

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

22.42 LABORATORIO DE ELECTRÓNICA

---

**Trabajo Práctico N°5**

---

*Grupo 3*

BERTACHINI, Germán	58750
LAMBERTUCCI, Guido Enrique	58009
LONDERO BONAPARTE, Tomás Guillermo	58150
MECHOULAM, Alan	58438
SCAPOLLA, Franco	58465

*Profesores*

COSSUTTA, Pablo Martín  
WEILL, María Alejandra  
SALVATI, Matías

Presentado: 19/11/19

# Índice

<b>1. Medición de distorsión armónica</b>	<b>2</b>
1.1. Introducción . . . . .	2
1.2. Medición de distorsión armónica . . . . .	2
1.3. Conclusiones . . . . .	4
<b>2. Análisis de señales</b>	<b>4</b>
2.1. Señal Cuadrada . . . . .	4
2.1.1. Cálculo Analítico . . . . .	4
2.1.2. Simulación del Espectro . . . . .	4
2.1.3. Medición . . . . .	5
2.1.4. Cálculo del Duty-Cycle . . . . .	5
2.2. Señal Triangular . . . . .	5
2.2.1. Cálculo Analítico . . . . .	5
2.2.2. Simulación del Espectro . . . . .	6
2.2.3. Medición . . . . .	6
2.3. Tren de Pulso . . . . .	6
2.3.1. Cálculo Analítico . . . . .	6
2.3.2. Simulación del Espectro . . . . .	6
2.3.3. Medición . . . . .	7
2.4. Conclusiones . . . . .	7
<b>3. Señales AM</b>	<b>7</b>
3.1. Señal senoidal AM $m=0,5$ . . . . .	8
3.2. Señal senoidal AM $m=1$ . . . . .	8
3.3. Señal triangular AM con $m=1$ . . . . .	10
3.4. Señal senoidal AM con $f=1$ MHz, $m=1$ . . . . .	10
<b>4. Análisis de señales FM</b>	<b>11</b>
4.1. Señal senoidal FM con $m=0,5$ . . . . .	11
4.2. Señal senoidal FM con $m=1$ . . . . .	12
4.3. Señal triangular FM . . . . .	13
4.4. Señal senoidal FM con $fm=1$ MHz . . . . .	14
<b>5. Espectro de radiofrecuencias</b>	<b>15</b>
<b>6. Banda FM</b>	<b>16</b>
<b>7. Señales de televisión</b>	<b>18</b>
<b>8. Espectro de señales</b>	<b>19</b>
8.1. sinc . . . . .	19
8.2. Tren del deltas . . . . .	21

## 1. Medición de distorsión armónica

### 1.1. Introducción

En el presente trabajo de laboratorio se realizaron distintas mediciones utilizando el analizador de espectros. En primer lugar se compararó la distorsión armónica presente en distintos generadores de funciones; se procedió al análisis del espectro de algunas formas de ondas conocidas, como la cuadrada con duty cycle de 50 %, la triangular y el tren de pulsos; posteriormente se modularon señales en AM y en FM y se observaron los espectros resultantes; por último se analizó el espectro de un sinc y un tren de deltas.

### 1.2. Medición de distorsión armónica

Como primera experiencia se midió la distorsión armónica (THD) de distintos generadores de funciones disponibles en el laboratorio. Para esto se generó una señal senoidal de 1 MHz y 350 mVpp de amplitud, con el OUT TERM en HiZ; como la impedancia del analizador de espectros es de  $50\Omega$ , la señal que llegó al analizador fue de aproximadamente 175 mVpp ya que la mitad de la tensión cae sobre la impedancia del generador utilizado de  $50\Omega$ . Una vez realizadas las mediciones, se compararon los valores de THD obtenidos con los recuperados de las hojas de datos de los fabricantes. Para el cálculo, se tomó la definición de THD como:

$$THD = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_i}{P_0} \quad (1)$$

donde  $P_0$  representa la potencia del armónico fundamental, y  $P_i$  la potencia del i-ésimo armónico.

