

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA

TRABAJO PRÁCTICO 5

---

## Analizador de Espectros

---

*Grupo 2:*

Víctor OH 56679  
Valentina LAGO 57249  
Gonzalo SILVA 56089  
Santiago BUALÓ 57557  
Agustina IBARRECHE 53550

*Profesores:*

Pablo COSSUTTA  
María Alejandra WEILL  
Matías SALVATI

# Índice general

<b>1. Medicion de distorcion armónica</b>	<b>2</b>
1.1. Medición . . . . .	2
1.2. Comparación con la hoja de datos y Conclusiones . . . . .	2
<b>2. Análisis de otras señales</b>	<b>4</b>
2.1. Señal Cuadrada . . . . .	4
2.1.1. Análisis matemático . . . . .	4
2.1.2. Simulación del Espectro . . . . .	5
2.1.3. Medición en el Analizador de Espectros . . . . .	5
2.1.4. Cálculo del DC . . . . .	5
2.2. Señal Triangular . . . . .	6
2.2.1. Análisis matemático . . . . .	6
2.2.2. Simulación del Espectro . . . . .	7
2.2.3. Medición en el Analizador de Espectros . . . . .	7
2.3. Tren de Pulsos . . . . .	7
2.3.1. Análisis matemático . . . . .	7
2.3.2. Simulación del Espectro . . . . .	8
2.3.3. Medición en el Analizador de Espectros . . . . .	8
2.3.4. Cálculo del DC . . . . .	8
2.4. Conclusiones . . . . .	8
<b>3. Análisis de una señal AM</b>	<b>10</b>
<b>4. Análisis de una señal FM</b>	<b>12</b>
<b>5. Distribucion de Radiofrecuencias en Argentina</b>	<b>13</b>
<b>6. Análisis del espectro EM en la banda de FM</b>	<b>14</b>
<b>7. Señal de Televisión</b>	<b>15</b>
<b>8. Otras Señales</b>	<b>16</b>
8.1. $\sin(x)/x$ . . . . .	16
8.2. Tren de Pulsos . . . . .	16

# Ejercicio 1

## Medición de distorsión armónica

### 1.1. Medición

Utilizando el analizador de espectros, se midió la distorsión armónica del generador de funciones Agilent(modelo) con una señal senoidal de 0,7MHz y 250mVpp.

Para calcular la distorsión armónica total (THD) medida con el analizador, se utilizaron las ecuaciones 1.1 y 1.2.

$$THD = \frac{\sum_{j=1}^n P_j}{\sum_{i=0}^n P_i} \quad (1.1)$$

$$P_k[\text{mW}] = 1\text{mW} * 10^{P_k[\text{dBm}]/10} \quad (1.2)$$

Entonces,

$$P_0 = 123\text{mW}; P_1 = 123\text{mW}; P_2 = 123\text{mW}$$

$$\Rightarrow THD = Ans \quad (1.3)$$

Con las mediciones obtenidas del analizador (figuras 1.1 y 1.2) y cálculos anteriores y utilizando otros generadores de funciones, se obtuvo la siguiente tabla:

Modelo	$P_0(\text{mW})$	$P_1(\text{mW})$	$P_2(\text{mW})$	$P_3(\text{mW})$	$P_4(\text{mW})$	$THD(\%)$	$THD_{Fab}(\%)$
Agilent	0.0316	1.995e-6	1e-9	-	-	0.006	0.04
Picotest	0.0437	2.399e-6	1e-9	-	-	0.005	0.06
Instek	0.1820	6.310e-5	2.089e-5	-	1.514e-6	0.047	1

Cuadro 1.1: Mediciones de Potencias en el analizador

### 1.2. Comparación con la hoja de datos y Conclusiones

Observando los resultados de la tabla 1.1 se puede observar que, aunque en todos los casos las distorsiones armónicas son menores a las indicadas por las hojas de datos de los fabricantes, el de Instek tiene un valor más cercano a este, además de ser de un orden de magnitud mayor.

Dado esto, se puede verificas que la señal entregada por el generador Instek es de menor calidad, ya que sufre mayor distorcion, mientras que las señales entregadas por los generadores Picotest y Agilent son de mejor calidad.

