

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

## INGENIERÍA ELECTRÓNICA



## MEDIDAS ELECTRÓNICAS I

# Trabajo Práctico de Laboratorio N°11

## ANÁLISIS DE SEÑALES CON OSCILOSCOPIOS DIGITALES

**ALUMNOS** : Carreño Marin, Sebastian 83497  
                  Juarez, Daniel 79111  
                  Torres, Heber 84640

CURSO : 4R1

**DOCENTES** : Ing. Centeno, Carlos  
Ing. Salamero, Martín  
Ing. Guanuco, Luis

# CÓRDOBA, ARGENTINA

## 6 de octubre de 2022



## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introducción</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2. Marco Teórico</b>   | <b>2</b>  |
| <b>3. Actividad Práctica</b>  | <b>2</b>  |
| 3.1. Análisis de una forma de onda cuadrada . . . . .                           | 2         |
| 3.2. Análisis de un tren de pulsos . . . . .                                    | 2         |
| 3.3. Observación de frecuencias producto del aliasing . . . . .                 | 3         |
| 3.3.1. Aliasing con señal senoidal . . . . .                                    | 3         |
| 3.3.2. Aliasing con señal cuadrada . . . . .                                    | 4         |
| 3.4. Análisis de una señal modulada en amplitud . . . . .                       | 6         |
| 3.4.1. Señal senoidal como modulante . . . . .                                  | 6         |
| 3.4.2. Señal cuadrada como modulante . . . . .                                  | 9         |
| 3.4.3. Señal triangular como modulante . . . . .                                | 10        |
| 3.5. Observación de los productos de IMD de tercer orden . . . . .              | 12        |
| 3.6. Análisis de una señal modulada en frecuencia . . . . .                     | 15        |
| 3.7. Análisis de la distorsión armónica producida por un amplificador . . . . . | 19        |
| <b>4. Conclusiones</b>  | <b>19</b> |

- 1. Introducción**
- 2. Marco Teórico**
- 3. Actividad Práctica**
  - 3.1. Análisis de una forma de onda cuadrada**
  - 3.2. Análisis de un tren de pulsos**

### 3.3. Observación de frecuencias producto del aliasing

El *aliasing* es un fenómeno que produce componentes de frecuencia falsas, es decir, que nos son propias de la señal que se desea medir. Esto, en los osciloscopios digitales, ocurre cuando la velocidad de muestreo que se utiliza es insuficiente, es decir, muy baja, para la señal que se desea medir.

Por el teorema del muestreo se sabe que la velocidad de muestreo debe ser, como mínimo, el doble de la frecuencia máxima de la señal a ser medida.

#### 3.3.1. Aliasing con señal senoidal

Con el uso de uno de los generadores se setea una señal **senoidal** de frecuencia  $f = 10 \text{ kHz}$ , y una amplitud acorde a la mitad del valor posible, ya que no es algo crítico. Luego, con el menú matemático se eligen las opciones **FFT**, **CH1**, **Hanning** y **Zoom x1**. Además, la velocidad de muestreo se setea en  $f_s = 25 \text{ kSa/s}$ . En la Figura 1 se puede observar que la señal es correctamente muestreada, ya que se logra ver su componente de frecuencia.

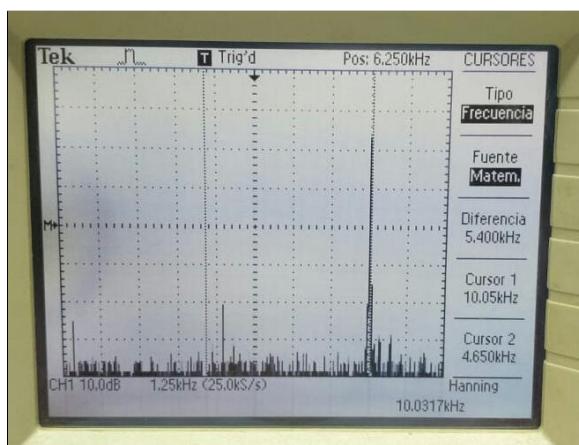


Figura 1: Espectro de señal senoidal de 10 kHz.

Ahora, se procede a cambiar la frecuencia de la señal que se desea medir, y se logra ver que a partir de la frecuencia  $f = 12,5 \text{ kHz}$  empiezan a haber frecuencias falsas. Este efecto es esperable, ya que la velocidad de muestreo elegida cumple con el teorema de muestreo solo para señales senoidales cuya frecuencia, como máximo, sea la mencionada en este párrafo.



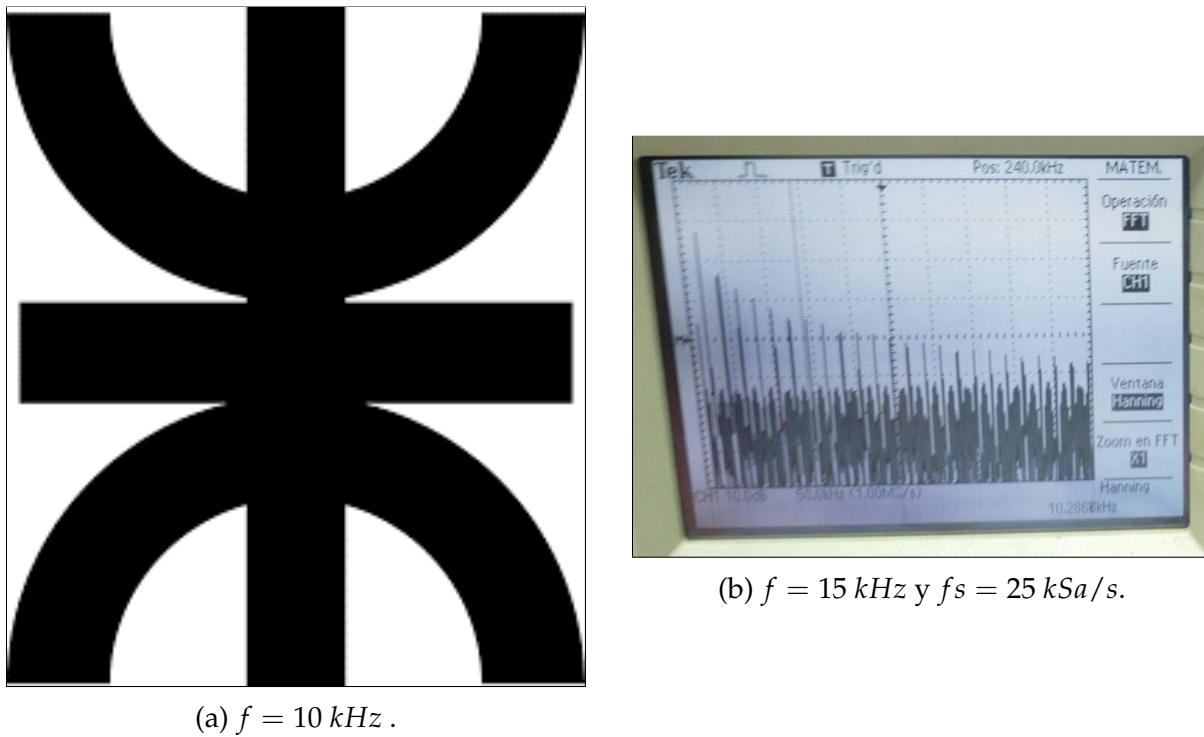
(a)  $f = 12,5 \text{ kHz}$  y  $fs = 25 \text{ kSa/s}$ .

(b)  $f = 15 \text{ kHz}$  y  $fs = 25 \text{ kSa/s}$ .

Figura 2: Espectro de señales con aliasing.

