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia. Las señales evaluadas fueron: senoidal, triangular, cuadrada y de pulso, cada una observada con y sin offset, y en el caso de la señal de pulso, con distintos ciclos útiles.

Para llevar a cabo el estudio, se emplearon un generador de señales y un osciloscopio, con los que se capturaron las formas de onda. Luego, los datos obtenidos se exportaron en formato .csv y se utilizaron para realizar el análisis y la representación gráfica de las señales, empleando los entornos MATLAB y Thonny.

Abstract-- This report presents the analysis and processing of four types of signals in both the time and frequency domains. The signals studied include: sine, triangular, square, and pulse signals, each analyzed with and without offset, and in the case of the pulse signal, with different duty cycles.

To carry out the study, a signal generator and an oscilloscope were used to capture the waveforms. The recorded data was then exported in .csv format and used to perform the analysis and graphical representation of the signals using MATLAB and Thonny environments.

I. SEÑAL SENOIDAL.

Inicialmente se establece una señal senoidal con los siguientes valores.

- 3,5 KHz.
- 3Vpp.

A partir de esto se observa la señal senoidal en el osciloscopio una vez comprobada que la señal es la deseada vamos a usar la aplicación OpenChoice Desktop instalada en el computador, la cual se utilizara para extraer los archivos de la señal en el tiempo donde se obtiene un archivo .CSV, a partir de esto se comprueba mediante el software de Matlab que los datos obtenidos correspondan con lo visto en el osciloscopio.

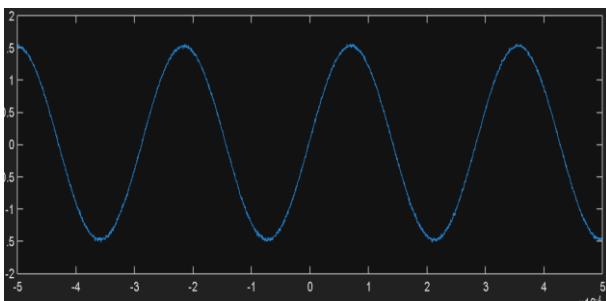


Ilustración 1 Señal senoidal.

Como se observa la señal, corresponde directamente con lo analizado en el osciloscopio, a partir de esto se desea observar la señal en el dominio de la frecuencia, para esto se realiza la siguiente ecuación.

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{V}{\sqrt{2}} \right)$$

Ecuación 1.

Esta ecuación es necesaria debido a que la transformada rápida de Fourier presenta la magnitud de la señal senoidal en términos de dB por lo cual es necesario obtener el valor del voltaje de la señal en dB por lo cual reemplazando los valores se obtiene.

$$20 \log_{10} \left(\frac{1,5 V}{\sqrt{2}} \right) = 0,511 \text{ dB}$$

Ahora vamos a ingresar a Matlab y vamos a volver nuestro archivo .csv a una señal FFT, para esto vamos a usar el código.

```
t = senoidal.tiempo;
v = senoidal.voltaje;
Fs = 1 / mean(diff(t));
N = length(v);
f = (0:N/2) * (Fs / N);
v_ac = v - mean(v);
Y = fft(v_ac);
Y = Y(1:N/2+1);
P1 = abs(Y) / N;
P1(2:end-1) = 2 * P1(2:end-1);
P1_dB = 20 * log10(P1 + eps);
figure;
plot(f, P1_dB, 'Color', [0.2 0.4 0.6], 'LineWidth', 1.1);
title('Espectro en dB de la señal');
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Amplitud (dB)');
xlim([0, 6000]);
ylim([max(P1_dB) - 100, max(P1_dB) + 5]);
grid on;
```

A partir del siguiente código generado se obtiene la siguiente señal.

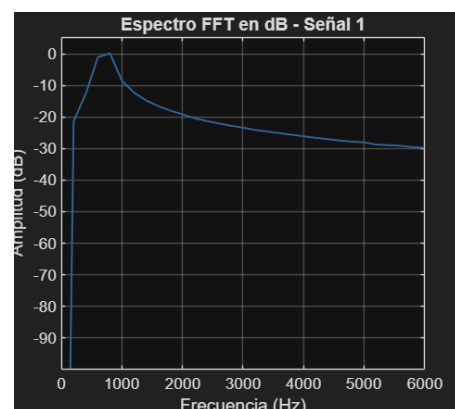


Ilustración 2 FFT calculada.

Como se logra observar la manera de reconstruir la señal FFT, ya que para que se vea mejor la señal debemos usar una escala diferente o reducir como vemos el grafico para que se vea más pronuncia la señal en 3,5 k Hz, un aproximado de 600m dB, ahora vamos a realizar el grafico en Thonny para compararlo con Matlab y la señal que observamos en el osciloscopio, para este vamos a usar código

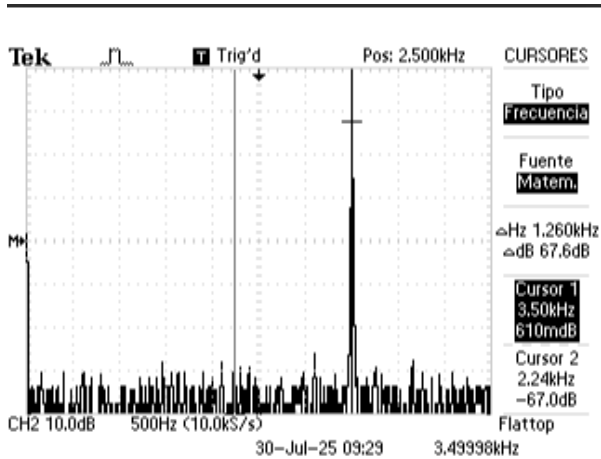


Ilustración 3 Señal senoidal en frecuencia.

Ahora, en el osciloscopio utilizamos la función Math para visualizar la FFT y compararla con las gráficas obtenidas en MATLAB, Thonny y con el valor teórico previamente calculado, se observa un pico de 1,01 dB en 3,5 kHz, mientras que el valor teórico fue de 511 m dB. Esto nos permite calcular un error experimental al comparar ambos resultados.

$$\frac{|511 \text{ m dB} - 610 \text{ m dB}|}{511 \text{ m dB}} = 19,3\%$$

El error teórico, presente corresponde a 19,3%, esto debido a que son magnitudes relativamente pequeñas lo cual evidentemente producirá un error grande, así mismo, se obtiene el valor obtenido en voltios como se observa a continuación.

$$20 \log_{10} \left(\frac{X}{\sqrt{2}} \right) = 610 \text{ m dB}$$

$$x = 10^{\frac{0,61}{20}} \times \sqrt{2} = 1,51V$$

Como se logra observar la diferencia en voltaje es de 0,9V hallando el error experimental.

$$\frac{|1,5V - 1,51V|}{1,5V} = 0,66\%$$

El error en voltaje fue del 0,66 %, posiblemente causado por la imprecisión al ubicar el cursor en el osciloscopio o por efectos del cableado, aunque es prácticamente despreciable. A continuación, se trabajarán los archivos .csv exportados desde el osciloscopio, tanto de la señal senoidal en el dominio del tiempo como en FFT. El primer paso será verificar en MATLAB que la señal sea la correcta, graficándola como se muestra a continuación.

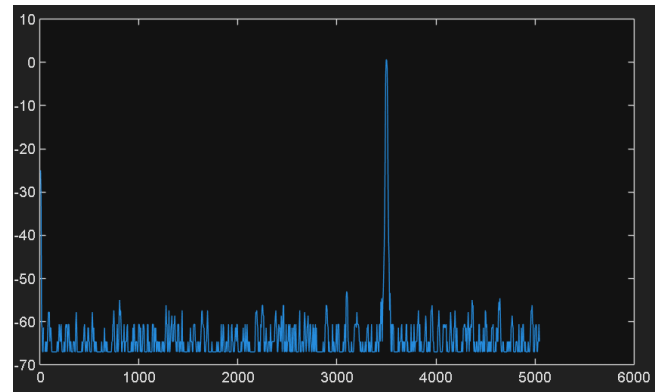


Ilustración 4 Señal graficada en Matlab.

Se observa un pico de 0,61 dB a una frecuencia de 3496 Hz, muy cercana al valor teórico de 3,5 kHz, lo que confirma la precisión del análisis.

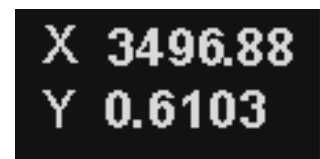


Ilustración 5 Valores dados.

A continuación, se establece el siguiente código, el cual nos permitirá observar la señal en su dominio del tiempo, a partir de los datos obtenidos de frecuencia.

```
data = readmatrix('FFT1.csv');
frecuencias = data(3:end, 4);
dB = data(3:end, 5);
magnitudes = 10.^(dB/20)*9;
fases = zeros(size(magnitudes));
complejos = magnitudes .* exp(1j * fases);
L = length(complejos);
espectro_completo = zeros(2*(L-1), 1);
espectro_completo(1:L) = complejos;
espectro_completo(end:-1:L+1) = conj(complejos(2:end-1));
df = frecuencias(2) - frecuencias(1);
N = length(espectro_completo);
Fs = df * N;
senal_reconstruida = ifft(espectro_completo, 'symmetric');
tiempo = (0:N-1)' / Fs;
tiempo_inicio = 0.01; % 10 ms
tiempo_final = 0.02; % 20 ms
figure;
plot(tiempo, senal_reconstruida, 'LineWidth', 1.5);
grid on;
title('Señal Reconstruida (Dominio del Tiempo)');
xlabel('Tiempo (cs)');
ylabel('Amplitud');
set(gca, 'FontSize', 12);
xlim([tiempo_inicio, tiempo_final]);
ylim([min(senal_reconstruida)*1.1, max(senal_reconstruida)*1.1]);
```

Ilustración 6 Código reconstrucción de tiempo.

Este código en MATLAB reconstruye una señal temporal a partir de su espectro en dB guardado en 'FFT1.csv'. Convierte las magnitudes a escala lineal, asigna fase cero y crea el espectro simétrico necesario para aplicar la transformada inversa de Fourier (ifft). Luego, calcula la frecuencia de muestreo y genera el vector de tiempo. Finalmente, grafica la señal reconstruida entre 10 y 20 centisegundos, como se muestra en la ilustración 10.

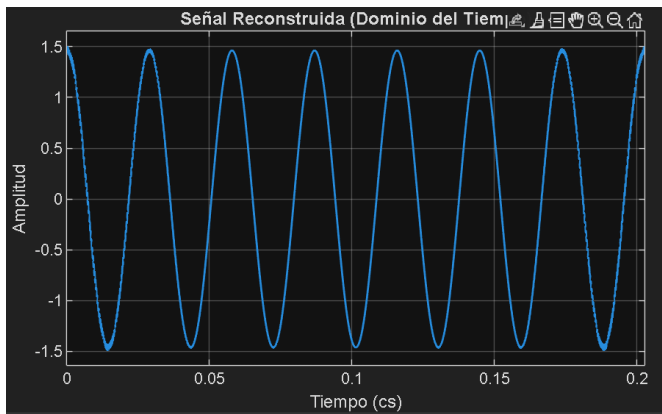


Ilustración 7 Señal en el dominio del tiempo.

A partir de esto, se establece la cresta la segunda cresta, la cual nos permitirá calcular la frecuencia de la señal, por lo cual.

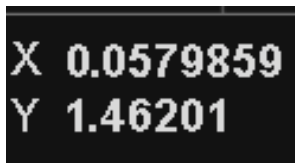


Ilustración 8 Valores obtenidos.

Como se observa se obtuvo un tiempo para la segunda cresta de $0,057 \times 10^{-2}$ con un voltaje de 1,46V, por lo cual se hará uso de la siguiente ecuación.

$$F = \frac{\# \text{ de crestas}}{\text{Tiempo}}$$

Ecuación 3.

Ahora vamos a remplazar la información que tenemos.

$$\frac{2}{0,057 \times 10^{-2}} = 3,5 \text{ k Hz}$$

Como vemos la frecuencia es la correcta, ahora vamos a verificar el voltaje teórico contra el experimental con el error experimental.

$$\frac{|1,5V - 1,46V|}{1,5V} = 2,66\%$$

Como podemos ver tuvimos un error 2,66 % que es muy bueno podemos afirmar que la reconstrucción fue hecha de una manera exitosa.

Por otro lado, se busca graficar la señal en el aplicativo Thonny, para esto vamos a usar el siguiente código que se logra ver en la

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 ruta = r'D:\Universidad\Semestre 6\Comunicaciones digitales\Informe 2\Señal senoidal\FFT1.csv'
4 data = np.loadtxt(ruta, delimiter=",", skiprows=12, usecols=(3, 4))
5 frecuencias = data[:, 0]
6 dB = data[:, 1]
7 indice_pico = np.argmax(dB)
8 f_dominante = frecuencias[indice_pico]
9 db_pico = dB[indice_pico]
10 amplitud = 10 ** (db_pico / 20) * 1.4
11 fs = 50000
12 duracion = 0.001
13 t = np.linspace(0, duracion, int(fs * duracion), endpoint=False)
14 senal = amplitud * np.sin(2 * np.pi * f_dominante * t + np.pi / 2)
15 plt.plot(t[:1000] * 1000, senal[:1000])
16 plt.title("Señal senoidal ")
17 plt.xlabel("Tiempo [ms]")
18 plt.ylabel("Amplitud")
19 plt.grid(True)
20 plt.show()
```

Ilustración 9 Código de Thonny.

Este código en Python genera una señal senoidal simulada a partir de una FFT medida desde un osciloscopio, cargando los datos de frecuencia y magnitud en dB desde un archivo CSV. Identifica la frecuencia dominante, calcula su amplitud en escala lineal y crea una señal senoidal con fase $\pi/2$ para simular un inicio en cresta. Luego, grafica las primeras 1000 muestras en función del tiempo (ms) para su análisis visual.

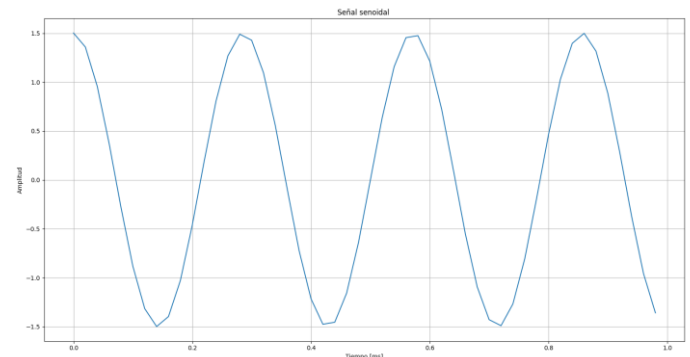


Ilustración 10 Señal reconstruida en Thonny

Ahora vamos a verificar el voltaje y la frecuencia para esto vamos a poner el curso en una de la cresta para ver el voltaje y el tiempo.

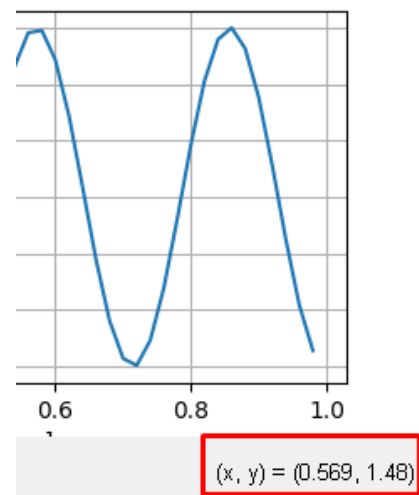


Ilustración 11 Valores de la cresta.

Como vemos tenemos un voltaje de 1.48 V y un tiempo de 0,596 milisegundos ahora vamos a usar la ecuacion 3.

$$\frac{2}{0,0569 \times 10^{-3}} = 3,51 \text{ k Hz}$$

Ahora vamos a hallar el error experimental del voltaje y frecuencia.

$$\frac{|1,5V - 1,48V|}{1,5V} = 1,33\%$$

$$\frac{|3,5K \text{ Hz} - 3,51 K \text{ Hz}|}{3,5 V K \text{ Hz}} = 0,28\%$$

Como vemos los errores experimentales fueron menos a el 2% lo que nos indica que este método es igual de efectivo que Matlab.

II. SEÑAL SENOIDAL CON NIVEL DC.

Se configura el generador de señales con una frecuencia de 3,5 kHz, un voltaje pico de 1,5 V y un offset de 1 V. La señal se

visualiza en el osciloscopio para verificar que cumple con los parámetros establecidos. Luego, se exporta el archivo .CSV usando OpenChoice Desktop y se analiza en MATLAB para confirmar que los datos corresponden a la señal generada.

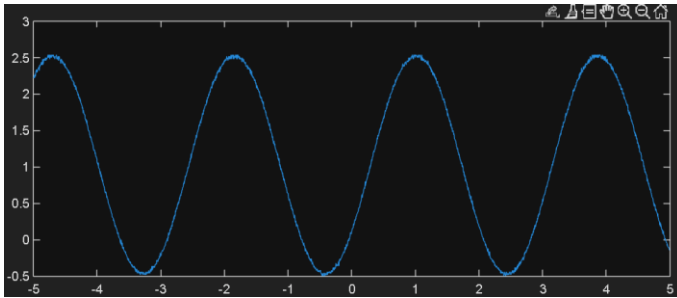


Ilustración 12 Señal senoidal con DC.

A partir de esta señal, se busca analizar su comportamiento en el dominio de la frecuencia. Para ello, es necesario convertir los voltajes a decibelios utilizando la Ecuación 1. Aunque la señal presenta un offset, este no afecta el cálculo de los dB del voltaje pico, ya que la amplitud se mantiene constante. Sin embargo, se procederá a calcular los dB correspondientes al offset, considerando su valor como una magnitud de voltaje continua.

$$20 \log_{10} \left(\frac{1,5 V}{\sqrt{2}} \right) = 0,511 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{1V}{\sqrt{2}} \right) = -3 \text{ dB}$$

A partir de lo anteriormente establecido, se grafica nuevamente la señal, en este caso, se busca ver la señal exactamente igual, con la única diferencia que se adiciona el pico del voltaje en DC.