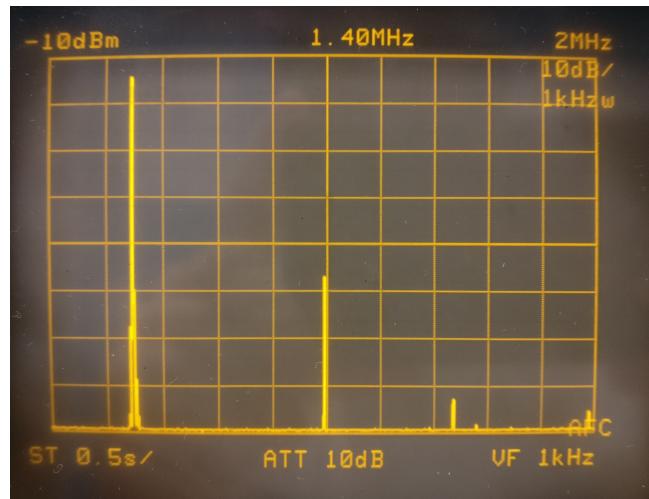


Figura 1.1: Espectro de la senoidal en el generador Agilent

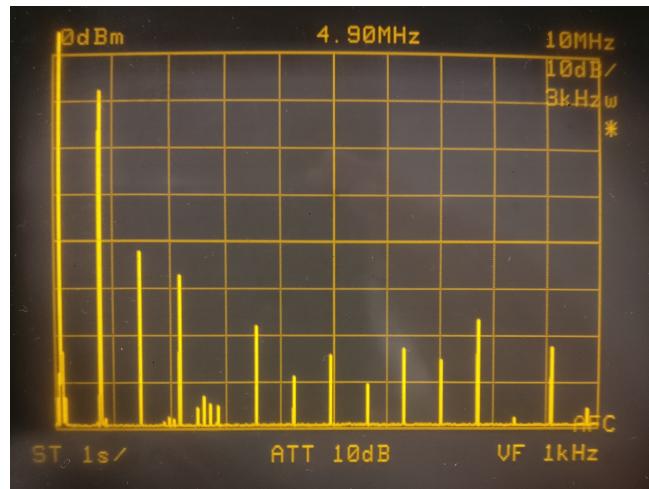


Figura 1.2: Espectro de la senoidal en el generador Instek

# Ejercicio 2

## Análisis de otras señales

Utilizando señales (i)cuadradas, (ii)triangulares(simetría 50 %) y (iii)un tren de pulsos con  $DC = 33,3\%$

1. Se analizó analíticamente el espectro de la señal
2. Se simuló el espectro mediante MATLAB
3. Se midió la señal con el analizador de espectros
4. Se calculó el DC en función a la medición

### 2.1. Señal Cuadrada

#### 2.1.1. Análisis matemático

Dado que el análisis es de la señal dada en la figura 2.1 se observa que para un análisis de Fourier se trata de una onda impar:

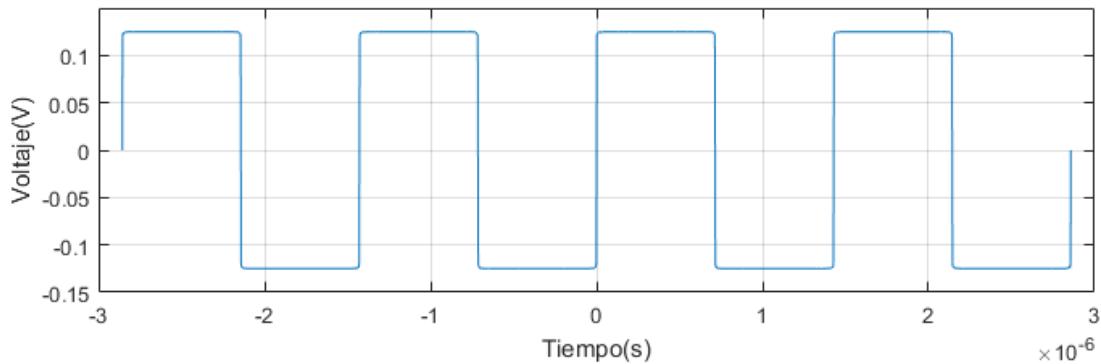


Figura 2.1: Señal cuadrada con las características dadas

Por lo tanto, la serie de Fourier estará dada por sólo senos:

$$S(t) = \sum_{k=1}^{\infty} B_{2k-1} \sin(2\pi f(2k-1)t) \quad (2.1)$$

$$B_{2k-1} = \frac{1}{\pi(2k-1)} \quad (2.2)$$

Por lo tanto, las amplitudes observadas serán las de los armónicos impares de la fundamental, mientras que los armónicos pares se anulan.

