



Universidad Distrital Francisco José de Caldas

LABORATORIO 1 TRANSMISIÓN DIGITAL

GENERACIÓN Y SIMULACIÓN DE ONDA

Miguel Sthevan losada lozada 20251373024
Ronald Ivan Ramirez Reyes 20151373006
Jaider Sebastián Moreno Quintero 20251373018
Laura Valentina Carvajal Villanueva 20251373002

08/04/2025

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|-------------------------------------|----------|
| Introducción | 3 |
| <i>Pregunta(s) de Investigación</i> | 4 |
| <i>Definiciones</i> | 5 |
| Metodología | |
| <i>Teoría</i> | |
| <i>Simulación</i> | |
| <i>Código Fuente</i> | 6 |
| Análisis | 12 |
| Conclusiones | 12 |
| Referencias | 13 |

INTRODUCCIÓN

Se realiza la construcción de 3 formas de onda digitales mediante funciones singulares (funciones matemáticas básicas) donde se hallan las funciones escalón unitario $u(t)$, impulso unitario $\delta(t)$ y rampa $r(t)=t \cdot u(t)$. Anexo se desarrolla una interfaz de visualización para las distintas ondas, donde el usuario a través de una secuencia binaria grafica esa señal compuesta mediante python.

Se grafica la onda correspondiente a cada bit en la interfaz y finalmente haciendo uso de FFT (Transformada rápida de Fourier o fast Fourier Transform) se muestra el espectro para luego ser todo esto analizado pasando desde lo teórico, a lo digital y consecuentemente observarlo en un entorno físico.

PREGUNTA(S) DE INVESTIGACIÓN

¿Qué diferencias existen entre la simulación de una forma de onda y su generación física mediante un dispositivo electrónico?

¿Cómo pueden utilizarse funciones singulares como el escalón, la rampa y el impulso para construir formas de onda digitales por tramos?

¿Cómo influye la forma de onda elegida en la ocupación espectral de la señal transmitida?

¿Qué impacto tiene la selección de una forma de onda específica sobre la fidelidad, eficiencia y robustez de una transmisión digital?

¿Qué tan precisa es la representación física de una señal respecto a su versión simulada en entorno digital?

¿Qué ventajas ofrece el análisis espectral mediante Transformada Rápida de Fourier (FFT) en el estudio de señales digitales?

¿Qué limitaciones presenta la generación de formas de onda mediante hardware en comparación con la simulación computacional?

DEFINICIONES

Onda.

Una vibración puede no tener las características necesarias y suficientes que definen a una onda. El término suele ser entendido intuitivamente como el transporte de vibraciones en el espacio, o medio en el que pueden producirse y propagarse dichas perturbaciones, al variar alguna de sus propiedades medibles. [1]

secuencia binaria.

La secuencia binaria que se va a transmitir suele estar disponible en forma de señal eléctrica que toma uno entre dos valores discretos aleatorios. La representación más simple consiste en una corriente eléctrica o voltaje, que está "encendido" o "apagado". Estas dos posibilidades representan los símbolos del mensaje digital y se denominan "bit 1" y "bit 0" respectivamente. La duración de tiempo finito de cada bit se denomina período de bits T y es la velocidad de bits. Mediante el uso de una versión de caso discreto de la Ec. 3.1, la entropía de la información de un mensaje binario es: .[2]

$$H(X) = -p(1) \cdot \log_2(p(1)) - p(0) \cdot \log_2(p(0)) \quad (3.1)$$

donde:

- $H(X)$: **Entropía** de la fuente aleatoria X , medida en **bits por símbolo**.
- $p(1)$: probabilidad de que el símbolo emitido sea un **1**.
- $p(0)$: probabilidad de que el símbolo emitido sea un **0**.
- \log_2 : logaritmo en base 2, porque la entropía se mide en bits.

Forma de onda.

Representación gráfica de una señal en forma de onda. Puede tener forma tanto sinusoidal como cuadrada, según el tipo de entrada generadora de ondas. Hay dos tipos de ondas mecánicas: ondas longitudinales y ondas transversales. Una onda longitudinal es aquella donde todas las partículas del medio vibran en la misma dirección que la onda.. En el caso de una onda transversal, todas las partículas del medio vibran perpendicularmente en ángulo recto, hacia arriba y hacia abajo, y continúan moviéndose en la dirección de la onda. [3]

Función Singular.

Las funciones singulares son funciones que son discontinuas o que tienen derivadas discontinuas. La función escalón unitario y la función impulso unitario son funciones discontinuas y pueden ser una función de la frecuencia. La función escalón unitario es una función singular porque es discontinua para algún valor de t . [4]

Forma de onda.

La forma de onda describe la forma de un ciclo de voltaje o corriente. La corriente puede generarse como una corriente alterna (CA), donde la dirección del flujo de corriente alterna alrededor de cero con dirección positiva y negativa (bipolar; Figura 7a, c, e, f). Alternativamente, una corriente continua (CC) fluye en una sola dirección (unipolar), ya sea positiva o negativa (Figura 7b, d). Las corrientes CC suelen ser pulsadas (pCC), lo que significa que la corriente se apaga (amplitud cero) durante una proporción del tiempo del ciclo. La forma de onda resultante puede expresarse mediante la relación marca:espacio (donde la marca es el tiempo en que la corriente está "activada" y el espacio es el tiempo en que la corriente está "desactivada", es decir, en cero). Una descripción alternativa de esto es el ciclo de trabajo, donde la duración de la marca se expresa como un porcentaje de la duración del tiempo del ciclo. [5]

Escalón unitario $u(t)$.

Una función de paso unitario es una función matemática que se enciende en el tiempo $t=0$ y está representada por los valores 1 para $t \geq 0$ y 0 para $t < 0$. Se utiliza comúnmente en la informática para representar un interruptor idealizado y se puede multiplicar por otras funciones para encenderlas en $t=0$. [6]

Rampa ($r(t)=t \cdot u(t)$).

El término “función rampa” se debe a la forma de su representación gráfica. La función Rampa es una función elemental real de un sólo argumento, continua y diferenciable en todo su dominio excepto en un punto (inicio de la rama) fácilmente computable a partir de la función mínimo o la función valor absoluto. [7]

Impulso unitario ($\delta(t)$).

El impulso unitario se define como una función del tiempo (1), la cual es nula cuando su argumento, generalmente x , es menor que cero y también cuando es mayor que cero, es infinita cuando su argumento es cero y su área es la unidad.[8]

PWM (Modulación por Ancho de Pulso).

La modulación por ancho de pulsos o PWM (Pulse Width Modulation) es una técnica que se basa en, dada una señal de referencia (señal sinusoidal por ejemplo), modular una segunda señal (señal triangular por ejemplo), para tener una señal cuadrada de anchura variable en función de las dos señales anteriores.[9]

Transformada Rápida de Fourier (FFT).

La "Transformación rápida de Fourier", FFT para abreviar, es un importante método de medición en la tecnología de medición de audio y acústica. Descompone una señal en sus componentes espectrales individuales y así proporciona información sobre su composición. Los FFT se utilizan para el análisis de errores, el control de calidad y la monitorización de las

condiciones de las máquinas o sistemas. Este artículo explica el cálculo del FFT, los parámetros relevantes y sus efectos en el resultado de la medición..

Estrictamente hablando, la FFT es un algoritmo optimizado para implementar la "Transformación Discreta de Fourier", o DFT para abreviar. En este proceso, una sección limitada en el tiempo de una señal se descompone en sus componentes. Estos componentes son oscilaciones sinusoidales simples a frecuencias discretas, cuya amplitud y fase están determinadas. El FFT permite así la vista de una señal en el dominio de la frecuencia. [10]

Análisis espectral.