```
data = readmatrix('tiempo señal 2.csv');
t = data(3:end, 4);
x = data(3:end, 5);
% 2. Parámetros clave
Fs = 1 / (4e-7);
N = length(x);
X = fft(x);
X_mag = abs(X / N);
f = Fs * (0:(N/2)) / N;
P1 = X_mag(1:N/2+1);
P1(2:end-1) = 2 * P1(2:end-1);
P1_dB = 20*log10(max(P1, 1e-12));
figure;
plot(f, P1_dB, 'LineWidth', 1.5);
grid on;
title('Espectro de Frecuencia (FFT)');
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Amplitud (dB)');
set(gca, 'FontSize', 12);
xlim([0 8000]);
ylim([-30 10]);
```

Ilustración 13 Código creación de FFT.

A partir del código, se obtiene la siguiente señal, la cual dará como establecida la señal previamente determinada.

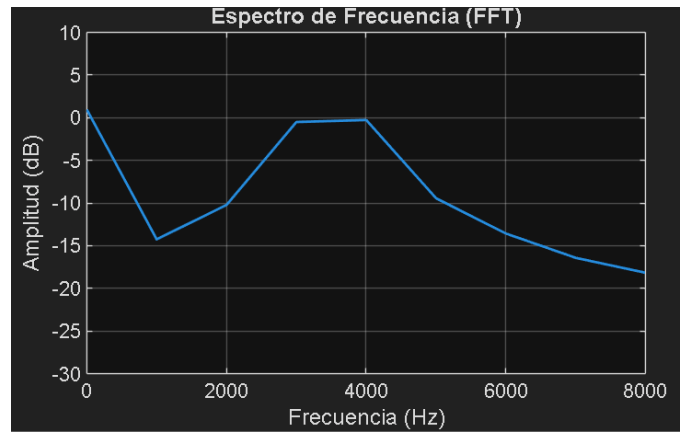


Ilustración 14 Señal FFT con DC

La única diferencia visible con respecto a lo anteriormente nombrado es el nuevo pulso con frecuencia 0Hz, esto debido a que la señal DC no cuenta con frecuencia, así mismo, se observa el valor en decibeles del valor DC



Ilustración 15 Valores obtenidos

Se observa una magnitud de 0,95 dB en la componente de 0 Hz, lo cual difiere del valor teórico de 0 dB esperado para un offset de 1 V. Esta diferencia puede deberse a ruido eléctrico, errores de muestreo, desajustes en la sincronización, o pequeñas variaciones en el nivel de offset durante la adquisición. Todos estos factores pueden generar una leve desviación respecto al valor ideal.

A continuación, se utilizará el código en Thonny para graficar esta señal senoidal, similar a la anterior.

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 ruta = r'D:\Universidad\Semestre 6\Comunicaciones digitales\Informe 2\Señal se
5
6 t, x = np.loadtxt(ruta, delimiter=',', skiprows=2, usecols=(3,4), unpack=True)
7
8 Fs = 1/4e-7
9 N = len(x)
10
11 X = np.fft.fft(x)
12 freq = np.fft.fftfreq(N, 1/Fs)[:N/2]
13
14 mag = np.abs(X[:N/2]) * 2 / N
15 dB = 20*np.log10(np.maximum(mag, 1e-12))
16
17
18 plt.figure(figsize=(10, 6))
19 plt.plot(freq, dB, linewidth=1.5)
20 plt.grid(True)
21 plt.title('Espectro de Frecuencia (FFT)')
22 plt.xlabel('Frecuencia (Hz)')
23 plt.ylabel('Amplitud (dB)')
24 plt.xlim(0, 8000)
25 plt.ylim(-20, 10)
26 plt.show()
27
```

Ilustración 16 Código en Thonny.

El código utilizado es similar al pasado, adicionalmente del valor DC, por lo cual se observa de manera la siguiente grafica.

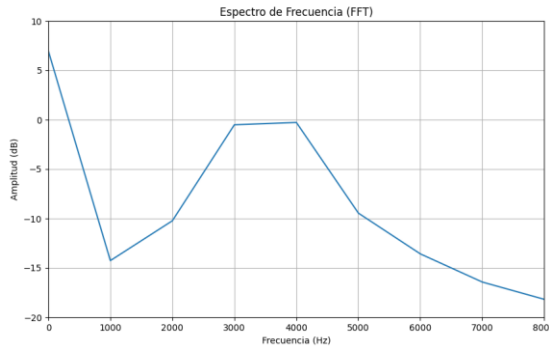


Ilustración 17 Señal obtenida en Thonny.

Al igual que en MATLAB, se presenta una discrepancia en el valor de la componente DC en el análisis con Thonny. Sin embargo, en este caso, el valor es aún mayor, alcanzando aproximadamente 6 dB, cuando lo esperado para un offset de 1 V es 0 dB. Esto sugiere que hay un error en alguna de las etapas del proceso.

Entre las posibles causas están:

- Falta de normalización adecuada en la FFT aplicada en Thonny.
- Variaciones reales en el offset, quizá por ruido, inestabilidad eléctrica o diferencias en el ADC.
- Escalado automático o falta de centrado en los datos de entrada.

Estas pequeñas diferencias demuestran cómo el entorno de adquisición y el software utilizado pueden afectar los resultados del análisis espectral. A continuación, se utilizará el archivo .csv de FFT para reconstruir la señal en el dominio del tiempo y verificarla en MATLAB, como en ejercicios anteriores.

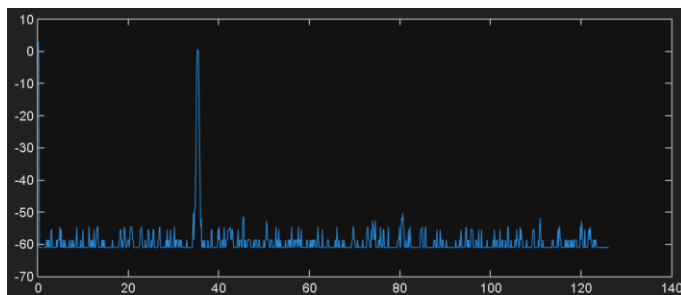


Ilustración 18 Señal con nivel DC en frecuencia.

En la ilustración 8 se observa un pico de 0,63 dB a una frecuencia de 3538 Hz, lo cual está muy cerca del valor teórico de 3,5 kHz, confirmando la precisión del análisis y la concordancia con los resultados esperados.

A continuación, se hará uso del siguiente código el cual proporcionará la señal establecida.

```
data = readmatrix('FFToffset.csv');
frecuencias = data(3:end, 4);
dB = data(3:end, 5);
magnitudes = 10.^(dB / 20) * 9;
fases = zeros(size(magnitudes));
complejos = magnitudes .* exp(1j * fases);
L = length(complejos);
espectro_completo = zeros(2*(L-1), 1);
espectro_completo(1:L) = complejos;
espectro_completo(end:-1:L+1) = conj(complejos(2:end-1));
df = frecuencias(2) - frecuencias(1);
N = length(espectro_completo);
Fs = df * N;
espectro_completo(1) = espectro_completo(1) + N * 1;
senal_reconstruida = ifft(espectro_completo, 'symmetric');
tiempo = (0:N-1)' / Fs;
tiempo_inicio = 0.01; % 10 ms
tiempo_final = 0.02; % 20 ms
figure;
plot(tiempo, senal_reconstruida, 'LineWidth', 1.5);
grid on;
title('Señal Reconstruida con Offset de 1 V (Dominio del Tiempo)');
xlabel('Tiempo (cs)');
ylabel('Amplitud (V)');
set(gca, 'FontSize', 12);
xlim([tiempo_inicio, tiempo_final]);
ylim([min(senal_reconstruida)*1.1, max(senal_reconstruida)*1.1]);
```

Ilustración 19 Código de reconstrucción.

El código carga un archivo CSV con frecuencias y niveles en dB, convierte estos a magnitudes lineales y les asigna fase cero. Luego, construye el espectro completo aplicando simetría conjugada para obtener una señal real mediante la IFFT. Calcula la frecuencia de muestreo a partir del espaciamiento entre frecuencias y genera la señal reconstruida en el tiempo, que finalmente se grafica entre 10 y 20 ms.

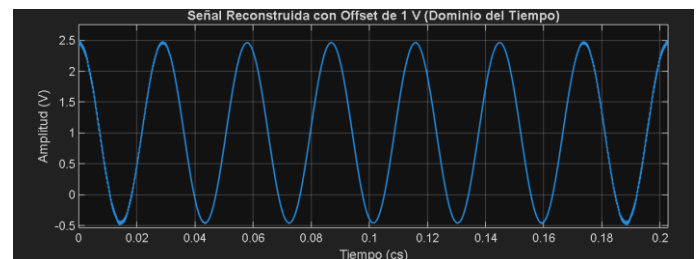


Ilustración 20 Señal reconstruida.

Ahora vamos a ver la amplitud y la frecuencia de esta señal para comprobar que este bien

Como se observa se tiene un voltaje de 2,46V y un tiempo de $0,057 \times 10^{-2}$ segundos, a partir de esto, se calcula el error experimental.

$$\frac{2}{0,057 \times 10^{-2}} = 3,5 \text{ kHz}$$

$$\frac{2,5V - 2,46V}{2,5V} = 1,66\%$$

Se obtuvo un error del 1,66 %, lo cual indica que la reconstrucción de la señal fue exitosa y precisa. Esto valida el proceso aplicado de reconstrucción desde el dominio de la frecuencia al dominio del tiempo.

A partir de esto, se implementa el siguiente código, el cual nos permitirá obtener la señal.

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 archivo_csv = r'D:\Universidad\Semestre 6\Comunicaciones digita
4 data = np.loadtxt(archivo_csv, delimiter=",", skiprows=12, usec
5 frecuencias = data[:, 0]
6 dB = data[:, 1]
7 idx_max = np.argmax(dB)
8 f_dominante = frecuencias[idx_max]*99
9 dB_max = dB[idx_max]
10 amplitud = 10**((dB_max / 20)*1.4
11 fs = 50000
12 duracion = 0.001
13 t = np.linspace(0, duracion, int(fs*duracion), endpoint=False)
14 senal = amplitud * np.cos(2 * np.pi * f_dominante * t)+1
15 plt.plot(t * 1000, senal)
16 plt.xlabel("Tiempo [ms]")
17 plt.ylabel("Amplitud")
18 plt.title(f"Señal reconstruida: |Hz")
19 plt.grid(True)
20 plt.show()
21

```

Ilustración 21 Código en thonny de reconstrucción.

Este script en Python reconstruye una señal senoidal a partir de los datos de una FFT guardados en un archivo .csv. Primero, importa las librerías necesarias (numpy y matplotlib.pyplot). Luego, carga el archivo FFT1offset.csv, omitiendo las primeras 12 filas, y selecciona las columnas correspondientes a frecuencia y magnitud en decibeles.

Después, identifica cuál es la frecuencia con mayor magnitud (frecuencia dominante) y convierte su valor en decibeles a una escala lineal.

Se define un tiempo de simulación de 1 milisegundo con una frecuencia de muestreo de 50 kHz, y se genera el vector de tiempo. Con estos datos, se construye una señal senoidal desplazada en voltaje (con un pequeño offset) y finalmente se grafica en función del tiempo.

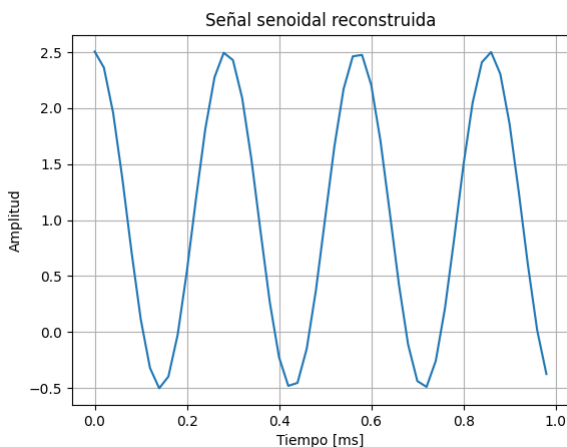


Ilustración 22 Señal obtenida.

Como vemos tenemos un voltaje de 2,47 V y un tiempo de 0,579 milisegundos, a partir de esto se calcula la frecuencia para después sacar el error experimental.

$$\frac{2}{0,57 \times 10^{-3}} = 3,5 \text{ kHz}$$

$$\frac{|2,5V - 2,48V|}{2,5 V} = 0,8\%$$

La pequeña diferencia del 0.8% en eficiencia entre MATLAB y Thonny/Python al procesar señales como la de 3.5 kHz muestra que ambos programas son casi igual de precisos. Esto se debe a que los dos usan librerías muy optimizadas y trabajan con alta precisión, por lo que el lenguaje en el que están escritos no afecta mucho el resultado. Como esta diferencia es menor incluso que los errores normales de los equipos de medición (que suelen estar entre 1% y 2%), se puede decir que lo importante al elegir entre MATLAB y Python no es el rendimiento, sino otros aspectos como qué tan bien se conecta con los instrumentos o qué tan fácil es programar en él.

III. SEÑAL TRIANGULAR.

Como anteriormente se realizó para la señal sinusoidal pura se realiza la obtención de la señal triangular, para ello se establece en el generador de señales.

*Voltaje pico a pico: 3Vpp

*Ciclo útil: 50%

*Frecuencia: 3,5kHz

A partir de estos valores establecidos, se observa la señal en el dominio del tiempo en el osciloscopio como se muestra a continuación.

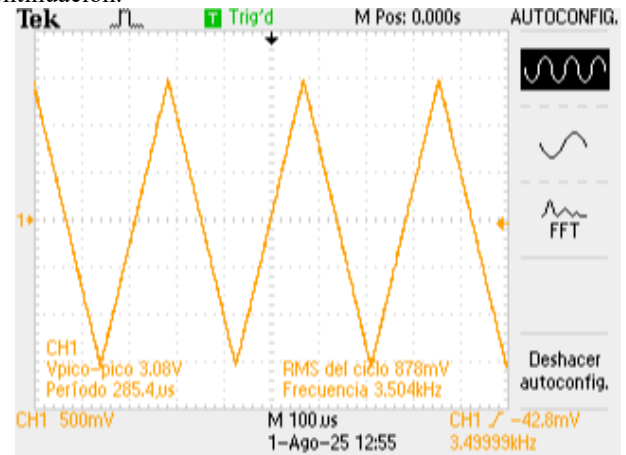


Ilustración 23 Señal triangular.

Así mismo se observa dicha señal en el software de Matlab esto con el fin de corroborar los datos obtenidos, para ello, se recopilan los datos obtenidos a partir de la aplicación de OpenChoise y a partir de ello se obtiene la gráfica de la señal triangular con su dominio en el tiempo.

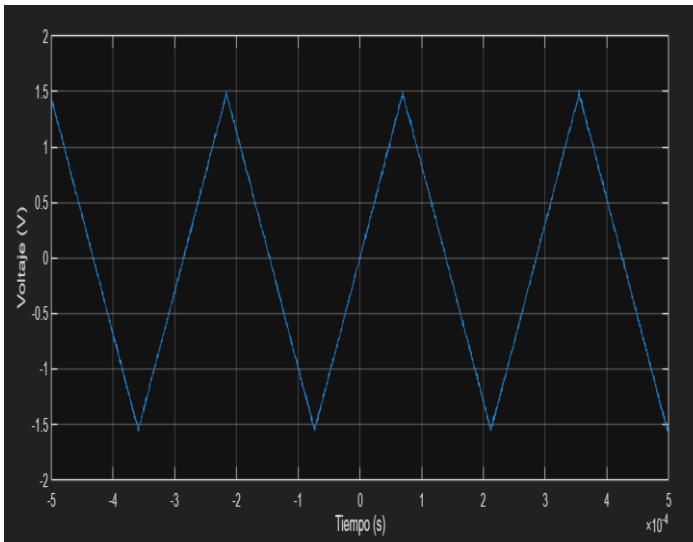


Ilustración 24 Señal en Matlab.

Como se observa en la señal obtenida en el software de Matlab, se puede establecer que los datos corresponden directamente a lo observado en el osciloscopio, a partir de esto, se aplica la siguiente ecuación, las cuales corresponderán al valor en voltaje para cada una de las armónicas que se desean observar.

$$A_n = \frac{8 \times V_p}{(n\pi)^2}$$

Donde:

n: Representa la armónica en cuestión que se desea calcular.

V_p : Voltaje pico de la señal.

En este caso, el voltaje pico corresponde a 1,5 V, por ende, los cálculos realizados para la primera armónica corresponden a.

$$A_1 = \frac{8 \times 1,5V}{(1 \times \pi)^2}$$

$$A_1 = 1,21V$$

Ahora bien, haciendo uso de la ecuación número 1, se obtiene el valor del voltaje en dB.

$$20 \log_{10} \left(\frac{1,21V}{\sqrt{2}} \right) = -1,35 \text{ dB}$$

Este procedimiento se realiza para cada una de las armónicas.

Por lo cual:

3ra armónica:

$$A_3 = \frac{8 \times 1,5V}{(3 \times \pi)^2}$$

$$A_3 = 0,13V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,13V}{\sqrt{2}} \right) = -20,73 \text{ dB}$$

5ta armónica:

$$A_5 = \frac{8 \times 1,5V}{(5 \times \pi)^2}$$

$$A_5 = 0,04V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,04V}{\sqrt{2}} \right) = -30,96 \text{ dB}$$

7ma armónica:

$$A_7 = \frac{8 \times 1,5V}{(7 \times \pi)^2}$$

$$A_7 = 0,02V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,02V}{\sqrt{2}} \right) = -35,1 \text{ dB}$$

9va armónica:

$$A_9 = \frac{8 \times 1,5V}{(9 \times \pi)^2}$$

$$A_9 = 0,0150V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,0150V}{\sqrt{2}} \right) = -39,4 \text{ dB}$$

11va armónica:

$$A_{11} = \frac{8 \times 1,5V}{(11 \times \pi)^2}$$

$$A_{11} = 0,010V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,010V}{\sqrt{2}} \right) = -43 \text{ dB}$$

Los valores obtenidos representan los cálculos teóricos de la potencia en dB que se planea observar en el dominio de la frecuencia, así mismo se realiza el cálculo de la frecuencia para cada uno de los armónicos, esto a partir de la siguiente fórmula.

$$fn = n * f_c$$

Donde:

f_n : Frecuencia para cada armónico.

f_c : Frecuencia de la señal original.

n: armónica impar.

Aplicando esta fórmula para cada una de las armónicas se obtiene.

1ra armónica:

$$f_1 = 1 * 3,5kHz$$

$$f_1 = 3,5kHz$$

3ra armónica:

$$f_3 = 3 * 3,5kHz$$

$$f_3 = 10,5kHz$$

5ta armónica:

$$f_5 = 5 * 3,5kHz$$

$$f_5 = 17,5kHz$$

7ma armónica:

$$f_7 = 7 * 3,5kHz$$

$$f_7 = 24,5kHz$$

9va armónica:

$$f_9 = 9 * 3,5kHz$$

$$f_9 = 31,5kHz$$

11va armónica:

$$f_{11} = 11 * 3,5kHz$$

$$f_{11} = 38,5kHz$$

Teniendo en cuenta estos valores es posible graficar a partir de los armónicos, la señal en el dominio del tiempo, esto debido a que la suma de todos los armónicos de la señal, dan como resultado la señal en su dominio del tiempo, esto se evidencia a continuación.

$$T=0.00028;$$

$$f=1/T;$$

