# Laboratorio: Conceptos de Procesamiento de Señales para Comunicaciones

Miguel Andrey Peña Cárdenas
Facultad de ingeniería
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia
Email: est.miguela.pena@unimilitar.edu.co

***Resumen*—En este laboratorio se analizó diferentes formas de onda, como senoidales, triangulares, cuadradas y pulsos con distintos ciclos de trabajo, utilizando un osciloscopio digital. Guardamos los datos en archivos CSV para analizarlos. Primero observamos las señales en el dominio del tiempo y luego aplicamos la Transformada de Fourier (FFT) para ver su espectro en frecuencia e identificar los armónicos. Finalmente, comparamos los resultados experimentales con los valores teóricos obtenidos en las series de Fourier, lo que nos permitió evaluar las señales y comprobar los supuestos teóricos.**

***Index Terms*—Procesamiento de Señales, Dominio de la Frecuencia, Dominio del Tiempo, Series de Fourier, Transformada Rápida de Fourier (FFT), Osciloscopio Digital.**

## I. INTRODUCCIÓN

Las señales son la forma en que se manda información, así que entender cómo funcionan es clave en telecomunicaciones. Para analizarlas, hay dos formas: ver cómo se comportan en el tiempo o mirar qué tantas frecuencias tiene. Si las vemos en el tiempo, básicamente vemos cómo cambia su forma, qué tan alto llega (voltaje), cuánto dura un ciclo (el periodo), o qué forma tiene la onda. Pero si usamos algo como la transformada de Fourier, podemos ver de qué frecuencias está hecha la señal, como si la desarmáramos en pedacitos más simples (los armónicos). Eso nos dice qué tan ancha es en frecuencia y cómo se reparte su energía.

En el laboratorio vamos a probar todo eso. Vamos a usar un osciloscopio digital para ver señales como la sinusoidal, cuadrada, triangular y de pulso. Ese equipo no solo muestra cómo se ve la señal en el tiempo, sino que también hace la FFT, que es básicamente una forma rápida de aplicar la transformada de Fourier, y nos da el espectro de frecuencias. Al final, vamos a comparar lo que vemos con lo que dice la teoría (o sea, lo que predice la serie de Fourier) y ver qué tan parecido es. La idea es entender bien cómo se forman las señales con esos armónicos y por qué eso es tan importante cuando uno trabaja con sistemas de comunicación digital.

## II. MARCO TEÓRICO

### II-A. *Dominio del Tiempo y Dominio de la Frecuencia*

El análisis de señales se puede realizar en dos dominios fundamentales:

Dominio del tiempo: Aquí lo que hacemos es mirar cómo cambia la señal con el tiempo. O sea, vemos su forma y qué tan alta o baja va (eso es la amplitud). Esto sirve para medir cosas como el voltaje máximo, cuánto dura un ciclo (el período) o el ciclo de trabajo. Para ver esto usamos el osciloscopio, que básicamente nos muestra la señal en tiempo real. Dominio de la frecuencia: En este caso, no miramos la forma de la señal como tal, sino de qué frecuencias está hecha. Toda señal periódica se puede descomponer en ondas más simples (senos y cosenos), y eso es lo que vemos en el espectro. Ahí aparecen cosas como la frecuencia principal (la fundamental) y los armónicos. Esta forma de ver la señal es súper útil para saber cuánto ancho de banda ocupa y para diseñar filtros. Para pasar del tiempo a la frecuencia usamos la Transformada de Fourier.

### II-B. *Series de Fourier*

Cualquier señal periódica $x(t)$ con período $T$ puede ser representada por una suma infinita de señales sinusoidales y cosinusoidales, conocida como la Serie de Fourier [1]. La forma trigonométrica de la serie es:

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)) \tag{1}$$

Donde $\omega_0 = 2\pi/T$ es la frecuencia fundamental en radianes por segundo.

Los coeficientes de Fourier se calculan de la siguiente manera:

- **Coeficiente DC ($a_0$):** Representa el valor promedio.

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_T x(t)dt \tag{2}$$

- **Coeficientes Cosenoidales ($a_n$):**

$$a_n = \frac{2}{T}\int_T x(t)\cos(n\omega_0 t)dt \tag{3}$$

- **Coeficientes Sinusoidales ($b_n$):**

$$b_n = \frac{2}{T}\int_T x(t)\sin(n\omega_0 t)dt \tag{4}$$

La magnitud del n-ésimo armónico viene dada por $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$.

*II-B1. Señal Cuadrada:* Una señal cuadrada ideal y simétrica (sin componente DC) solo tiene armónicos impares. Su serie de Fourier es [2]:

$$x(t) = \frac{4V_p}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(n\omega_0 t) \tag{5}$$

La magnitud del n-ésimo armónico es $\frac{4V_p}{n\pi}$.

*II-B2. Señal Triangular:* Una señal triangular simétrica también se compone solo de armónicos impares. Su serie de Fourier es [2]:

$$x(t) = \frac{8V_p}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \frac{(-1)^{(n-1)/2}}{n^2} \sin(n\omega_0 t) \tag{6}$$

La magnitud del n-ésimo armónico es $\frac{8V_p}{n^2\pi^2}$.

### II-C. Transformada Rápida de Fourier (FFT)

La Transformada Rápida de Fourier, es una forma eficiente de calcular la Transformada Discreta de Fourier (DFT). A diferencia de la Serie de Fourier, que es más una herramienta teórica pensada para señales continuas y periódicas, la DFT y la FFT se usa para señales que están en formato digital, o sea, discretas y con una duración limitada en el tiempo. Eso es justo lo que hace un osciloscopio digital: toma muestras de una señal a cierta velocidad (tasa de muestreo), y esas muestras se pueden analizar con la función MATH/FFT, que aplica el algoritmo de FFT y nos muestra el espectro de frecuencias. Así podemos ver de qué está hecha la señal en cuanto a frecuencias.

### II-D. Estructura de Archivos CSV de un Osciloscopio

Los archivos con extensión `.csv` (Comma-Separated Values) son archivos de texto plano que almacenan datos en formato de tabla. Cuando un osciloscopio digital guarda un archivo este incluye:

- **Metadatos o Encabezado:** Información sobre la configuración del osciloscopio, como el modelo, escalas vertical y horizontal, tasa de muestreo y número de puntos.
- **Datos de Muestreo:** Generalmente dos columnas de datos: una para el tiempo ($t$) y otra para la amplitud ($V$).

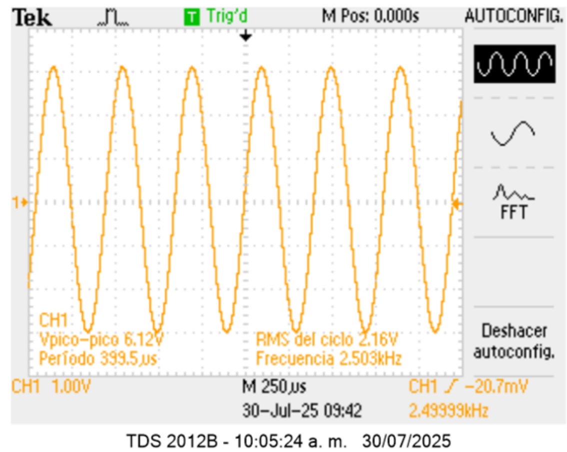
Esta estructura permite una fácil importación en software de análisis como MATLAB o Python.