El análisis espectral tiene por objeto descomponer una serie de tiempo estacionaria en una suma, posiblemente infinita, de componentes senoidales de diversas frecuencias y amplitudes. Las frecuencias más significativas sirven para explicar ciclos económicos, estacionalidad o características estadísticas generales del proceso aleatorio. Aunque contiene la misma información que el análisis en el dominio del tiempo, el análisis en el dominio de la frecuencia puede facilitar la intuición. [11]

Señal periódica.

Una señal periódica continua tiene la propiedad que su valor se repite luego de un desplazamiento de tiempo T . El valor de T es conocido como el «periodo de la señal» que es el tiempo en el que se vuelve a repetir la forma de onda a partir de un punto de referencia. [12]

Señal por tramos.

Una señal por tramos, también conocida como señal definida a tramos, es una función matemática que se define de forma diferente en diferentes intervalos de su dominio. En otras

palabras, la señal tiene diferentes expresiones matemáticas en distintos "tramos" o intervalos de su variable independiente, generalmente el tiempo. [13]

Representación discreta de señales.

Las señales de tiempo discreto son funciones definidas en los números enteros; son secuencias. Uno de los resultados fundamentales de la teoría de la señal detallará las condiciones bajo las cuales una señal analógica puede convertirse en una de tiempo discreto y recuperarse sin error. Este resultado es importante porque las señales de tiempo discreto pueden ser manipuladas por sistemas instanciados como programas informáticos. Los módulos posteriores describen cómo prácticamente todo el procesamiento de señales analógicas se puede realizar con software. [14]

Distorsión.

Es cualquier cambio en una señal que altera su forma de onda básica (en el dominio del tiempo) o bien, altera la relación entre sus componentes espectrales (dominio de la frecuencia). La distorsión puede ser del tipo lineal o del tipo no lineal. [15]

Frecuencia fundamental.

La frecuencia fundamental se refiere a la frecuencia más baja generada a partir de una tabla de ondas con un número determinado de entradas. Puede modificarse modificando la duración efectiva del período básico o la frecuencia de muestreo. [16]

Ancho de banda.

El ancho de banda de red es una medida que indica la capacidad máxima de un enlace de comunicaciones cableado o inalámbrico para transmitir datos a través de una conexión de red en un determinado cantidad de tiempo. Normalmente, el ancho de banda se representa en el número de bits, kilobits, megabits o gigabits que se pueden transmitir en 1 segundo. Sinónimo de capacidad, el ancho de banda describe la [velocidad de transferencia de datos](#). [17]

Muestreo.

El muestreo es el proceso mediante el cual ciertos individuos son seleccionados de una población que es objeto de análisis. Es necesario porque las poblaciones pueden ser demasiado grandes y no es viable (económica y materialmente hablando) recolectar datos de todos los individuos (como se mencionó). El objetivo es que la [muestra sea representativa](#). Es decir, sus indicadores, tales como edad media, ingreso medio, porcentaje de hombres y mujeres, entre otros, deben ser los mismos o muy similares a los de la población. [18]

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente laboratorio se procedió a construir tres formas de onda digitales usando funciones singulares. Cada forma de onda se analiza en dos etapas: su formulación teórica y la simulación realizada mediante una interfaz gráfica en Python.

- 1era Forma de Onda: La primera forma de onda fue construida empleando la función **escalón unitario** $u(t)$. Esta función permite modelar transiciones abruptas entre niveles binarios, ideal para representar señales digitales por tramos.

La señal se definió utilizando una combinación de funciones senoidales y polinomios multiplicados por ventanas activadas con funciones escalón, lo que permite delimitar segmentos específicos de la onda.

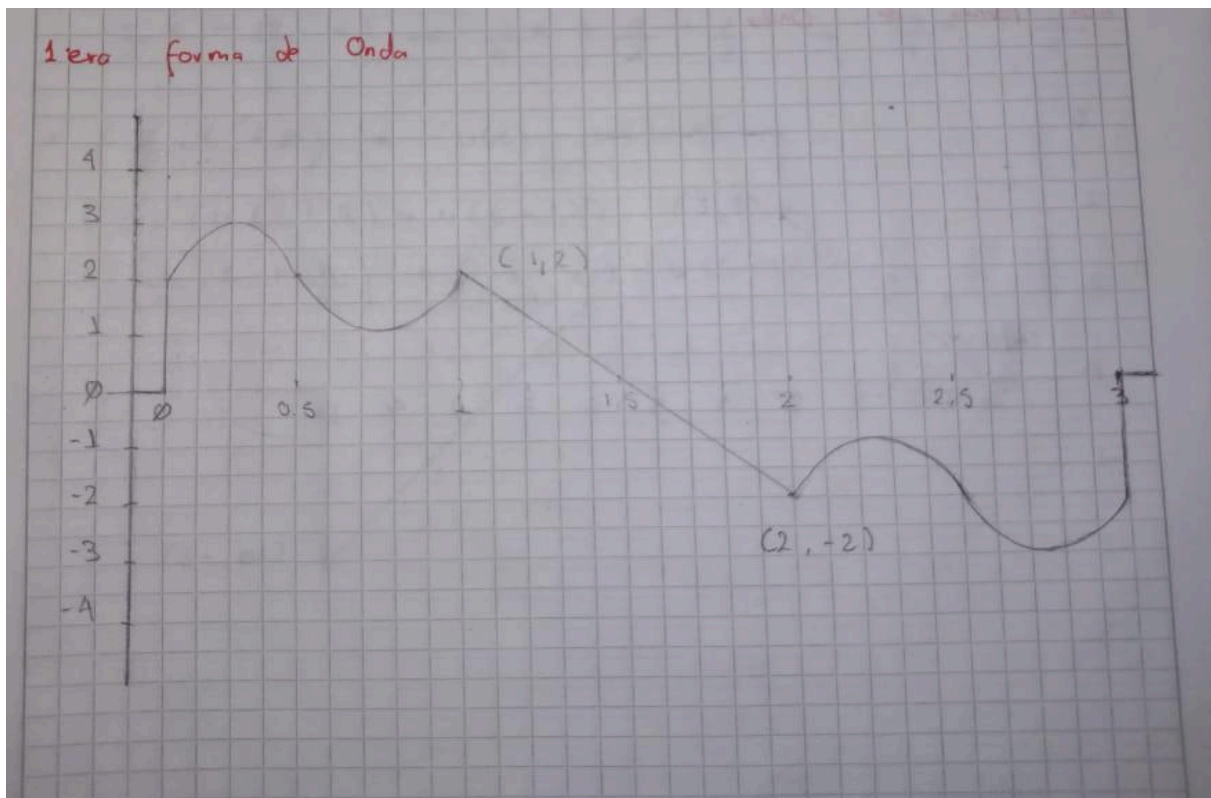


Fig 1. Representación gráfica a mano de la primera forma de onda, se observa una señal segmentada definida por puntos clave y comportamientos distintos por tramo.

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{-2-2}{2-1} \rightarrow \frac{-4}{1} \rightarrow -4 \\
 y &= m(x-x_1) + y_1 \rightarrow -4(x-1) + 2 \\
 &\quad -4x + 4 + 2 \rightarrow -4x + 6 \\
 &= \sin(2\pi \cdot \frac{1}{4} \cdot t) + 2 * (u(t) - u(t-1)) \\
 &\quad + (-4 \cdot t + 6) * (u(t-1) - u(t-2)) \\
 &\quad + \sin(2\pi \cdot \frac{1}{4} \cdot t) - 2 * (u(t-2) - u(t-3))
 \end{aligned}$$

Fig 2. Desarrollo matemático detallado de la señal por tramos, mostrando la pendiente, los tramos definidos, y la forma de representar la señal como suma de funciones activadas por escalón.

