

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 Pulso . . . . .	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>15</b>
6.1. Banda FM . . . . .	15
6.2. Banda de Radiodifusión de FM Estéreo . . . . .	15
<b>7. Señal de Televisión</b>	<b>17</b>
7.1. Banda de TV y Radio FM . . . . .	17
7.2. Canal de Televisión . . . . .	17
7.3. Servicio de Televisión (TV) . . . . .	18
7.4. sistema de Televisión Codificada (STVC) . . . . .	19
<b>8. Otras Señales</b>	<b>20</b>
8.1. $\sin(x)/x$ . . . . .	20
8.2. Tren de Pulso . . . . .	21

# 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.

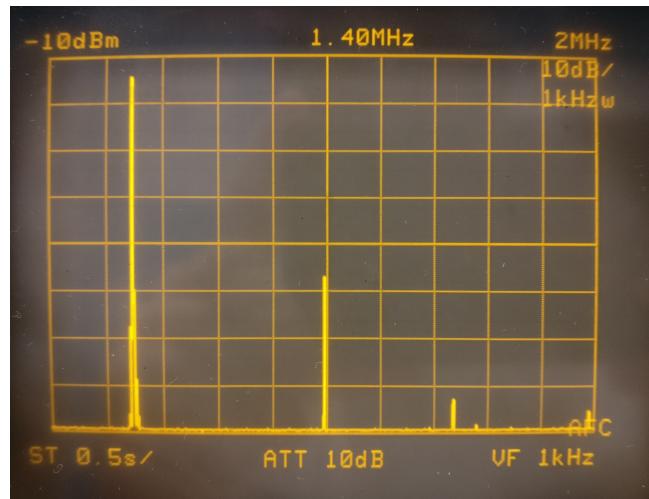


Figura 1.1: Espectro de la senoidal en el generador Agilent

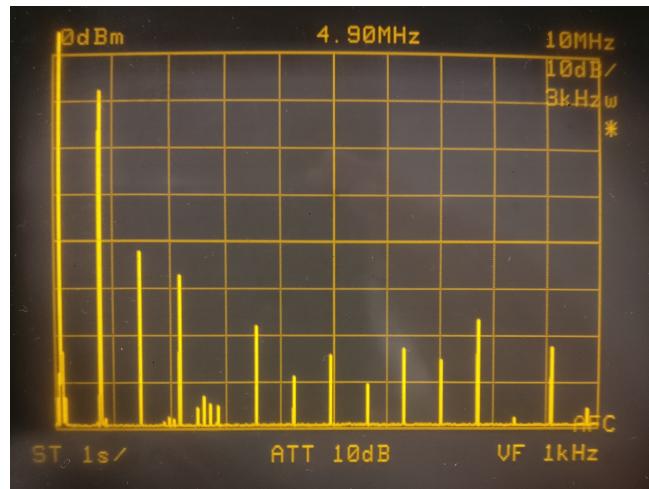


Figura 1.2: Espectro de la senoidal en el generador Instek

# 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:

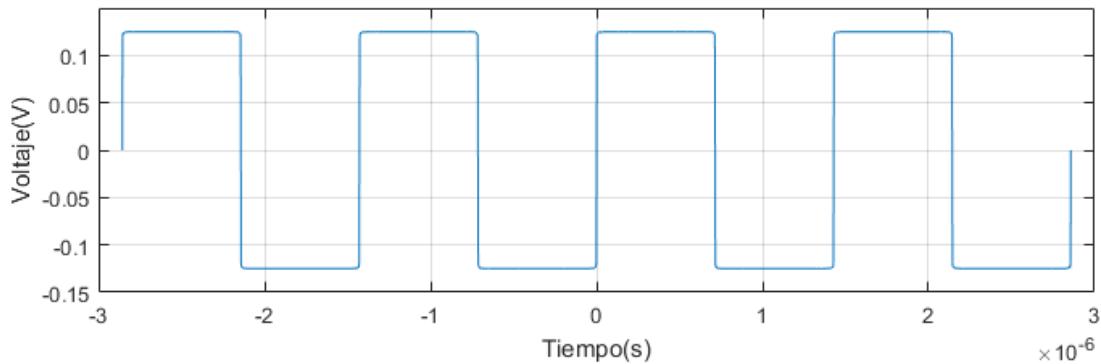


Figura 2.1: Señal cuadrada con las características dadas

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.