### 3.3.2. Aliasing con señal cuadrada

Se procede a hacer la misma experiencia anterior, pero con una señal cuadrada de  $f = 10\text{kHz}$ . Su forma en el tiempo y su espectro se puede ver en la Figura 3.

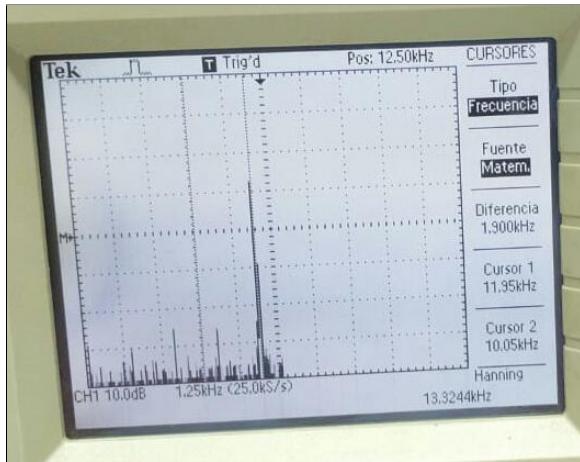


(a)  $f = 10 \text{ kHz}$ .

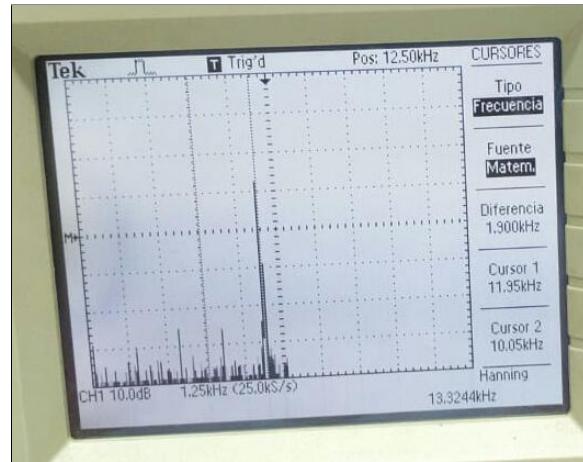
(b)  $f = 15 \text{ kHz}$  y  $fs = 25 \text{ kSa/s}$ .

Figura 3: Espectro de señales con aliasing.

Luego, se procede a aumentar la frecuencia de la señal del generador, y también se logra ver los efectos del aliasing. En la Figura 4 se muestra lo mencionado.



(a)  $f = 12,5 \text{ kHz}$  y  $fs = 25 \text{ kSa/s}$ .



(b)  $f = 15 \text{ kHz}$  y  $fs = 25 \text{ kSa/s}$ .

Figura 4: Espectro de señales con aliasing.

### 3.4. Análisis de una señal modulada en amplitud

Las señales que son moduladas en amplitud (AM) poseen un espectro característico, como el que se puede ver en la Figura 5. Mediante el espectro se puede medir frecuencia, pero también las amplitudes, de portadora y bandas laterales, lo que permite calcular el índice de modulación, el cual es un parámetro importante a tener en cuenta.

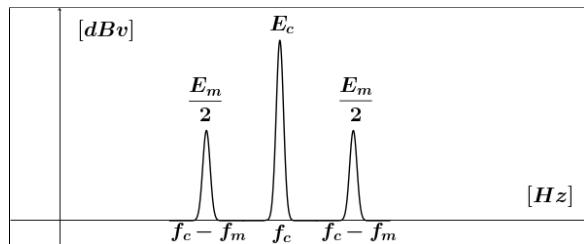


Figura 5: Ejemplo de espectro de una señal AM.

Recordando que el índice de modulación es  $m = E_m / E_c$ , y además, que el módulo matemático del osciloscopio en cuestión mide las amplitudes en dBv, entonces

$$m = \frac{E_{BLateral} \cdot 2}{E_{Portadora}} \implies m_{dB} = dBv_{BLateral} - dBv_{Portadora} + 6dB \quad (1)$$

$$\therefore m = 10^{\frac{m_{dB}}{20}} \quad (2)$$

Para poder visualizar el espectro de una señal AM se utiliza el circuito de la Figura 6. El mismo posee una circuito sintonizado o resonante, el cual está diseñado para que su frecuencia sea de  $f_0 = 50 \text{ kHz}$ .

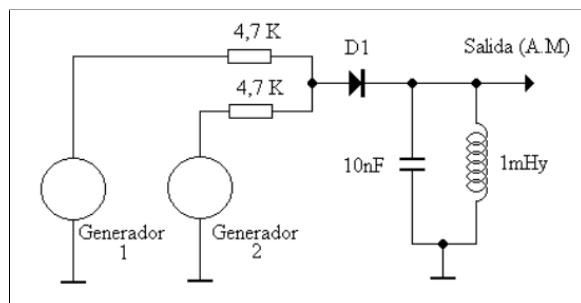
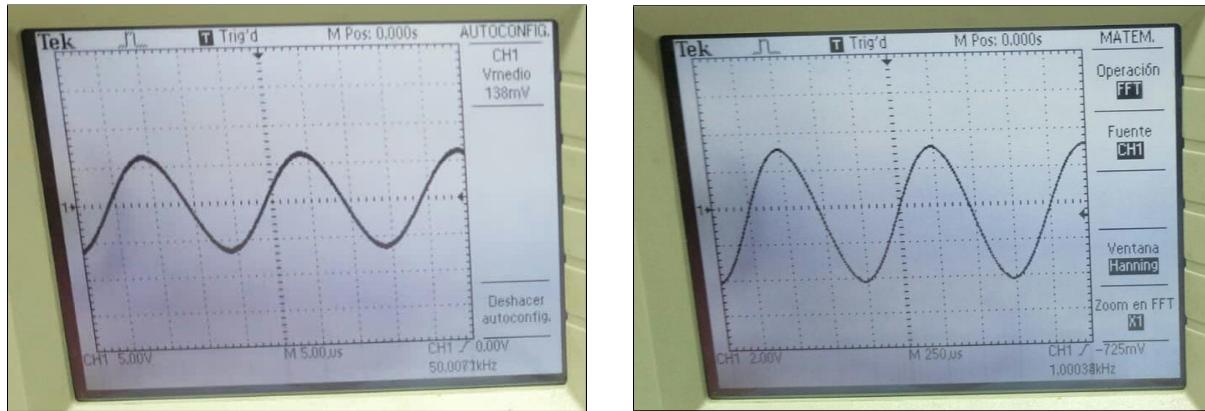


Figura 6: Circuito de modulación en amplitud.

Con el generador **G1** se inyecta una señal senoidal que actúa como **portadora** de frecuencia  $f_c = 50 \text{ kHz}$ , y con el generador **G2** se inyecta la señal **modulante** de frecuencia  $f_m = 1 \text{ kHz}$ , que puede ser senoidal, triangular o cuadrada. Las amplitudes utilizadas mantienen una relación tal que la de la portadora sea el doble que la de modulante.

#### 3.4.1. Señal senoidal como modulante

Se setea el generador G2 para que entregue una señal senoidal, que actúa como banda base. Dicha señal y la portadora se pueden ver en la Figura 7.



(a) Portadora.

(b) Banda base senoidal.

Figura 7: Señales utilizadas para modular en amplitud,

Se elige una base de tiempos de **1 ms/div** y luego, el menú del trigger se setea de la siguiente manera: **Flanco positivo, CH1, Auto, Rechazo AF**. Con todo esto, la imagen obtenida se encuentra en la Figura 8.