Utilizando Python, se implementó la señal por tramos haciendo uso de numpy y matplotlib. La función $u(t)$ se implementó como una función escalón que retorna 1 si $t \geq 0$ y 0 en otro caso. Esto permitió emular las condiciones definidas en la teoría para construir una señal idéntica a la propuesta a mano.

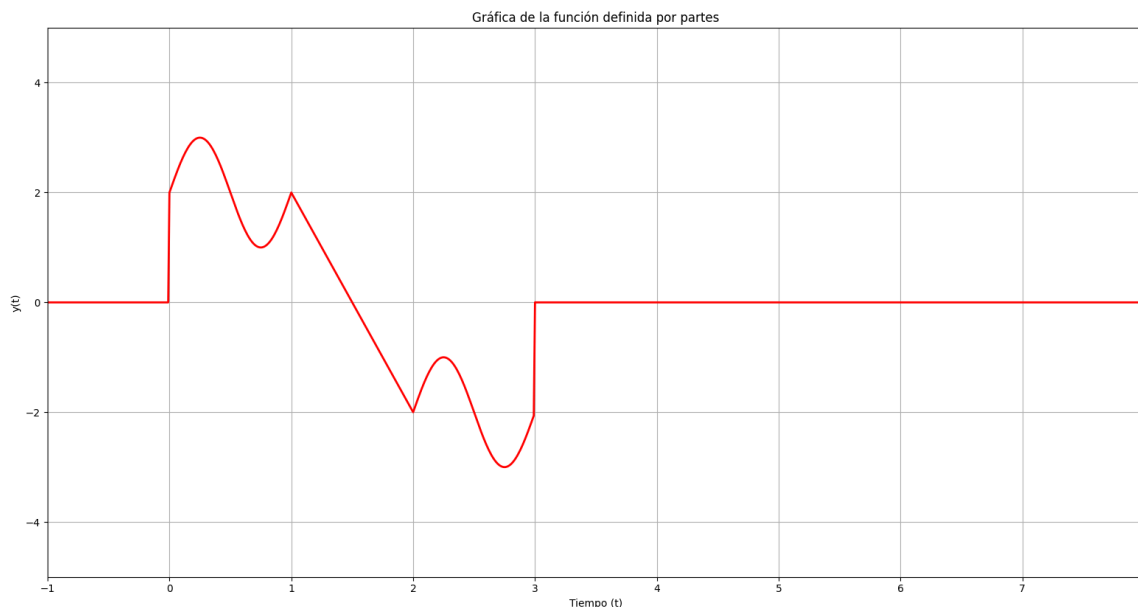


Fig 3. Gráfica generada mediante Python que representa la señal por tramos, confirmando la continuidad y los tramos establecidos en la formulación teórica.

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  # Definir la función escalón unitario
5  def u(t):
6      return np.where(t >= 0, 1, 0)
7
8  # Rango de tiempo
9  t = np.arange(-2, 10.01, 0.01)
10
11 # Definir la función por partes
12 y = (2 + np.sin(2 * np.pi * t)) * (u(t) - u(t - 1)) \
13     + (-4 * t + 6) * (u(t - 1) - u(t - 2)) \
14     + (-2 + np.sin(2 * np.pi * t)) * (u(t - 2) - u(t - 3))
15
16 # Graficar
17 plt.plot(t, y, 'r', linewidth=2)
18 plt.axis([-1, 8, -5, 5])
19 plt.grid(True)
20 plt.xlabel('Tiempo (t)')
21 plt.ylabel('y(t)')
22 plt.title('Gráfica de la función definida por partes')
23 plt.show()
24

```

Fig 4. Fragmento de código Python utilizado para generar la señal. Se observa la definición de la función escalón, el dominio de tiempo y la construcción de la señal pieza por pieza.



Fig . Gráfica generada.

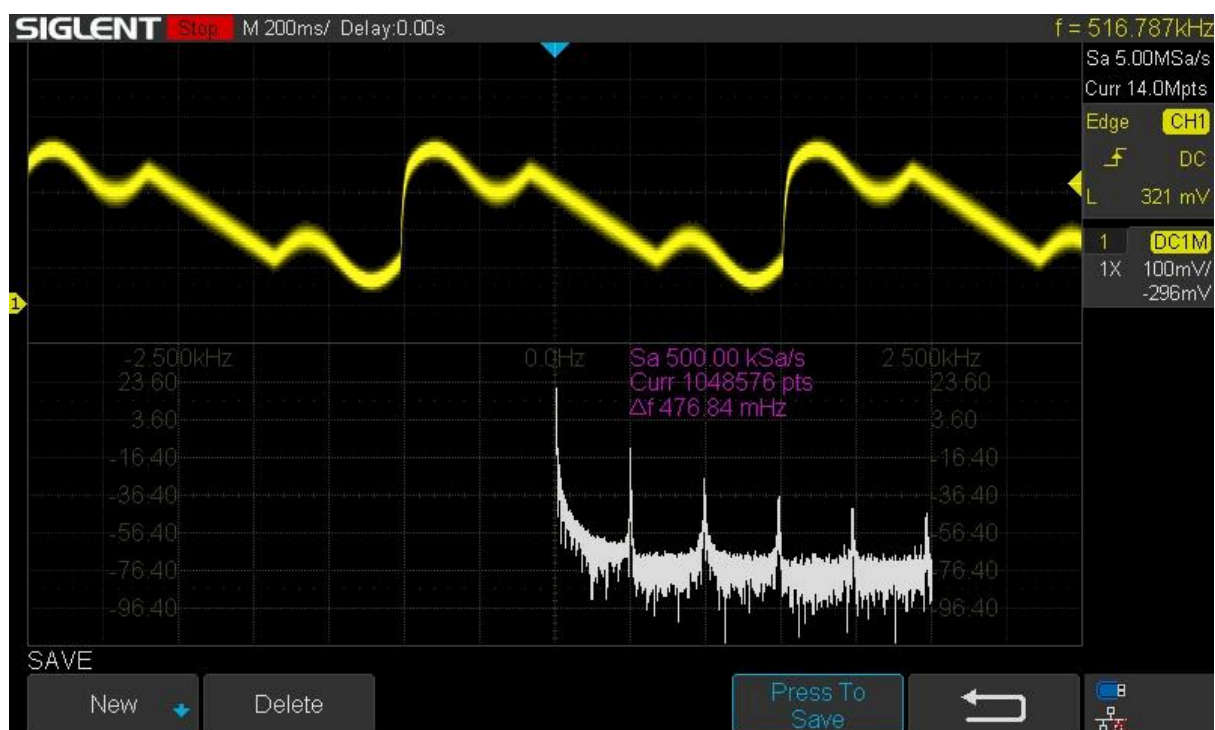


Fig . Gráfica generada.