## III. Procedimiento Experimental y Resultados

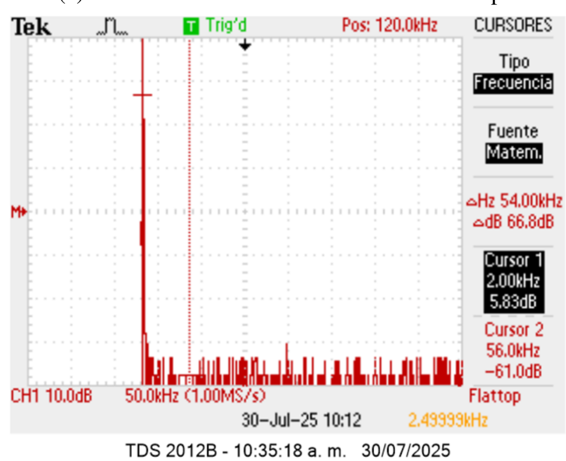
En esta parte se muestran las capturas de las señales que se midieron con el osciloscopio digital Tektronix TDS 2012B. Para cada tipo de señal, se incluye cómo se ve en el tiempo y también su espectro de frecuencia, que sacamos usando la función FFT del equipo. Además, se analizan los valores que aparecen directamente en la pantalla del osciloscopio, como voltajes, periodos, etc.

### III-A. Señales Senoidales

Se capturaron dos señales senoidales, una sin componente DC y otra con un desplazamiento de 1V.



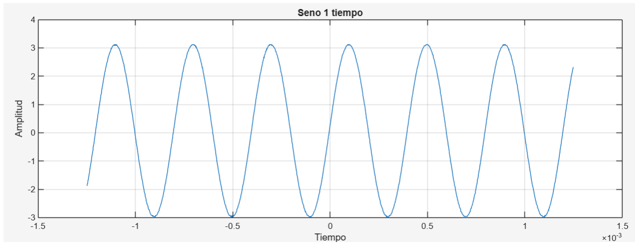

(a) Señal Senoidal 1 en el dominio del tiempo.



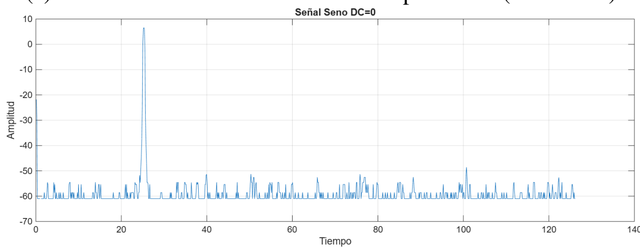

(b) Espectro de frecuencia (FFT) de la Señal Senoidal 1.

Figura 1: Capturas para la señal Senoidal_1 con DC=0V.

La Figura 1 muestra la señal senoidal sin componente DC. En el dominio del tiempo (Fig. 1a), se mide un voltaje pico-pico de 6.12V y una frecuencia de 2.503 kHz. El valor medio es de -20.7mV, muy cercano al valor teórico de 0V. Su espectro en la Fig. 1b muestra un único componente de frecuencia predominante en torno a 2.5 kHz, que corresponde a la frecuencia fundamental. Para obtener la representación en frecuencia de la señal, se importaron en MATLAB los datos del archivo `.csv` que fue generado por el osciloscopio en el laboratorio. Una vez cargados los datos, se aplicó el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a la columna de voltaje para calcular y graficar su espectro de magnitud, como se muestra en la Figura 4.




(a) Señal Seno en el dominio del tiempo DC=0 (MATLAB).



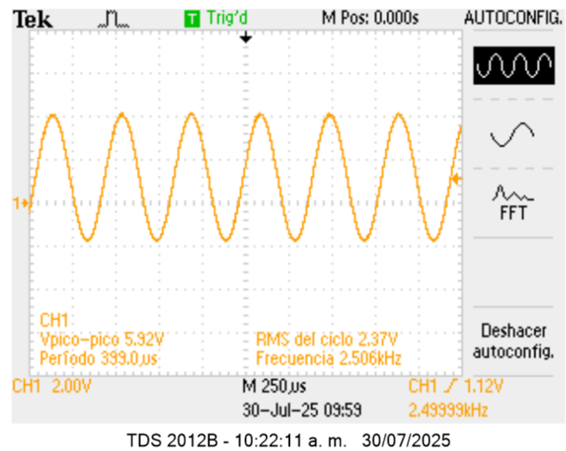

(b) Espectro de frecuencia de la señal Senoidal DC=0,calculado en MATLAB

Figura 2: Gráficas de la señal Seno DC=0 tanto en tiempo como en frecuencia.

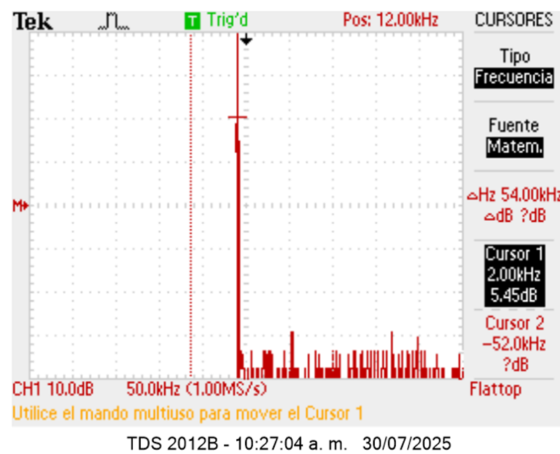
El análisis de la Figura 2 muestra el comportamiento teórico de una señal senoidal pura. Se observa un único pico de energía localizado en 2.5 kHz, que es la frecuencia fundamental de la señal. El resto del espectro, conocido como el ”piso de ruido”, presenta componentes de muy baja amplitud (inferiores a -50 dB). Esto demuestra que, la señal senoidal no posee armónicos y concentra toda su potencia en una sola frecuencia.

Señal seno con DC = 1:

A diferencia de la señal Senoidal 1 (sin DC), la Figura 3 muestra que la señal Senoidal 2 está por encima o lo mismo que decir que esta desfasada del eje de 0V. La medición del osciloscopio confirma un valor medio (componente DC) de 1.12V, que se aproxima mucho al valor teórico de 1V que se configuró.