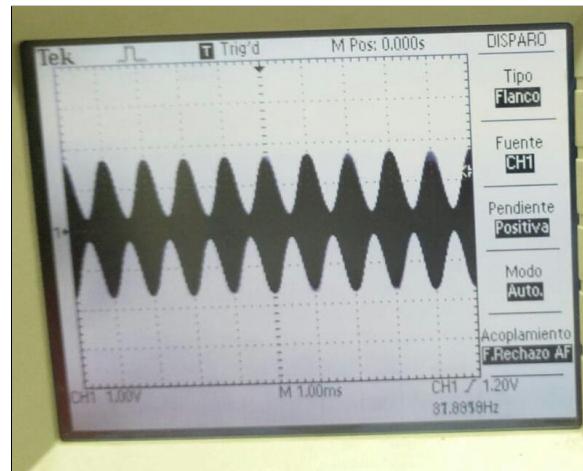
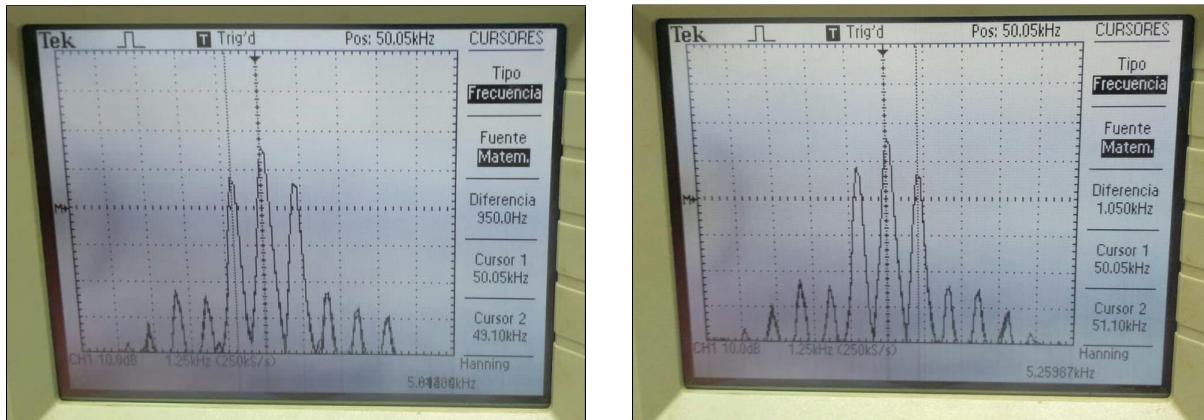


Figura 8: Señal AM con seno como modulante.

Luego, en el menú matemático se eligen las siguientes opciones: **FFT, CH1, Hanning** y **Zoom x10**. Además, el modo de adquisición se pone en **Promedio** con 64 cuentas. A continuación, mediante el uso de cursos, se procede a medir la frecuencias. Dichas mediciones se pueden apreciar en la Figura 9, y los valores se encuentran tabulados en la Tabla 1.



(a) Frecuencia BLInf.

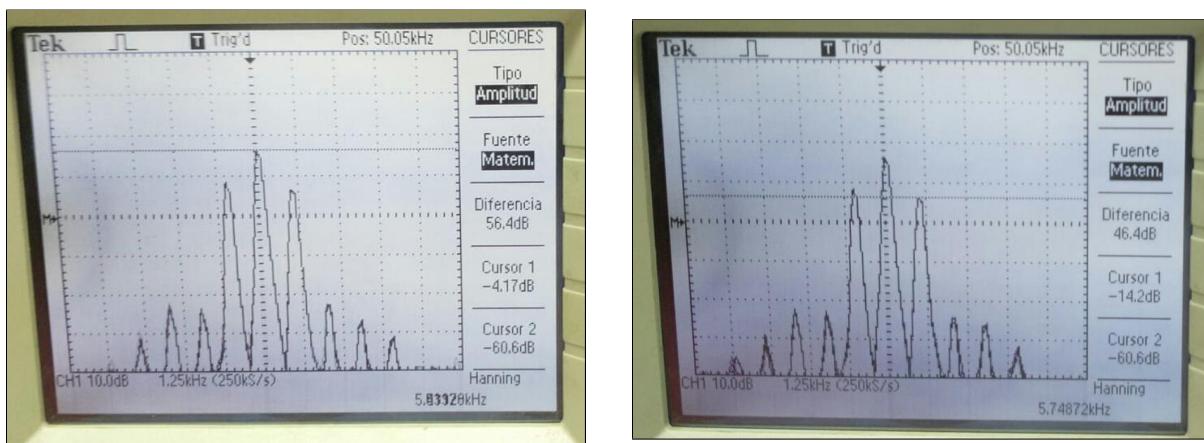
(b) Frecuencia BLSup.

Figura 9: Frecuencias de la señal AM con el seno como modulante.

| $f_c$     | $f_{BLSup}$ | $f_{BLInf}$ | $f_m$    |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 50,05 kHz | 51,10 kHz   | 49,10 kHz   | 1,05 kHz |

Tabla 1: Frecuencias medidas del espectro de la señal AM.

De la misma forma, se procede a realizar mediciones de amplitud de la señal AM en cuestión. En la Figura 10 se pueden observar dichas mediciones. Luego, con estas y el uso de las ecuaciones (1) y (2), se completa la Tabla 2.



(a) Amplitud BLInf.

(b) Amplitud BLSup.

Figura 10: Amplitudes de la señal AM con el seno como modulante.

| Ampl. BLInferior | Ampl. Portadora | Índice m | Índice m |
|------------------|-----------------|----------|----------|
| 48,4 dBv         | 56,4 dBv        | -2 dB    | 0,79     |

Tabla 2: Amplitudes medidas e índice de modulación.

### 3.4.2. Señal cuadrada como modulante

A continuación, se procede a cambiar el generador G2 para que inyecte una la señal cuadrada como **modulante** con la misma frecuencia antes utilizada, respetando la relación de amplitudes previamente configurada. La señal AM obtenida se puede ver en la Figura 11.

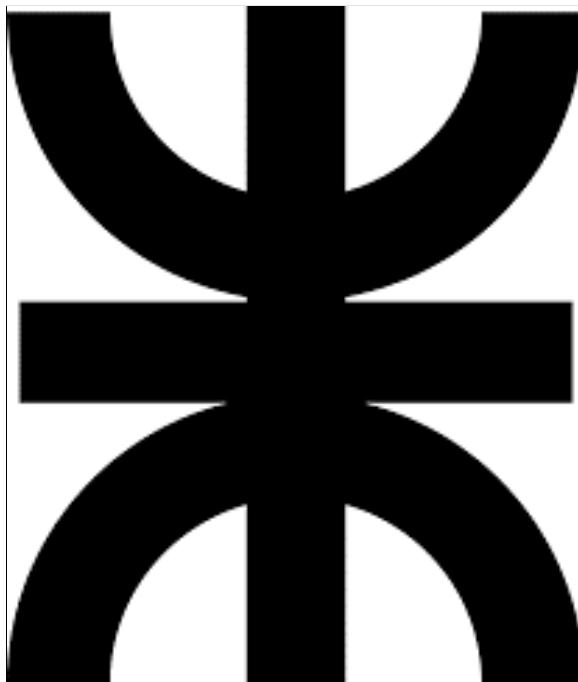


Figura 11: Señal AM con onda cuadrada como modulante.

Finalmente, se hace uso de las distintas ventanas que posee el menú matemático, para ver la diferencia entre cada presentación del espectro de la señal AM en cuestión. En la Figura 12 se puede apreciar lo mencionado.