```

A1=1.21;
A3=0.13;
A5=0.04;
A7=0.02;
A9=0.0150;
A11=0.01;
DC=0;
t=0:T/100:2*T;
V1= A1*cos(2*pi*f*t);
V3= A3*cos(2*pi*3*f*t);
V5= A5*cos(2*pi*5*f*t);
V7= A7*cos(2*pi*7*f*t);
V9= A9*cos(2*pi*9*f*t);
V11= A11*cos(2*pi*11*f*t);
VT=V1+V3+V5+V7+V9+V11+DC;
plot(t,VT);

```

A partir de estos comandos se observa la señal en el dominio del tiempo a partir de la suma de sus armónicos, evidentemente al tener mayores armónicos la señal será lo mas parecida posible a la señal, en este caso únicamente utilizamos 6 de sus armónicos, por ende, el resultado es el siguiente.

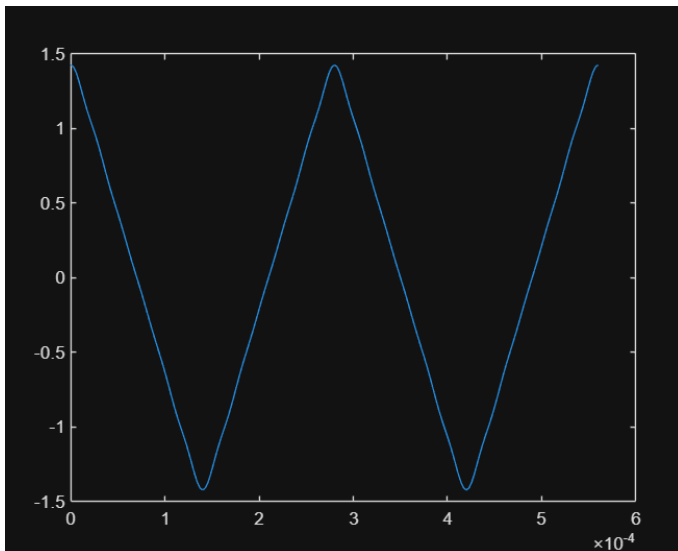


Ilustración 25 Señal triangular a partir de los armónicos teóricos.

A partir de estos datos calculados, se busca observar la transformada rápida de Fourier (FFT) de la señal triangular directamente en el osciloscopio (Experimental), para ello, se establece el apartado de Math y allí se seleccionará la opción de FFT y se establece el canal donde está la señal, a partir de esto se genera y por ende obtenemos la señal triangular con cada uno de sus armónicos de manera experimental en el dominio de la frecuencia.

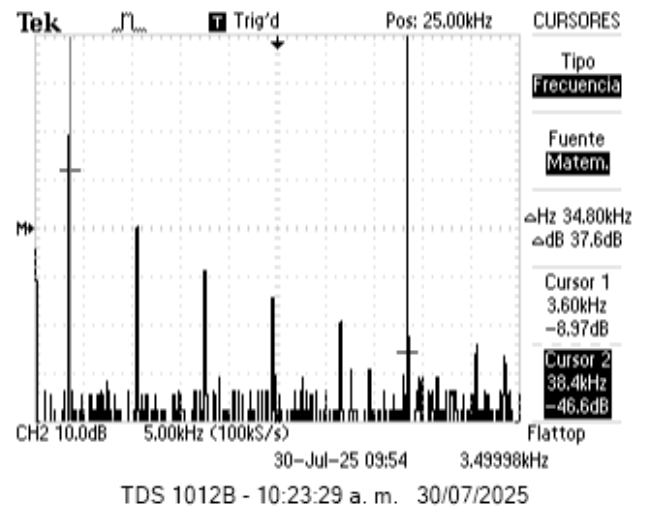


Ilustración 26 Señal triangular con respecto a su frecuencia.

Como se observa en la imagen, la señal obtenida corresponde a los armónicos en su dominio de la frecuencia, por lo cual se obtienen los siguientes datos.

- 1 armónica: 3,6 KHz.**
- 3 armónica: 10,3 KHz.**
- 5 armónica: 17,5 KHz.**
- 7 armónica: 24,5 KHz.**
- 9 armónica: 31,5 KHz.**
- 11 armónica: 38,4 KHz.**

Por otro lado, se realizan las mediciones de la amplitud (dB) para cada una de las armónicas, lo cual corresponde a.

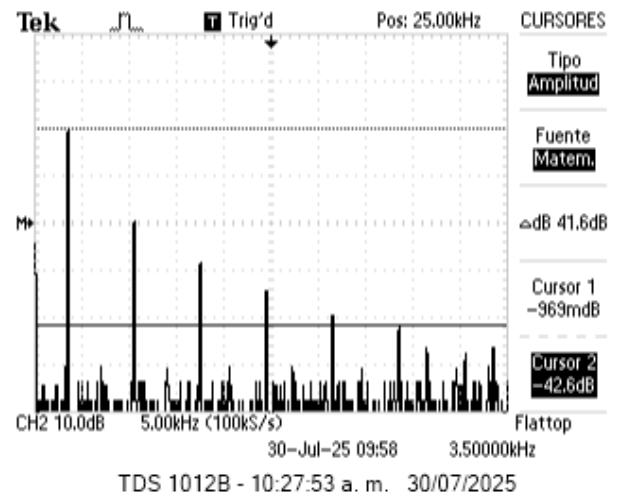


Ilustración 27 Amplitud de los armónicos.

Como se evidencia, la amplitud para la primera armónica corresponde a -969 mdB, así mismo la potencia para la onceava armónica corresponde a -42,6 dB, así mismo se establecieron cada una de las potencias para la tercera, quinta, séptima y novena armónica adicionalmente, lo cual es.

- 1 armónica: -969 mdB.
- 3 armónica: -20,6 dB.
- 5 armónica: -29,8 dB.
- 7 armónica: -35,8 dB.
- 9 armónica: -40,6 dB.
- 11 armónica: -42,6

Así mismo todos estos valores se rectificaron en la aplicación de Matlab, donde se busca comprobar las características de la señal en cuestión

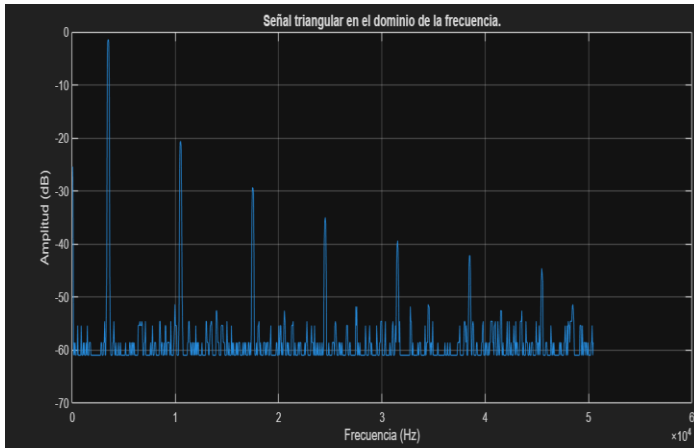


Ilustración 28 Señal de frecuencia obtenida a partir del osciloscopio.

Como se observa, la señal obtenida en Matlab corresponde directamente a lo planteado y visto en el osciloscopio, lo cual nos sugiere, que los datos obtenidos corresponden directamente con lo observado y analizado, así mismo recalando el valor de la frecuencia y el valor de la amplitud para cada uno de los armónicos.

A partir de estos datos, es posible realizar el calculo de porcentaje de error presente para cada uno de los armónicos, tanto para su amplitud (dB) y su frecuencia (KHz), por ende.

- % de error 1ra armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-1,3dB - (-969mdB)}{-1,3dB} \times 100\% = 25\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{3,5kHz - (3,6kHz)}{3,5kHz} \times 100\% = 2,8\%$$

- % de error 3ra armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-20,7dB - (-20,6dB)}{-20,7dB} \times 100\% = 0,48\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{10,5kHz - (10,3kHz)}{10,5kHz} \times 100\% = 1,9\%$$

- % de error 5ta armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-30,6dB - (-29,8dB)}{-30,6dB} \times 100\% = 2,6\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{17,5kHz - (17,5kHz)}{17,5kHz} \times 100\% = 0\%$$

- % de error 7ma armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-35,1dB - (-35,8dB)}{-35,1dB} \times 100\% = 1,9\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{24,5kHz - (24,5kHz)}{24,5kHz} \times 100\% = 0\%$$

- % de error 9va armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-39,4dB - (-40,6dB)}{-39,4dB} \times 100\% = 3\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{31,5kHz - (31,5kHz)}{31,5kHz} \times 100\% = 0\%$$

- % de error 11va armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-43dB - (-42,6dB)}{-43dB} \times 100\% = 0,9\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{38,5kHz - (38,4kHz)}{38,5kHz} \times 100\% = 0,1\%$$

Como se observa, el porcentaje de error presente es relativamente bajo, no superando el 3%, esto indica que la medición estuvo acertada, lo que quiere decir, que ese poco error presente es debido al error humano, es decir que el pulso presente al momento de establecer los cursores directamente afecta el proceso de medición, pero así mismo, se corrobora y se establece asertivamente el hecho de que el proceso fue adecuado, que la realidad corresponde a la teoría.

A partir de esto, se realiza de manera teórica la FFT, para ello se hace uso del siguiente código.

t = triangular.tiempo;
v = triangular.voltaje;

fs = 1 / mean(diff(t));
L = length(v);

Y = fft(v);

```
P2 = abs(Y / L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2 * P1(2:end-1);
```

```
f = fs * (0:(L/2)) / L;
```

```
figure;
plot(f / 1000, 20 * log10(P1 + eps), 'b', 'LineWidth', 1.5);
title('Espectro de Frecuencia (FFT) de la Señal Real');
xlabel('Frecuencia (kHz)');
ylabel('Amplitud (dB)');
grid on;
xlim([0, 50]);
ylim([max(20*log10(P1)) - 80, max(20*log10(P1)) + 5]);
```

```
[~, idx_peak] = max(P1);
f_peak = f(idx_peak) / 1000;
xline(f_peak, '-r', sprintf(' Pico en %.2f kHz', f_peak),
'LabelOrientation', 'horizontal');
```

```
v_reconstruida = ifft(Y);
```

```
figure;
plot(t, real(v_reconstruida), 'r', 'LineWidth', 1.5);
title('Señal Reconstruida por IFFT');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Amplitud (V)');
grid on;
```