```

1 // Definición de pines
2 const int pwmPin = 9; // Puedes usar cualquier pin PWM
3
4 // Parámetros de la señal
5 const int numPoints = 2800; // Número de muestras
6 const float t_max = 3.0; // Tiempo máximo (3 segundos como en tu ecuación)
7 const float dt = t_max / numPoints; // Incremento de tiempo
8
9 // Arreglo para guardar la señal
10 byte signal[numPoints];
11
12 void setup() {
13     // Inicialización
14     pinMode(pwmPin, OUTPUT);
15
16     // Generar los valores de la señal
17     for (int i = 0; i < numPoints; i++) {
18         float t = i * dt;
19         float y = 0;
20
21         // Evaluar la función por tramos
22         if (t >= 0 && t < 1) {
23             y = 2 + sin(2 * PI * t);
24         }
25         else if (t >= 1 && t < 2) {
26             y = -4 * t + 6;
27         }
28         else if (t >= 2 && t < 3) {
29             y = -2 + sin(2 * PI * t);
30         }
31
32         y = y + 4; // Corrimiento para hacerla toda positiva
33
34         // Normalizar de 0-8 a 0-255 (porque máximo y = 8)
35         int pwm_value = map(y * 100, 0, 800, 0, 255);
36
37         // Guardarlo en el array
38         signal[i] = constrain(pwm_value, 0, 255);
39     }
40 }
41
42 void loop() {
43     // Reproducir la señal periódicamente
44     for (int i = 0; i < numPoints; i++) {
45         analogWrite(pwmPin, signal[i]);
46         delayMicroseconds(500); // Ajusta el tiempo para controlar la frecuencia
47     }
48 }

```

- 2da Forma de Onda: La segunda forma de onda fue diseñada empleando una combinación de segmentos lineales, modelados mediante funciones escalón $u(t)$, para construir una señal compuesta por tramos rectos ascendentes, constantes y descendentes.

Se parte desde el punto (0,0), ascendiendo linealmente hasta (2,3), luego manteniéndose constante hasta (6,3), y finalmente descendiendo hasta (10,-2). Esta construcción se hace mediante el uso de ecuaciones de recta para cada tramo, activadas mediante funciones escalón para delimitar el inicio y fin de cada componente.

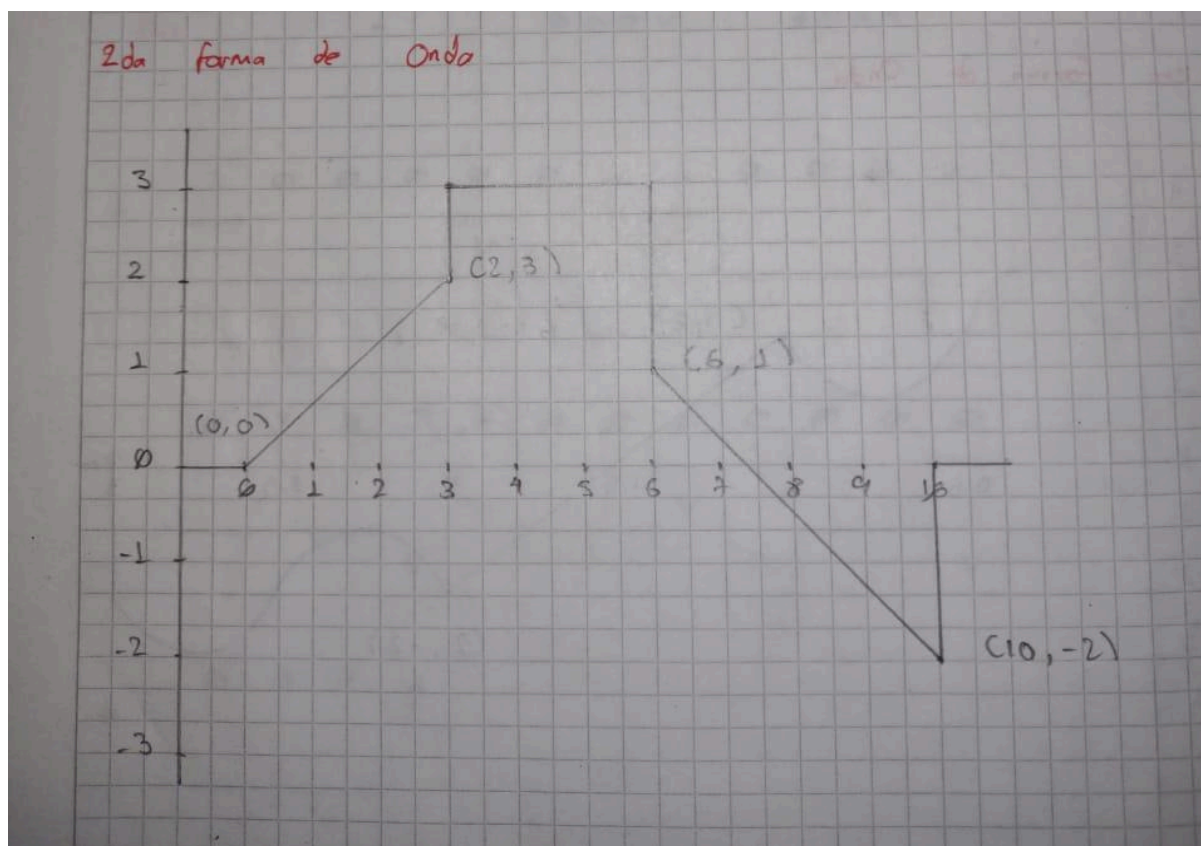


Fig 5. Representación gráfica a mano de la segunda forma de onda con sus puntos característicos y tramos definidos por secciones rectas.

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{3-0}{2-0} \rightarrow \frac{3}{2} \\
 y &= m(x-x_1) + y_1 \rightarrow \frac{3}{2}(x-0) + 0 \\
 &\quad \frac{3}{2}x + 0 \\
 m &= \frac{-2-1}{10-6} \rightarrow \frac{-3}{4} \\
 y &= m(x-x_1) + y_1 \rightarrow \frac{-3}{4}(x-6) + 1 \\
 &\quad \frac{-3}{4}x + \frac{18}{4} + 1 \rightarrow \frac{-3}{4}x + \frac{9}{2} + \frac{2}{2} \rightarrow \frac{-3}{4}x + \frac{11}{2} \\
 &\bullet \left(\frac{3}{2} \cdot t + 0 \right) * (u(t) - u(t-3)) \\
 &\quad + 3 * (u(t-3) - u(t-6)) \\
 &\quad + \left(\frac{-3}{4} \cdot t + \frac{11}{2} \right) * (u(t-6) - u(t-10))
 \end{aligned}$$

Fig 6. Desarrollo matemático por tramos, donde se obtienen las ecuaciones lineales para cada segmento y se combinan con funciones escalón para componer la señal completa.

La implementación se realizó en Python utilizando numpy y matplotlib. Se definió la función escalón $u(t)$ como una función lógica, y luego se creó la señal sumando los tres tramos descritos, cada uno activado dentro de su intervalo correspondiente.

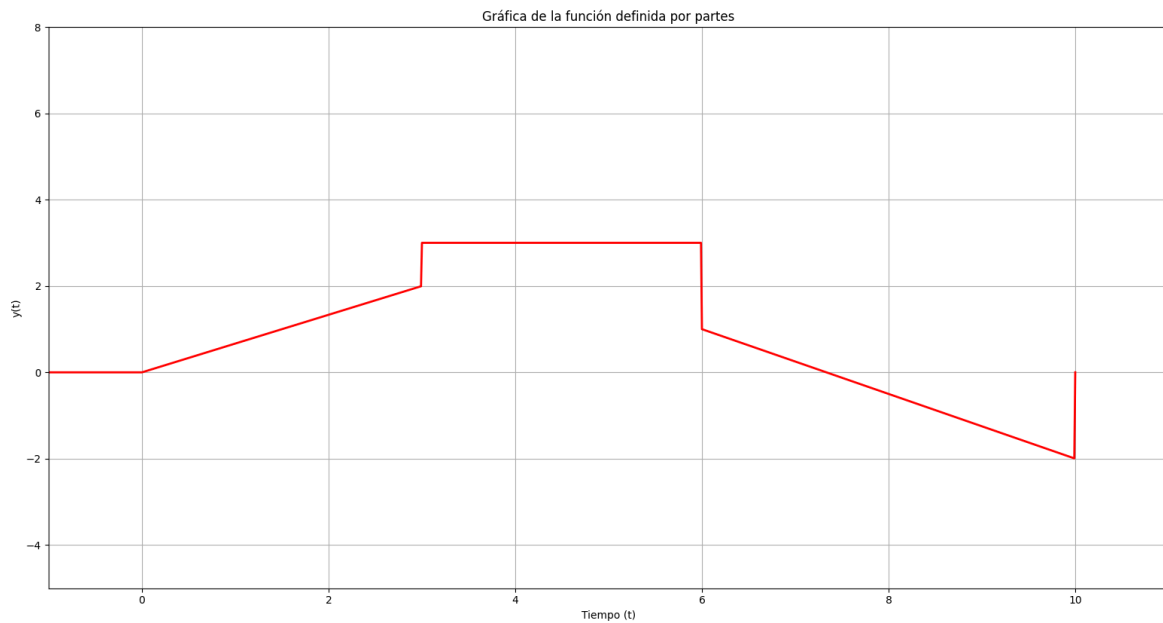


Figura 7. Gráfica generada mediante Python que representa con precisión la señal por tramos descrita, confirmando la validez de la formulación teórica.

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  # Definir la función escalón unitario
5  def u(t):
6      return np.where(t >= 0, 1, 0)
7
8  # Rango de tiempo
9  t = np.arange(-2, 10.01, 0.01)
10
11 # Definir la función por partes
12 y = (2/3*t)*(u(t)-u(t-3))+(3)*(u(t-3)-u(t-6))+(-(3/4)*t+11/2)*(u(t-6)-u(t-10))
13
14 # Graficar
15 plt.plot(t, y, 'r', linewidth=2)
16 plt.axis([-1, 11, -5, 8])
17 plt.grid(True)
18 plt.xlabel('Tiempo (t)')
19 plt.ylabel('y(t)')
20 plt.title('Gráfica de la función definida por partes')
21 plt.show()
22