### 2.1.2. Simulación del Espectro

Dado que se tienen las amplitudes de las diferentes frecuencias que conforman la señal cuadrada, se pueden calcular las potencias entregadas sobre la entrada del analizador, teniendo en cuenta que tiene una resistencia de  $50\Omega$ . Por lo tanto, el espectro observado en el analizador debería ser el visto en la figura 2.2. De esta se puede observar que las potencias de los armónicos de mayor orden son cada vez menores.

Debe notarse que este espectro se vería en una mitad del analizador, dado que las frecuencias multiplicadoras al oscilador local son sumadas y restadas respecto a este.

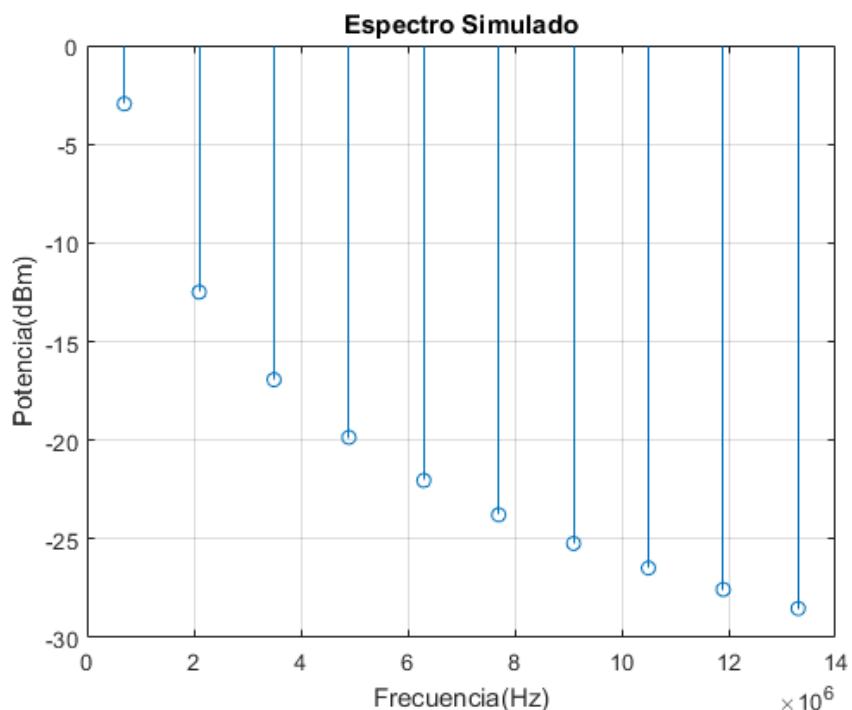


Figura 2.2: Simulación de las potencias a ser observadas

### 2.1.3. Medición en el Analizador de Espectros

Se conectó la señal generada al analizador de espectros y se obtuvo la figura 2.3. De esta se puede observar cómo la potencia de uno cada dos armónicos es significantemente menor a la de los demás armónicos que generan la señal cuadrada.

### 2.1.4. Cálculo del DC

Observando la salida del analizador de espectros, se pueden contar la cantidad de armónicos con potencia 0 ( $p$ ) y comparar esa cantidad a la cantidad total de armónicos que deberían verse en pantalla( $q$ ). Con estos datos, se puede utilizar la expresión 2.3 para calcular el Duty Cycle.