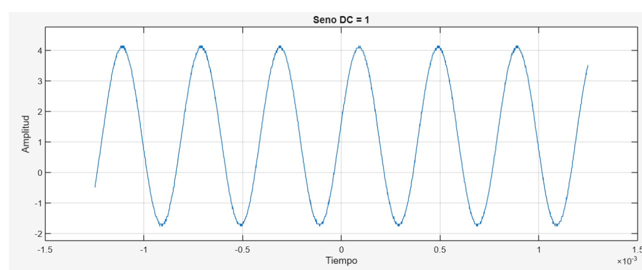



(a) Señal Seno 2 en el dominio del tiempo.

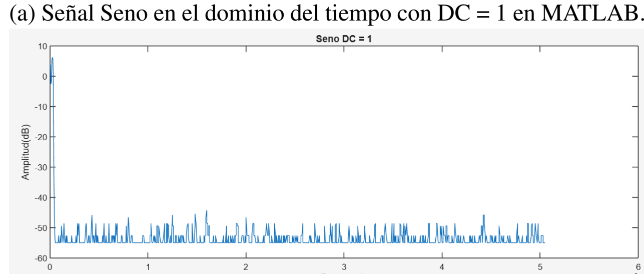



(b) Espectro de frecuencia (FFT) de la Señal Seno 2.

Figura 3: Gráficas Seno con DC = 1.




(a) Señal Seno en el dominio del tiempo con DC = 1 en MATLAB.



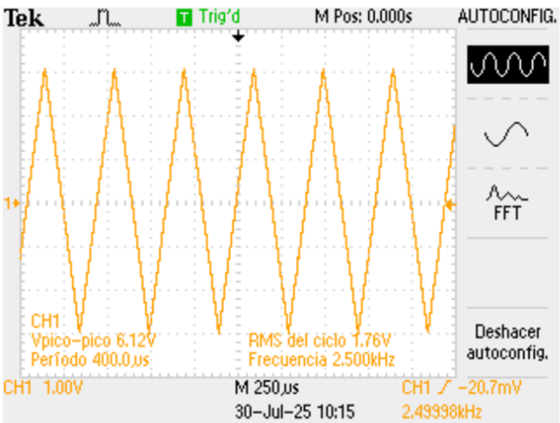

(b) Espectro de frecuencia (FFT) de la Señal Seno con DC = 1 en MATLAB.

Figura 4: Gráficas Seno hechas en MATLAB con DC = 1.

Las gráficas generadas en MATLAB a partir de los datos del archivo `.csv` dejan ver claramente el offset. La representación en el dominio del tiempo muestra la onda senoidal desplazada verticalmente, oscilando alrededor de 1V en lugar de cero.

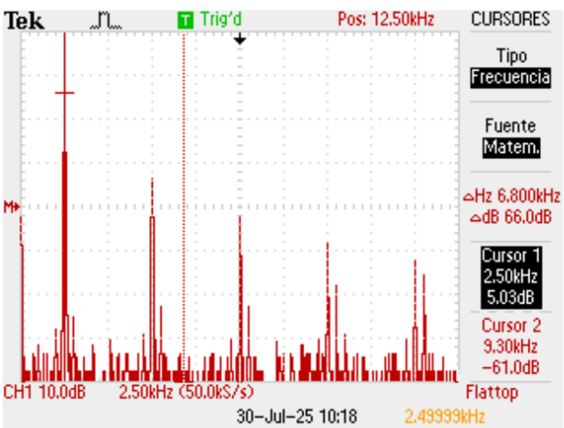
### *III-B. Señales Triangulares*

Se capturaron dos señales triangulares, una con DC=0V y otra con DC=1.5V.




TDS 2012B - 10:38:13 a. m. 30/07/2025

(a) Señal Triangular 1 en el dominio del tiempo.

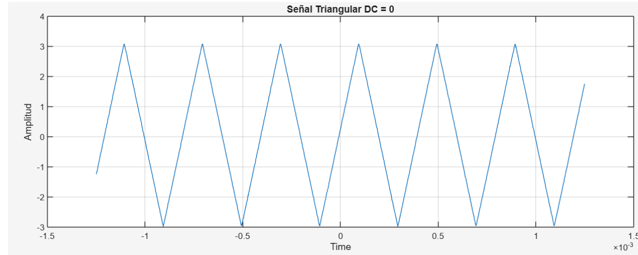



TDS 2012B - 10:41:19 a. m. 30/07/2025

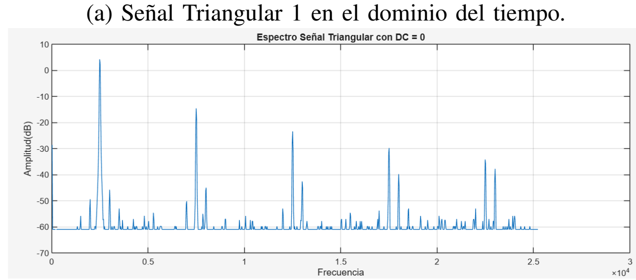
(b) Espectro de frecuencia (FFT) de la Señal Triangular 1.

Figura 5: Capturas para la señal Triangular_1 con DC=0V.

Para la señal triangular sin offset (Figura 5), se observa un Vp-p de 6.12V y una frecuencia de 2.5 kHz. Su espectro (Fig. 5b) muestra un componente fundamental en 2.5 kHz y la presencia de armónicos impares, el siguiente armónico está en 7.5 kHz, con una amplitud que decae rápidamente, lo cual es característico de este tipo de onda.




(a) Señal Triangular 1 en el dominio del tiempo.



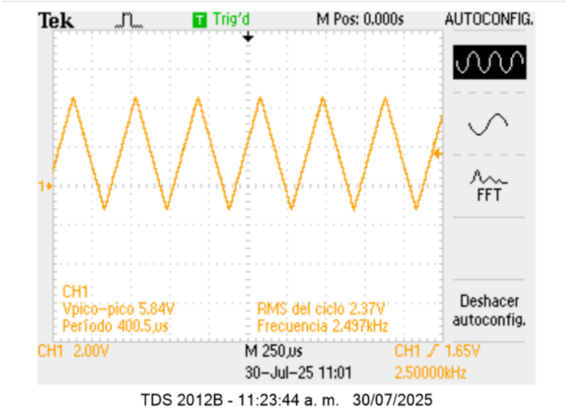

(b) Espectro de frecuencia (FFT) de la Señal Triangular 1.

Figura 6: Gráficas triangulares en MATLAB del dominio del Tiempo y Frecuencia con DC=0V.

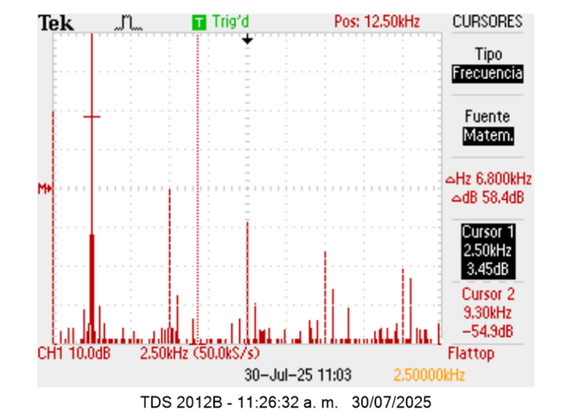
Observamos que al hacer las graficas en MATLAB obtenemos el resultado esperado, es decir el mismo de la figura 5.