```

Figura 8. Código fuente en Python donde se define la señal por tramos utilizando ecuaciones lineales multiplicadas por ventanas generadas con funciones escalón.



Fig . Gráfica generada.

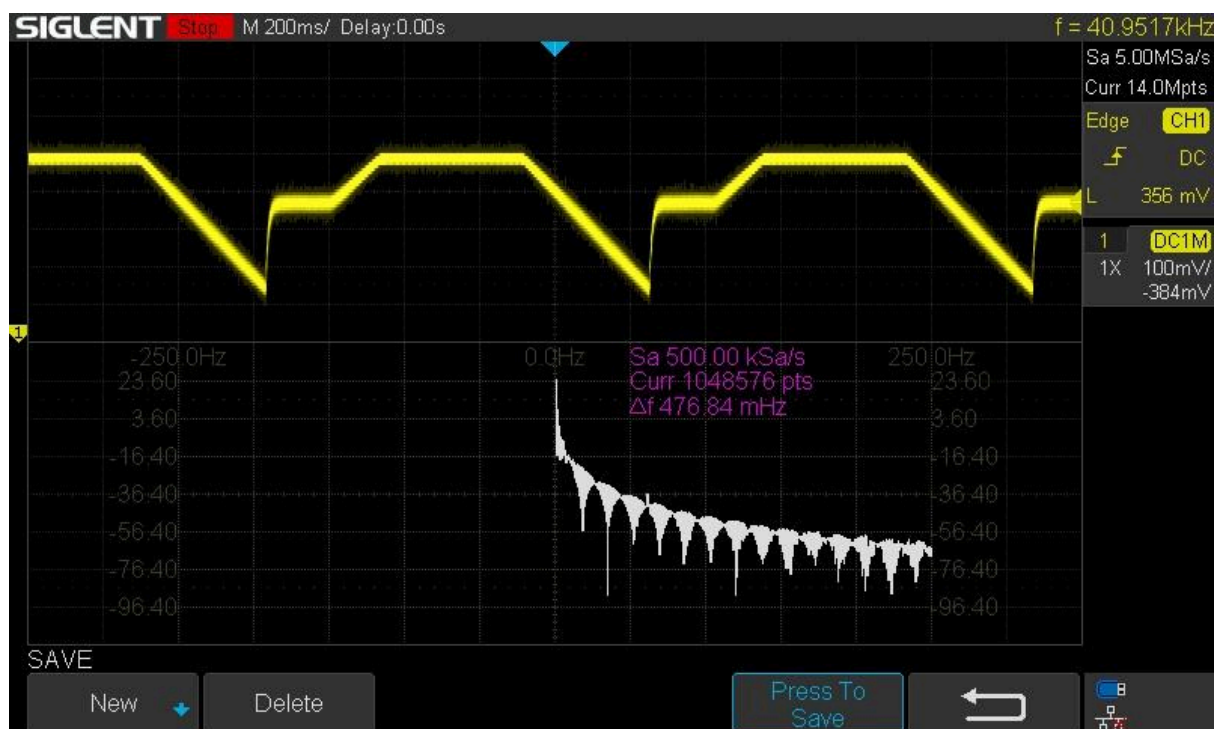


Fig . Gráfica generada.

```

1 // Definición de pines
2 const int pwmPin = 9;
3
4 // Parámetros de la señal
5 const int numPoints = 2800;
6 const float t_max = 12;
7 const float dt = t_max / numPoints;
8
9 // Arreglo para guardar la señal
10 byte signal[numPoints];
11
12 void setup() {
13     // Inicialización
14     pinMode(pwmPin, OUTPUT);
15
16     // Generar los valores de la señal
17     for (int i = 0; i < numPoints; i++) {
18         float t = i * dt;
19         float y = 0;
20
21         if (t >= 0 && t < 3) {
22             y = (2.0/3.0) * t;
23         }
24         else if (t >= 3 && t <= 6) {
25             y = 3.0;
26         }
27         else if (t > 6 && t < 10) {
28             y = -(3.0/4.0)*t + 11.0/2.0;
29         }
30         else {
31             y = 0;
32         }
33
34         y=y+3;
35
36         // Normalizar (rango máximo aproximado entre 0 y 3 o 4)
37         int pwm_value = map(y * 100, 0, 400, 0, 255);
38         signal[i] = constrain(pwm_value, 0, 255);
39     }
40 }
41
42 void loop() {
43     // Reproducir la señal periódicamente
44     for (int i = 0; i < numPoints; i++) {
45         analogWrite(pwmPin, signal[i]);
46         delayMicroseconds(500); // Ajusta el tiempo para controlar la frecuencia
47     }
48 }

```

- 3ra Forma de Onda: La tercera forma de onda corresponde a una **señal sinusoidal continua**, la cual representa una transición suave y periódica entre valores positivos y negativos. Esta forma es más cercana al comportamiento de señales reales transmitidas físicamente, y es útil para analizar la ocupación espectral en sistemas de transmisión.

La función base es tipo seno: $f(t)=A \cdot \sin(\omega t+\phi)$

donde A (amplitud), ω (frecuencia angular) y ϕ (desfase). Esta señal no se representa por tramos definidos con escalones como en los ejemplos anteriores, sino como una única expresión continua sobre todo el intervalo de tiempo considerado.