$$DC = \frac{p}{q} \quad (2.3)$$

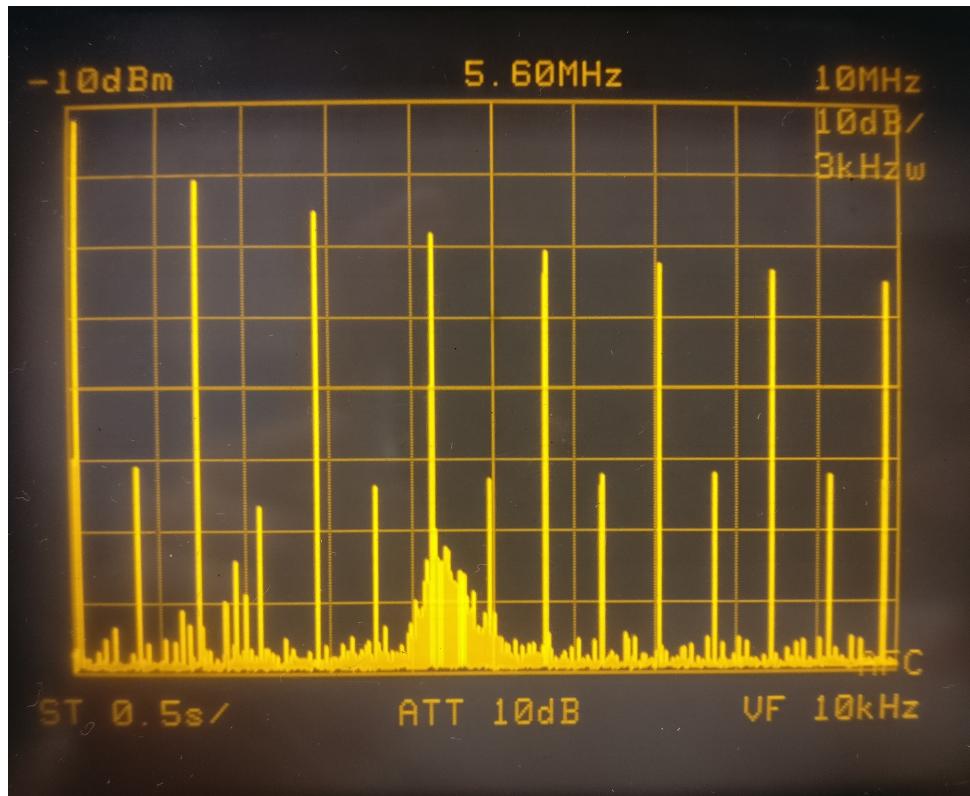


Figura 2.3: Pantalla del Analizador de la señal cuadrada

Dado que en la salida del analizador observada en la figura 2.3 se puede observar que uno de cada dos armónicos están anulados, entonces el Duty Cycle es de 50 %.

## 2.2. Señal Triangular

### 2.2.1. Análisis matemático

Dado que el análisis es de la señal dada en la figura 2.4 se observa que para un análisis de Fourier se trata de una onda impar:

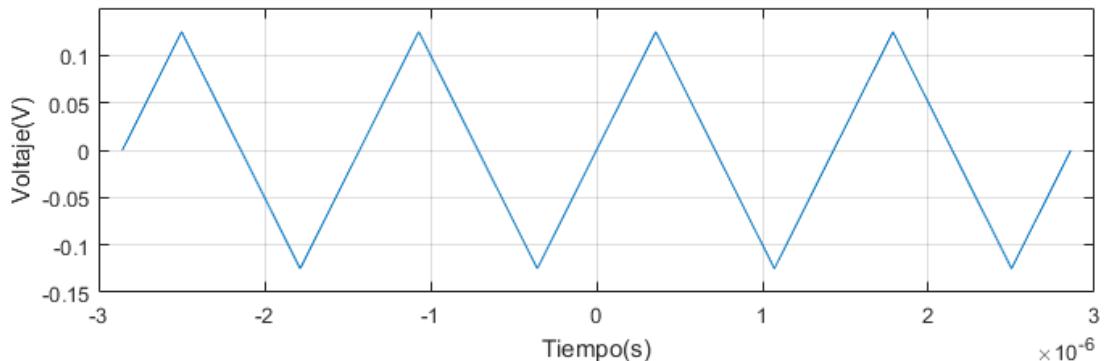


Figura 2.4: Señal cuadrada con las características dadas

Por lo tanto, la serie de Fourier estará dada por sólo senos:

$$S(t) = \sum_{k=1}^{\infty} B_{2k-1} \sin(2\pi f(2k-1)t) \quad (2.4)$$

$$B_{2k-1} = \frac{2}{\pi^2(2k-1)^2} \quad (2.5)$$

Por lo tanto, las amplitudes observadas serán las de los armónicos impares de la fundamental, mientras que los armónicos pares se anulan.

### 2.2.2. Simulación del Espectro

Bajo el mismo método que en la señal cuadrada, se simuló el espectro de la señal triangular como se ve en la figura 2.4. Se puede observar que, a diferencia de la señal cuadrada, la atenuación de cada armónico de mayor orden es doblemente mayor(figura 2.5).