Señal tringular con DC = 1.5

Las siguientes capturas del osciloscopio muestran una señal triangular con un offset de 1.5V. En el dominio del tiempo (Fig. 7a), se observa el desplazamiento vertical de la onda, con un valor medio medido de 1.65V, mientras se mantiene la forma triangular y la frecuencia de 2.5 kHz.

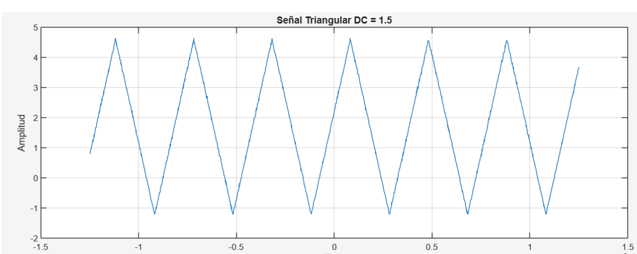



(a) Señal Triangular en el dominio del tiempo con DC = 1.5.

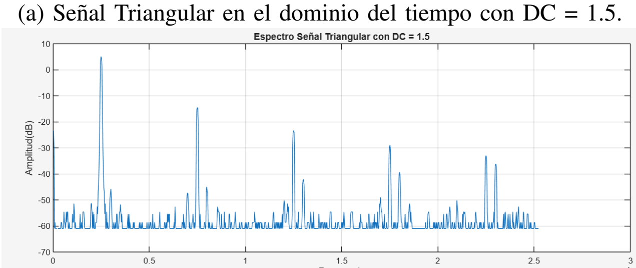



(b) Espectro de frecuencia (FFT) de la Señal Triangular con DC = 1.5.

Figura 7: Gráficas triangulares del dominio del Tiempo y Frecuencia con DC = 1.5.




(a) Señal Triangular en el dominio del tiempo con DC = 1.5.



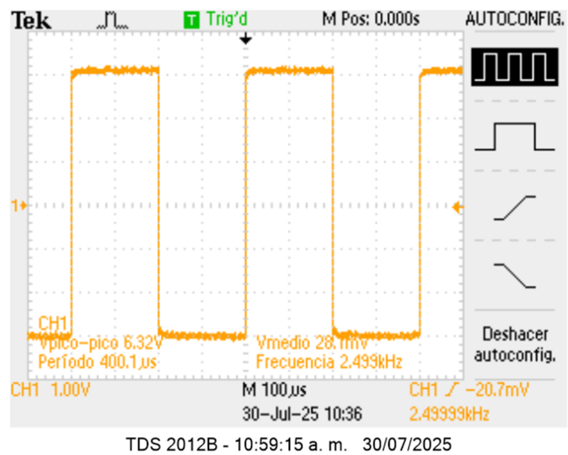

(b) Espectro de frecuencia (FFT) de la Señal Triangular con DC = 1.5.

Figura 8: Gráficas triangulares en MATLAB del dominio del Tiempo y Frecuencia con DC = 1.5.

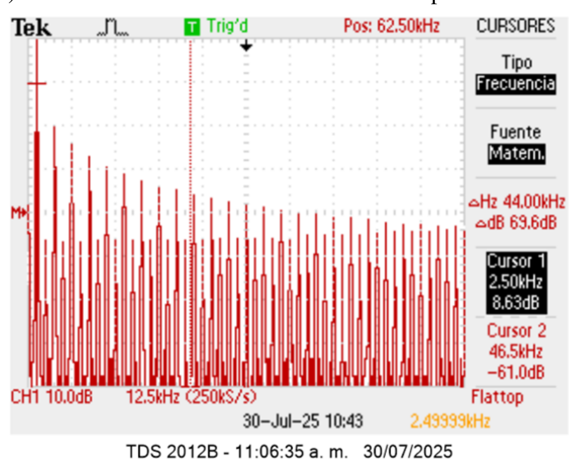
El análisis en MATLAB de la señal triangular con un offset de 1.5V confirma las mediciones del laboratorio. La gráfica del tiempo muestra la onda triangular desplazada hacia arriba, oscilando en torno al valor de 1.5V.

### *III-C. Señales Cuadradas*

Se capturaron dos señales cuadradas con un ciclo útil del 50 %, una sin offset y otra con un offset de 1.25V.




(a) Señal Cuadrada 1 en el dominio del tiempo con DC = 0.

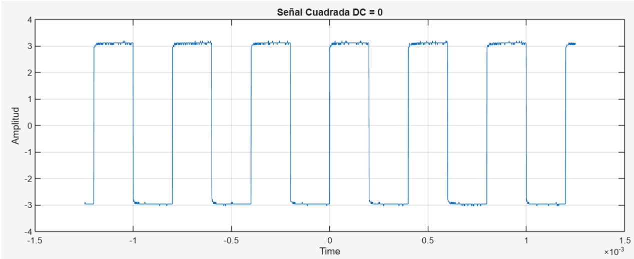



(b) Espectro de frecuencia (FFT) con DC = 0 de la Señal Cuadrada 1.

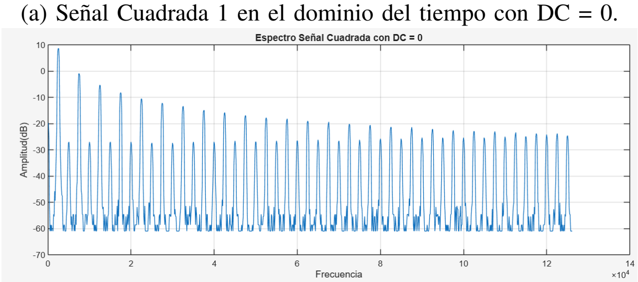
Figura 9: Capturas para la señal Cuadrada 1 con DC=0V.

La señal cuadrada sin offset (Figura 9) presenta un Vp-p de 6.32V a 2.499 kHz. Su espectro de frecuencia en la Fig. 9b tiene mas armónicos que la señal triangular. Se observa el componente fundamental en 2.5 kHz y unos armónicos impares cuya amplitud decrece más lentamente que en el caso triangular, lo que explica los flancos más abruptos de la señal en el dominio del tiempo.

Las gráficas de MATLAB de la señal cuadrada sin DC. En el dominio del tiempo (Fig. 10a), se observan las transiciones casi instantáneas entre los niveles alto y bajo. Esta característica es la razón directa de lo que se ve en el espectro de frecuencia (Fig. 10b): un espectro extremadamente rico en armónicos.




(a) Señal Cuadrada 1 en el dominio del tiempo con DC = 0.