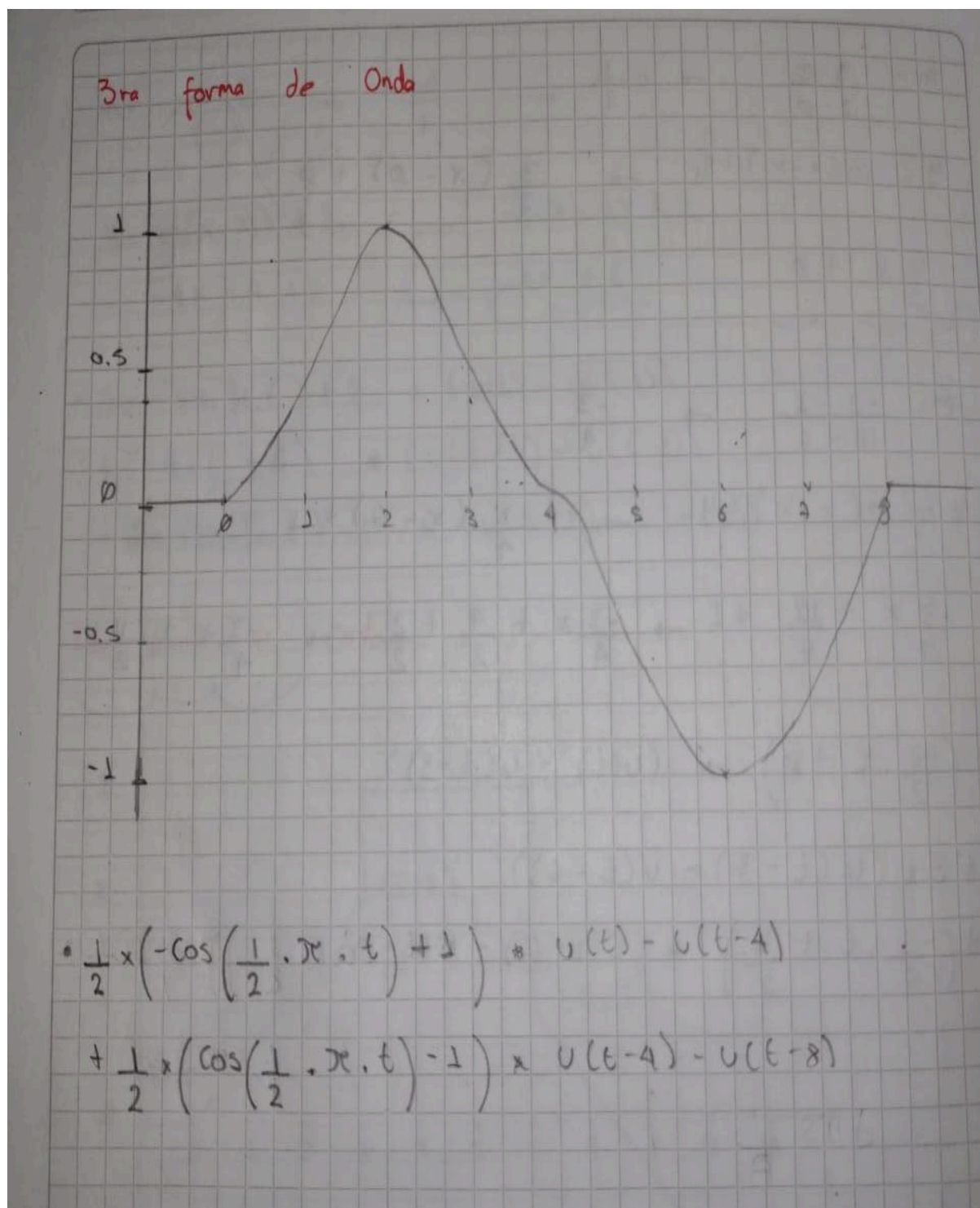


Figura 9. Representación gráfica a mano y cálculos de la tercera forma de onda, una señal sinusoidal que varía suavemente en el tiempo, cubriendo un periodo completo.