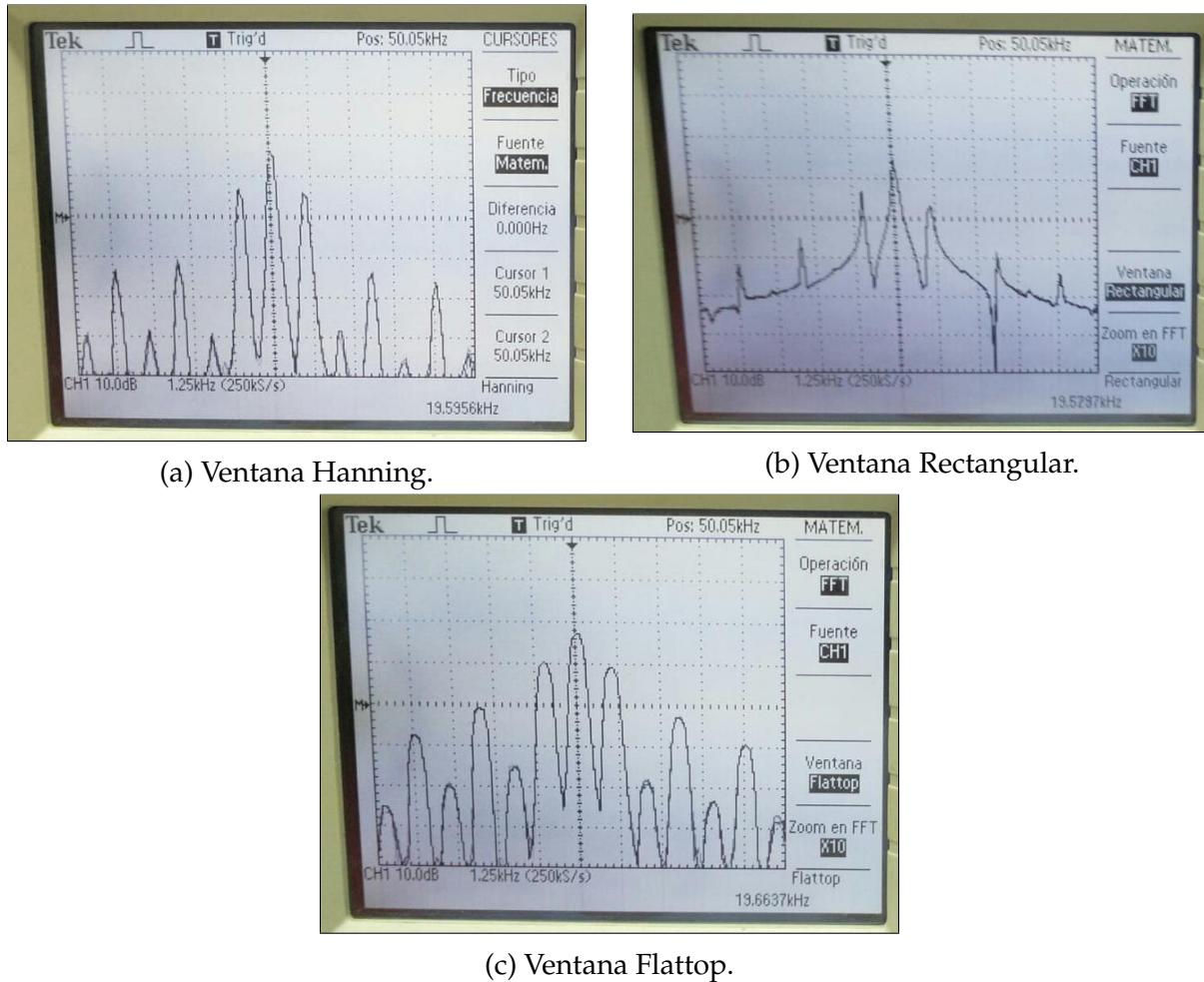


Figura 12: Distintas ventanas de una señal AM con onda cuadrada como modulante.

### 3.4.3. Señal triangular como modulante

De la misma forma que en la sección anterior, se procede a cambiar el generador G2 para que inyecte una señal triangular como **modulante** con la misma frecuencia antes utilizada, respetando la relación de amplitudes previamente configurada. La señal AM obtenida se puede ver en la Figura 13.

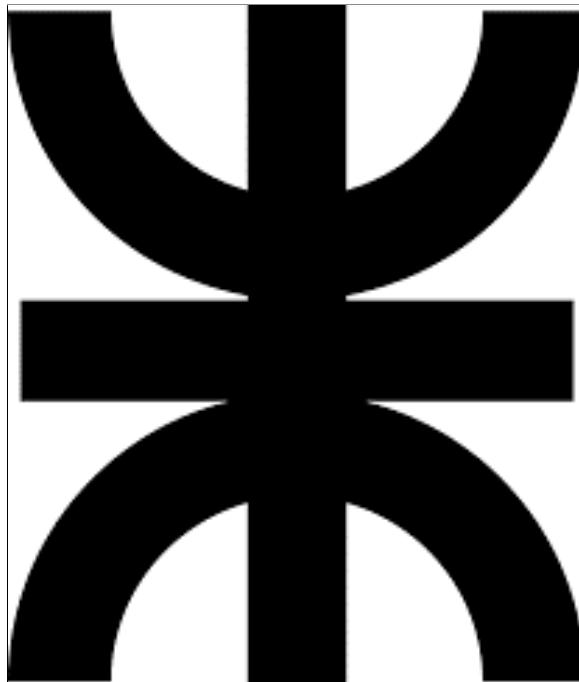


Figura 13: Señal AM con onda triangular como modulante.

Finalmente, se hace uso de las distintas ventanas que posee el menú matemático, para ver la diferencia entre cada presentación del espectro de la señal AM en cuestión. En la Figura 14 se puede apreciar lo mencionado.