Generador	$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
Picotest	-10dBm	-65dBm	-85dBm	NOAPR	NOAPR	NOAPR
Agilent	-11.4dBm	-55dBm	NOAPR	NOAPR	NOAPR	NOAPR
GW	-12.4dBm	-30dBm	-40dBm	-51dBm	-58dBm	-60dBm

Tabla 1: Tabla de mediciones realizadas. NOAPR significa potencia no apreciable o por debajo del piso de ruido del analizador de espectros.

Luego de medir todas las potencias de los fundamentales y armónicos de los generadores *Agilent3320a*, *PicotestG5100a* y *GWGFGG8019G* se calcularon las distorsiones armónicas de cada uno, resultando:

Picotest	THD
Datasheet	$\leq 0.06\%$
Medido	0.000319 %

(a) Mediciones del THD del picotest.

Agilent	THD
Datasheet	$\leq 0.04\%$
Medido	0.0044 %

(b) Mediciones del THD del agilent.

Agilent	THD
Datasheet	—
Medido	0.0044 %

(c) Mediciones del THD del GW.

Figura 1: Mediciones de la distorsión armónica total de los generadores. No se encontró hoja de datos para el generador GW.

A continuación se incluyen algunas imágenes de lo observado en el analizador de espectros. En las Figuras (2), (3) y (4) se presentan los picos para el generador Agilent; notamos que ya el segundo armónico es indistinguible. En las Figuras (5) se puede observar el espectro del generador Picotest, donde se aprecia que ya el segundo armónico tiene una amplitud muy Baja. No se puede observar un tercer armónico. Para el generador marca GW pudieron observarse más armónicos. En las Figuras (6) y (7) se observan el segundo y tercero armónico, respectivamente.