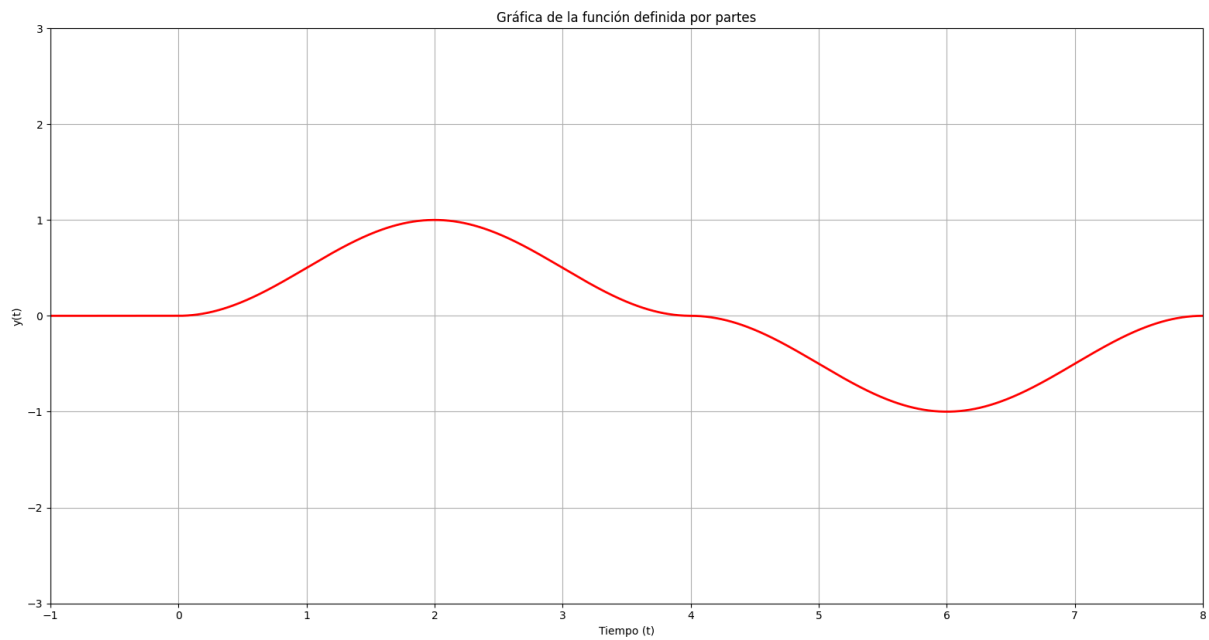


Fig 10. Gráfica generada mediante Python que representa la señal

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  # Definir la función escalón unitario
5  def u(t):
6      return np.where(t >= 0, 1, 0)
7
8  # Rango de tiempo
9  t = np.arange(-2, 10.01, 0.01)
10
11 # Definir la función por partes
12 y = 0.5*(-np.cos(0.5*np.pi*t)+1)*(u(t)-u(t-4))+0.5*(np.cos(0.5*np.pi*t)-1)*(u(t-4)-u(t-8))
13
14 # Graficar
15 plt.plot(t, y, 'r', linewidth=2)
16 plt.axis([-1, 8, -3, 3])
17 plt.grid(True)
18 plt.xlabel('Tiempo (t)')
19 plt.ylabel('y(t)')
20 plt.title('Gráfica de la función definida por partes')
21 plt.show()
22

```

Figura 11. Código fuente en Python donde se define la señal.

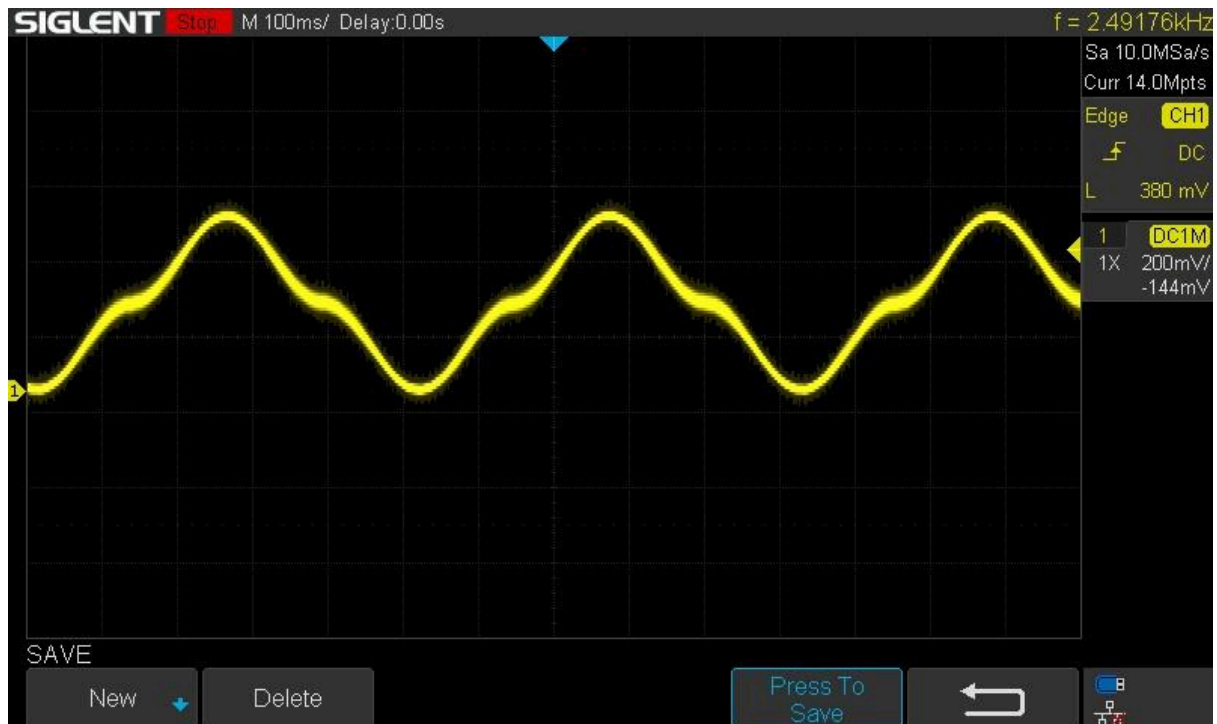


Fig . Gráfica generada.

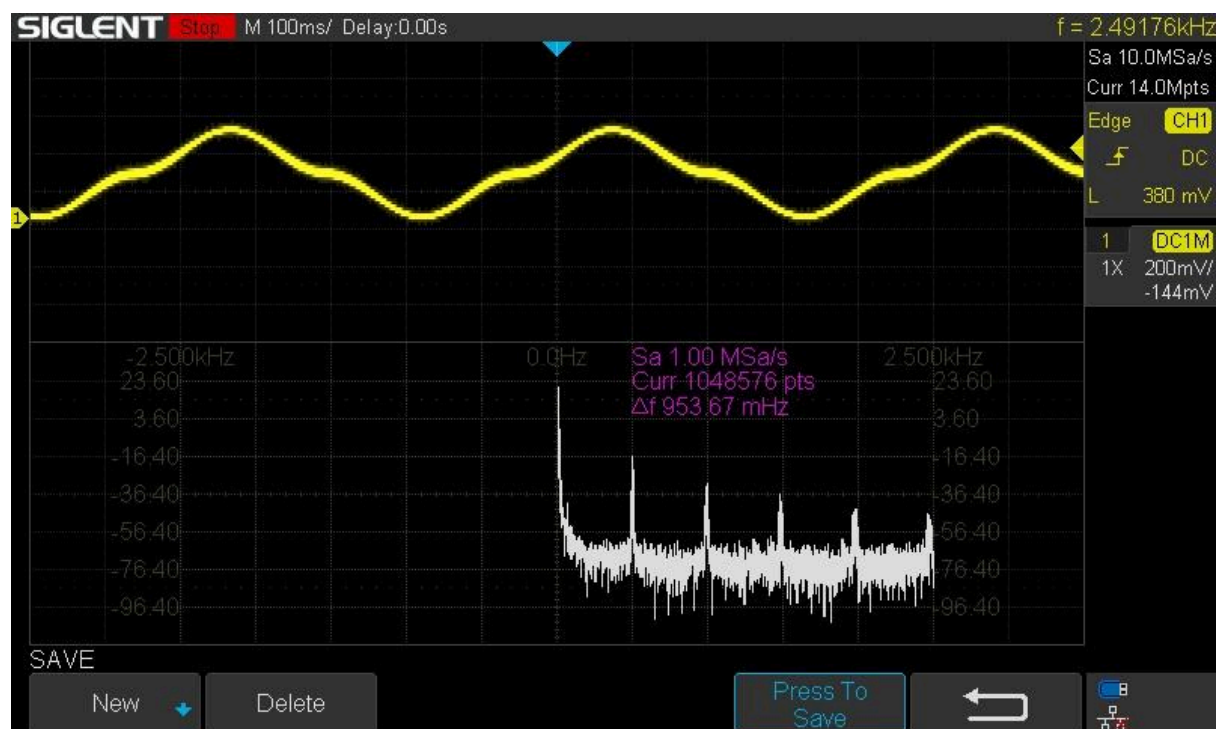


Fig . Gráfica generada.