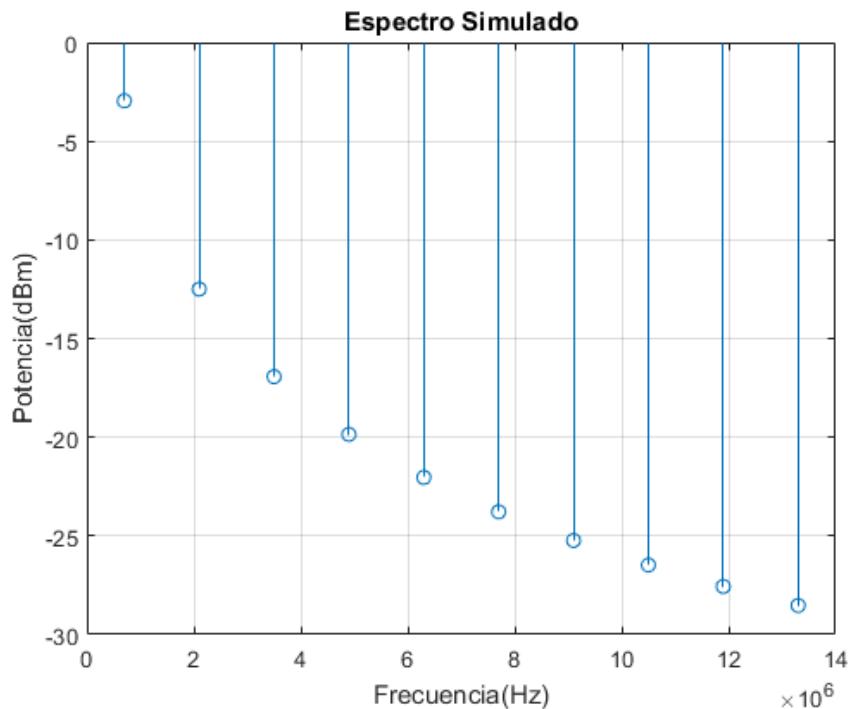


Figura 2.2: Simulación de las potencias a ser observadas

### 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.

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

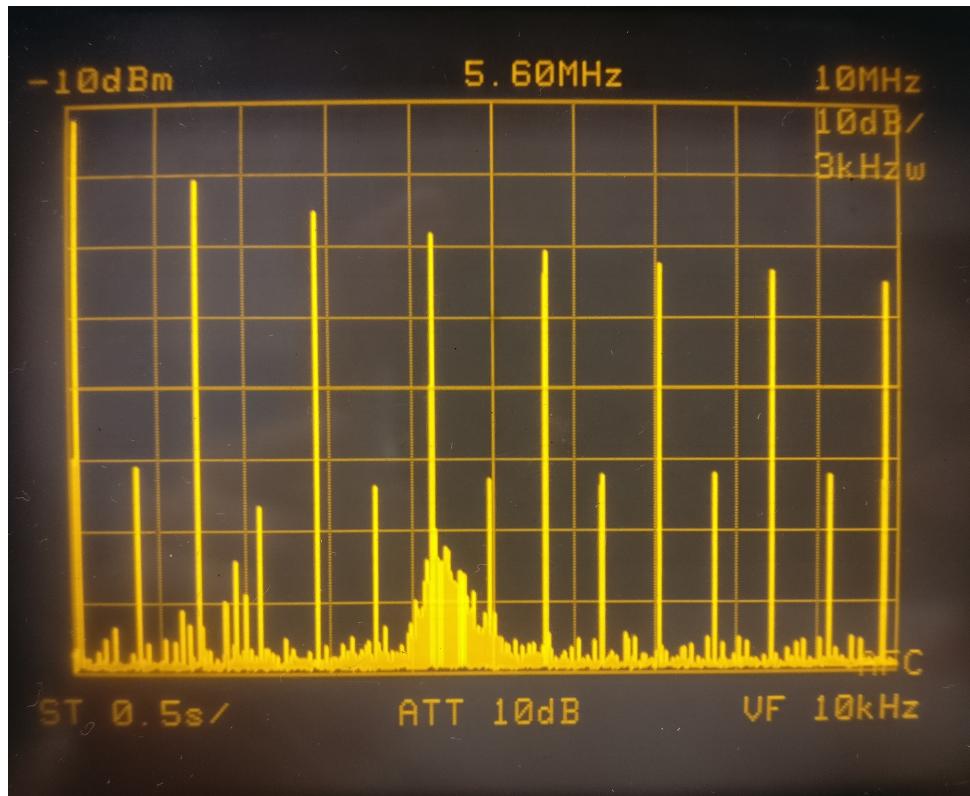


Figura 2.3: Pantalla del Analizador de la señal cuadrada

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:

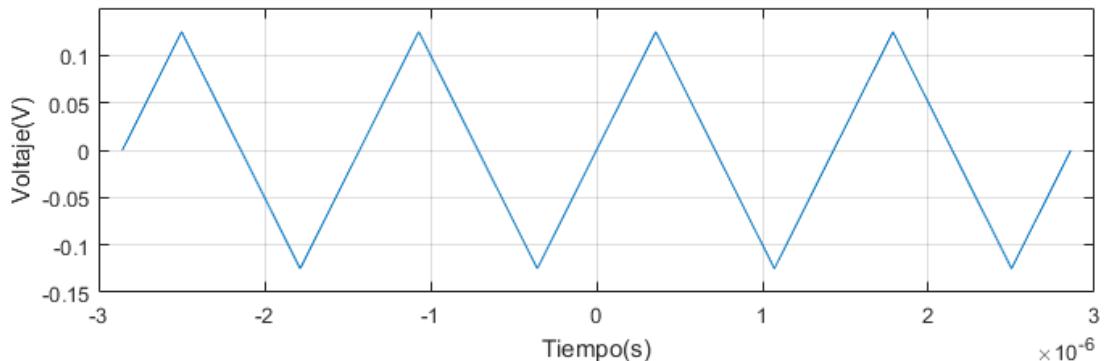


Figura 2.4: Señal cuadrada con las características dadas

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).

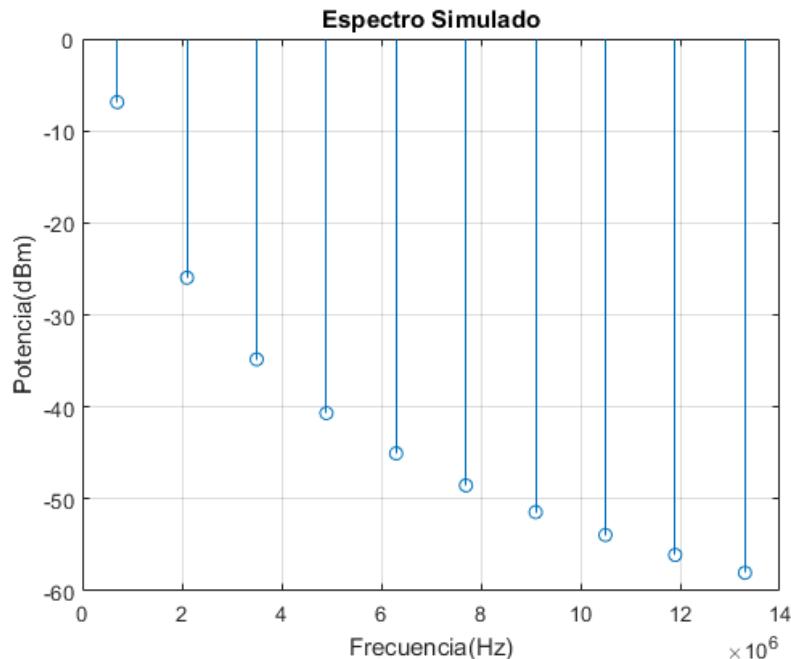


Figura 2.5: Simulación de las potencias a ser observadas en la señal triangular

### 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:

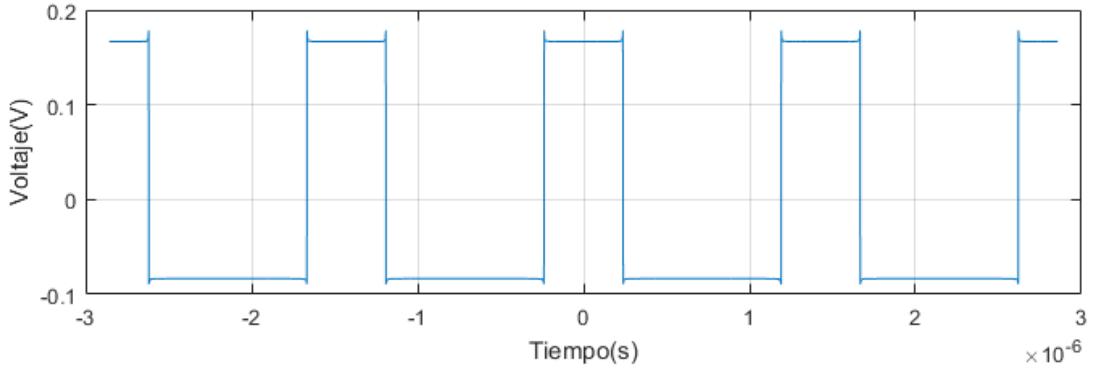


Figura 2.6: Señal cuadrada con DC 33.33 %

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

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

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.