(b) Espectro de frecuencia (FFT) con DC = 0 de la Señal Cuadrada 1.

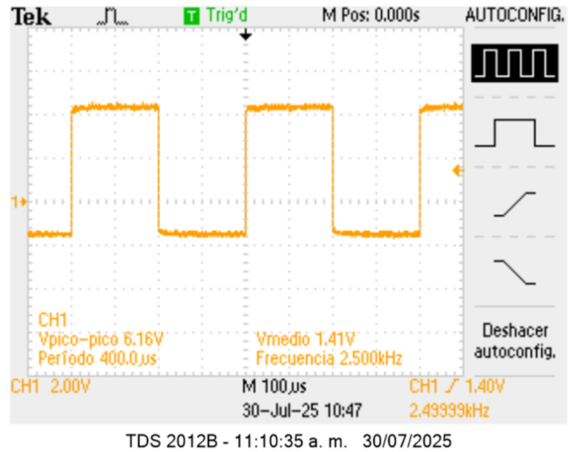
Figura 10: Graficas en MATLAB para la señal Cuadrada con DC=0V.

La serie de Fourier que describe una onda cuadrada ideal, simétrica y con amplitud pico Vp es:

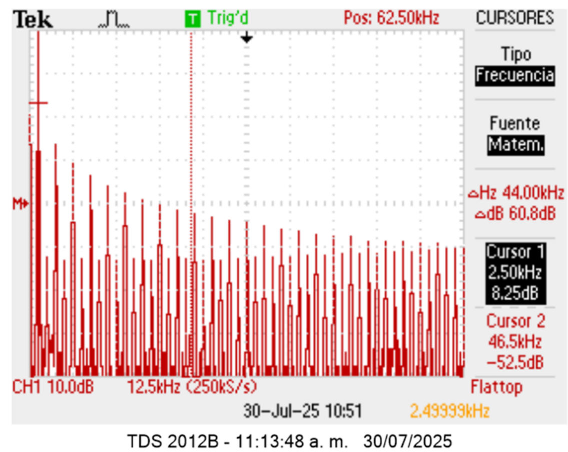
$$x(t) = \frac{4Vp}{\pi} \sum_{n=1,3,5,...}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(n\omega_0 t) \tag{7}$$

Análisis de la fórmula:
n = 1, 3, 5,...: La suma se realiza sobre los armónicos impares, lo cual se confirma en la gráfica del espectro. Amplitud 1/n: La amplitud de cada armónico es inversamente proporcional a su número (n). El tercer armónico tiene 1/3 de la amplitud del fundamental, el quinto tiene 1/5, y así sucesivamente.

Señal cuadrada con DC = 1.25:




(a) Señal Cuadrada en el dominio del tiempo con DC = 1.25.



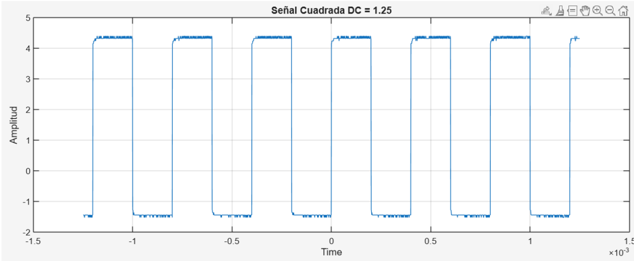

(b) Espectro de frecuencia (FFT) con DC = 1.25 de la Señal Cuadrada.

Figura 11: Graficas para la señal Cuadrada con DC=1.25V.

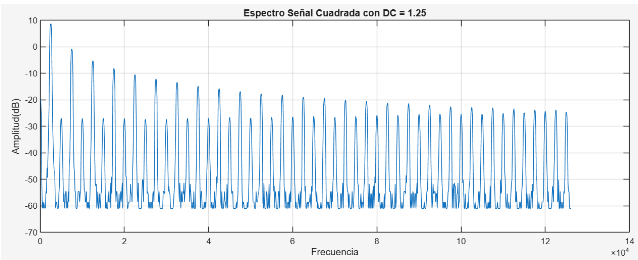
En estas capturas se muestran una señal cuadrada con un offset teórico de 1.25V. La gráfica en el dominio del tiempo (Fig. 11a) deja ver este desplazamiento vertical, midiendo un valor medio de 1.41V, mientras mantiene una frecuencia de 2.5 kHz. Esto demuestra que el offset y la forma de la onda son componentes espectrales separadas.

### *III-D. Señales de Pulso*

Finalmente, se analizaron pulsos con diferentes ciclos de trabajo.

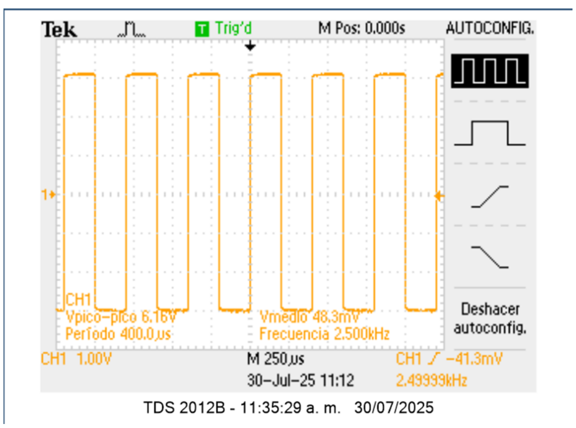



(a) Señal Cuadrada en el dominio del tiempo con DC = 1.25 en MATLAB.

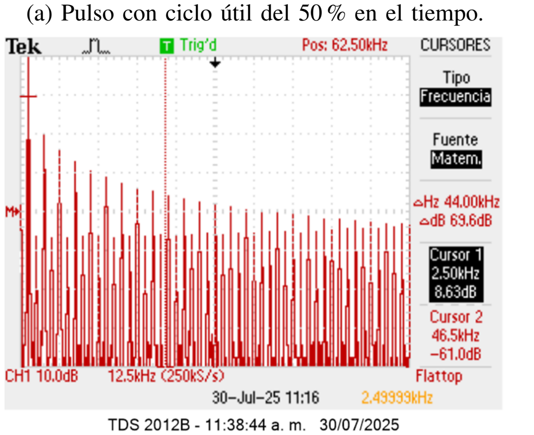



(b) Espectro de frecuencia (FFT) en MATLAB con DC = 1.25 de la Señal Cuadrada.

Figura 12: Gráficas en MATLAB para la señal Cuadrada con DC=1.25V.



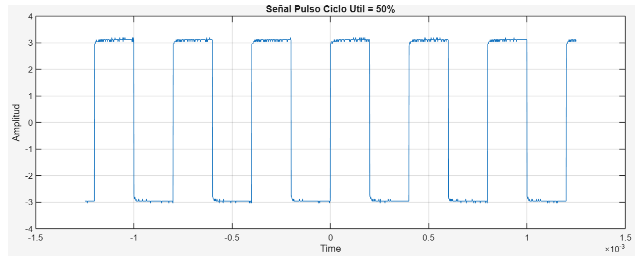

(a) Pulso con ciclo útil del 50 % en el tiempo.