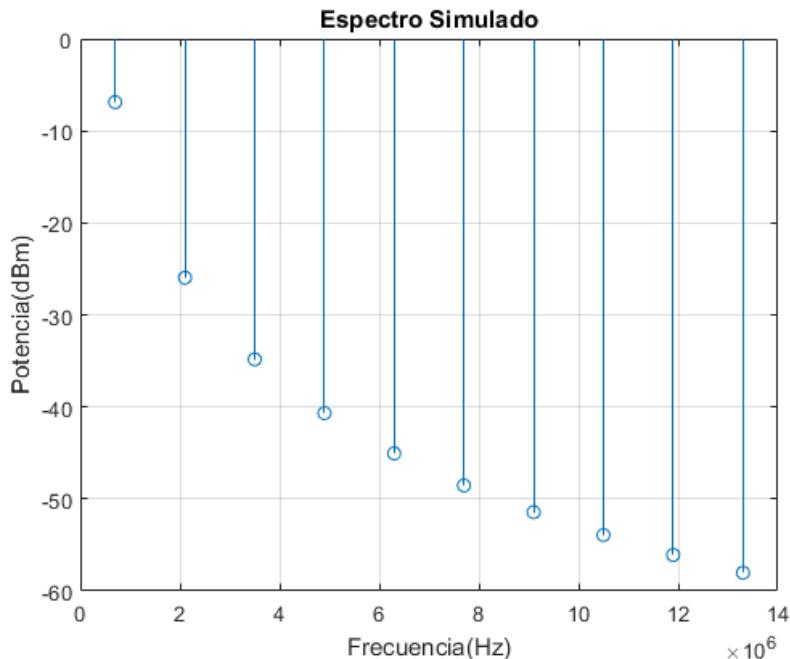


Figura 2.5: Simulación de las potencias a ser observadas en la señal triangular

### 2.2.3. Medición en el Analizador de Espectros

No se pudo generar la señal triangular con el generador Agilent, el cual tiene un límite de frecuencia de 200kHz para señales triangulares.

## 2.3. Tren de Pulsos

### 2.3.1. Análisis matemático

Dado que el análisis es de la señal dada en la figura 2.6 se observa que para un análisis de Fourier se trata de una onda par:

Por lo tanto, la serie de Fourier estará dada por sólo senos:

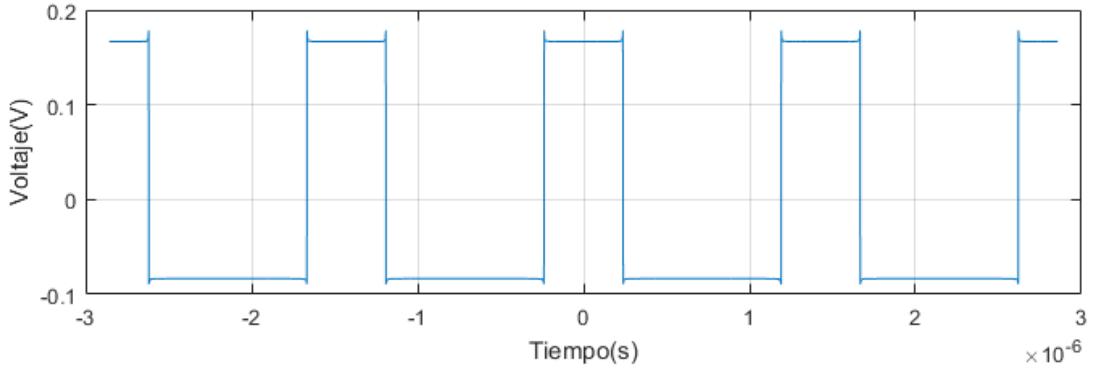


Figura 2.6: Señal cuadrada con DC 33.33 %

$$S(t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(2\pi f n t) \quad (2.6)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi n} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}n\right) \quad (2.7)$$

De la expresión 2.7, se puede observar que la amplitud de cada armónico múltiplo de 3 se verá anulado.

### 2.3.2. Simulación del Espectro

Se tuvieron en cuenta las mismas consideraciones para calcular las potencias de cada frecuencia, con las cuales se crea la figura 2.7.

Debe notarse que este espectro se vería en una mitad del analizador, dado que las frecuencias multiplicadoras al oscilador local son sumadas y restadas respecto a este.

### 2.3.3. Medición en el Analizador de Espectros

Como se observa en la figura 2.8, a diferencia de la medición obtenida en la figura 2.3, la potencia es menor en una de cada tres potencias.

### 2.3.4. Cálculo del DC

Utilizando nuevamente la ecuación 2.3 se calculó, con la salida del analizador de espectros, el DC de la señal.

Dado que en la salida del analizador observada en la figura 2.3 se puede observar que uno de cada tres armónicos están anulados, entonces el Duty Cycle es de 33,33 %.

## 2.4. Conclusiones

En primer lugar, a partir de las mediciones obtenidas, es posible calcular el DC de señales de pulsos teniendo en cuenta la razón de armónicos con potencias mucho menores a las de los otros armónicos. Esto concuerda con los resultados obtenidos en las simulaciones y los análisis matemáticos de sus respectivas señales.