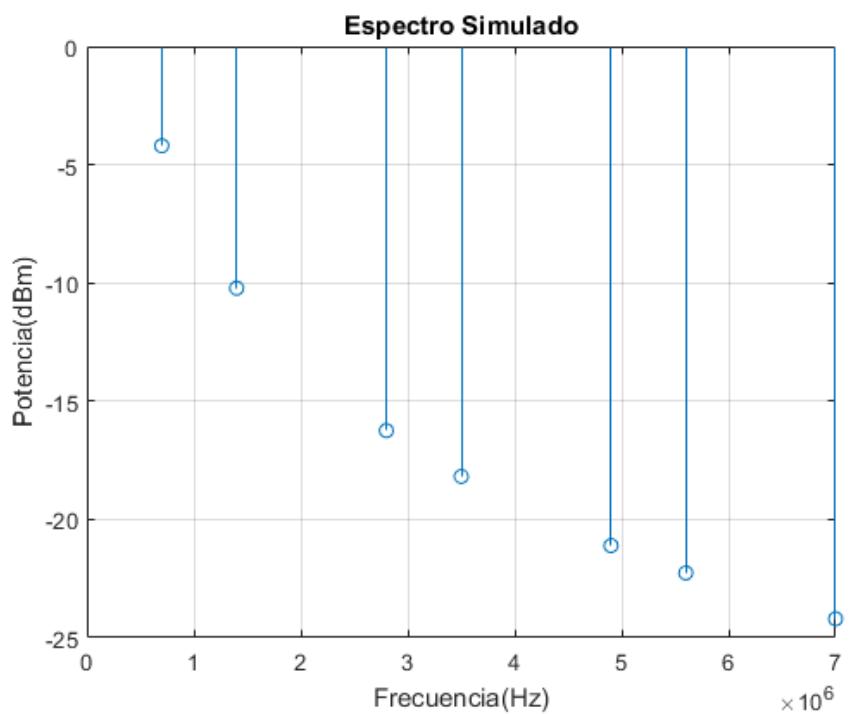


Figura 2.7: Simulación de las potencias de la señal cuadrada con DC = 33.33 %

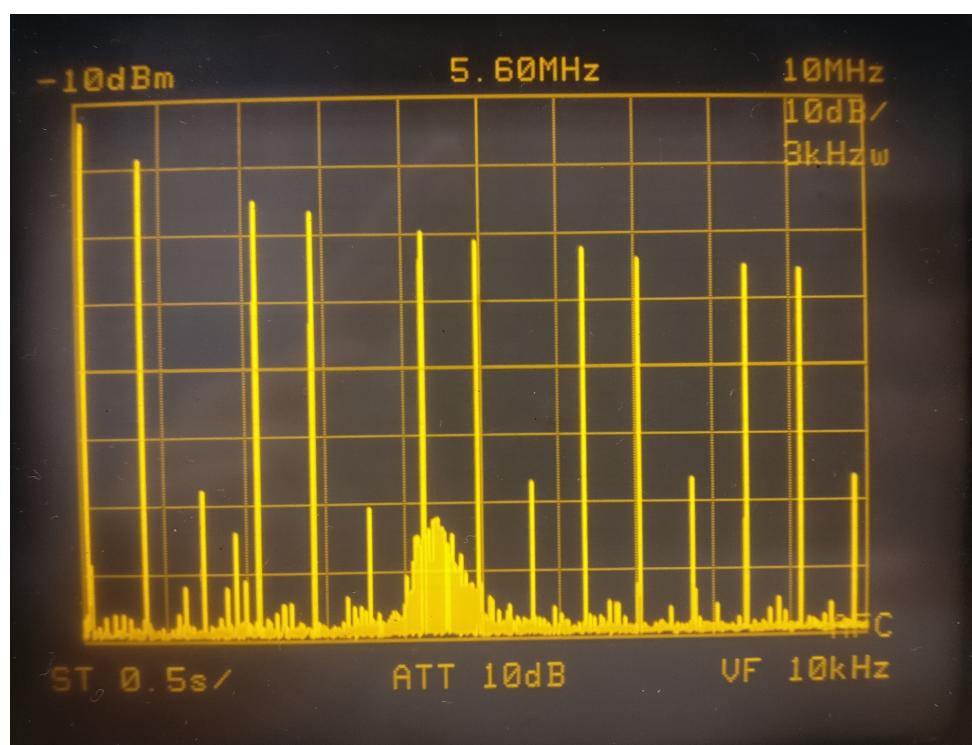


Figura 2.8: Pantalla del Analizador de la señal cuadrada con DC = 33.33 %

# 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

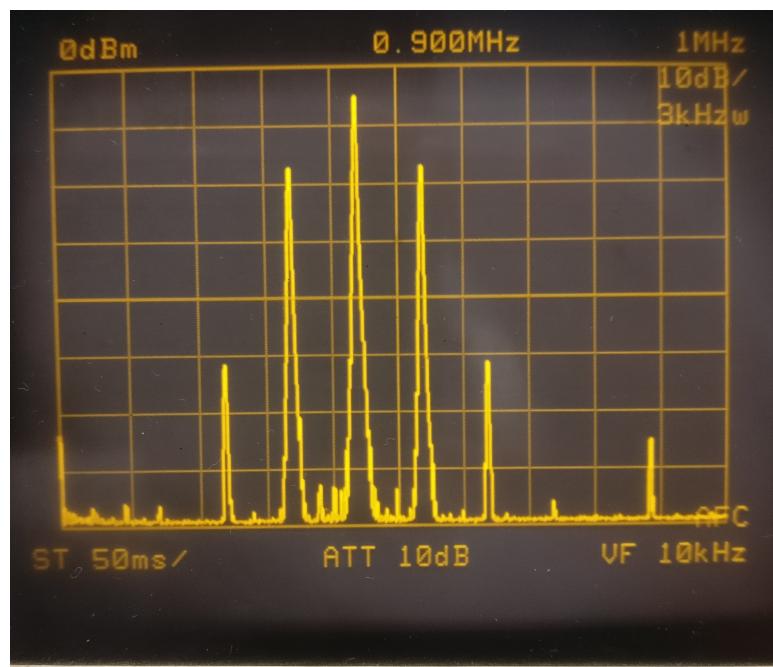


Figura 3.1: Espectro de la señal modulada con senoidal y  $m = 0.5$

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.

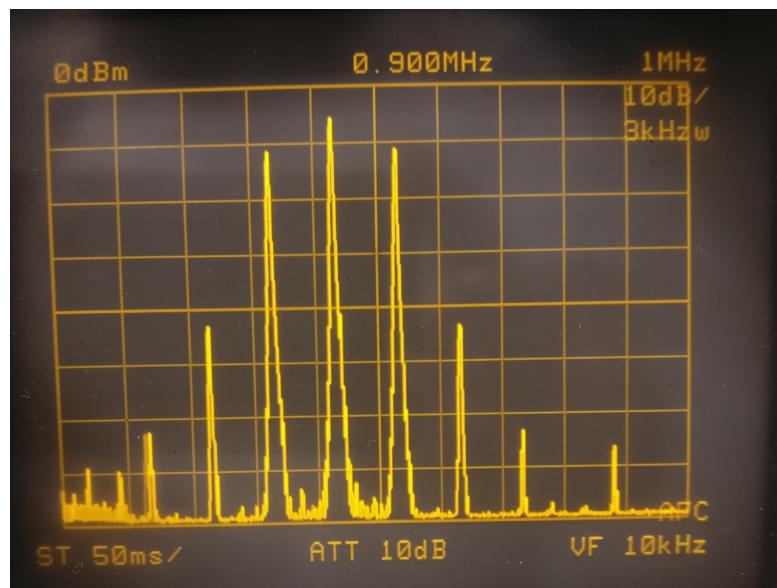


Figura 3.2: Espectro de la señal modulada con senoidal y  $m = 1$

## **Ejercicio 4**

### **Análisis de una señal FM**

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

# Ejercicio 5

## Distribucion de Radiofrecuencias en Argentina

El Espectro Radioeléctrico es el conjunto de frecuencias que, conforme a la tecnología disponible, pueden ser empleadas para emitir ondas que permitan transportar información como voz, datos, imágenes, sonidos, etc.

Una de las principales características es que se trata de un medio finito. Es decir que una vez ocupada una frecuencia específica por una persona, ésta no puede ser utilizada por otra y existen una cantidad limitada de bandas de frecuencias que pueden ser empleadas.