```
f0 = 3500;
T0 = 1 / f0;
xlim([0, 3 * T0]);
```

A partir del siguiente código, se obtiene la señal la cual corresponde a la FFT calculada a partir de los datos de tiempo del archivo obtenido por el osciloscopio.

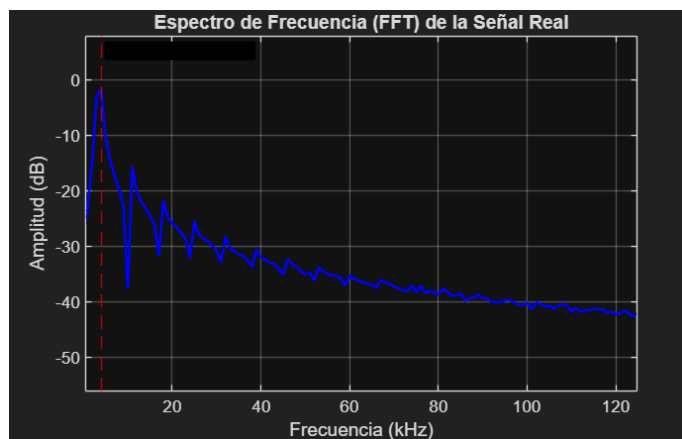


Ilustración 29 FFT realizada.

Como se observa, la señal obtenida comparte muchas similitudes con respecto a lo visto en el osciloscopio, así mismo a partir de esta señal, se obtiene la señal IFFT que corresponde a recuperar la señal utilizada para generar la transformada rápida de Fourier.

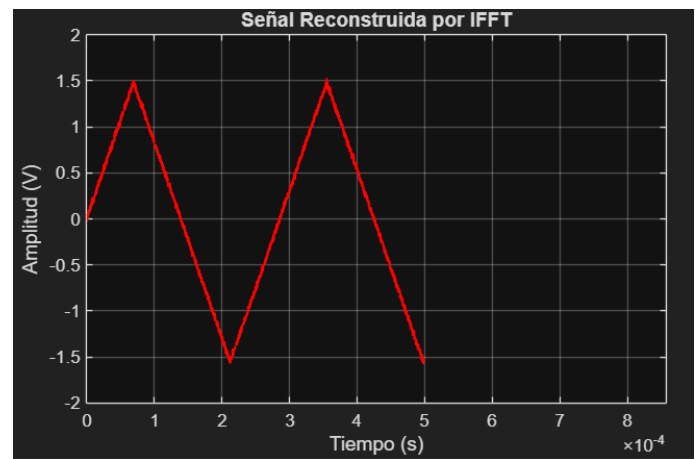


Ilustración 30 Señal IFFT recuperada.

IV. SEÑAL TRIANGULAR CON NIVEL DC.

A partir de la señal triangular ideada, se adiciona un nivel de corriente directa (DC) de 1.5 Voltios, esto evidentemente afectara la señal en su dominio de tiempo, debido a que la señal se sumara con respecto a los valores dados, esto se observa en la siguiente ilustración obtenida directamente desde el osciloscopio.

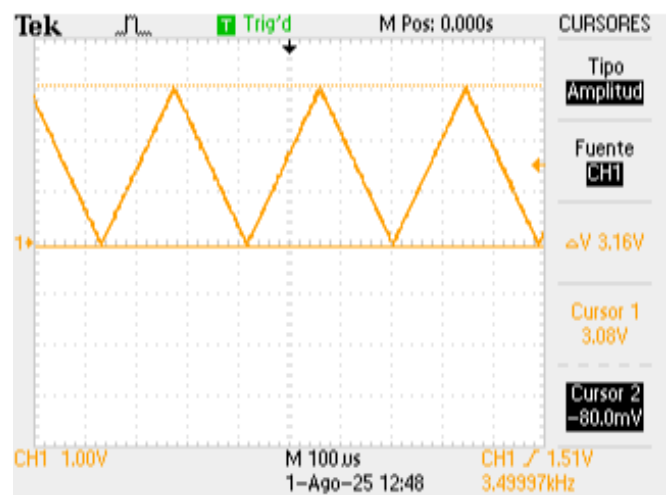


Ilustración 31 Señal triangular con OFFSET

Como se observa, los cursores evidentemente muestran el ascenso de la señal, esto debido a que el valor DC se suma con respecto al voltaje pico de la señal, por ende, el valor del voltaje positivo de la señal corresponderá a 3Vp y el valor mínimo, será de 0V, así mismo, a partir de los datos obtenidos, se grafica la señal en Matlab.

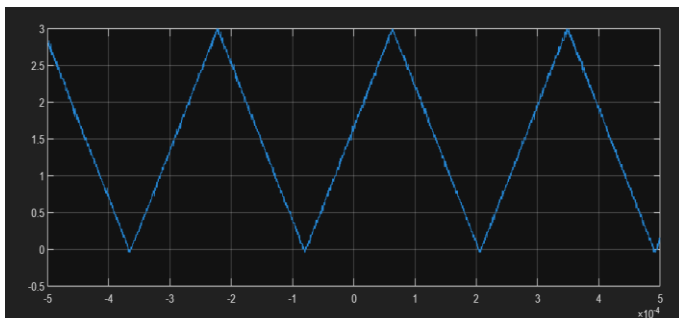


Ilustración 32 Señal triangular con offset en Matlab

Se rectifica directamente que los datos obtenidos son correctos y la señal corresponde directamente a lo que se observa.

Así mismo, a partir de los datos previamente calculados con respecto al valor teórico de cada uno de los armónicos, se realiza la suma de cada una de las señales adicionando el valor DC, por ende, la señal obtenida es.

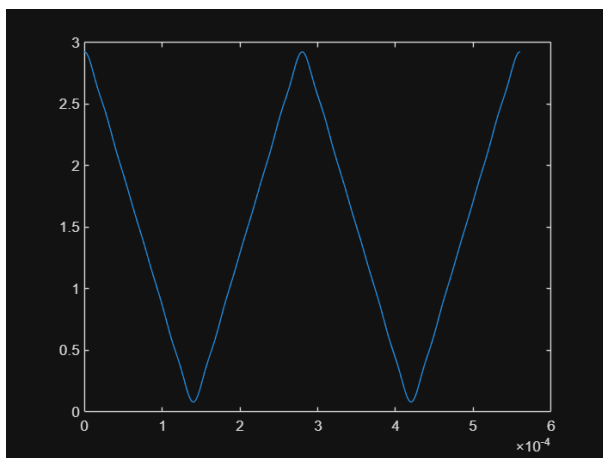


Ilustración 33 Señal calculada a partir de los armónicos teóricos.

De esta manera se reafirma el hecho que los armónicos componen la señal adicionando la suma del valor DC, lo cual se evidencia que “sube” el valor de los voltajes.

Por otro lado, se desea observar la señal en el dominio de la frecuencia además de la señal DC por lo cual es necesario calcular el valor del voltaje en dB por lo cual se utiliza la siguiente ecuación.

$$20 \log_{10} \left(\frac{1,5V}{\sqrt{2}} \right) = 0,5 \text{ dB}$$

Por otra parte, al desear observar la señal en el dominio de la frecuencia es habilita, la opción de MATH y FFT en el osciloscopio, por lo cual se obtiene la siguiente ilustración.

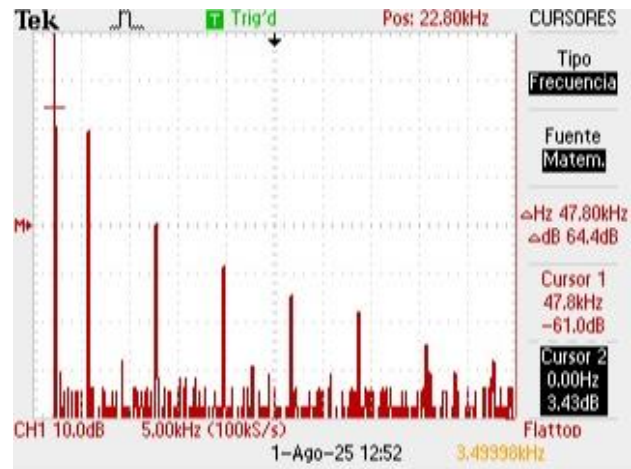


Ilustración 34 Señal FFT en el osciloscopio.

Como se observa en la imagen, el valor DC se encuentra con una frecuencia de 0Hz, con una amplitud de 3,43dB. Indicando de esta manera que el valor DC agregado a una señal, no afecta sus armónicos, es simplemente un pulso que asciende.

Así mismo, se introdujeron los datos en el software de Matlab comprobando los resultados obtenidos.

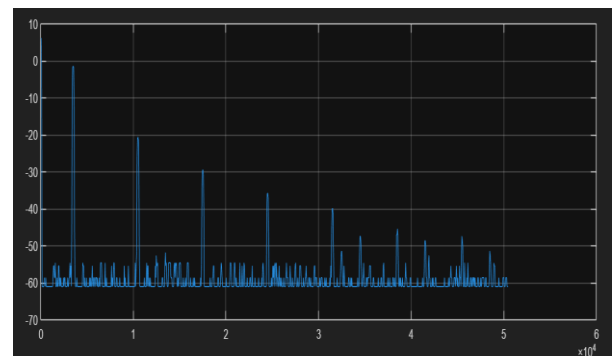


Ilustración 35 Señal FFT en Matlab.

Como se observa en la grafica obtenida por Matlab, la línea del pulso es sumamente tenue, esto debido a la distancia entre los datos, ya que el primer armónico esta presente con una frecuencia de 3,5KHz, mientras que el pulso se encuentra en el 0KHz.

Así mismo, se hace la FFT a partir de los datos obtenidos de la señal en el tiempo.

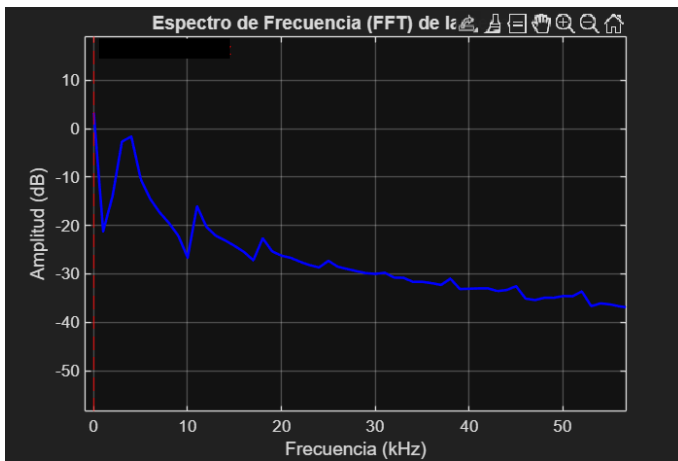
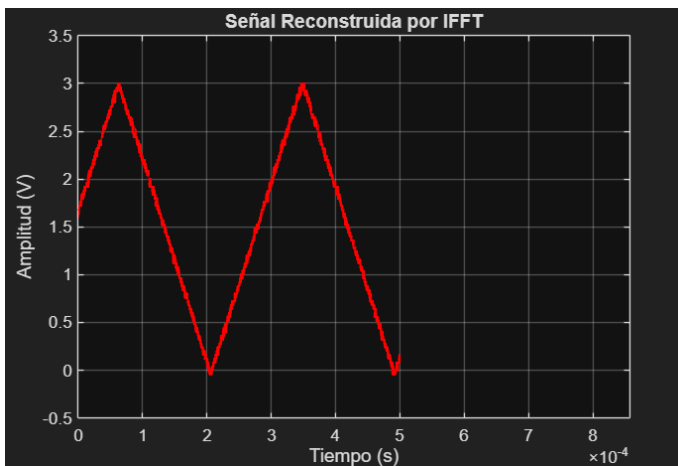


Ilustración 36 Señal creada FFT.

Como se observa, se recuperó la señal de manera adecuada, donde se evidencia además la señal DC pico presente. Así mismo se recupera la señal y se obtiene nuevamente



En este caso, se observa la señal con la subida de voltaje debido por la señal DC.

V. SEÑAL CUADRADA.

A partir del uso del generador de señales, se establece una señal cuadrada con los siguientes valores.

- *Voltaje pico a pico: 3Vpp
- *Ciclo útil: 50%
- *Frecuencia: 3,5kHz

Por ende, la señal obtenida en el dominio del tiempo vista desde el osciloscopio es la siguiente.

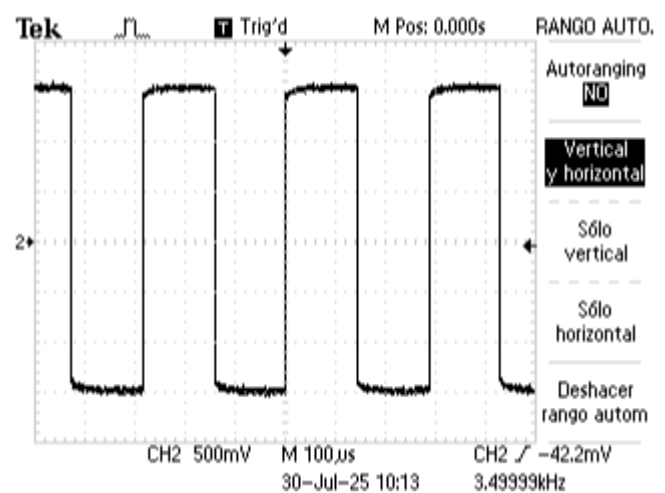


Ilustración 37 Señal cuadrada periódica.

Como se observa, la señal en el dominio del tiempo cuenta con la frecuencia establecida, así mismo las amplitudes y el ciclo útil del 50%.

A partir de esta señal, se obtienen los datos y se realiza la simulación de la gráfica en Matlab, esto con el fin de comprobar que los datos obtenidos, correspondan directamente con lo observado en el osciloscopio.

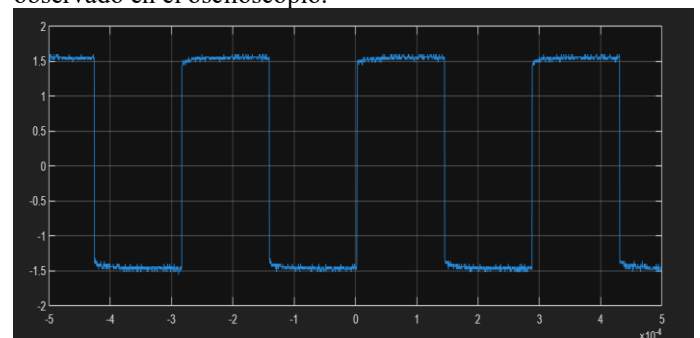


Ilustración 38 Señal cuadrada periódica en Matlab.

Como se observa, los datos recopilados, corresponden correctamente con respecto a los datos previamente visualizados en el osciloscopio, por ende, los datos obtenidos corresponden directamente a los valores previamente propuestos, por otro lado, se busca realizar los cálculos adecuados, para obtener el valor de la frecuencia y la amplitud de manera teórica, para los principales armónicos de la señal cuadrada, para ello se realiza.

- Amplitud teórica
Para realizar el calculo correctamente, se hace uso de la siguiente ecuación, la cual dará como resultado el valor del voltaje teórico para los armónicos.

$$A_n = \frac{4 \times V_p}{n\pi}$$

Donde.

- V_p : Voltaje pico de la señal.
- n : Numero del armónico impar.

Así mismo se hace uso de la ecuación número 1, esto con el fin de obtener los valores en dB por ende se realizan los cálculos para los armónicos 1,3,5,7,9 y 11. Por ende.

- 1er armónico.

$$A_1 = \frac{4 \times 1,5V}{1\pi}$$

$$A_1 = 1,9V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{1,9V}{\sqrt{2}} \right) = 2,56 \text{ dB}$$

- 3er armónico.

$$A_3 = \frac{4 \times 1,5V}{3\pi}$$

$$A_3 = 0,63V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,63V}{\sqrt{2}} \right) = -7 \text{ dB}$$

- 5to armónico.

$$A_5 = \frac{4 \times 1,5V}{5\pi}$$

$$A_5 = 0,38V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,38V}{\sqrt{2}} \right) = -11,41 \text{ dB}$$

- 7mo armónico.

$$A_7 = \frac{4 \times 1,5V}{7\pi}$$

$$A_7 = 0,27V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,27V}{\sqrt{2}} \right) = -14,3 \text{ dB}$$

- 9no armónico.

$$A_9 = \frac{4 \times 1,5V}{9\pi}$$

$$A_9 = 0,21V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,21V}{\sqrt{2}} \right) = -16,5 \text{ dB}$$

- 11vo armónico.

$$A_{11} = \frac{4 \times 1,5V}{11\pi}$$

$$A_{11} = 0,17V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,17V}{\sqrt{2}} \right) = -18,2 \text{ dB}$$

- Frecuencia teórica.

Para realizar el calculo de la frecuencia para cada uno de los armónicos se aplica la siguiente ecuación.

$$f_n = n * f_c$$

Por ende.

- 1ra armónica:

$$f_1 = 1 * 3,5kHz$$

$$f_1 = 3,5kHz$$

- 3ra armónica:

$$f_3 = 3 * 3,5kHz$$

$$f_3 = 10,5kHz$$

- 5ta armónica:

$$f_5 = 5 * 3,5kHz$$

$$f_5 = 17,5kHz$$

- 7ma armónica:

$$f_7 = 7 * 3,5kHz$$

$$f_7 = 24,5kHz$$

- 9va armónica:

$$f_9 = 9 * 3,5kHz$$

$$f_9 = 31,5kHz$$

- 11va armónica:

$$f_{11} = 11 * 3,5kHz$$

$$f_{11} = 38,5kHz$$

A partir de los valores obtenidos se realiza la suma de todos los armónicos presentes, esto con el fin de comprobar el hecho de que la suma de los armónicos presentes, esto a partir del siguiente código.

```
T=0.00028;
f=1/T;
A1=2.56;
A3=0.63;
A5=0.38;
A7=0.27;
A9=0.21;
A11=0.17;
DC=0;
t=0:T/100:2*T;
V1= A1*sin(2*pi*f*t);
V3= A3*sin(2*pi*3*f*t);
V5= A5*sin(2*pi*5*f*t);
V7= A7*sin(2*pi*7*f*t);
V9= A9*sin(2*pi*9*f*t);
V11= A11*sin(2*pi*11*f*t);
VT=V1+V3+V5+V7+V9+V11+DC;
plot(t,VT);
grid on
```

A partir del codigo realizado, se obtiene la siguiente señal.

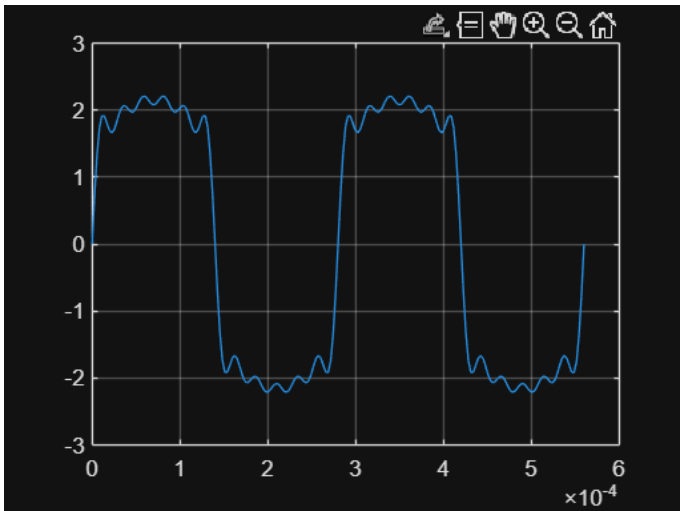


Ilustración 39 Señal recuperada de los armónicos teóricos.

La señal obtenida coincide con respecto a lo planteado inicialmente, a partir de la suma de sus armónicos, evidentemente esta cuenta con ruido en la parte de las crestas y los valles, esto debido a que la señal cuadrada cuenta con infinitos armónicos, por ende, entre mayor sea la cantidad de estos para la reconstrucción de esta será mucho más exacta con respecto a lo presenciado y los datos obtenidos en el osciloscopio.

Por otro lado, se desea observar las armónicas previamente calculadas teóricamente, de manera experimental vista desde el osciloscopio, para ello, se presiona la tecla MATH de este mismo, obteniendo la señal cuadrada con respecto a su frecuencia.

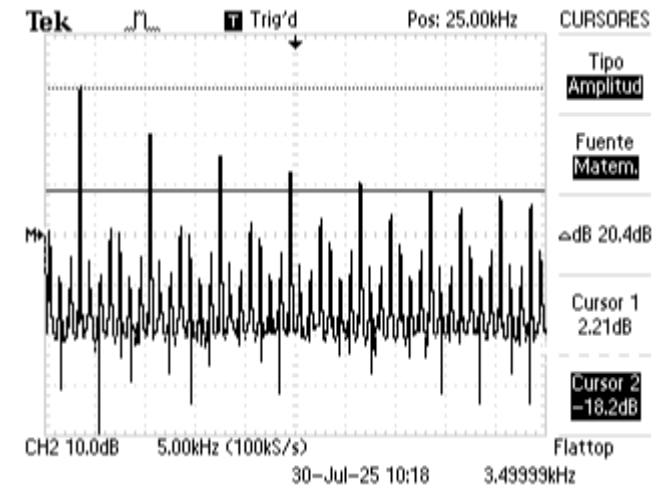


Ilustración 40 Amplitud señal cuadrada en frecuencia.

Como se observa en la imagen, se obtienen los principales armónicos de la señal, en este caso, se observa la amplitud del primer y onceavo armónico de manera experimental, así mismo se realizaron las mediciones para los demás armónicos, por lo cual la amplitud de estos es.

- 1ra armónica: 2,21dB.
- 3ra armónica: -6,57dB.
- 5ta armónica: -11,4dB.
- 7ma armónica: -13,8dB.
- 9na armónica: -16,6dB.
- 11va armónica: -18,2dB.

Así mismo se realizó la medición para las frecuencias de cada uno de estos, por lo cual se obtiene.

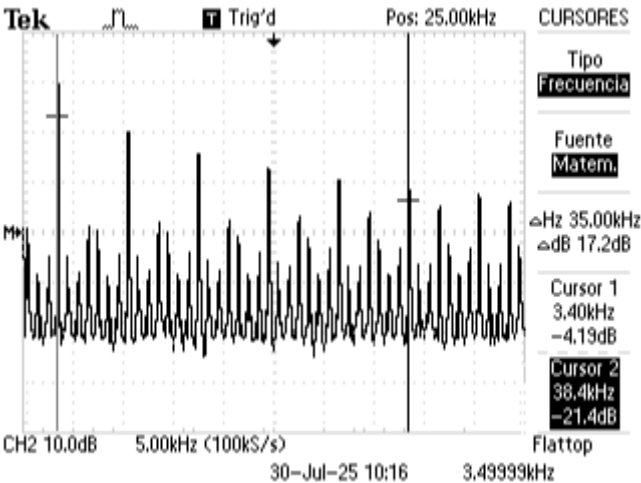


Ilustración 41 Frecuencia de la señal cuadrada en frecuencia.

Por ende, los valores obtenidos para cada una de las armónicas corresponden a.

- 1ra armónica: 3,4KHz.
- 3ra armónica: 10,3 KHz.
- 5ta armónica: 17,5 KHz.
- 7ma armónica: 24,5 KHz.
- 9na armónica: 31,5 KHz.
- 11va armónica: 38,4 KHz.

Así mismo como previamente se realizó la comprobación de los datos con respecto a la señal en su dominio del tiempo, se realiza la comprobación en el dominio de la frecuencia, como se evidencia a continuación.

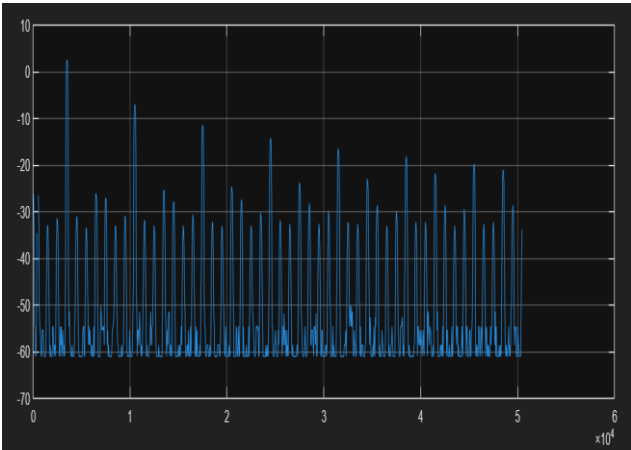


Ilustración 42 Señal cuadrada en frecuencia en Matlab

Como se observan, los datos obtenidos, corresponden directamente a lo planteado y observado en el osciloscopio, por lo cual la señal con su potencia y frecuencia, son los correctos, a partir de esto, se realiza el calculo del porcentaje de error con respecto a los datos de tanto la potencia, como de la frecuencia previamente calculados, con respecto a los obtenidos y medidos de manera experimental.

- % de error 1ra armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{2,56dB - (2,21dB)}{2,56dB} \times 100\% = 13\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{3,5kHz - (3,4kHz)}{3,5kHz} \times 100\% = 2,8\%$$

- % de error 3ra armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-7dB - (-6,57dB)}{-7dB} \times 100\% = 6\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{10,5kHz - (10,3kHz)}{10,5kHz} \times 100\% = 1,9\%$$

- % de error 5ta armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-11,41dB - (-11,4dB)}{-11,41dB} \times 100\% = 0,1\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{17,5kHz - (17kHz)}{17,5kHz} \times 100\% = 0\%$$

- % de error 7ma armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-14,3dB - (-13,8dB)}{-14,3dB} \times 100\% = 3,4\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{24,5kHz - (24,5kHz)}{24,5kHz} \times 100\% = 0\%$$

- % de error 9va armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-16,5dB - (-16,6dB)}{-16,5dB} \times 100\% = 0,6\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{31,5kHz - (31,5kHz)}{31,5kHz} \times 100\% = 0\%$$

- % de error 11va armónica:

$$\% \text{ de error amplitud} = \frac{-18,2dB - (-18,2dB)}{-18,2dB} \times 100\% = 0\%$$

$$\% \text{ de error Frecuencia} = \frac{38,5kHz - (38,4kHz)}{38,5kHz} \times 100\%$$

$$= 0,1\%$$

A partir de los cálculos del porcentaje de error, se puede determinar que este, es relativamente pequeño, lo cual nos indica que lo obtenido de manera experimental corresponde directamente con lo previamente calculado.

Así mismo se realiza la señal FFT aplicando el siguiente código, esto se realiza haciendo uso de los datos obtenidos en .CVS de la señal periódica.