A pesar de haber errores en las frecuencias en el analizador de espectros, las potencias obtenidas en el analizador son similares a las obtenidas en la simulación. Por lo tanto, se puede concluir que el analizador es preciso en la medición de las potencias del espectro.

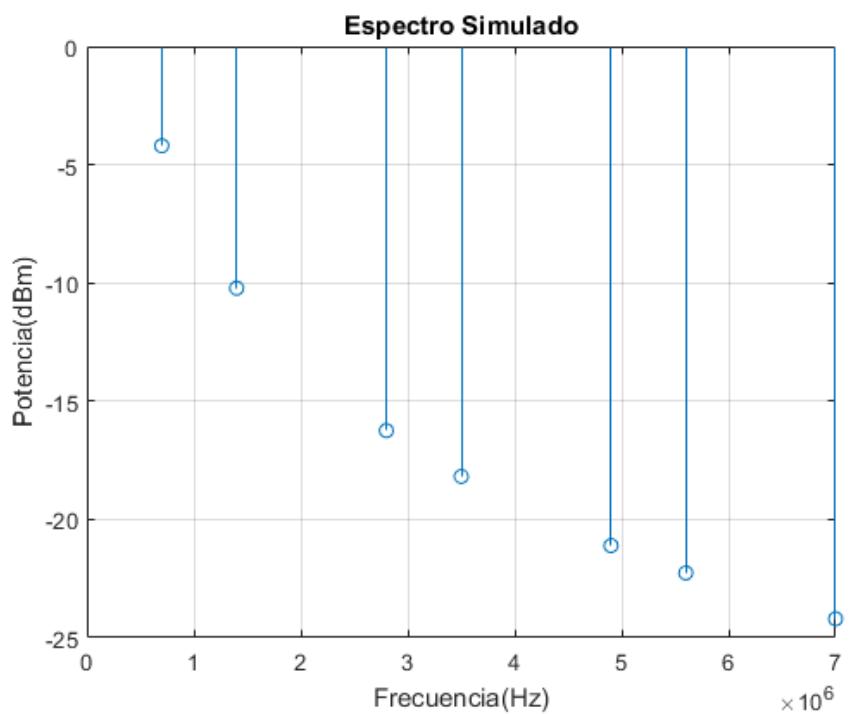


Figura 2.7: Simulación de las potencias de la señal cuadrada con DC = 33.33 %

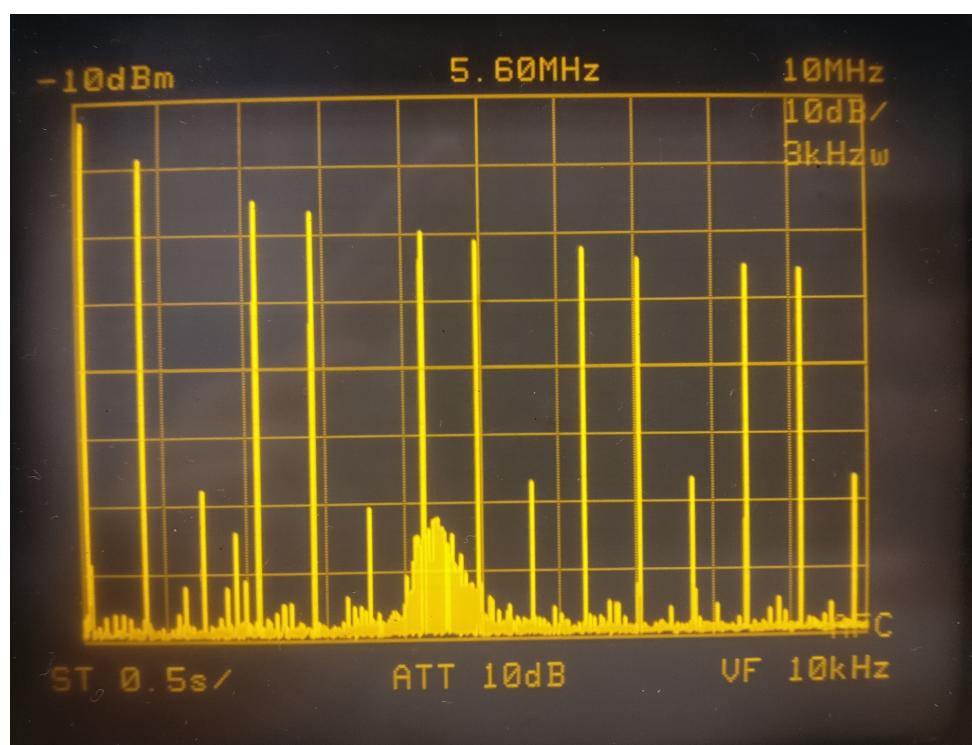


Figura 2.8: Pantalla del Analizador de la señal cuadrada con DC = 33.33 %

# Ejercicio 3

## Análisis de una señal AM

Utilizando dos generadores de señales, se creó una señal modulada en AM de 200mVpp donde:

Frecuencia de la portadora: 900kHz.