Figura 5.1: Radiofrecuencias en Argentina

La siguiente tabla muestra las frecuencias de operación y los niveles de potencia que emiten los diversos Servicios y Sistemas de Comunicaciones Radioeléctricas:

SERVICIO	FRECUENCIAS DE OPERACIÓN	POTENCIA IRRADIADA
Radiodifusión de AM	535 - 1705 kHz	Mín 100 W Máx 100 kW
Radiodifusión de FM	88 - 108 MHz	Mín 30 W Max 100 kW
Radiodifusión de TV	TV abierta VHF bajo: 54 - 72 MHz (canales 2-4) 76 - 88 MHz (c. 5-6) VHF alto: 174 - 216 MHz (c. 7-13) UHF (en <u>gral.</u> TV codificada, o sea no abierta) 512 - 806 MHz (21-69)	VHF: Mín 5 kw en estación autónoma, 50 W en repetidora. Máx 30 kW en transmisor irradiado hasta 150 kW UHF (codificado, área reducida):aprox. 25 W
Telefonía celular	SRMC/STM: 869 - 894 MHz (base) 824 - 849 MHz (móvil) PCS: 1850 - 1910 MHz (móvil)1930 - 1990 MHz (base)	Celdas en zona muy urbanizada: Aprox. 20 W Zona rural: máx. 100 W
HF	Servicio fijo y móvil (en <u>gral</u> uso comercial): 2 – 30 MHz Radioaficionados: bandas en los rangos de 1,8 - 3,6 - 3,8 - 7 -10 - 14 - 18 - 21 - 25 y 29 MHz	Se especifica potencia pico de envolvente (la potencia media está unos 10 dB por debajo) Uso comercial: máx 160 W Radioafición: máximo 1,5 kW
VHF y UHF	[MHz]30 - 50138 - 174242 - 280340 - 399421 - 426443 - 490	Handies 6 W Móvil 40 WBase 60 WEstos son valores típicos
Móvil Marítimo	Rangos HF: 4, 6, 8, 12, 16, 18, 22, 25 MHz Rangos VHF: 156, 0 - 157,5 /160,5 - 162 MHz	HF: aprox. 150 W pico de envolvente VHF: 25 W
Móvil Aeronáutico	HF (AM): entre 2 y 30 MHz VHF:108 - 118 MHz radionavegación (ILS, VOR)118 - 136 MHz comunicaciones móvil - tierra	HF: hasta 400 W PEP (media 100 W) VHF: 20 W

# Ejercicio 6

## Análisis del espectro EM en la banda de FM

### 6.1. Banda FM

La banda de radio FM va desde 88 a 108 MHz -entre los canales de televisión VHF 6 y 7-. Las estaciones de FM tienen asignadas frecuencias centrales empezando en 88,1 MHz, con una separación de 200 KHz, y un máximo de 100 estaciones. Estas estaciones de FM tienen una desviación máxima de su frecuencia central de 75 kHz, lo cual deja unas "bandas guardas" superior e inferior de 25 kHz, para minimizar la interacción con las bandas de frecuencias adyacentes.

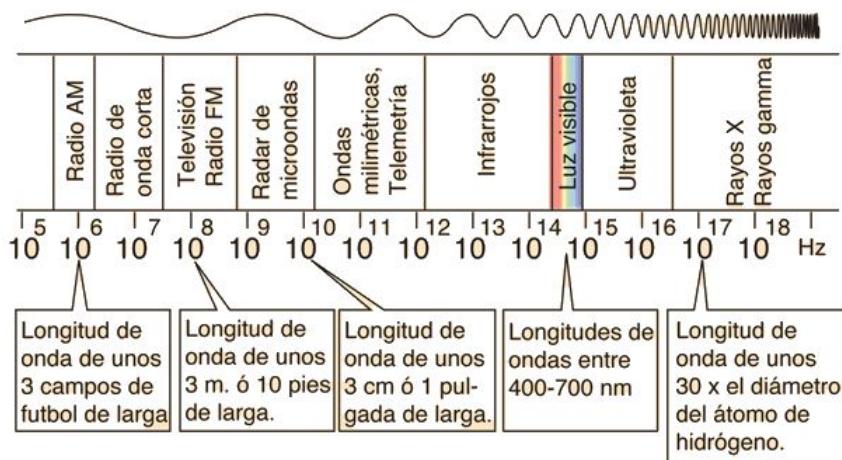


Figura 6.1: El espectro electromagnético

### 6.2. Banda de Radiodifusión de FM Estéreo

El ancho de banda asignado a cada estación de radio FM, es suficientemente amplio para la difusión de señales en estéreo de alta fidelidad. La frecuencia de la portadora está modulada directamente, con la suma de las señales de sonido de los canales izquierdo y derecho. Una subportadora de 38 kHz, tambien modula la portadora y esa subportadora, está modulada con la diferencia de las señales de audio de los canales izquierdo y derecho. El sintonizador de FM decodifica luego esta señal y la separa en los canales de audio izquierdo y derecho.