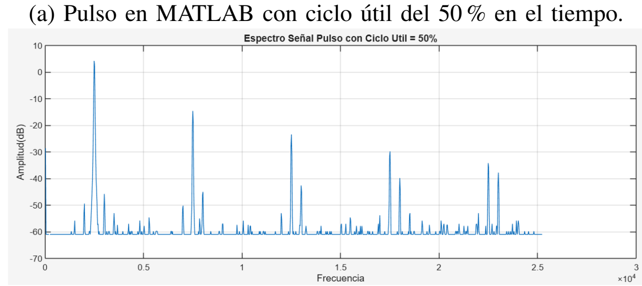

(b) Espectro de frecuencia (FFT) del pulso del 50 %.

Figura 13: Capturas para la señal Pulso 1 (Ciclo Útil 50 %).

El pulso con 50 % de ciclo útil (Figura 13) es igual a la señal cuadrada sin offset, presentando los mismos armónicos impares en su espectro. Se observan Vpp de 6.16V y una frecuencia de 2.500 kHz. A medida que el ciclo de trabajo se modifica (e.j., 20 %, 30 %, 80 %), aparecen armónicos pares y la distribución de la energía en el espectro cambia.




(a) Pulso en MATLAB con ciclo útil del 50 % en el tiempo.



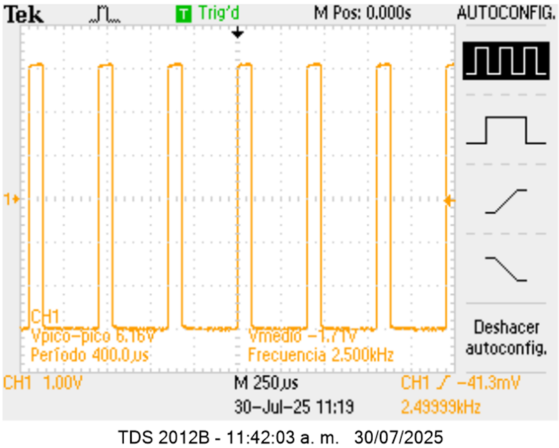

(b) Espectro de frecuencia (FFT) en MATLAB del pulso del 50 %.

Figura 14: Graficas en MATLAB para la señal Pulso 1 (Ciclo Útil 50 %).

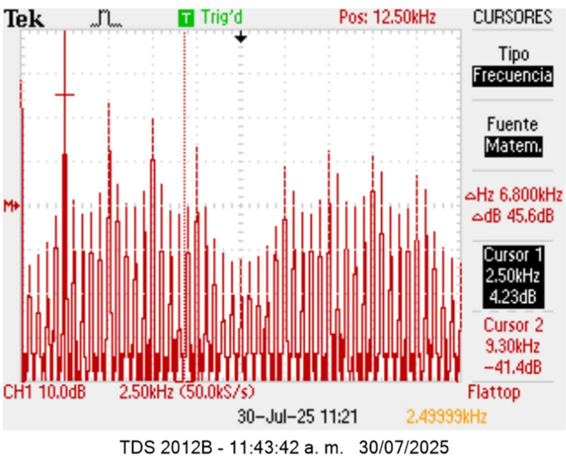
Un pulso con un ciclo de trabajo del 50 % es, por definición, una onda cuadrada simétrica, y su análisis espectral confirma esta identidad. La característica técnica más notable es la supresión total de los armónicos pares (en 5 kHz, 10 kHz, etc.).

Pulso 2 (Ciclo Útil 20 %):

La pérdida de simetría en el pulso, al reducir el ciclo de trabajo a un valor como el 20 %, tiene una consecuencia en su espectro. A diferencia de la onda cuadrada del 50 %, la asimetría exige la presencia de armónicos pares para poder reconstruir matemáticamente la forma de onda. La gráfica de FFT (Fig, 15b) lo demuestra: el espectro tiene armónicos pares como impares. Además, la amplitud de estos armónicos sigue una envolvente característica de la función Sinc (sen(x)/x). El valor medio no nulo (Vmedio) de -1.71V, producto del ciclo de trabajo, se manifiesta como el fuerte componente de DC en 0 Hz en el espectro.

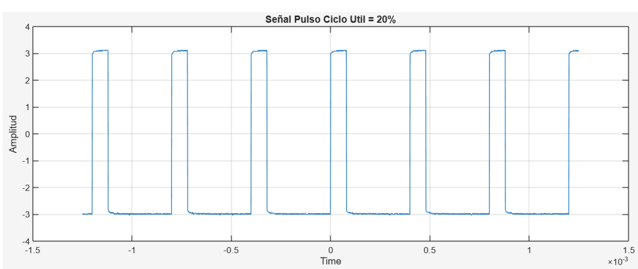



(a) Pulso con ciclo útil del 20 % en el tiempo.

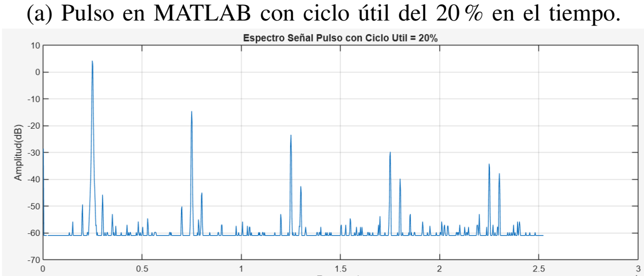



(b) Espectro de frecuencia (FFT) del pulso del 20 %.

Figura 15: Gráficas para la señal Pulso 2 (Ciclo Útil 20 %).



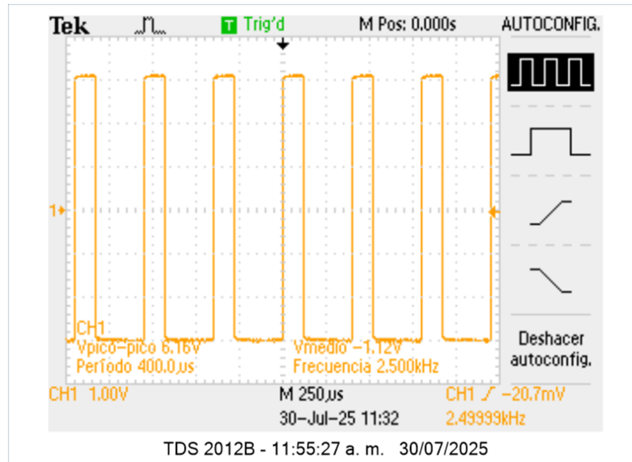

(a) Pulso en MATLAB con ciclo útil del 20 % en el tiempo.