```
t = cu.tiempo;
v = cu.voltaje;
```

```
fs = 1 / mean(diff(t));
L = length(v);
```

```
Y = fft(v);
```

```
P2 = abs(Y / L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2 * P1(2:end-1);
```

```
f = fs * (0:(L/2)) / L;
```

```
figure;
plot(f / 1000, 20 * log10(P1 + eps), 'b', 'LineWidth', 1.5);
title('Espectro de Frecuencia (FFT) de la Señal Real');
xlabel('Frecuencia (kHz)');
ylabel('Amplitud (dB)');
grid on;
xlim([0, 50]);
ylim([max(20*log10(P1)) - 80, max(20*log10(P1)) + 5]);
```

```
[~, idx_peak] = max(P1);
f_peak = f(idx_peak) / 1000;
xline(f_peak, '-r', sprintf(' Pico en %.2f kHz', f_peak),
'LabelOrientation', 'horizontal');
```

```
v_reconstruida = ifft(Y);
```

```
figure;
plot(t, real(v_reconstruida), 'r', 'LineWidth', 1.5);
title('Señal Reconstruida por IFFT');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Amplitud (V)');
grid on;
```

```
f0 = 3500;
T0 = 1 / f0;
xlim([0, 3 * T0]);
```

Por lo cual se obtiene la siguiente grafica.

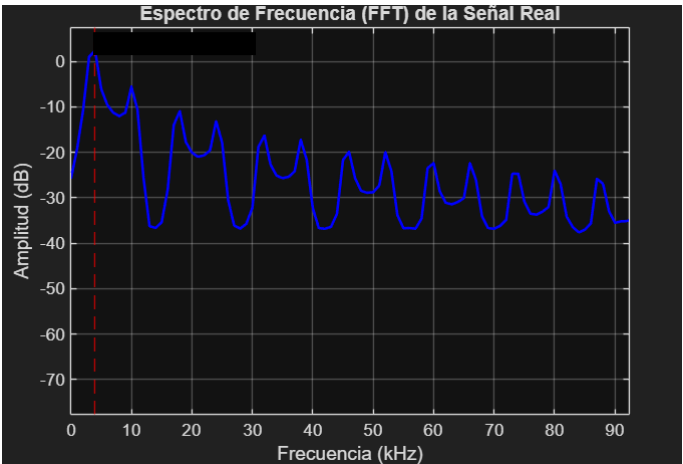


Ilustración 43 señal FFT recuperada por datos del tiempo.

Así mismo se realizó la IFFT con el fin de obtener nuevamente la señal original en su dominio del tiempo.

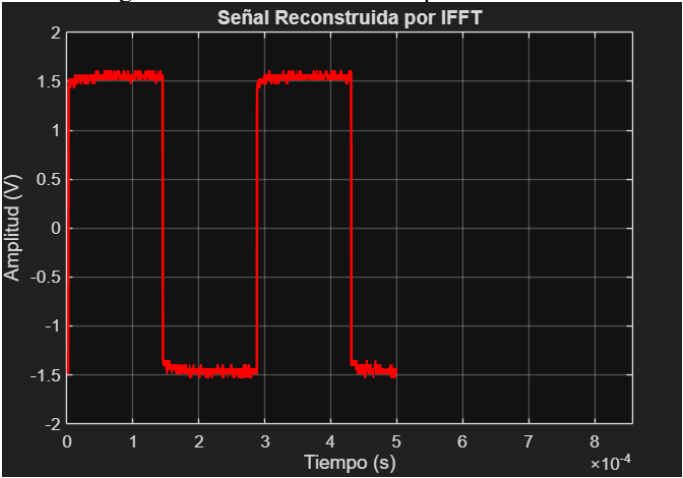


Ilustración 44 IFFT

VI. SEÑAL CUADRADA CON OFFSET.

A partir de la señal cuadrada previamente establecida, se añada un nivel de corriente directa DC, con un valor de 1,25V, esto implica que la señal “ascienda” con respecto a su valor máximo y mínimo, por lo cual, el voltaje positivo corresponderá a 2,75 V y su valor negativo a -0,25V como se observa a continuación.

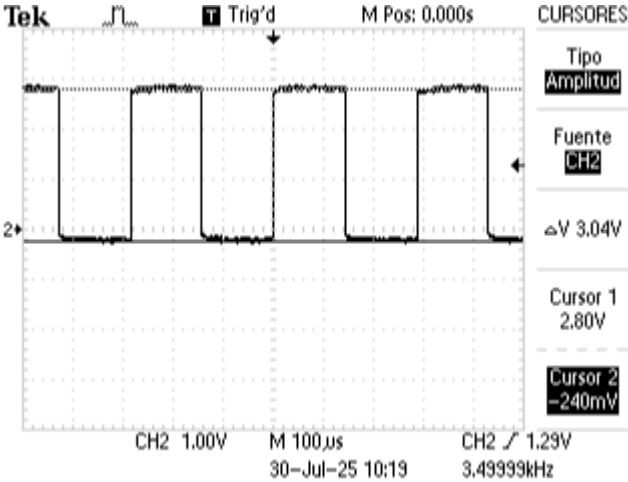


Ilustración 45 Señal vista desde el Oscoscopio.

Como se observa en la imagen, la señal asciende con respecto a su nivel previamente establecido, así mismo, se obtienen los datos directamente del osciloscopio, lo cual nos permitirá observar en el software de Matlab la señal cuadrada mas el nivel DC adicionado.

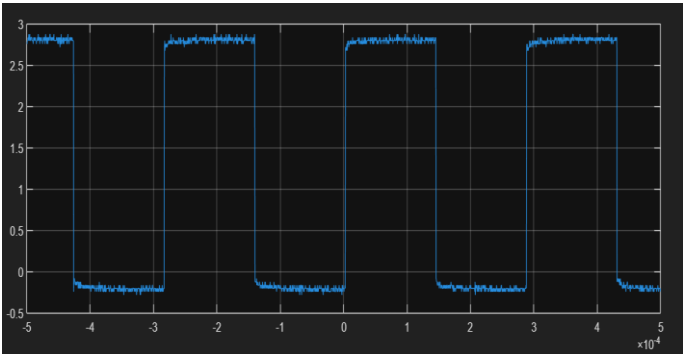


Ilustración 46 Señal cuadrada con offset en Matlab.

Como se observa, el adicional una fuente de corriente directa, provoca que la señal ascienda con respecto a su voltaje positivo y negativo, nuevamente comprobamos esto a partir de los datos obtenidos y simulados en el software de Matlab, obteniendo así, la misma señal observada en el osciloscopio.

Así mismo se realiza el calculo de amplitud para la señal, la cual en este caso corresponderá al voltaje establecido, de la siguiente manera.

$$20 \log_{10} \left(\frac{1,25V}{\sqrt{2}} \right) = -1 \text{ dB}$$

Como se observa, el nivel DC presentará una amplitud de -1dB, así mismo este pulso, se encontrará con una frecuencia de 0Hz, esto debido a que una fuente de corriente directa no presenta voltaje positivo y negativo, por lo cual no oscila, por ende, no presenta frecuencia.

Así mismo, se desea observar la señal en el dominio de la frecuencia directamente desde el osciloscopio, por lo cual es necesario establecer la función FFT, la transformada rápida de Fourier, por lo cual, además de observar los armónicos de la señal cuadrada, se observa el pulso de la fuente de corriente directa.

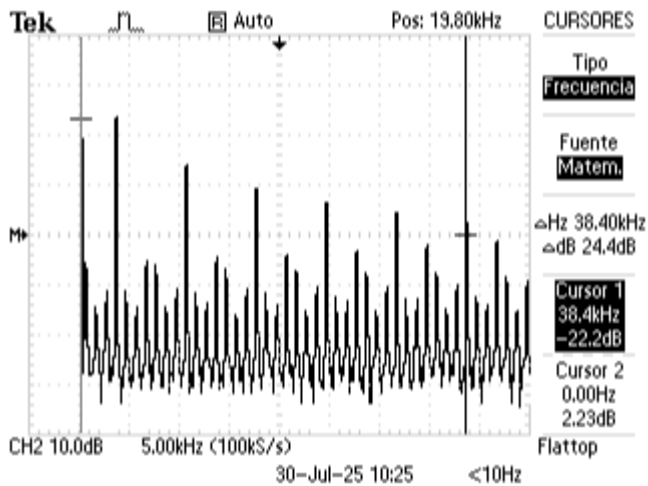


Ilustración 47 Amplitud del nivel DC.

Como se observa, en la imagen, la señal en el dominio de la frecuencia presenta adicionalmente un nuevo armónico, el cual está presente en 0Hz con una amplitud de 2,23dB, este último valor puede variar directamente por la ubicación en la que se establezca el cursor, esto depende directamente con el usuario.

Así mismo, la señal, se puede evidenciar a partir de sus mismos datos obtenidos en el osciloscopio, en el programa de Matlab, lo cual se observa a continuación.

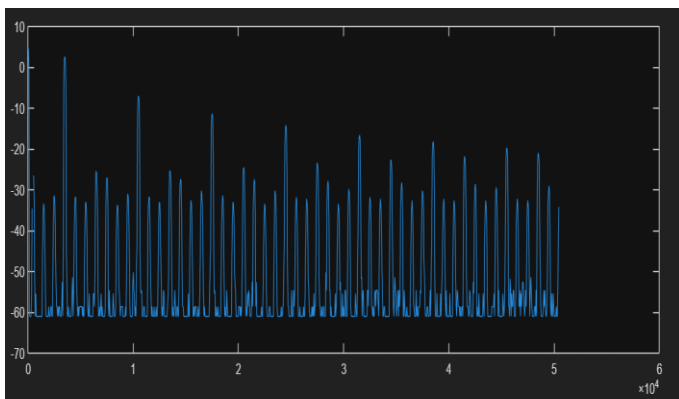


Ilustración 48 Señal graficada en el dominio de la frecuencia en Matlab.

Como se observa en la imagen, el pulso adicional generado por el nivel DC agregado, se observa directamente, de manera tenue, desde el origen, 0Hz, esto debido a la distancia desde el pulso DC al primer armónico de la señal presente en 3,5kHz.

A partir de esto, se grafica la señal FFT de manera que se utilizan los datos obtenidos en el tiempo.

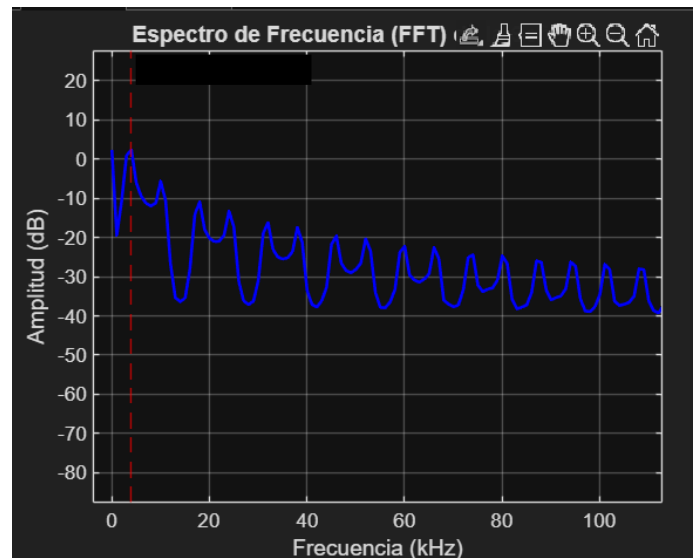


Ilustración 49 Señal FFT con nivel DC.

Como se observa, la señal obtenida, presenta adicionalmente un pico correspondiente al nivel DC agregado, así mismo se recupera la señal por lo cual.

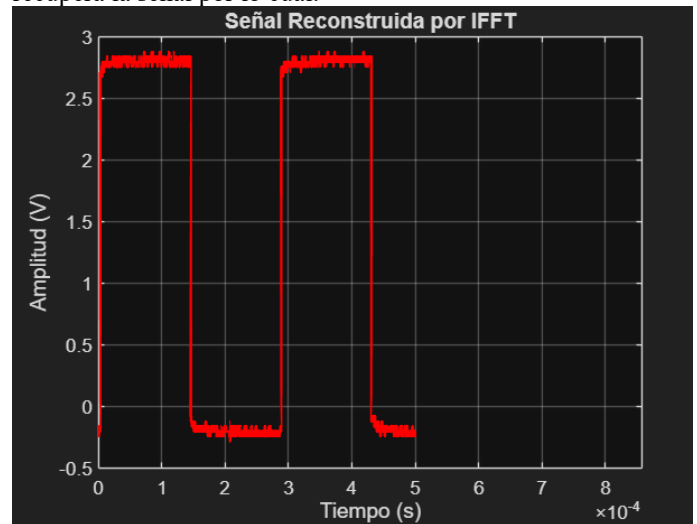


Ilustración 50 Señal IFFT con nivel DC.

La señal recuperada, presenta en este caso el aumento en su nivel de voltaje máximo y mínimo, presentando completas similitudes con respecto a lo previamente calculado.

VII. PULSO 1 CICLO ÚTIL 50%.

Inicialmente se establece en el generador de señales la opción de pulso, estableciendo una señal con un ciclo útil del 50%, lo que indica que el tiempo de subida corresponde al mismo tiempo de bajada por cada ciclo, así mismo se establecen los siguientes parámetros.

*Voltaje pico a pico: 3Vpp

*Ciclo útil: 50%

*Frecuencia: 3,5kHz

A partir de los datos obtenidos, se observa la señal obtenida en el dominio del tiempo, como se observa a continuación.

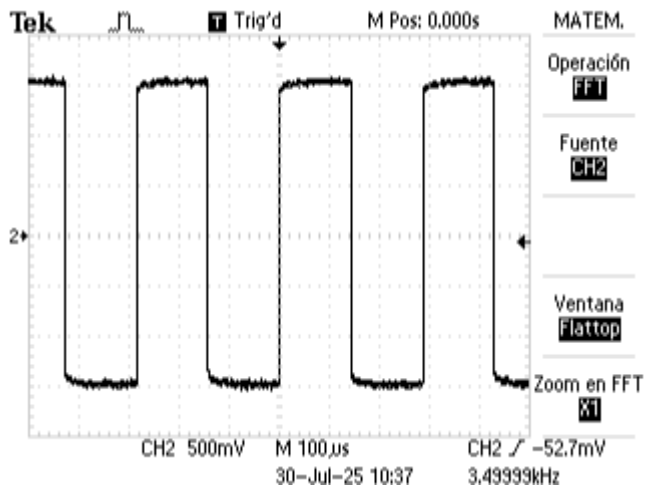


Ilustración 51 Pulso 1 periódico.

A partir de cómo se observa la señal en el dominio del tiempo, se comprueban los datos obtenidos (.csv), de manera que, permite realizar la simulación en Matlab, como se ve a continuación.

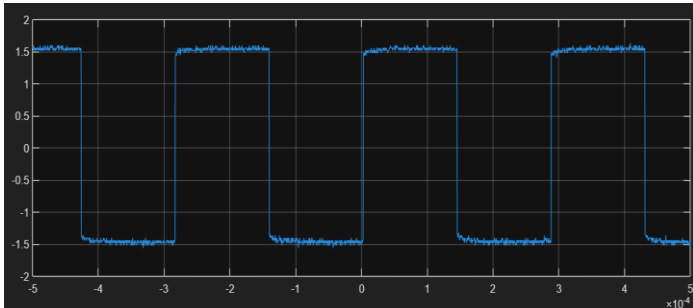


Ilustración 52 recuperación del pulso 1 periódico en Matlab.

En este caso, se reafirma lo obtenido en el osciloscopio, en este caso, la señal al presentar un ciclo útil del 50% se hace uso de la misma ecuación para la señal cuadrada para obtener los valores teóricos de amplitud y frecuencia de los armónicos de dicha señal.

-
- 1er armónico.

$$A_1 = \frac{4 \times 1,5V}{1\pi}$$

$$A_1 = 1,9V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{1,9V}{\sqrt{2}} \right) = 2,56 \text{ dB}$$

- 3er armónico.

$$A_3 = \frac{4 \times 1,5V}{3\pi}$$

$$A_3 = 0,63V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,63V}{\sqrt{2}} \right) = -7 \text{ dB}$$

- 5to armónico.

$$A_5 = \frac{4 \times 1,5V}{5\pi}$$

$$A_5 = 0,38V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,38V}{\sqrt{2}} \right) = -11,41 \text{ dB}$$

- 7mo armónico.

$$A_7 = \frac{4 \times 1,5V}{7\pi}$$

$$A_7 = 0,27V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,27V}{\sqrt{2}} \right) = -14,3 \text{ dB}$$

- 9no armónico.

$$A_9 = \frac{4 \times 1,5V}{9\pi}$$

$$A_9 = 0,21V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,21V}{\sqrt{2}} \right) = -16,5 \text{ dB}$$

- 11vo armónico.

$$A_{11} = \frac{4 \times 1,5V}{11\pi}$$

$$A_{11} = 0,17V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,17V}{\sqrt{2}} \right) = -18,2 \text{ dB}$$

- Frecuencia teórica.

- 1ra armónica:

$$f_1 = 1 \times 3,5 \text{ kHz}$$

$$f_1 = 3,5 \text{ kHz}$$

- 3ra armónica:

$$f_3 = 3 \times 3,5 \text{ kHz}$$

$$f_3 = 10,5 \text{ kHz}$$

- 5ta armónica:

$$f_5 = 5 \times 3,5 \text{ kHz}$$

$$f_5 = 17,5 \text{ kHz}$$

- 7ma armónica:

$$f_7 = 7 \times 3,5 \text{ kHz}$$

$$f_7 = 24,5 \text{ kHz}$$

- 9va armónica:

$$f_9 = 9 \times 3,5 \text{ kHz}$$

$$f_9 = 31,5 \text{ kHz}$$

- 11va armónica:

$$f_{11} = 11 \times 3,5 \text{ kHz}$$

$$f_{11} = 38,5 \text{ kHz}$$

A partir de estos datos calculados, se realizan la suma de estos armónicos con el fin de obtener la señal de pulso con un 50% de

ciclo útil, en este caso implementas el mismo código previamente realizado para la señal cuadrada, a partir de esto se obtienen la siguiente gráfica.

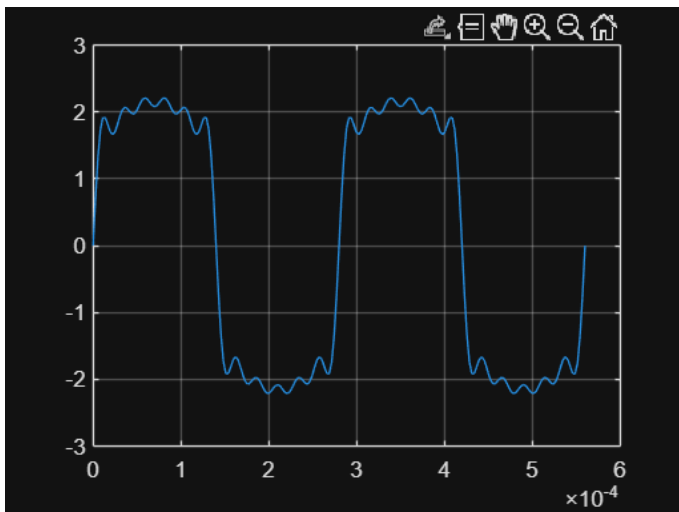


Ilustración 53 Pulso 1 periódico a partir de los armónicos.

Como se observa, la señal presenta ruido y no es 100% simétrica en los valles y las crestas, esto debido a que la señal al tener infinitos armónicos, la suma de pocos de estos, no generaran la señal completa.

Al comprobar esto, se observa la transformada rápida de Fourier para obtener la señal cuadrada con respecto a su frecuencia, donde evidenciaremos los primeros armónicos.

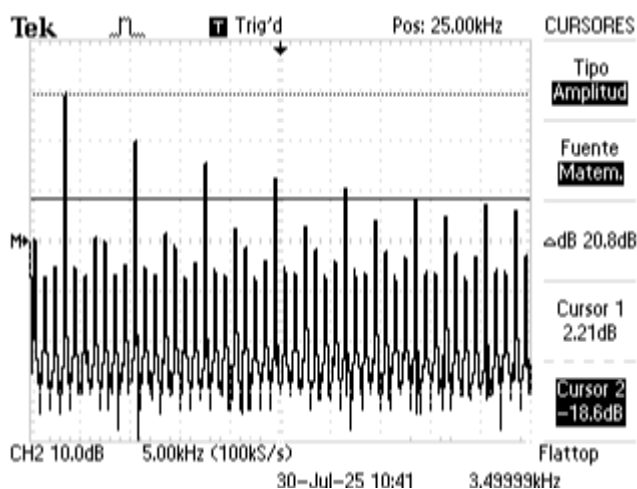


Ilustración 54 Amplitud en frecuencia armónicos pulso 1

Como se observa en la imagen, cada uno de los armónicos presenta una amplitud, las cuales son.

- 1ra armónica: 2,21dB.
- 3ra armónica: -6,69dB.
- 5ta armónica: -11,4dB.
- 7ma armónica: -14,2dB.
- 9na armónica: -17,4dB.
- 11va armónica: -18,6dB.

Así mismo se realizó la medición para cada una de las frecuencias de los armónicos, como se observa a continuación.

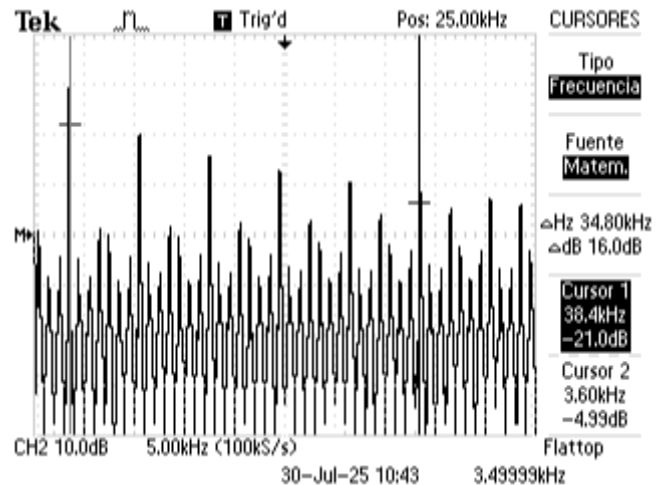


Ilustración 55 Frecuencia de los armónicos del pulso 1

A partir de los datos medidos, se obtienen las siguientes frecuencias para cada uno de los armónicos.

- 1ra armónica: 3,6KHz.
- 3ra armónica: 10,6 KHz.
- 5ta armónica: 17,6 KHz.
- 7ma armónica: 24,6 KHz.
- 9na armónica: 31,4 KHz.
- 11va armónica: 38,4 KHz.

Por otro lado, con el fin de verificar los datos obtenidos a partir de lo previamente medido, se realiza la señal en el software de Matlab, por lo cual, la gráfica que se obtiene es la siguiente.

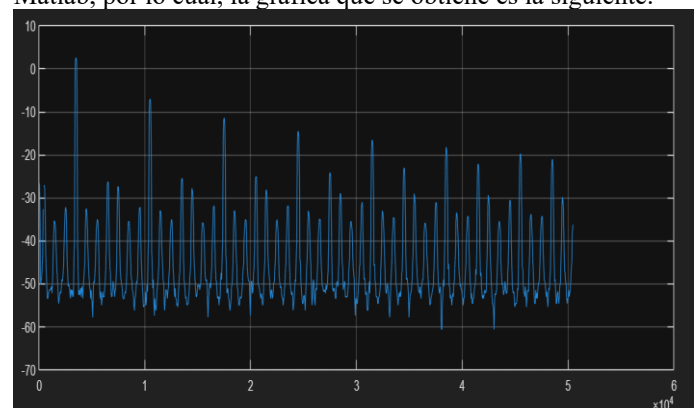


Ilustración 56 Pulso 1 recuperado en dominio de la frecuencia en Matlab.

Como se observa la gráfica, la señal presenta las armónicas correspondientes, dando a entender que los datos obtenidos son correctos.

Así mismo se realiza el cálculo de la FFT a partir de los datos obtenidos en el tiempo, para ello se implementa el siguiente código.