```

1 // Definición de pines
2 const int pwmPin = 9; // Puedes usar cualquier pin PWM
3
4 // Parámetros de la señal
5 const int numPoints = 1000; // Número de muestras
6 const float t_max = 8; // Tiempo máximo (3 segundos como en tu ecuación)
7 const float dt = t_max / numPoints; // Incremento de tiempo
8
9 // Arreglo para guardar la señal
10 byte signal[numPoints];
11
12 void setup() {
13     // Inicialización
14     pinMode(pwmPin, OUTPUT);
15
16     // Generar los valores de la señal
17     for (int i = 0; i < numPoints; i++) {
18         float t = i * dt;
19         float g = 0;
20
21         if (t >= 0 && t < 4) {
22             g = -cos(0.5 * PI * t) + 1;
23         }
24         else if (t >= 4 && t < 8) {
25             g = cos(0.5 * PI * t) - 1;
26         }
27         else {
28             g = 0;
29         }
30
31         // Escalar g(t) de -2 a 2 a 0-255 para PWM
32         int pwm_value = map(g * 1000, -2000, 2000, 0, 255);
33         signal[i] = constrain(pwm_value, 0, 255);
34     }
35 }
36
37 void loop() {
38     // Reproducir la señal periódicamente
39     for (int i = 0; i < numPoints; i++) {
40         analogWrite(pwmPin, signal[i]);
41         delayMicroseconds(500); // Ajusta el tiempo para controlar la frecuencia
42     }
43 }

```

Conclusiones

1.

REFERENCIAS

- [1]. Onda. [Onda - Wikipedia, la enciclopedia libre](#) (27 mar 2025)
- [2]. CONCEPTOS BÁSICOS DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS DIGITALES INCOHERENTES Y COHERENTES. [SECUENCIA BINARIA: UNA DESCRIPCIÓN GENERAL | TEMAS DE SCIENCE DIRECT](#) (abr 2016)
- [3] “FORMA DE ONDA: SIGNIFICADO, PARTES Y DIAGRAMA,” *ESTUDIANDO.COM*, [HTTPS://ESTUDIANDO.COM/FORMA-DE-ONDA-SIGNIFICADO-PARTES-Y-DIAGRAMA/](https://estudiando.com/forma-de-onda-significado-partes-y-diagrama/) (ACCEDIDO EL 21 DE ABRIL DE 2025).
- [4] “LA FUNCIÓN ESCALÓN UNITARIO,” *ANÁLISIS DE CIRCUITOS I*, WORDPRESS, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://ANALISISDECIRCUITOS1.WORDPRESS.COM/PARTE-2-CIRCUITOS-EN-ESTADO-TRANSITORIO/CAPITULO-38-LA-FUNCION-ESCALON-UNITARIO/](https://analisisdecircuitos1.wordpress.com/parte-2-circuitos-en-estado-transitorio/capitulo-38-la-funcion-escalon-unitario/). [ACCEDIDO: 30-ABR-2025].
- [5] HSA, “WAVEFORM & FREQUENCY,” *HEALTH AND SAFETY AUTHORITY*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://WWW-HSA-ORG-UK.TRANSLATE.GOOG/OPERATING-AN-ELECTRICAL-WATERBATH/WAVEFORM--FREQUENCY?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc](https://www-hsa-org-uk.translate.goog/operating-an-electrical-waterbath/waveform--frequency?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].
- [6] “UNIT STEP FUNCTION,” *SCIENCE DIRECT TOPICS*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/TOPICS/COMPUTER-SCIENCE/UNIT-STEP-FUNCTION](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/unit-step-function). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].
- [7] “FUNCIÓN RAMPA - NOTA 7,” *STUDOCU*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://WWW.STUDOCU.COM/CO/DOCUMENT/UNIVERSIDAD-CATOLICA-DE-COLOMBIA/ECUACIONES-DIFERENCIALES/FUNCION-RAMPA-NOTA-7/5903738](https://www.studocu.com/co/document/universidad-catolica-de-colombia/ecuaciones-diferenciales/funcion-rampa-nota-7/5903738). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].
- [8] R. URRUTIA CÁRDENAS, “APLICACIÓN DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER PARA EL ANÁLISIS ESPECTRAL DE SEÑALES PERIÓDICAS Y NO PERIÓDICAS,” *TRILOGÍA*, VOL. 24, NO. 34, PP. 183–192, 2015. [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://TRILOGIA.UTEM.CL/WP-CONTENT/UPLOADS/SITES/9/2018/01/ARTICULO15_TRILOGIA_VOL24N34.PDF](https://trilogia.utem.cl/wp-content/uploads/sites/9/2018/01/articulo15_trilogia_vol24n34.pdf). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].
- [9] “MODULACIÓN POR ANCHURA DE PULSOS (PWM),” *UNIVERSIDAD DE SEVILLA – ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://BIBLUS.US.ES/BIBING/PROYECTOS/USE/ABREPROY/10756/FICHERO/MEMORIA+DESCRIPTIVA.+TOMO+I%252F4+MODULACI%C3%B3N+POR+ANCHURA+DE+PULSOS+%28PWM%29.PDF](https://biblus.us.es/bibing/proyectos/use/abreproy/10756/fichero/MEMORIA+DESCRIPTIVA.+TOMO+I%252F4+MODULACI%C3%B3N+POR+ANCHURA+DE+PULSOS+%28PWM%29.PDF). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].
- [10] “TRANSFORMACIÓN RÁPIDA DE FOURIER (FFT),” *NTI AUDIO*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://WWW.NTI-AUDIO.COM/ES/SERVICIO/CONOCIMIENTOS/TRANSFORMACION-RAPIDA-DE-FOURIER-FFT](https://www.nti-audio.com/es/servicio/conocimientos/transformacion-rapida-de-fourier-fft). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].
- [11] A. R. HAMBLEY, “COMMUNICATION SYSTEMS,” *CORE*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://CORE.AC.UK/DOWNLOAD/PDF/6448967.PDF](https://core.ac.uk/download/pdf/6448967.pdf). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].

[12] “SEÑALES PERIÓDICAS Y NO PERIÓDICAS,” *BLOG ESPOL – TELG1001*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://BLOG.ESPOL.EDU.EC/TELG1001/SENALES-PERIODICAS-Y-NO-PERIODICAS/](https://blog.espol.edu.ec/TELG1001/SENALES-PERIODICAS-Y-NO-PERIODICAS/). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].

[13] “GRAFICACIÓN DE SEÑALES SINGULARES,” *UDEASYTES – CLASES DE ECUACIONES*, WORDPRESS, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://UDEASYTES.WORDPRESS.COM/ECUACIONES/CLASES/SEMANA-9-INTRODUCCION-A-SLI-Y-TRANSFORMADA-DE-LAPLACE/GRAFICACION-DE-SENALES-SINGULARES/](https://udeasytes.wordpress.com/ecuaciones/clases/semana-9-introduccion-a-sli-y-transformada-de-laplace/graficacion-de-senales-singulares/). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].

[14] FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA, “SEÑALES EN TIEMPO DISCRETO – TEOREMA DE MUESTREO,” *UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE: [HTTPS://WWW.FCEIA.UNR.EDU.AR/TESYS/HTML/SENALES_TD_TEOREMA_MUESTREO_BW.PDF](https://www.fceia.unr.edu.ar/tesys/html/senales_TD_TEOREMA_MUESTREO_BW.PDF) [ACCEDIDO: 1-MAY-2025].

ESTE DOCUMENTO ES PARTE DEL MATERIAL DE ESTUDIO DE LA ASIGNATURA “SISTEMAS Y SEÑALES I” Y ABORDA CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE SEÑALES EN TIEMPO DISCRETO Y EL TEOREMA DE MUESTREO.

[15] “SEÑALES DE TIEMPO DISCRETO,” *LIBRETEXTS EN ESPAÑOL – INGENIERÍA ELÉCTRICA*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://ESPANOL.LIBRETEXTS.ORG/INGENIERIA/INGENIERIA_ELECTRICA_\(JOHNSON\)/02%3A_SE%3%B1ALES_Y_SISTEMAS/2.04%3A_SE%3%B1ALES_DE_TIEMPO_DISCRETO](https://espanol.libretexts.org/INGENIERIA/INGENIERIA_ELECTRICA_(JOHNSON)/02%3A_SE%3%B1ALES_Y_SISTEMAS/2.04%3A_SE%3%B1ALES_DE_TIEMPO_DISCRETO). [ACCEDIDO: 01-MAY-2025].

[16] SCIENCE DIRECT, “FRECUENCIA FUNDAMENTAL,” *SCIENCE DIRECT TOPICS*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE: [HTTPS://WWW-SCIENCEDIRECT-COM.TRANSLATE.GOOG/TOPICS/COMPUTER-SCIENCE/FUNDAMENTAL-FREQUENCY? X_TR_SL=EN& X_TR_TL=ES& X_TR_HL=ES& X_TR_PTO=TC](https://www.sciencedirect-com.translate.goog/topics/computer-science/fundamental-frequency?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc) [ACCEDIDO: 1-MAY-2025].

[17] WHATSUP GOLD, “¿QUÉ ES EL ANCHO DE BANDA DE LA RED? CÓMO MEDIR Y OPTIMIZAR EL ANCHO DE BANDA PARA FLUJOS DE TRÁFICO RÁPIDOS Y FLUIDOS,” *BLOG DE WHATSUP GOLD*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE: [HTTPS://WWW.WHATSUPGOLD.COM/ES/BLOG/QUE-ES-EL-ANCHO-DE-BANDA-DE-LA-RED-COMO-MEDIR-Y-OPTIMIZAR-EL-ANCHO-DE-BANDA-PARA-FLUJOS-DE-TRAFFIC-RAPIDOS-Y-FLUIDOS](https://www.whatsupgold.com/es/blog/que-es-el-ancho-de-banda-de-la-red-como-medir-y-optimizar-el-ancho-de-banda-para-flujos-de-traffic-rapidos-y-fluidos) [ACCEDIDO: 1-MAY-2025].

[18] QUESTIONPRO, “MUESTREO: QUÉ ES, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS,” *QUESTIONPRO BLOG*, [EN LÍNEA]. DISPONIBLE: [HTTPS://WWW.QUESTIONPRO.COM/BLOG/ES/MUESTREO/](https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo/) [ACCEDIDO: 1-MAY-2025].