Frecuencia de la moduladora: 100kHz.

Luego, con el analizador de espectros, y simulando el espectro de la señal en MATLAB, se verificaron las señales medidas. Además, se utilizó un osciloscopio en paralelo para verificar las amplitudes de las señales.

1. Moduladora Senoidal;  $m = 0,5$
2. Moduladora Senoidal;  $m = 1$
3. Moduladora Triangular;  $m = 1$
4. Moduladora Senoidal;  $m = 1$ ; frecuencia igual a la portadora

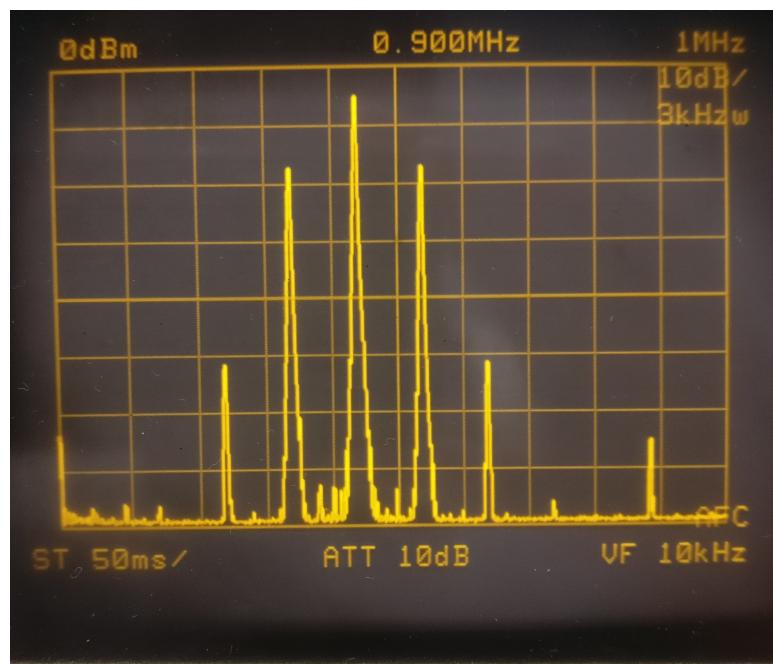


Figura 3.1: Espectro de la señal modulada con senoidal y  $m = 0.5$

Como se observa de las figuras 3.1 y 3.2, está presente, en el centro de las potencias observadas, la potencia de la señal portadora, y a sus lados las potencias de las señales resultantes de la modulación.

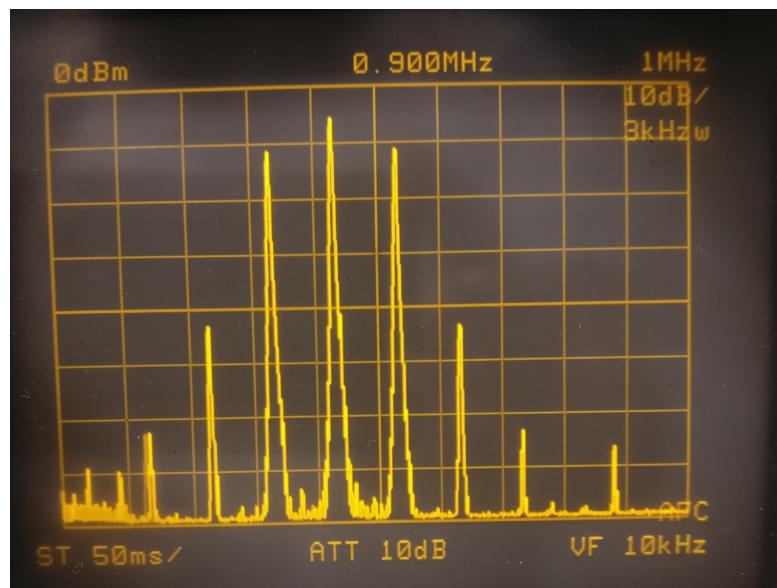


Figura 3.2: Espectro de la señal modulada con senoidal y  $m = 1$

## **Ejercicio 4**

### **Análisis de una señal FM**

Se repitió el ejercicio 3 con una señal FM. (Pendiente)

## **Ejercicio 5**

# **Distribucion de Radiofrecuencias en Argentina**

as;dlfjasdfklaj.