```
t = pulso1.tiempo;
v = pulso1.voltaje;
```

```
fs = 1 / mean(diff(t));
L = length(v);
```

```
Y = fft(v);
```

```
P2 = abs(Y / L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2 * P1(2:end-1);
```

```
f = fs * (0:(L/2)) / L;
```

```
figure;
plot(f / 1000, 20 * log10(P1 + eps), 'b', 'LineWidth', 1.5);
title('Espectro de Frecuencia (FFT) de la Señal Real');
xlabel('Frecuencia (kHz)');
ylabel('Amplitud (dB)');
grid on;
xlim([0, 50]);
ylim([max(20*log10(P1)) - 80, max(20*log10(P1)) + 5]);

[~, idx_peak] = max(P1);
f_peak = f(idx_peak) / 1000;
xline(f_peak, '-r', sprintf(' Pico en %.2f kHz', f_peak),
'LabelOrientation', 'horizontal');
```

```
v_reconstruida = ifft(Y);
```

```
figure;
plot(t, real(v_reconstruida), 'r', 'LineWidth', 1.5);
title('Señal Reconstruida por IFFT');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Amplitud (V)');
grid on;
```

```
f0 = 3500;
T0 = 1 / f0;
xlim([0, 3 * T0]);
```

Por lo cual, se obtiene la siguiente grafica.

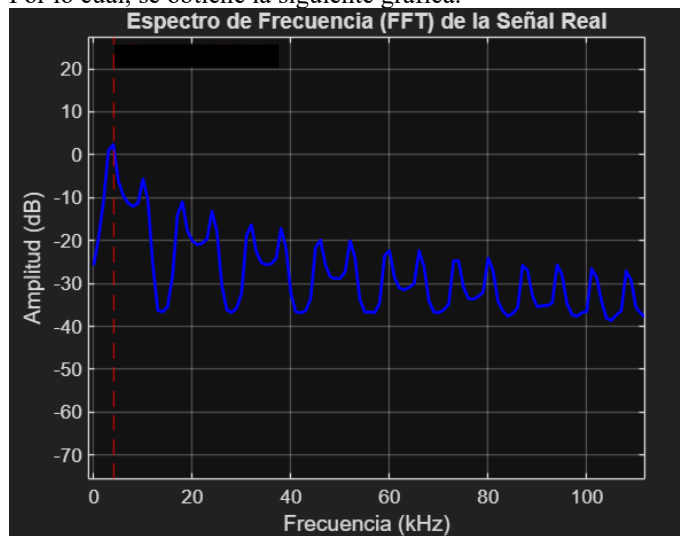


Ilustración 57 Señal recuperada FFT.

Así mismo se obtiene nuevamente la señal periódica a partir de la IFFT, como se observa a continuación.

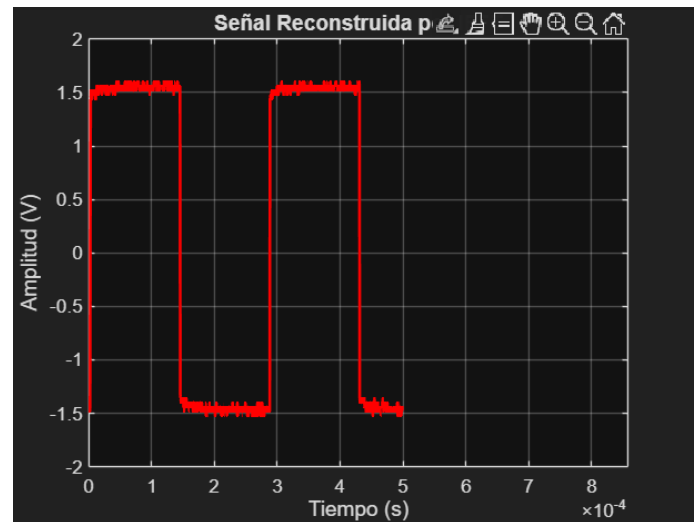


Ilustración 58 Señal IFFT recuperada.

VIII. PULSO 2 CICLO ÚTIL 20%.

Inicialmente se establece en el generador de señales la opción de pulso, estableciendo una señal con un ciclo útil del 20%, lo que indica que el tiempo en alto, será menor al tiempo en bajo, así mismo se establecen los siguientes parámetros.

*Voltaje pico a pico: 3Vpp

*Ciclo útil: 20%

*Frecuencia: 3,5kHz

A partir de los datos obtenidos, se observa la señal obtenida en el dominio del tiempo, como se observa a continuación.

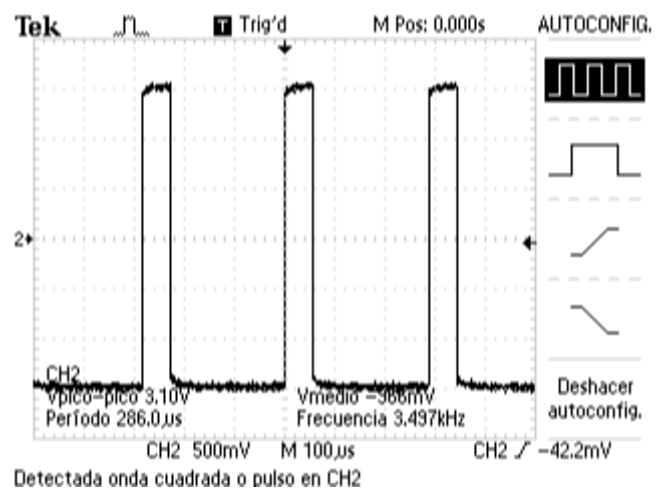


Ilustración 59 Pulso 2 periódico.

A partir de lo obtenido, se analizan los datos en el programa de Matlab, esto con el fin de comprobar lo visto en el osciloscopio.

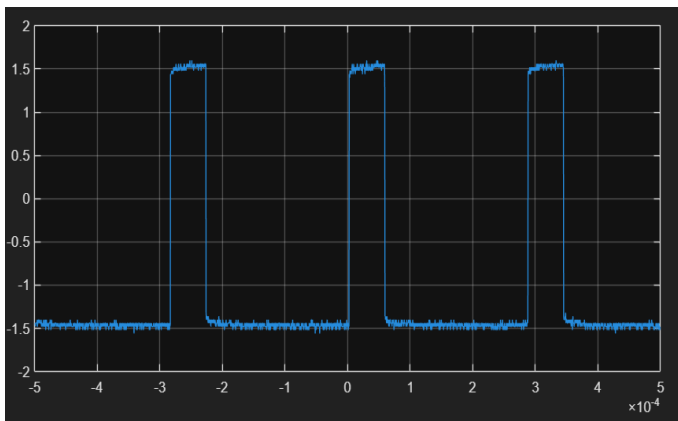


Ilustración 60 Pulso 2 periódico recuperado en Matlab.

En este caso, se puede determinar que los datos obtenidos corresponden directamente con lo observado en el osciloscopio. Por otra parte, es necesario realizar los cálculos de manera teórica que corresponden directamente con la amplitud en dB de los principales pulsos, para ello se hace uso de la siguiente ecuación.

$$V_n = \frac{2V\tau}{T} \times \frac{\text{sen}(n\pi\tau/T)}{(n\pi\tau)/T}$$

Donde.

*V: Voltaje pico.

*T: Periodo de la señal.

*τ: Tao, se calcula mediante:

$$\tau = DC \times T$$

*n: Numero de armónica.

A partir de estos datos, se calculan los 10 primeros armónicos de la señal.

- 1ra armónica:

$$V_1 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(1\pi * 0,2)}{1\pi * 0,2}$$

$$V_1 = 0,75V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,75}{\sqrt{2}} \right) = -5,5dB$$

- 2da armónica:

$$V_2 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(2\pi * 0,2)}{2\pi * 0,2}$$

$$V_2 = 0,61V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,61}{\sqrt{2}} \right) = -7,2dB$$

- 3ra armónica:

$$V_3 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(3\pi * 0,2)}{3\pi * 0,2}$$

$$V_3 = 0,40$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,40}{\sqrt{2}} \right) = -10,8dB$$

- 4ta armónica:

$$V_4 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(4\pi * 0,2)}{4\pi * 0,2}$$

$$V_4 = 0,19$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,19}{\sqrt{2}} \right) = -17,5dB$$

- 5ta armónica:

$$V_5 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(5\pi * 0,2)}{5\pi * 0,2}$$

$$V_5 = 0$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0}{\sqrt{2}} \right) = -323dB$$

En este caso el 0 hace referencia a un número sumamente pequeño, esto con el fin de graficar correctamente la señal.

- 6ta armónica:

$$V_6 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(6\pi * 0,2)}{6\pi * 0,2}$$

$$V_6 = -0,12$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,12}{\sqrt{2}} \right) = -21dB$$

- 7ma armónica:

$$V_7 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(7\pi * 0,2)}{7\pi * 0,2}$$

$$V_7 = -0,17$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,17}{\sqrt{2}} \right) = -18dB$$

- 8va armónica:

$$V_8 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(8\pi * 0,2)}{8\pi * 0,2}$$

$$V_8 = -0,15$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,15}{\sqrt{2}} \right) = -19,4dB$$

- 9na armónica:

$$V_9 = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(9\pi * 0,2)}{9\pi * 0,2}$$

$$V_9 = -0,08$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,08}{\sqrt{2}} \right) = -24dB$$

- 10ma armónica:

$$V_{10} = 2 * 0,2 * 1,5V \times \frac{\text{sen}(10\pi * 0,2)}{10\pi * 0,2}$$

$$V_{10} = 0$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0}{\sqrt{2}} \right) = -323dB$$

A partir de los datos calculados, se realiza la sumatoria de todas estas componentes, con el fin de obtener la señal en el dominio del tiempo, para ello, se hace uso de este código.

T = 0.000285;

f = 1/T;

A1 = 0.75;

A2 = 0.61;

A3 = 0.40;

A4 = 0.19;

A5 = 0;

A6 = -0.12;

A7 = -0.17;

A8 = -0.15;

A9 = -0.08;

t = 0:T/100:5*T;

DC_bipolar = 2*(0.2) - 1;

V1 = 2 * A1 * cos(2*pi*f*t);

V2 = 2 * A2 * cos(2*pi*2*f*t);

V3 = 2 * A3 * cos(2*pi*3*f*t);

```

V4 = 2 * A4 * cos(2*pi*4*f*t);
V5 = 2 * A5 * cos(2*pi*5*f*t);
V6 = 2 * A6 * cos(2*pi*6*f*t);
V7 = 2 * A7 * cos(2*pi*7*f*t);
V8 = 2 * A8 * cos(2*pi*8*f*t);
V9 = 2 * A9 * cos(2*pi*9*f*t);
VT = DC_bipolar + V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7 + V8
+ V9;
plot(t, VT, 'Color', 'b');
xlabel("Tiempo (s)");
ylabel("Voltaje (V)");
title("Señal pulso del 20% armonicos teoricos");
grid on;

```

A partir del Código, se obtiene la siguiente señal.

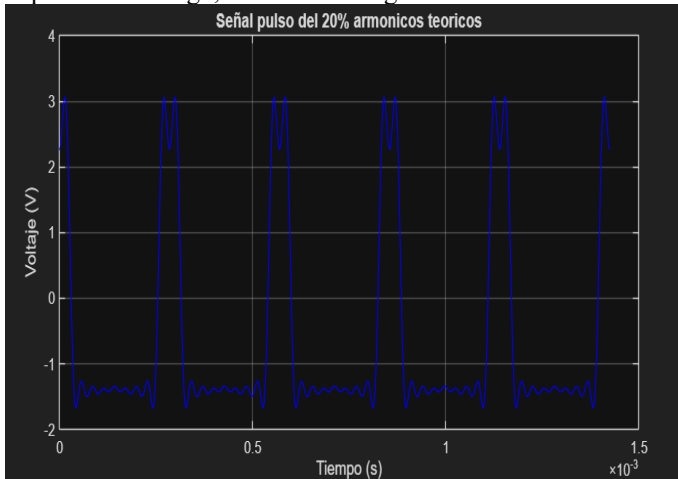


Ilustración 61 Pulso 2 recuperado de la sumatoria de los armónicos.

Como evidentemente se observa, la señal obtenida corresponde con respecto a lo planteado inicialmente, evidentemente los picos generan en este caso el ruido planteado, esto debido a que muchas de las componentes aun son necesarias para establecer con más precisión la señal.

Así mismo se realizó la medición de los armónicos experimentales, de la señal en su dominio del tiempo.

energía de la señal se encuentra inicialmente en el primer lóbulo, a partir de esta grafica se obtienen los datos experimentales para cada una de las 10 principales armónicas.

Las cuales corresponden tanto para amplitud (dB) como en frecuencia (Hz)

- 1ra armónica:
Amplitud: -6,3dB
Frecuencia: 3,5KHz
- 2da armónica:
Amplitud: -7,9dB
Frecuencia: 7KHz
- 3ra armónica:
Amplitud: -9,1dB
Frecuencia: 10,5KHz
- 4ta armónica:
Amplitud: -15,3dB
Frecuencia: 14KHz
- 5ta armónica:
Amplitud: -33,3dB
Frecuencia: 18KHz
- 6ta armónica:
Amplitud: -23,2dB
Frecuencia: 21KHz
- 7ma armónica:
Amplitud: -17,6dB
Frecuencia: 24KHz
- 8va armónica:
Amplitud: -20,2dB
Frecuencia: 28KHz
- 9na armónica:
Amplitud: -26,1dB
Frecuencia: 31KHz
- 10ma armónica:
Amplitud: -33,9dB
Frecuencia: 35KHz

Así mismo, se realiza la gráfica de los armónicos de la señal a partir de los datos obtenidos en el osciloscopio, como se observa a continuación.

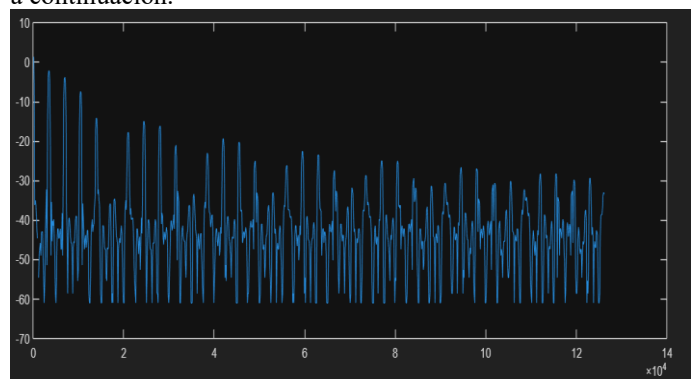


Ilustración 63 Pulso 2 dominio de la frecuencia recuperado en Matlab.

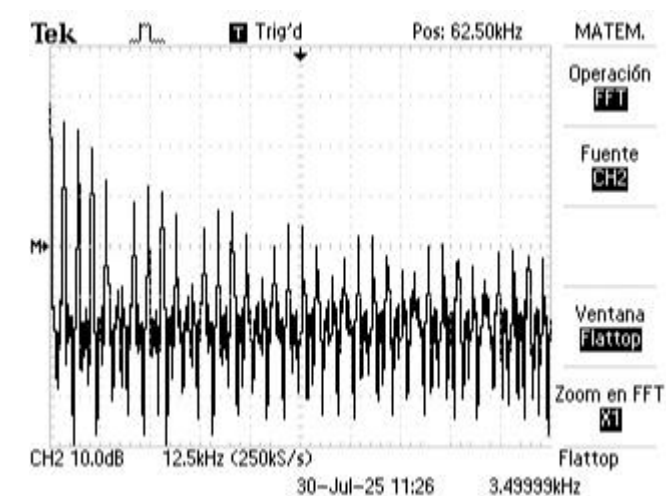


Ilustración 62 Pulso dos en dominio de la frecuencia.

Como se observa, la señal en el dominio de la frecuencia obtenida presenta lóbulos, en este caso, la mayor parte de la

Como se observan las armónicas de la señal, corresponden directamente a lo presenciado y visto directamente en el osciloscopio, por lo cual se puede afirmar lo que inicialmente se plantea.

Así mismo se generó el siguiente código para obtener de manera teórica la señal FFT a partir de los datos del tiempo.