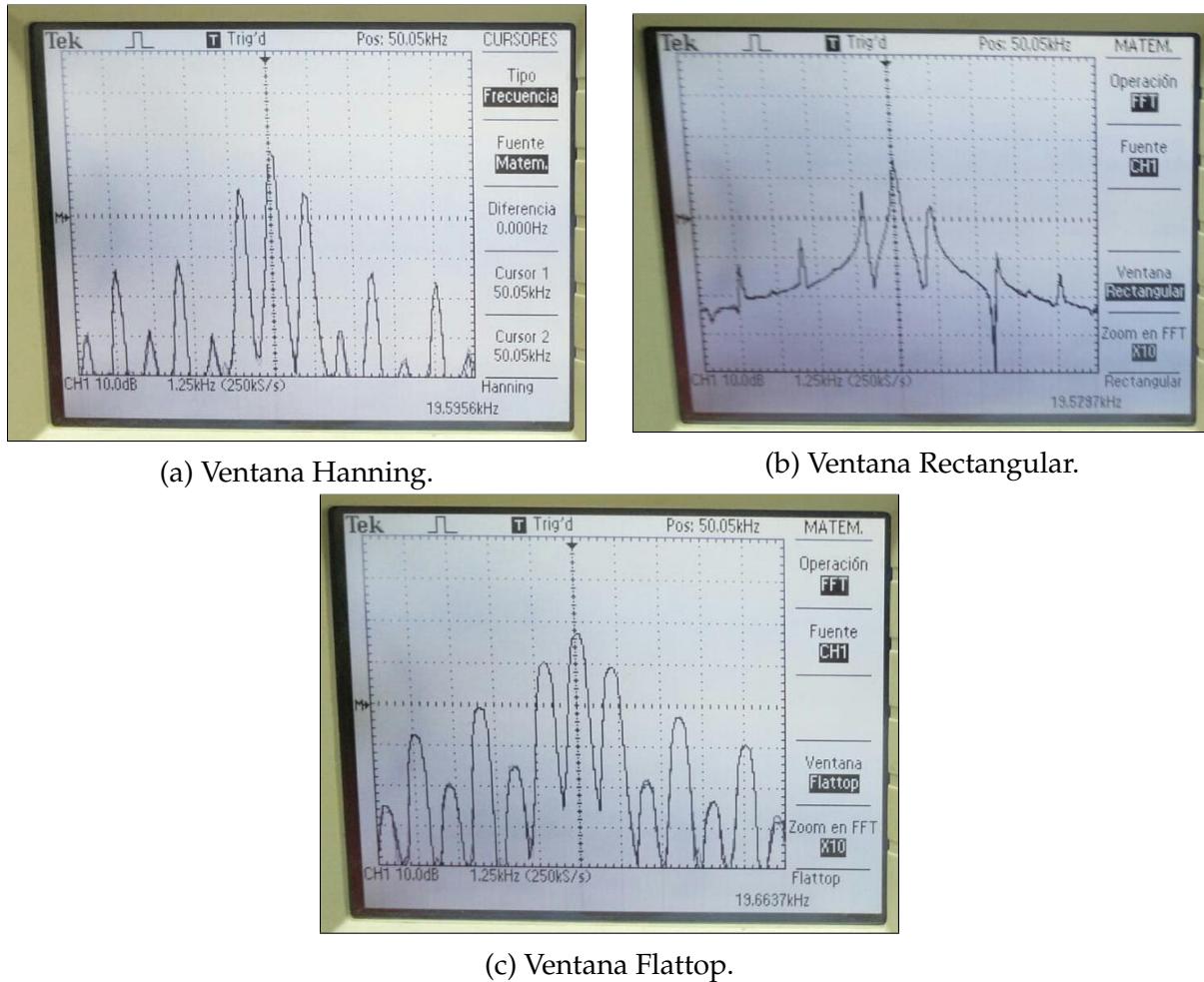


Figura 14: Distintas ventanas de una señal AM con onda triangular como modulante.

### 3.5. Observación de los productos de IMD de tercer orden

En la experiencia anterior se hace uso de un diodo para poder generar la modulación de amplitud. El circuito en cuestión se puede ver en la Figura 6 de la Sección 3.4.

Este dispositivo tiene un comportamiento alineal, el cual se puede modelar de la siguiente forma

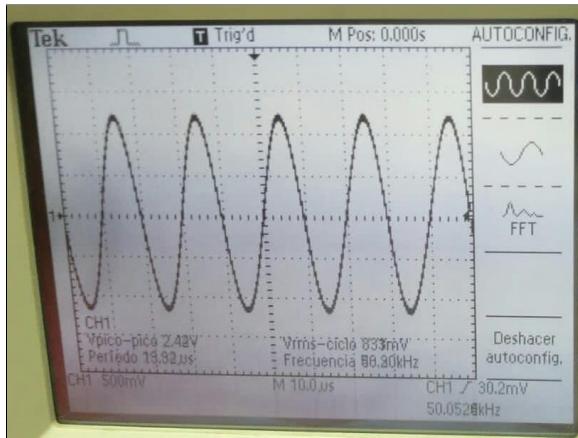
$$v_{AM} = k_a(v_{G1} + v_{G2}) + k_b(v_{G1} + v_{G2})^2 + k_c(v_{G1} + v_{G2})^3 + \dots$$

donde es de especial interés la región cuadrática de este dispositivo, ya que, debido a este, se obtiene la modulación de amplitud buscada. Si se desarrolla el término correspondiente (el cuadrático), se logra justificar lo mencionado

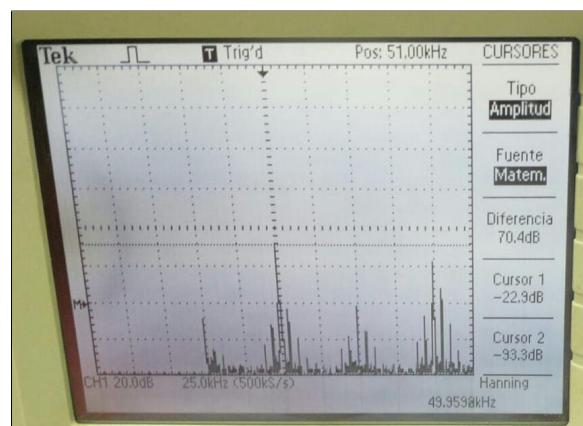
$$v_{AM} = \dots + k_b(v_{G1}^2 + 2 \cdot v_{G1}v_{G2} + v_{G2}^2) + \dots .$$

Por el contrario, las **alinealidades de orden superior** dan como resultado **productos de intermodulación (IMD)**, los cuales son efectos no deseados. La alinealidad más importante suele ser la IMD de tercer orden, por lo cual, ahora se procede a determinar el **rechazo de IMD de tercer orden** del circuito modulador utilizado.

Para ello, se setean ambos generadores **G1** y **G2** a una frecuencia de **f=50 kHz**, y a **igual amplitud**. Luego, se observan las señales de salida del circuito dejando un solo generador encendido. Los resultados se encuentran en las Figuras 15 y 16.

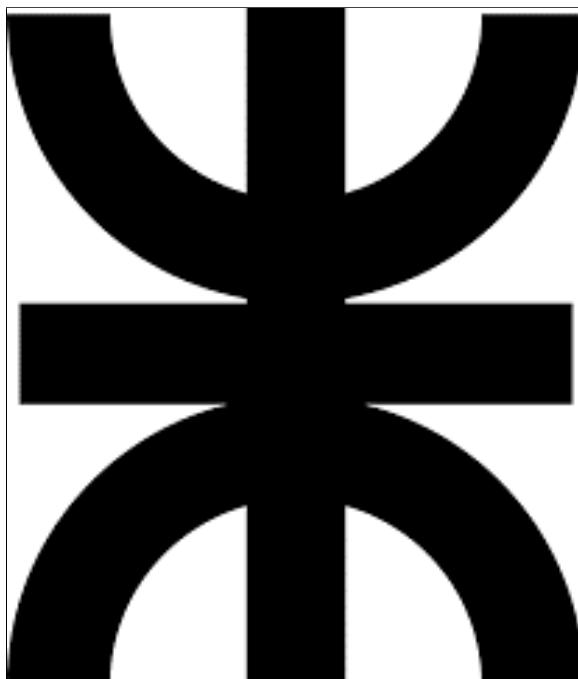


(a) En tiempo.

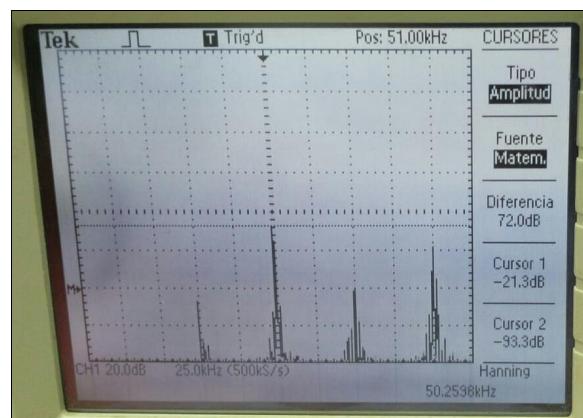


(b) En frecuencia.

Figura 15: Salida del circuito con el generador G1 encendido.



(a) En tiempo.



(b) En frecuencia.

Figura 16: Salida del circuito con el generador G2 encendido.

A continuación, se encienden ambos generadores y se ajusta el tiempo de muestreo y se habilita el **Zoom x10** para obtener una mejor visualización. Luego, se procede a separar ambas señales un ancho de  $\Delta f = 2 \text{ kHz}$ , quedando una de ellas en  $f_1 = 49 \text{ kHz}$  y la otra en  $f_2 = 51 \text{ kHz}$ . En la Figura 17 se puede ver lo explicado en este párrafo.