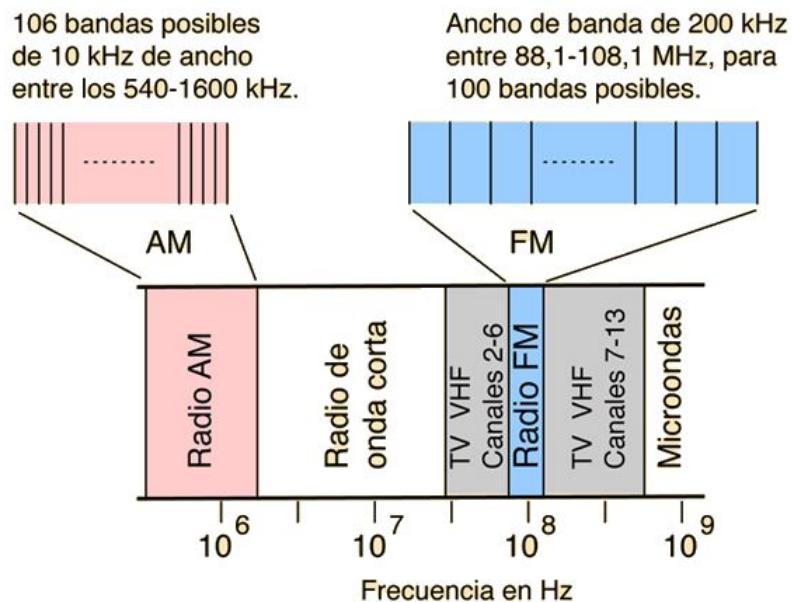


Figura 6.2: El espectro de canales de radio



Frecuencia (kHz) relativa a la frecuencia del centro de banda

# Ejercicio 7

## Señal de Televisión

### 7.1. Banda de TV y Radio FM

Las frecuencias portadoras para los canales de televisión VHF 2-4 cubre el rango de frecuencia de 54 a 72 MHz. Hay una banda de 72-76 MHz que está reservada para servicios gubernamentales y no gubernamentales, incluyendo una radiobaliza aeronáutica estándar a 75 MHz. Los canales de televisión VHF 5 y 6 están entre 76 y 88 MHz. La banda de radio FM está entre 88 y 108 MHz, entre los canales de televisión VHF 6 y 7. En la parte superior de FM hay un rango de 108-122 MHz para la navegación aeronáutica, incluyendo localizadores, radio detectores y control de aeropuerto. De 122 a 174 MHz hay otra banda de servicios generales para señales del gobierno y no gubernamentales. Se incluye la difusión amateur y unidades fijas y móviles. Los canales 7 hasta 13 comprenden el rango de frecuencias 174-216 MHz. De 216-470 MHz hay un número de modos de comunicaciones fijas y móviles, incluyendo navegación aeronáutica y radio civil. De 470-890 MHz se incluyen los canales de televisión UHF 14 a 83. Las frecuencias de 890-3000 MHz incluye una variedad de usos aeronáuticos y amateur, repetidores de emisoras radiofónicas, etc. Hay bandas de radar de 1.300-1.600 MHz.

### 7.2. Canal de Televisión

Es una banda de frecuencias, dentro de las bandas de radiodifusión para televisión, que se asigna a una estación radiodifusora de televisión.

Canal	Límites de Frecuencia (MHz)
Banda I – VHF: Canales 2 al 6	54 – 88
Banda II – VHF: Canales 7 al 13	174- 216
Banda III – VHF: Canales 21 al 69	512 - 806

El canal 37 (608 a 614 MHz) corresponde a Radioastronomía, razón por la cual no se asigna para este tipo de servicio.