```
t = p2.tiempo;
v = p2.voltaje;

fs = 1 / mean(diff(t));
L = length(v);

Y = fft(v);

P2 = abs(Y / L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2 * P1(2:end-1);

f = fs * (0:(L/2)) / L;

figure;
plot(f / 1000, 20 * log10(P1 + eps), 'b', 'LineWidth', 1.5);
title('Espectro de Frecuencia (FFT) de la Señal Real');
xlabel('Frecuencia (kHz)');
ylabel('Amplitud (dB)');
grid on;
xlim([0, 50]);
ylim([max(20*log10(P1)) - 80, max(20*log10(P1)) + 5]);

[~, idx_peak] = max(P1);
f_peak = f(idx_peak) / 1000;
xline(f_peak, '-r', sprintf(' Pico en %.2f kHz', f_peak),
'LabelOrientation', 'horizontal');

v_reconstruida = ifft(Y);

figure;
plot(t, real(v_reconstruida), 'r', 'LineWidth', 1.5);
title('Señal Reconstruida por IFFT');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Amplitud (V)');
grid on;

f0 = 3500;
T0 = 1 / f0;
xlim([0, 3 * T0]);
```

Por lo cual se obtiene la siguiente grafica.

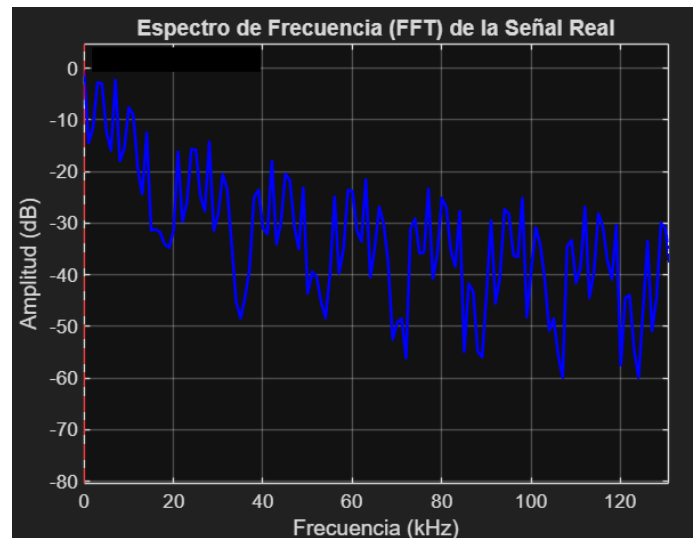


Ilustración 64 Señal FFT reconstruida.

Como se observa, la señal obtenida es directamente proporcional con lo visualizado en el osciloscopio, por lo cual podemos indicar que la reconstrucción fue adecuada.

Así mismo se realiza la recuperación IFFT de la señal periódica.

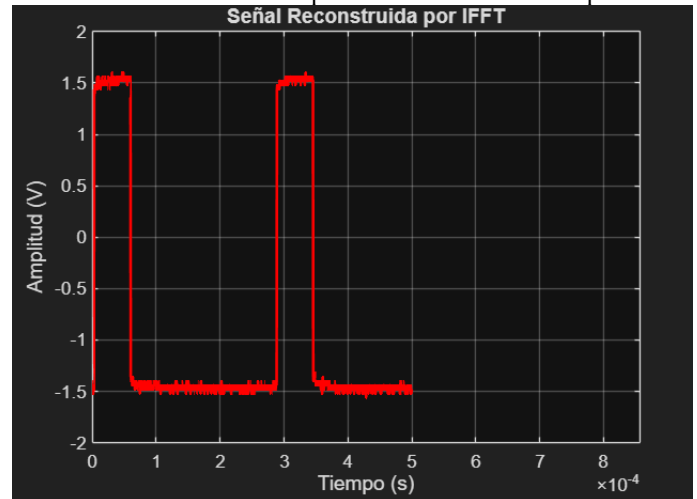


Ilustración 65 Señal IFFT recuperada.

Así mismo se reafirma el correcto funcionamiento al obtener la señal periódica inicial.

IX. PULSO 3 CICLO ÚTIL 30%.

Inicialmente se establece en el generador de señales la opción de pulso, estableciendo una señal con un ciclo útil del 30%, lo que indica que el tiempo en alto, será menor al tiempo en bajo, así mismo se establecen los siguientes parámetros.

*Voltaje pico a pico: 3Vpp

*Ciclo útil: 30%

*Frecuencia: 3,5kHz

A partir de los datos obtenidos, se observa la señal obtenida en el dominio del tiempo, como se observa a continuación.

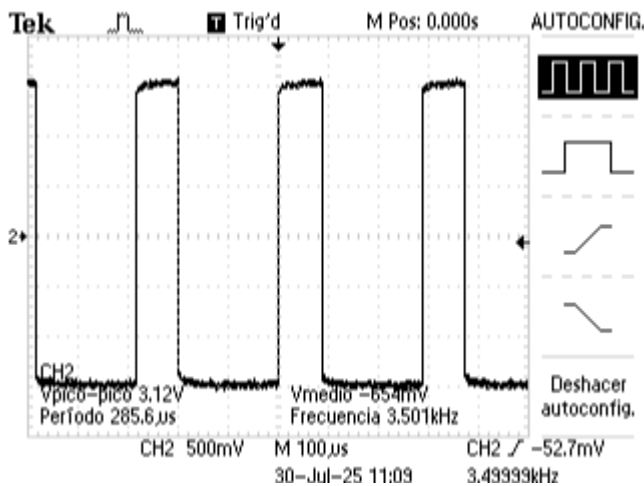


Ilustración 66 Pulso 3 periódico

A partir de los datos obtenidos, se plantea graficar en el software de Matlab, esto con el fin de evidenciar que estos, sean los correctos con respecto a lo inicialmente planteado.

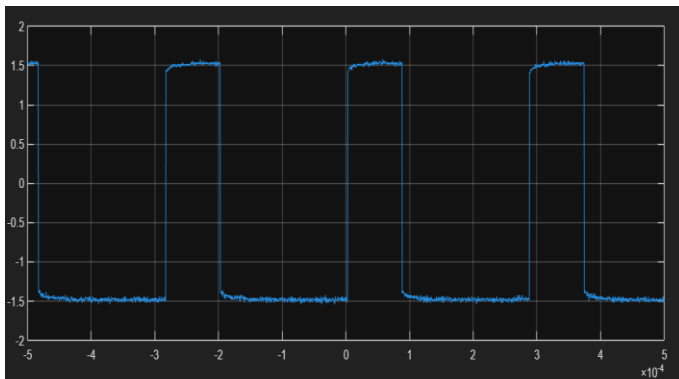


Ilustración 67 Pulso 3 periódico recuperado en Matlab.

Como se observa, la señal obtenida es directamente proporcional con respecto a lo planteado y observado en el osciloscopio, a partir de esto, se hace el cálculo del valor teórico de los armónicos de la señal obtenida.

- 1ra armónica:

$$V_1 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(1\pi * 0,3)}{1\pi * 0,3}$$

$$V_1 = 0,77V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,77}{\sqrt{2}} \right) = -5,25dB$$

- 2da armónica:

$$V_2 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(2\pi * 0,3)}{2\pi * 0,3}$$

$$V_2 = 0,45V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,45}{\sqrt{2}} \right) = -9,86dB$$

- 3ra armónica:

$$V_3 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(3\pi * 0,3)}{3\pi * 0,3}$$

$$V_3 = 0,10$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,10}{\sqrt{2}} \right) = -23,15dB$$

- 4ta armónica:

$$V_4 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(4\pi * 0,3)}{4\pi * 0,3}$$

$$V_4 = -0,14$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,14}{\sqrt{2}} \right) = -20dB$$

- 5ta armónica:

$$V_5 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(5\pi * 0,3)}{5\pi * 0,3}$$

$$V_5 = -0,19$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,19}{\sqrt{2}} \right) = -17dB$$

- 6ta armónica:

$$V_6 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(6\pi * 0,3)}{6\pi * 0,3}$$

$$V_6 = -0,09$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,09}{\sqrt{2}} \right) = -23,5dB$$

- 7ma armónica:

$$V_7 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(7\pi * 0,3)}{7\pi * 0,3}$$

$$V_7 = 0,04$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,04}{\sqrt{2}} \right) = -30,51dB$$

- 8va armónica:

$$V_8 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(8\pi * 0,3)}{8\pi * 0,3}$$

$$V_8 = 0,11$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,11}{\sqrt{2}} \right) = -21,9dB$$

- 9na armónica:

$$V_9 = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(9\pi * 0,3)}{9\pi * 0,3}$$

$$V_9 = 0,09$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,09}{\sqrt{2}} \right) = -24,3dB$$

- 10ma armónica:

$$V_{10} = 2 * 0,3 * 1,5V \times \frac{\sin(10\pi * 0,3)}{10\pi * 0,3}$$

$$V_{10} = 0$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0}{\sqrt{2}} \right) = -332dB$$

En este caso, para la armónica se establece un valor sumamente pequeño, que corresponde al punto de cambio de lóbulo.

A partir de la suma de todas las componentes se realiza el siguiente código en Matlab el cual nos permitirá evidenciar la señal de pulso con respecto al tiempo, esto con el fin de corroborar lo anteriormente planteado.

T = 0.000285;
f = 1/T;
A1 = 0.77;
A2 = 0.45;
A3 = 0.10;
A4 = -0.14;