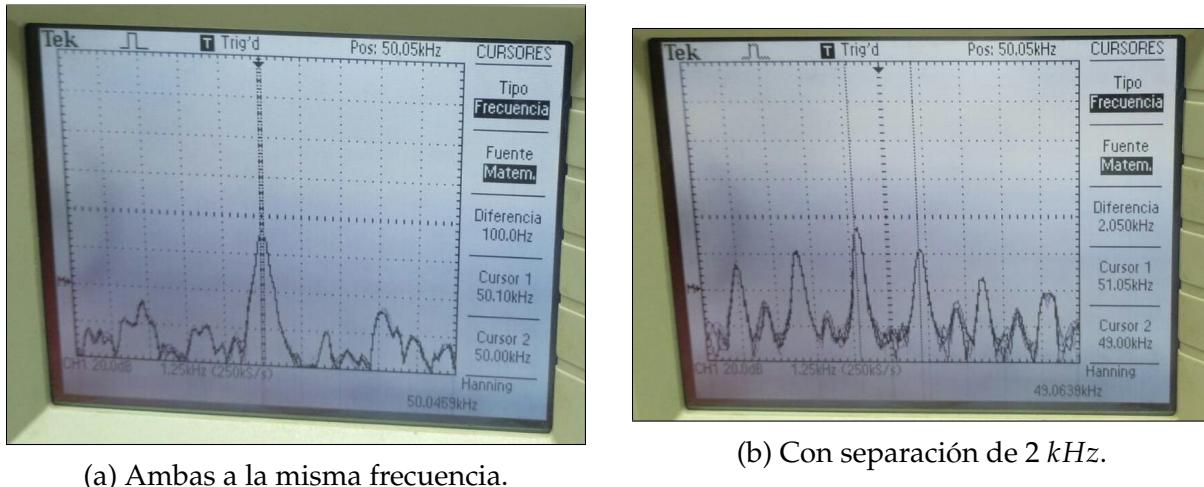


Figura 17: Espectro de la señal de salida con ambas señales inyectadas al circuito.

Las componentes de **47 kHz** ( $2f_1 - f_2$ ) y **53 kHz** ( $2f_2 - f_1$ ) son los productos de IMD de tercer orden. Para obtenerlos se realiza la diferencia en amplitud entre estas y  $f_1$  y  $f_2$  respectivamente. Dichas mediciones, realizadas con la ventana **Hanning**, se pueden ver en la Figura 18.

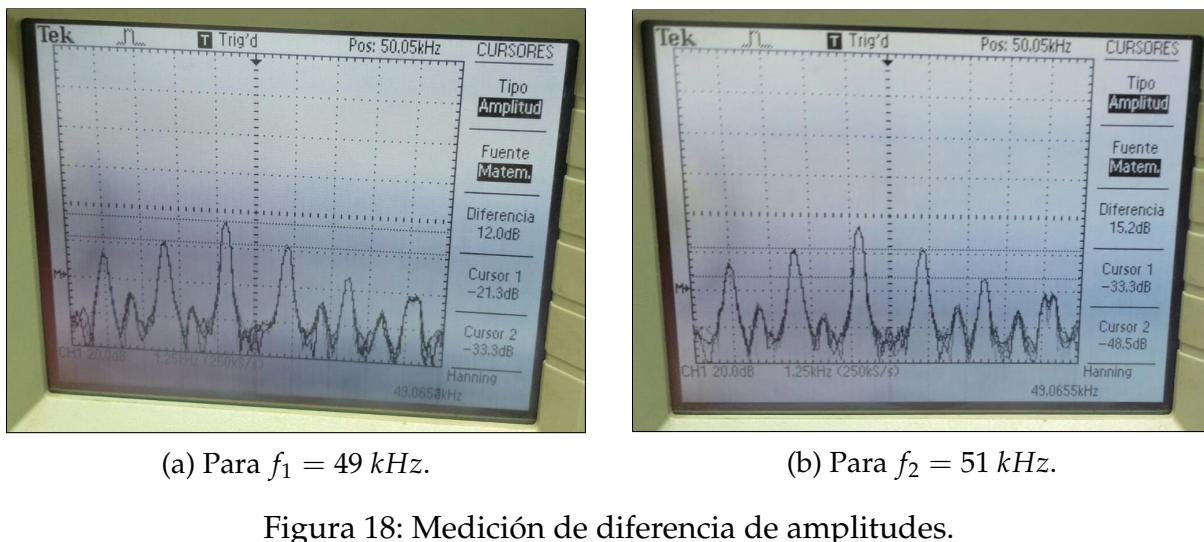


Figura 18: Medición de diferencia de amplitudes.

Los valores obtenidos de esta experiencia se encuentran tabulados en la Tabla 3.

| $f_1$  | $f_2$  | $2f_1 - f_2$ | $2f_2 - f_1$ | Rechazo IMD 3° |
|--------|--------|--------------|--------------|----------------|
| 49 kHz | 51 kHz | 47 kHz       | 53 kHz       | 15,2 dB        |

Tabla 3: Valores obtenidos para la medición del rechazo de IMD de 3°.

### 3.6. Análisis de una señal modulada en frecuencia

Se procede a analizar una FM. Para ello se hace lo siguiente:

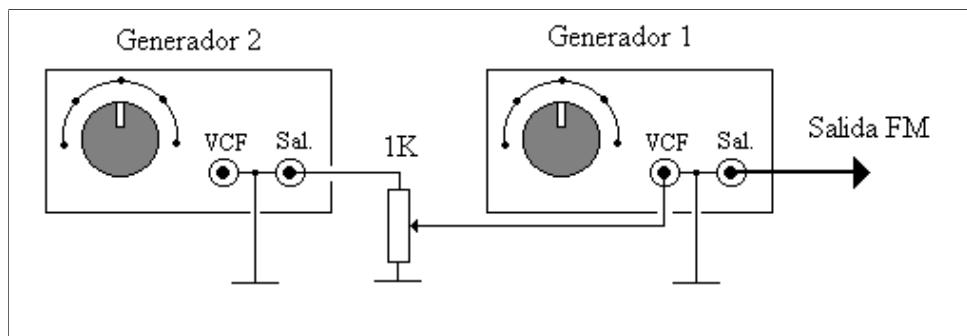
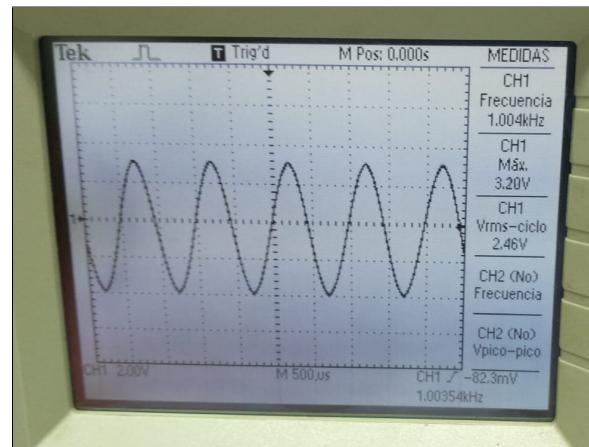
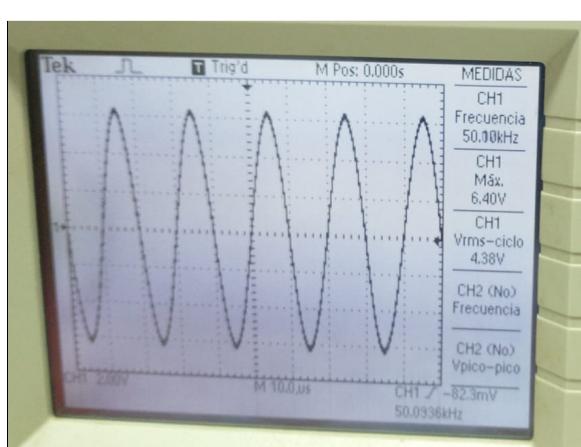


Figura 19: Conexión de los generadores.