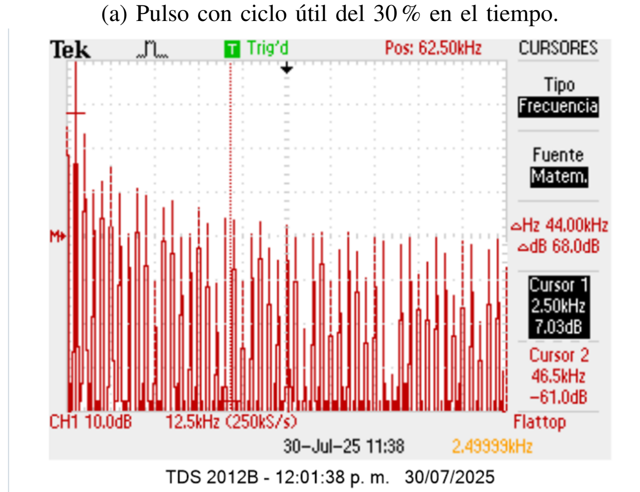

(b) Espectro de frecuencia (FFT) en MATLAB del pulso del 20 %.

Figura 16: Gráficas en MATLAB para la señal Pulso 2 (Ciclo Útil 20 %).

Pulso 3 con ciclo útil = 30 %:



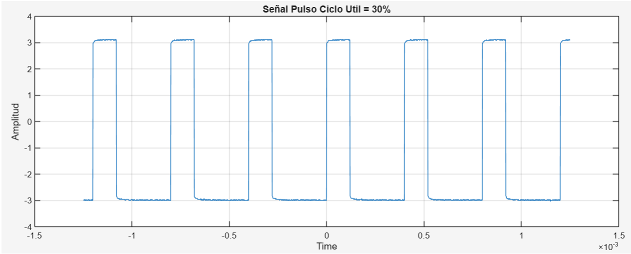

(a) Pulso con ciclo útil del 30 % en el tiempo.



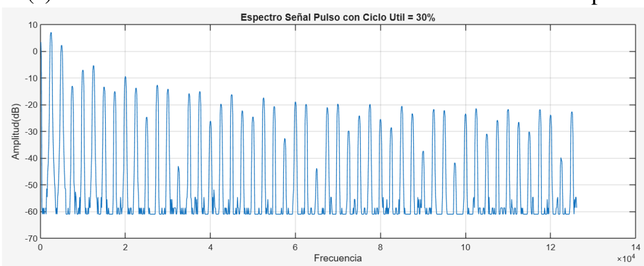

(b) Espectro de frecuencia (FFT) del pulso del 30 %.

Figura 17: Gráficas para la señal Pulso 3 (Ciclo Útil 30 %).

Estas imagenes muestran el pulso con un 30 % de ciclo de trabajo. resultando en un valor medio (Vmedio) negativo de -1.12V. Esta ruptura de la simetría tiene un efecto clave en el espectro (Fig. 17b): ahora aparecen armónicos pares como impares.



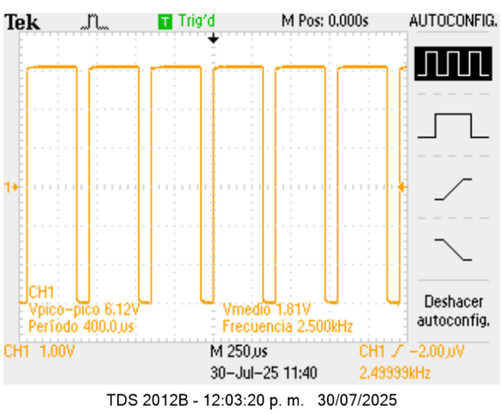

(a) Pulso en MATLAB con ciclo útil del 30 % en el tiempo.



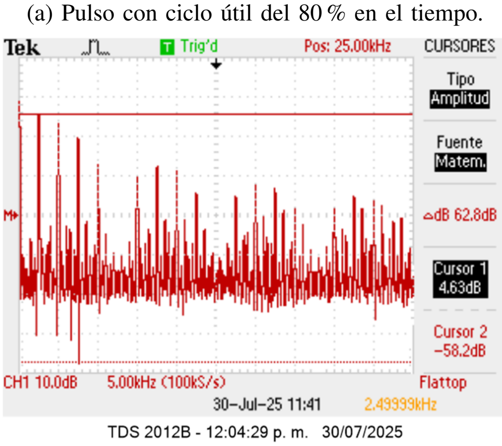

(b) Espectro en MATLAB de frecuencia (FFT) del pulso del 30 %.

Figura 18: Gráficas para la señal Pulso 3 (Ciclo Útil 30 %) en MATLAB.

Pulso 4 con ciclo útil = 80 %:



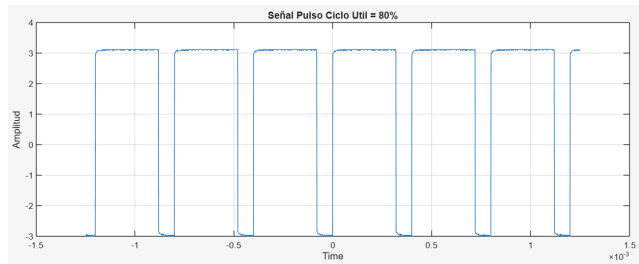

(a) Pulso con ciclo útil del 80 % en el tiempo.



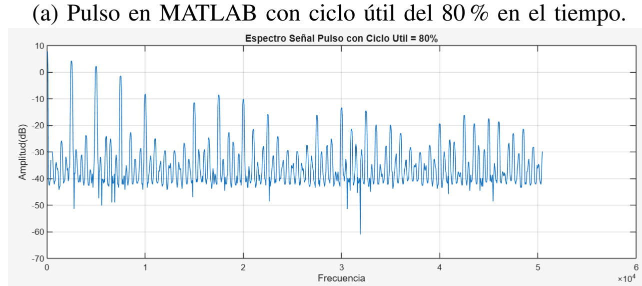

(b) Espectro de frecuencia (FFT) del pulso del 80 %.

Figura 19: Gráficas para la señal Pulso 4 (Ciclo Útil 80 %).

La forma de onda está en su estado alto durante una gran parte del período (un 80 % de 400µs). Esta duración en estado positivo nos da como resultado un valor medio positivo de 1.81V, que es la componente DC de la señal. La teoría de Fourier dicta que un pulso con un 80 % de ciclo útil tendrá nulos espectrales (puntos de cancelación) en las mismas frecuencias que un pulso del 20 %. El primer nulo ocurre en 1/T, donde  es la duración del pulso más corto (20 % del período). En este caso, el nulo está en 1 / (0.2 * 400µs) = 12.5 kHz. La gráfica de FFT muestra esto: el 5to armónico, que debería estar en 5 * 2.5 kHz = 12.5 kHz.




(a) Pulso en MATLAB con ciclo útil del 80 % en el tiempo.




(b) Espectro en MATLAB de frecuencia (FFT) del pulso del 80 %.

Figura 20: Gráficas para la señal Pulso 4 (Ciclo Útil 80 %) en MATLAB.