```

A5 = -0.19;
A6 = -0.09;
A7 = 0.04;
A8 = 0.11;
A9 = 0.09;
t = 0:T/100:5*T;
DC_bipolar = 2*(0.3) - 1;
V1 = 2 * A1 * cos(2*pi*f*t);
V2 = 2 * A2 * cos(2*pi*2*f*t);
V3 = 2 * A3 * cos(2*pi*3*f*t);
V4 = 2 * A4 * cos(2*pi*4*f*t);
V5 = 2 * A5 * cos(2*pi*5*f*t);
V6 = 2 * A6 * cos(2*pi*6*f*t);
V7 = 2 * A7 * cos(2*pi*7*f*t);
V8 = 2 * A8 * cos(2*pi*8*f*t);
V9 = 2 * A9 * cos(2*pi*9*f*t);
VT = DC_bipolar + V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7 + V8 + V9;
plot(t, VT, 'Color', 'b');
xlabel("Tiempo (s)");
ylabel("Voltaje (V)");
title("Señal pulso del 30% armónicos teóricos");
grid on;

```

Este código en función nos permite evidenciar la siguiente gracia que corresponde a la señal de pulsos con respecto a la suma de sus 10 primeras componentes armónicas.

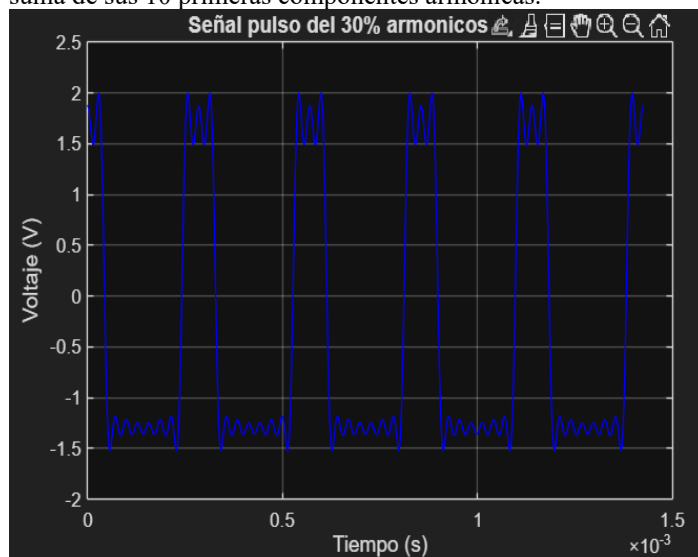


Ilustración 68 Pulso 3 a partir de los armónicos.

Como se observa, la señal obtenida corresponde a la señal vista tanto en Matlab como en el osciloscopio, esto de manera que se reitera que las armónicas calculadas corresponden de manera adecuada a la señal en cuestión.

Así mismo, se realiza la transformada rápida de Fourier (FFT) en el osciloscopio, esto con el fin de observar el comportamiento de esta señal con respecto a sus armónicos.

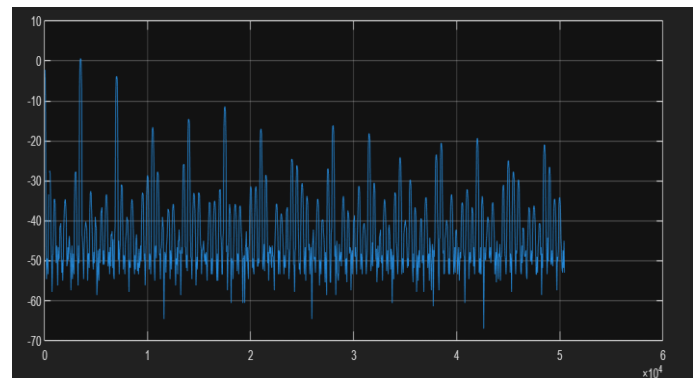


Ilustración 69 Espectro de frecuencia para el pulso 3 en Matlab.

La señal obtenida, corresponde a la señal obtenida con respecto a la frecuencia, a partir de esta señal se realizan las mediciones con respecto de cada uno de los datos, por lo cual se obtiene que.

- 1ra armónica:
Amplitud: -6,9dB
Frecuencia: 3,5KHz
- 2da armónica:
Amplitud: -8,7dB
Frecuencia: 7KHz
- 3ra armónica:
Amplitud: -21,1dB
Frecuencia: 10,5KHz
- 4ta armónica:
Amplitud: -33,4dB
Frecuencia: 11,2KHz
- 5ta armónica:
Amplitud: -17,9dB
Frecuencia: 18KHz
- 6ta armónica:
Amplitud: -24,7dB
Frecuencia: 21KHz
- 7ma armónica:
Amplitud: -34,6dB
Frecuencia: 24KHz
- 8va armónica:
Amplitud: -22,07dB
Frecuencia: 28KHz
- 9na armónica:
Amplitud: -25,1dB
Frecuencia: 31KHz
- 10ma armónica:
Amplitud: -33,2dB
Frecuencia: 35KHz

Se pueden observar grandes diferencias con respecto a los datos calculados, esto puede deberse principalmente a la posición en la que se establecía el cursor, siendo que los pulsos presentes presentan una ubicación exacta con una ubicación exacta y cualquier mínimo cambio afecta en la medición del equipo.

Así mismo a partir de los datos obtenidos en el tiempo, se realiza el cálculo de la FFT, para ello, se cambian las variables de los anteriores códigos, con el fin de obtener las graficas para el pulso 3.

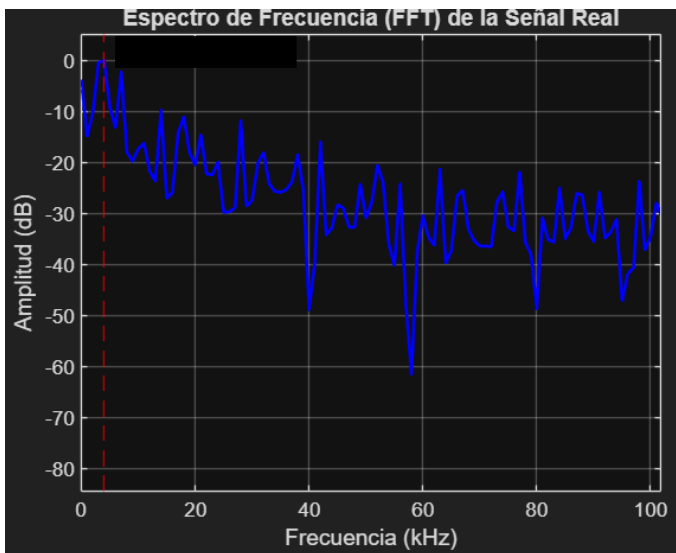


Ilustración 70 FFT recuperada.

Como se observa, la señal concuerda con lo visto en el osciloscopio, así mismo se evidencia bastante ruido en comparación con los datos previamente calculados

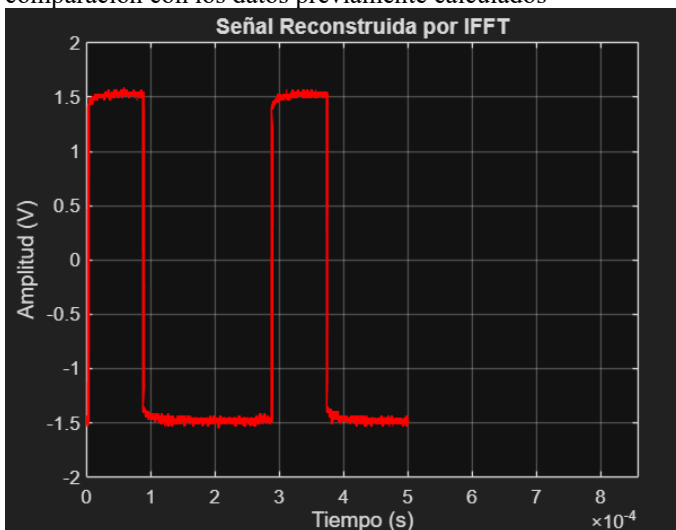


Ilustración 71 Señal periódica recuperada IFFT

Así mismo, lo obtenido a partir de la IFFT corresponde directamente con lo planteado y visto en el osciloscopio inicialmente.

X. PULSO 4 CICLO ÚTIL 80%.

Se establece una señal con un ciclo útil del 80% con los siguientes parámetros.

*Voltaje pico a pico: 3Vpp

*Ciclo útil: 80%

*Frecuencia: 3,5kHz

Esto se evidencia en el osciloscopio de la siguiente manera

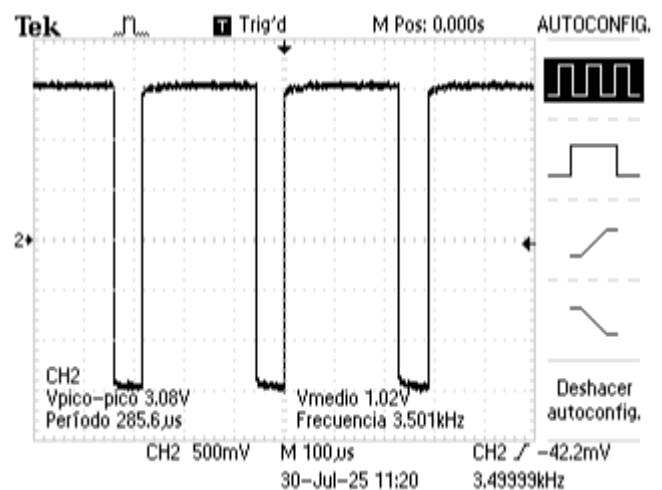


Ilustración 72 Pulso 4 periódico.

A partir de los datos obtenidos en el osciloscopio, se busca comprobar que los datos presentes concuerden con lo previamente visto, para ello, se exportan los datos a Matlab, de manera que se evidencia la siguiente grafica.

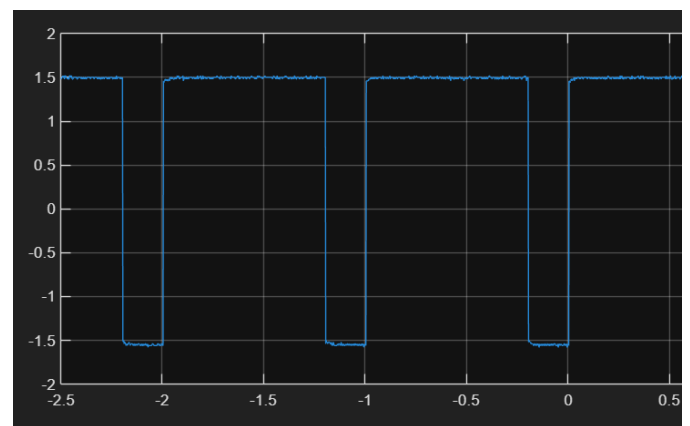


Ilustración 73 Señal recuperada periódica en Matlab

Como se observa, los datos concuerdan perfectamente con lo previamente calculado, a partir de esto, se realizan los cálculos teóricos para la magnitud para los diez armónicos principales, para ello, se repite la ecuación utilizada para calcular los armónicos previos

- 1ra armónica:

$$V_1 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(1\pi * 0,8)}{1\pi * 0,8}$$

$$V_1 = 0,56V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,56}{\sqrt{2}} \right) = -8,02dB$$

- 2da armónica:

$$V_2 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(2\pi * 0,8)}{2\pi * 0,8}$$

$$V_2 = -0,45V$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,45}{\sqrt{2}} \right) = -9,86dB$$

- 3ra armónica:

$$V_3 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(3\pi * 0,8)}{3\pi * 0,8}$$

$$V_3 = 0,30$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,30}{\sqrt{2}} \right) = -13,3dB$$

- 4ta armónica:

$$V_4 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(4\pi * 0,8)}{4\pi * 0,8}$$

$$V_4 = -0,14$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,14}{\sqrt{2}} \right) = -20,06dB$$

- 5ta armónica:

$$V_5 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(5\pi * 0,8)}{5\pi * 0,8}$$

$$V_5 = 0$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0}{\sqrt{2}} \right) = -323dB$$

- 6ta armónica:

$$V_6 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(6\pi * 0,8)}{6\pi * 0,8}$$

$$V_6 = 0,09$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,09}{\sqrt{2}} \right) = -23,58dB$$

- 7ma armónica:

$$V_7 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(7\pi * 0,8)}{7\pi * 0,8}$$

$$V_7 = -0,13$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,13}{\sqrt{2}} \right) = -20,7dB$$

- 8va armónica:

$$V_8 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(8\pi * 0,8)}{8\pi * 0,8}$$

$$V_8 = 0,11$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0,11}{\sqrt{2}} \right) = -21,9dB$$

- 9na armónica:

$$V_9 = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(9\pi * 0,8)}{9\pi * 0,8}$$

$$V_9 = -0,06$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{-0,06}{\sqrt{2}} \right) = -27,11dB$$

- 10ma armónica:

$$V_{10} = 2 * 0,8 * 1,5V \times \frac{\sin(10\pi * 0,8)}{10\pi * 0,8}$$

$$V_{10} = 0$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{0}{\sqrt{2}} \right) = -323dB$$

A partir de la suma de las señales se realiza el siguiente código, el cual nos permitirá observar la señal en su dominio del tiempo.

$$T = 0.000285;$$

$$f = 1/T;$$

$$A1 = 0.56;$$

$$A2 = -0.45;$$

$$A3 = 0.30;$$

$$A4 = -0.14;$$

$$A5 = 0;$$

$$A6 = 0.09;$$

$$A7 = -0.13;$$

$$A8 = 0.11;$$

$$A9 = -0.06;$$

$$t = 0:T/100:5*T;$$

$$DC_bipolar = 2*(0.8) - 1;$$

$$V1 = 2 * A1 * \cos(2*\pi*f*t);$$

$$V2 = 2 * A2 * \cos(2*\pi*2*f*t);$$

$$V3 = 2 * A3 * \cos(2*\pi*3*f*t);$$

$$V4 = 2 * A4 * \cos(2*\pi*4*f*t);$$

$$V5 = 2 * A5 * \cos(2*\pi*5*f*t);$$

$$V6 = 2 * A6 * \cos(2*\pi*6*f*t);$$

$$V7 = 2 * A7 * \cos(2*\pi*7*f*t);$$

$$V8 = 2 * A8 * \cos(2*\pi*8*f*t);$$

$$V9 = 2 * A9 * \cos(2*\pi*9*f*t);$$

$$VT = DC_bipolar + V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7 + V8 + V9;$$

$$\text{plot}(t, VT, 'Color', 'b');$$

$$\text{xlabel}('Tiempo (s)');$$

$$\text{ylabel}('Voltaje (V)');$$

$$\text{title}('Señal pulso del 80\% armonicos teoricos');$$

$$\text{grid on};$$

A partir del código se obtiene la siguiente señal

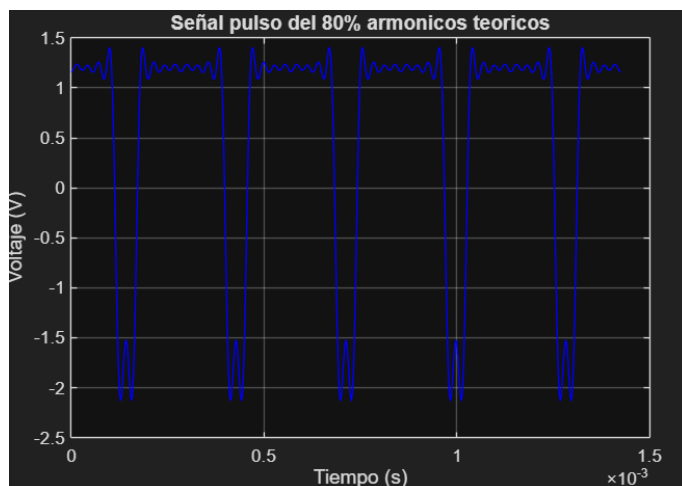


Ilustración 74 Señal obtenida a partir de la suma de los armónicos periódicos.

Como se observa, la señal comparte relación con respecto a lo que se evidencio en el osciloscopio, evidentemente no es completamente igual, esto debido a los armónicos que la componen, pero tanto el voltaje como la forma, es relativamente similar.

Así mismo se establece la señal en su dominio de la frecuencia como se observa a continuación.

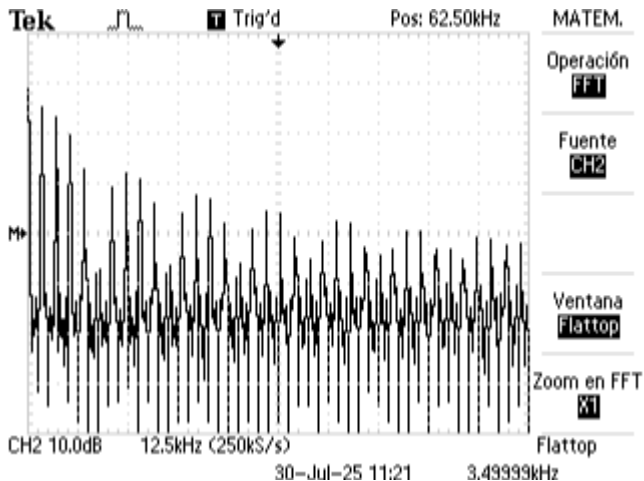


Ilustración 75 Espectro de frecuencia del pulso 4

La señal en el dominio de la frecuencia presenta los siguientes valores medidos para los principales armónicos.

- 1ra armónica:
Amplitud: -7,9dB
Frecuencia: 3,5KHz
- 2da armónica:
Amplitud: -10,7dB
Frecuencia: 7KHz
- 3ra armónica:
Amplitud: -14,1dB
Frecuencia: 10,5KHz
- 4ta armónica:
Amplitud: -22dB
Frecuencia: 14KHz
- 5ta armónica:
Amplitud: -323,5dB
Frecuencia: 18KHz
- 6ta armónica:
Amplitud: -24,7dB
Frecuencia: 21KHz
- 7ma armónica:
Amplitud: -18,6dB
Frecuencia: 24KHz
- 8va armónica:
Amplitud: -19,7dB
Frecuencia: 28KHz
- 9na armónica:
Amplitud: -25,1dB
Frecuencia: 31,5KHz
- 10ma armónica:
Amplitud: -323dB
Frecuencia: 35,5KHz

A partir de los datos medidos, se puede inferir que existe similitud con respecto a lo previamente analizado, lo que quiere inferir, que esta variación con respecto a los datos calculados, son directamente dados por la poca exactitud al momento de establecer los cursores con las perillas del osciloscopio.

A partir de esto, se toman los datos obtenidos por el osciloscopio y se establecen en Matlab.

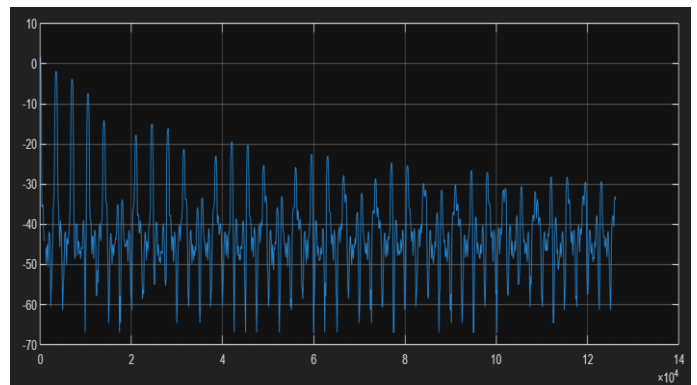


Ilustración 76 Espectro de frecuencia recuperado en Matlab.

Como se observan, los datos concuerdan correctamente con lo principalmente planteado y observado en el osciloscopio, por ende, estos son correctos y viables.

Así mismo, se realizó la FFT, reemplazando las variables se obtiene la siguiente grafica.

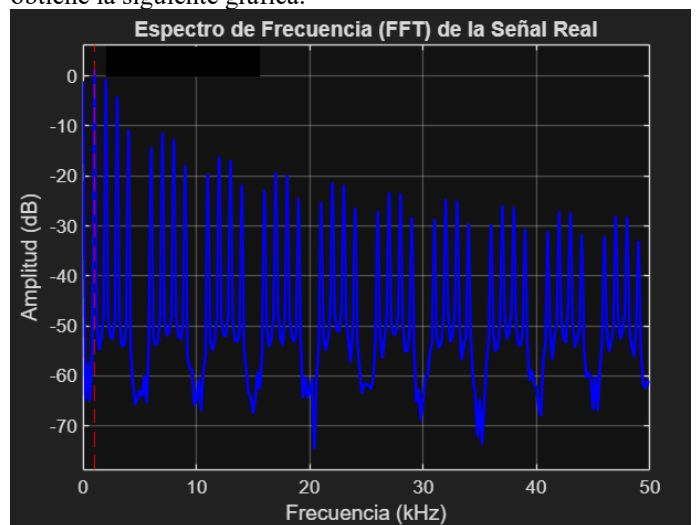


Ilustración 77 Señal FFT recuperada.

Como se observa, los datos obtenidos corresponden de manera sumamente acertada lo principalmente visto en el osciloscopio, por lo cual se puede deducir que, en este caso, la FFT fue lo más asertiva posible.

Así mismo se recupera la señal periódica, por lo cual se obtiene.

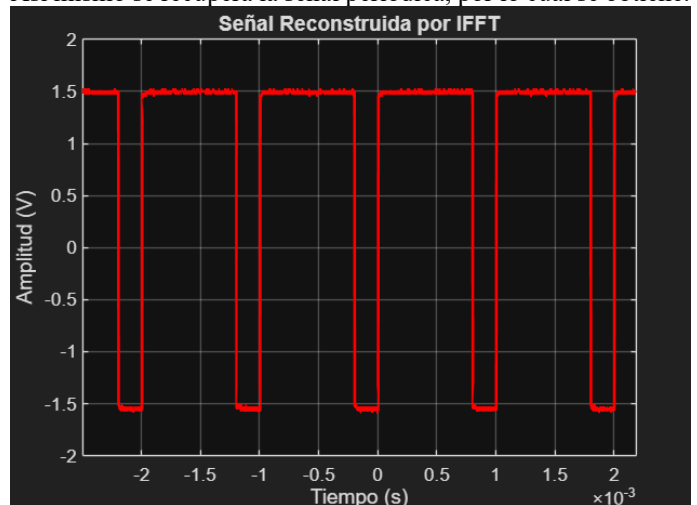


Ilustración 78 Señal periódica del pulso 4 recuperada IFFT

Así mismo, se recupero de manera casi perfecta la señal inicialmente planteada y vista en el osciloscopio, por lo que podemos inferir que el proceso se realizó de manera adecuada.

XI. ANÁLISIS

Se empleó MATLAB para importar señales desde archivos .csv o matrices generadas previamente.

A cada señal se le aplicó una limpieza básica (eliminación del componente DC), se calculó la FFT y se graficó el espectro en dB.

Se identificó la frecuencia fundamental, se limitaron los rangos de visualización (hasta 50 kHz), y se reconstruyó la señal con la IFFT.

Análisis del espectro

Para las señales **senoidales**, se observa un pico dominante en la frecuencia fundamental con pocos armónicos, como es de esperarse.

Las señales **triangulares** muestran armónicos impares de orden alto, con amplitudes que decrecen rápidamente (proporcional a $1/n^2$).

Las señales **cuadradas** presentan armónicos impares más marcados y estables, como lo predice la teoría (proporcional a $1/n$).

En los **pulsos**, se evidencian espectros más amplios debido a su naturaleza no periódica y transitoria.

Reconstrucción por IFFT

La IFFT permitió visualizar la señal original a partir de su espectro.

En todos los casos, la señal reconstruida es prácticamente indistinguible de la original, lo que demuestra la fidelidad del proceso de FFT/IFFT.

Frecuencia de muestreo

Se utilizó una alta frecuencia de muestreo (ej. 500 kHz o más) para asegurar la captura precisa de señales de hasta 5-6 armónicos.

Esta alta resolución permitió identificar detalles como los picos espectrales finos y armónicos débiles.

4. El uso de una frecuencia de muestreo adecuada es crucial para evitar aliasing y garantizar una representación espectral correcta.
5. El análisis espectral permite no solo estudiar señales, sino también diagnosticar distorsiones, identificar componentes no deseados y validar la calidad de sistemas de transmisión o procesamiento.

REFERENCIAS

- [1] *MATLAB Login | MATLAB & Simulink*. (s. f.). <https://matlab.mathworks.com/>
- [2] Square Wave from Sine Waves - MATLAB & Simulink Example. (s. f.). <https://la.mathworks.com/help/matlab/math/square-wave-from-sine-waves.html?requestedDomain=https://la.mathworks.com/help/matlab/fourier-analysis-and-filtering.html>
- [3] Fourier Analysis and Filtering - MATLAB & Simulink. (s. f.). <https://la.mathworks.com/help/matlab/fourier-analysis-and-filtering.html>

XII. CONCLUSIÓN

1. La FFT es una herramienta efectiva para el análisis de señales periódicas, ya que permite identificar claramente la frecuencia fundamental y sus armónicos.
2. La forma del espectro está directamente relacionada con la forma de onda:

Las ondas suaves como la senoidal tienen espectros estrechos.

Las ondas con bordes bruscos como las cuadradas o pulsos tienen espectros más anchos y ricos en armónicos.

3. La reconstrucción de señales por IFFT es precisa, siempre que se conserven todos los componentes del espectro. Se comprobó que es posible obtener una señal casi idéntica a la original.