Inicialmente se procede a calibrar los generadores.



Se observa la señal a 1 ms por div.

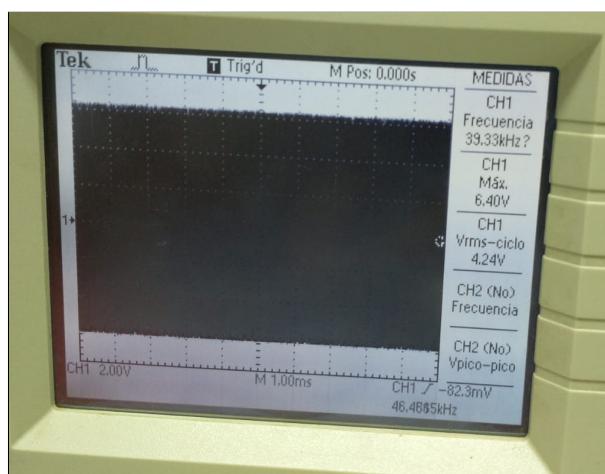
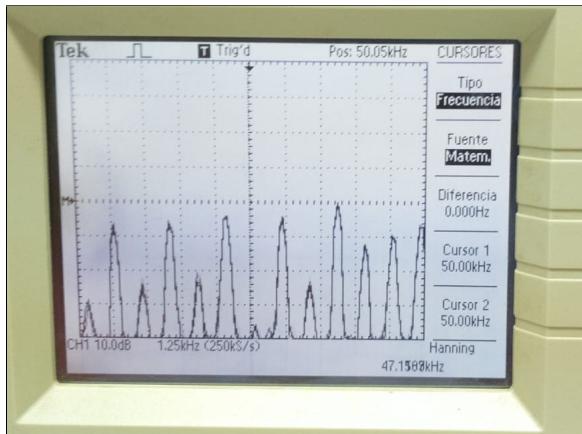
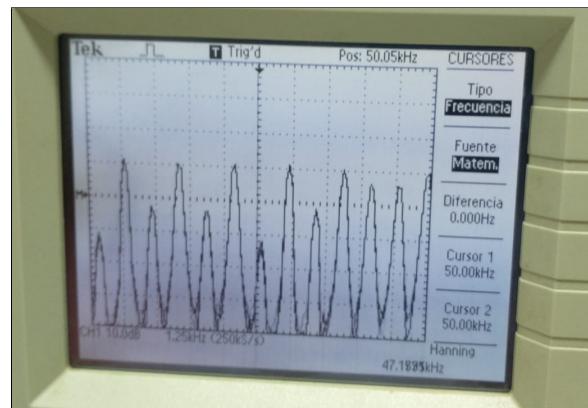


Figura 21: 1ms.

La salida FM en frecuencia configurada con adquisición promedio y normal se ve.

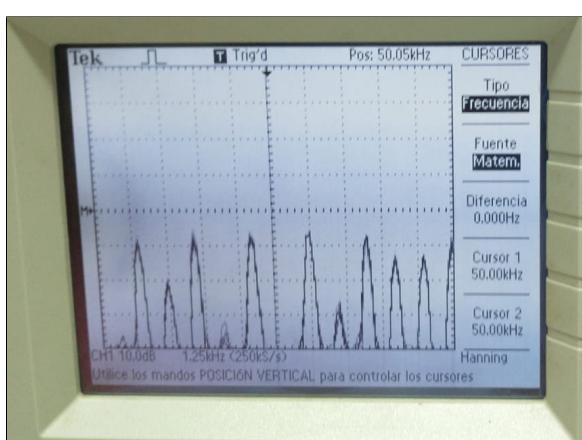


(a) FM con promedios.

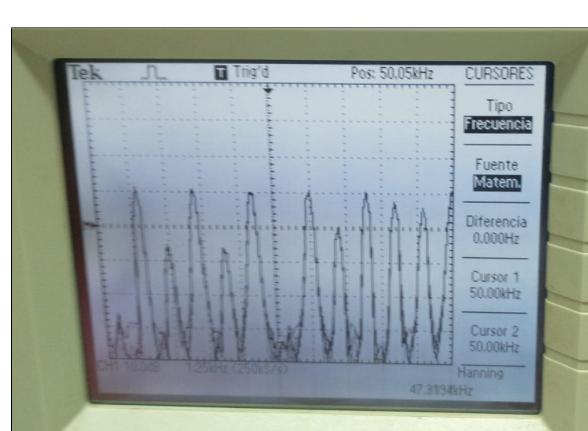


(b) Adquisicion normal.

Se busca índice de modulación de 2.4, con promedios y sin promedios.



(a) FM con promedios.



(b) Adquisicion normal.

Se disminuye ligeramente el indice de modulación.

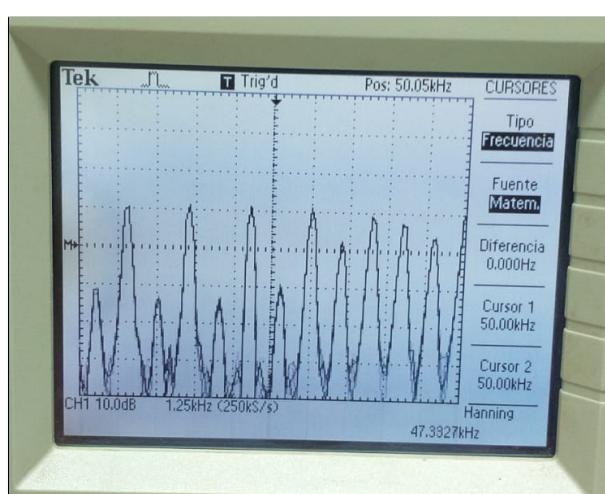
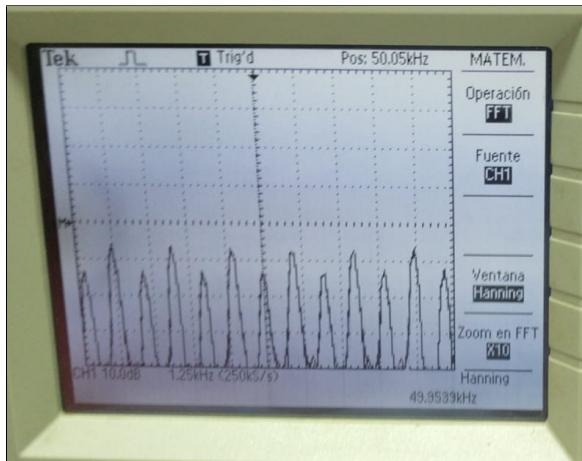
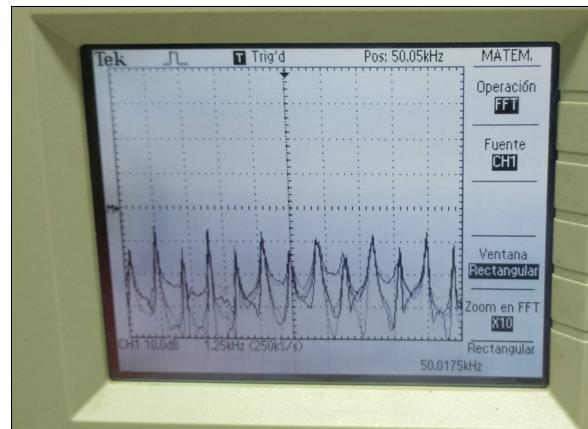


Figura 24: Índice ligeramente disminuído.