## Ejercicio 6

### Análisis del espectro EM en la banda de FM

asdfjalkdsfj.

## Ejercicio 7

### Señal de Televisión

# Ejercicio 8

## Otras Señales

Se conectaron al analizador de espectros las siguientes señales con amplitud 250mVpp y a frecuencia 125kHz y máxima.

1.  $\sin(x)/x$
2. Tren de Pulsos (Tren de Pulsos con DC mínimo)

### 8.1. $\sin(x)/x$

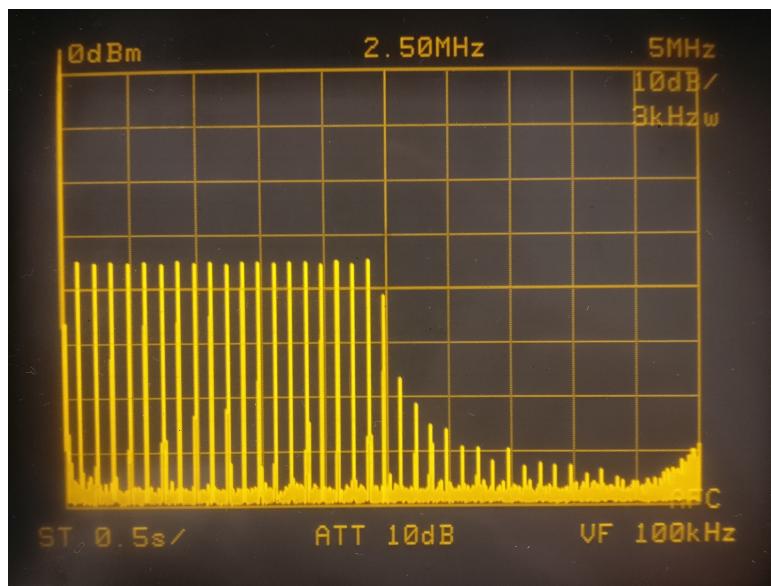


Figura 8.1: Espectro de la señal de la función

### 8.2. Tren de Pulsos

Es de esperarse para esta señal que, en lo que parece ser el armónico 100 (figura 8.2), este tiene una potencia casi nula comparada a la de los otros armónicos, dado que tiene un DC de 1 %.

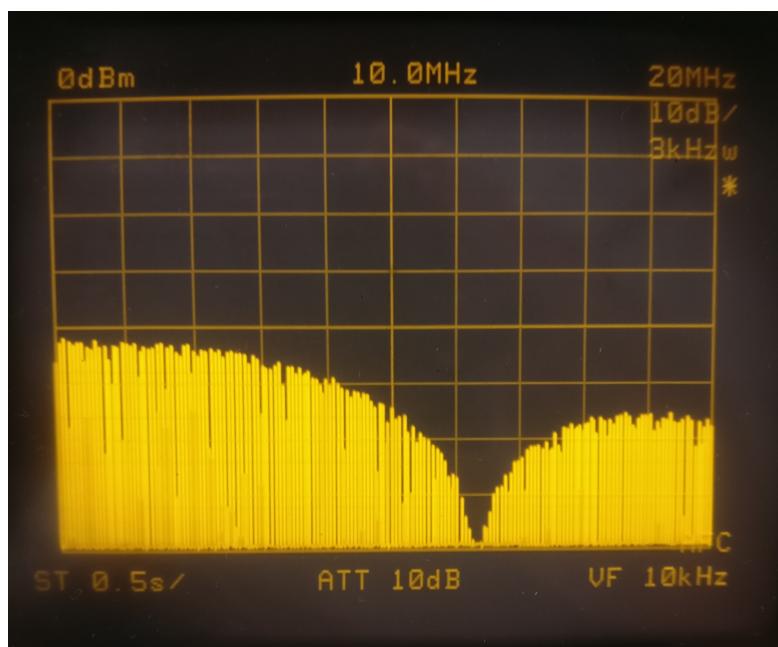


Figura 8.2: Espectro del Tren de Pulsos con DC = 1%