Analice los parámetros técnicos del instrumento empleado para la captura de las señales. ¿Cuál es la tasa de muestreo del osciloscopio utilizado?

para realizar las mediciones fue el osciloscopio digital Tektronix TDS 2012B. Este equipo nos permitió visualizar y medir los parámetros de las señales en el dominio del tiempo, además de realizar el análisis en frecuencia mediante su función FFT.

Tasa de Muestreo: 1 GSa/s segun MOUSER ELECTRONICS. Algo importante a tener en cuenta es que la tasa de muestreo no es un número fijo, sino que el osciloscopio la va cambiando solo, dependiendo de cómo tengamos configurada la escala de tiempo. Por ejemplo, si hacemos ”zoom.en el tiempo (o sea, usamos una escala más pequeña), el osciloscopio sube la tasa de muestreo para poder captar más detalles de la señal y que no se pierda nada de la forma de onda.

¿Cómo se relaciona con los archivos .CSV? Al exportar los datos a .csv, si revisamos el encabezado del archivo, encontraremos la tasa de muestreo real utilizada para esa captura. Si el archivo .csv indicara una tasa de muestreo de 1MS/s, quire decir que que el osciloscopio tomó 1,000,000 de puntos por segundo para registrar la señal.

Realice el desarrollo teórico para el cálculo de las magnitudes de los coeficientes de las series de Fourier (cálculo de las integrales) para las señales: Senoidal, cuadrada y triangular.

*III-D1. Señal Senoidal:* Una señal senoidal pura, definida como $x(t) = V_p \sin(\omega_0 t)$, no posee armónicos. Su representación en serie de Fourier es trivial, conteniendo únicamente la componente fundamental:

$$\text{Magnitud}_1 = V_p \quad (\text{para } n = 1) \tag{8}$$

Para $n > 1$, la magnitud de todos los armónicos es cero.

*III-D2. Señal Cuadrada:* Para una onda cuadrada simétrica con amplitud pico-a-pico de $2V_p$, la serie de Fourier solo contiene armónicos impares. La magnitud del n-ésimo armónico ($C_n$) se calcula a partir del coeficiente $b_n$, resultando en:

$$C_n = \frac{4V_p}{n\pi}, \quad \text{para } n = 1, 3, 5, \ldots \tag{9a}$$

$$C_n = 0, \quad \text{para } n \text{ par} \tag{9b}$$

Donde $V_p$ es la amplitud pico de la señal.

*III-D3. Señal Triangular:* De forma similar, para una onda triangular simétrica con amplitud pico $V_p$, su espectro también se compone exclusivamente de armónicos impares. La magnitud de su n-ésimo armónico viene dada por:

$$C_n = \frac{8V_p}{n^2\pi^2}, \quad \text{para } n = 1, 3, 5, \ldots \tag{10a}$$

$$C_n = 0, \quad \text{para } n \text{ par} \tag{10b}$$

Es fundamental notar la dependencia con $n^2$ en el denominador, lo que provoca una atenuación mucho más rápida de los armónicos en comparación con la señal cuadrada.

Calcule los armónicos teóricos para las señales capturadas.

1. **Para la Señal Senoidal:**
   - Por definición, una señal senoidal pura $x(t) = V_p \sin(\omega_0 t)$ solo contiene la componente fundamental.
   - Con un valor medido de $V_p = 3{,}06$V (la mitad de 6,12V):
   - $\text{Magnitud}_1 = V_p = 3{,}06$V
2. **Para la Señal Cuadrada:**
   - Usamos la fórmula: $\text{Magnitud}_n = 4V_p/(n\pi)$.
   - Con $V_p = 3{,}16$V (la mitad de 6,32V) y $n = 1$:
   - $\text{Magnitud}_1 = (4 \times 3{,}16)/(1 \times \pi) \approx 4{,}02$V
3. **Para la Señal Triangular:**
   - Usamos la fórmula: $\text{Magnitud}_n = 8V_p/(n^2\pi^2)$.
   - Con $V_p = 3{,}06$V (la mitad de 6,12V) y $n = 1$:
   - $\text{Magnitud}_1 = (8 \times 3{,}06)/(1^2 \times \pi^2) \approx 2{,}48$V
4. **Para el Pulso con Ciclo Útil del 30 %:**
   - Usamos la fórmula: $C_n = 2 \cdot A \cdot D \cdot |\text{sinc}(n \cdot D)|$.
   - Con $A = 6{,}16$V, $D = 0{,}3$ y $n = 1$:
   - $C_1 = 2 \times 6{,}16 \times 0{,}3 \times |\text{sinc}(1 \times 0{,}3)| \approx 3{,}29$V

Estos cálculos nos llevan a los valores para la componente fundamental, que es la de mayor energía en todas las señales periódicas analizadas.

Cuadro I: Magnitudes Teóricas Calculadas para los Primeros Armónicos

| Señal | Arm. 1 (V) | Arm. 2 (V) | Arm. 3 (V) | Arm. 4 (V) | Arm. 5 (V) |
|---|---|---|---|---|---|
| Senoidal | 3.06 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cuadrada | 4.02 | 0 | 1.34 | 0 | 0.80 |
| Triangular | 2.48 | 0 | 0.28 | 0 | 0.10 |
| Pulso 20 % | 2.59 | 2.10 | 1.41 | 0.65 | 0 |
| Pulso 30 % | 3.29 | 1.89 | 0.38 | 0.97 | 1.06 |
| Pulso 80 % | 2.59 | 2.10 | 1.41 | 0.65 | 0 |

## REFERENCIAS


[1] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, 4th ed. Pearson Educación, 2003.

[2] H. P. Hsu, *Analog and Digital Communications*, 2nd ed. McGraw-Hill (Schaum's Outlines), 2003.

[3] L. E. Frenzel, *Sistemas electrónicos de Comunicaciones*, 3rd ed. Alfaomega, 2003.

[4] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer, *Discrete-Time Signal Processing*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2009.

[5] S. W. Smith, *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, 2nd ed. San Diego, CA: California Technical Publishing, 1999. [Online]. Available: https://www.dspguide.com/

[6] D. A. Bell, *Electronic Instrumentation and Measurements*, 3rd ed. Oxford University Press, 2013.

[7] The MathWorks, Inc., "Signal Processing Toolbox User's Guide,"Natick, Massachusetts, 2023. [Online]. Available: https://www.mathworks.com/help/signal/


## APÉNDICE A
## CÓDIGO DE MATLAB

A continuación, se muestran los comandos ejecutados en la consola de MATLAB para generar las gráficas de tiempo y frecuencia a partir de los archivos `.csv`.

```
t = NombreArchivo.NumeroColumna;
a = NombreArchivo.NumeroColumna;

plot(t,a)
grid on
title('Titulo Grafica')
xlabel('Time o Frecuencia')
ylabel('Amplitud')
```

Listing 1: Comandos ejecutados en la consola de MATLAB