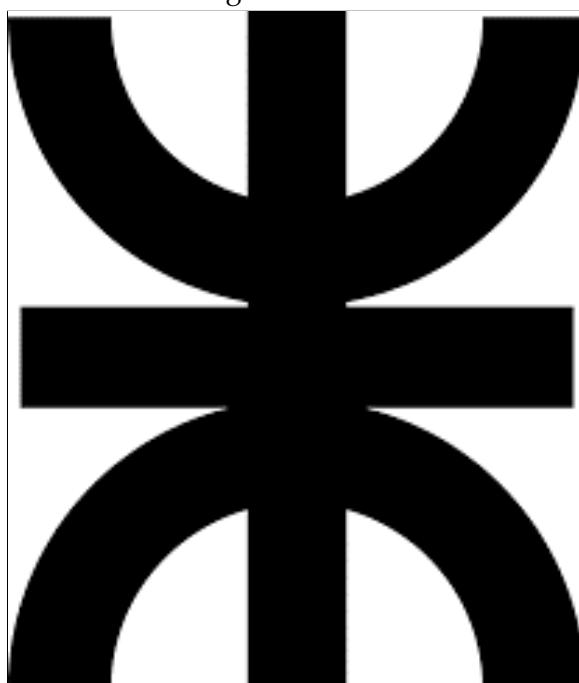
Se inyecta una señal cuadrada y se ven distintas ventanas.



(a) Señal cuadrada con ventana Hanning.

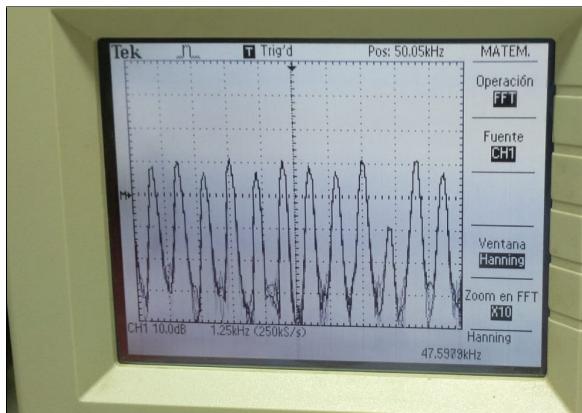


(b) Señal cuadrada con ventana Rectangular.

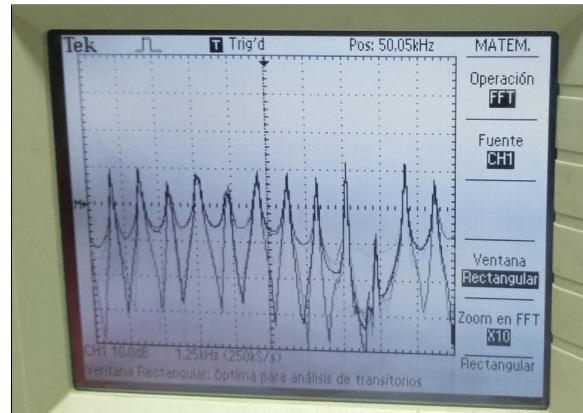


(c) Señal cuadrada con ventana Flattop.

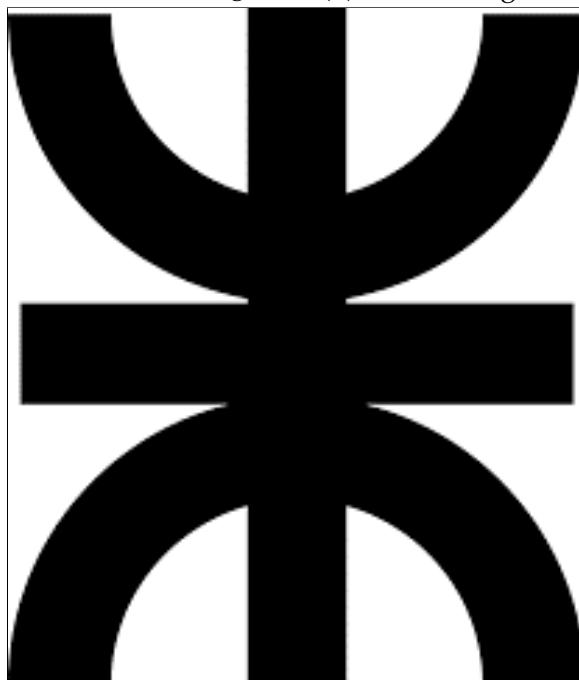
Se inyecta una señal triangular y se ven distintas ventanas.



(a) Señal triangular con ventana Hanning.

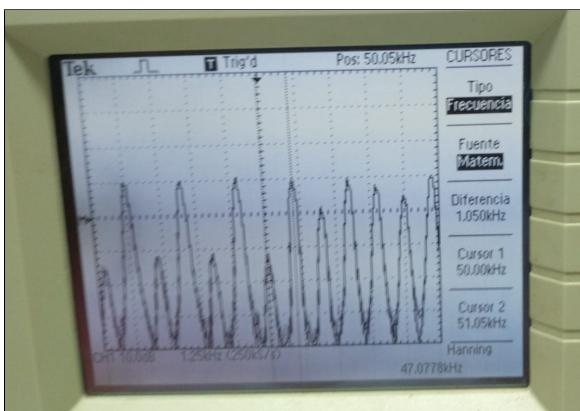


(b) Señal triangular con ventana Rectangular.

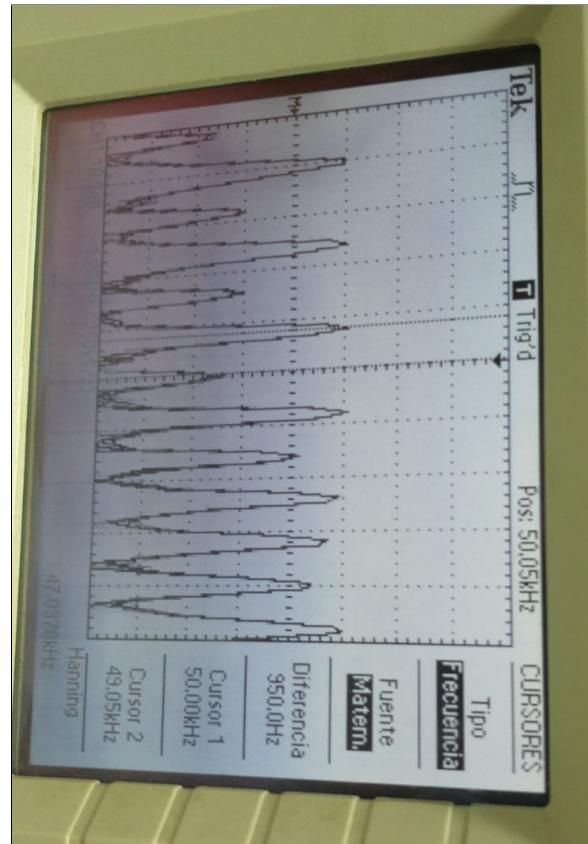


(c) Señal triangular con ventana Flattop.

Se mide la frecuencia de las bandas laterales.



(a) Diferencia con banda lateral izquierda.



(b) Diferencia con banda lateral derecha.

### 3.7. Análisis de la distorsión armónica producida por un amplificador

## 4. Conclusiones