### 7.3. Servicio de Televisión (TV)

CATEGORÍA	RADIO ÁREA PRIMARIA DE SERVICIO ASIGNADA (40 dB $\mu$ V/m - 100 $\mu$ V/m) KILÓMETROS
PRINCIPAL	85
SECUNDARIA	60
MENOR	40
LOCAL	10

Cuadro 7.1: BANDA I-VHF(Canales 2 al 6)

CATEGORÍA	RADIO ÁREA PRIMARIA DE SERVICIO ASIGNADA (50 dB $\mu$ V/m – 316 $\mu$ V/m) KILÓMETROS
PRINCIPAL	75
SECUNDARIA	55
MENOR	40
LOCAL	10

Cuadro 7.2: BANDA II-VHF(Canales 7 al 13)

CATEGORÍA	RADIO ÁREA PRIMARIA DE SERVICIO ASIGNADA (60 dB $\mu$ V/m – 1000 $\mu$ V/m) KILÓMETROS
A	60
B	40
C	25

Cuadro 7.3: BANDA III-VHF(Canales 21 al 69)

#### 7.4. sistema de Televisión Codificada (STVC)

Es aquel cuyas emisiones están destinadas a la recepción, previa decodificación, por parte del público abonado al sistema.

CATEGORÍA	RADIO ÁREA PRIMARIA DE SERVICIO ASIGNADA (60 dB $\mu$ V/m – 1000 $\mu$ V/m) KILÓMETROS
B	40
C	25
D	15
E	10
F	6

Cuadro 7.4: BANDA I-VHF(Canales 2 al 6)

# 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. $\sin(x)/x$

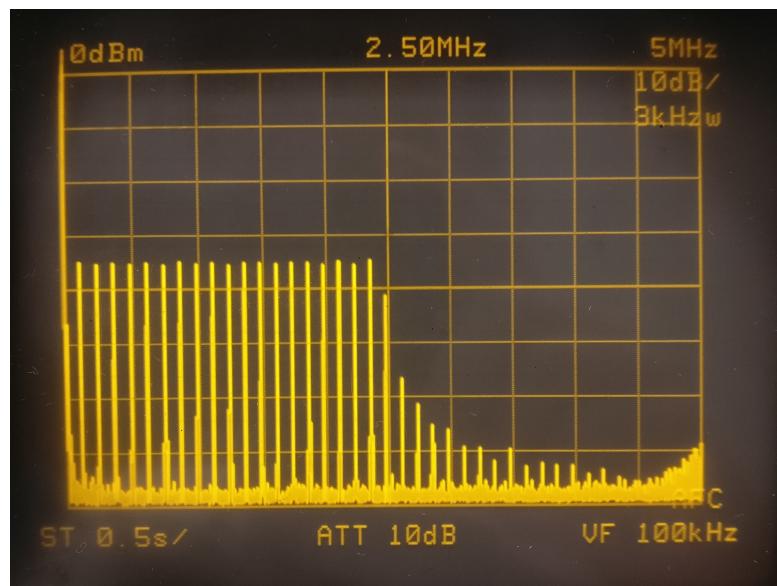


Figura 8.1: Espectro de la señal de la función

## 8.2. Tren de Pulso

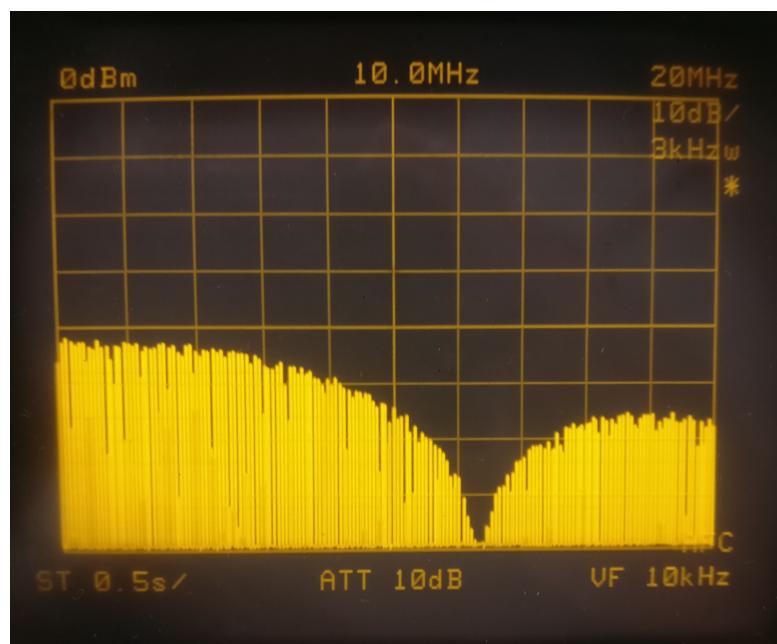


Figura 8.2: Espectro del Tren de Pulso con DC = 1 %

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 %.