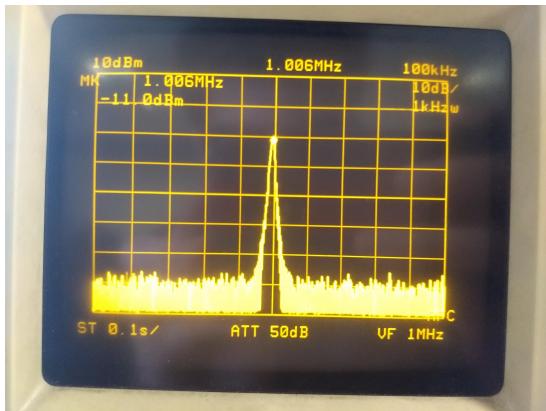


Figura 2: Armónico fundamental para el generador Agilent

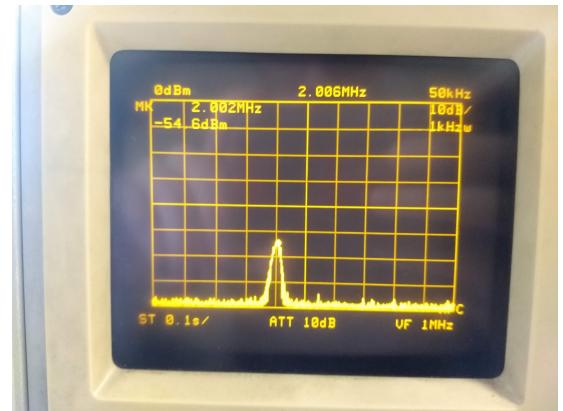


Figura 3: Primer armónico para el generador Agilent

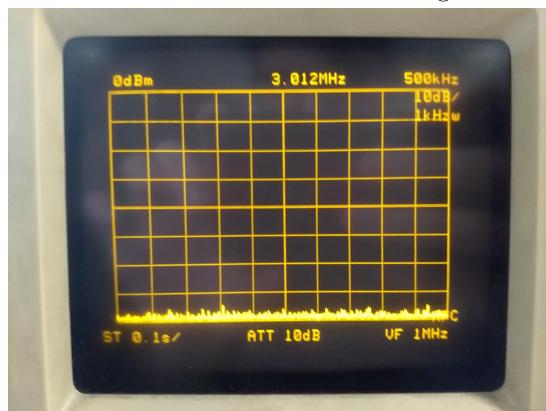


Figura 4: Segundo armónico para el generador Agilent

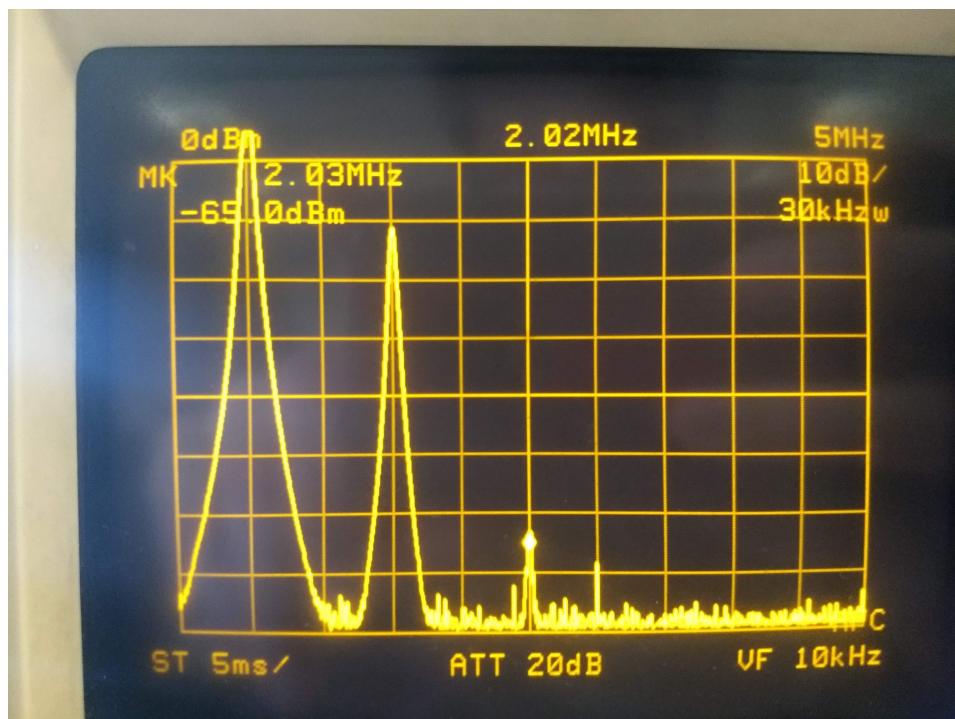


Figura 5: Espectro para el generador Picotest



Figura 6: Segundo armónico para el generador GW

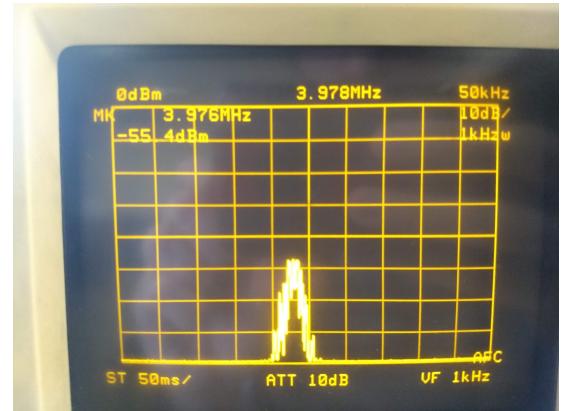


Figura 7: Tercer armónico para el generador GW

### 1.3. Conclusiones

Se puede concluir mediante las mediciones tomadas de los tres generadores de la distorsión armónica total que en este aspecto el generador de mayor calidad es el Agilent ya que no solo la distorsión armónica total calculada es menor a la de los otros tres tanto en la hoja de datos como efectivamente en la medición realizada. En este generador no eran apreciables los armónicos de orden mayor al primero debido al piso del ruido del analizador de espectros aún así con el atenuador en su mínima configuración. Luego, el generador cuya calidad se encuentra entre los otros dos es el Picotest, mientras que por un gran margen el generador GW es el de menor calidad.

## 2. Análisis de señales

### 2.1. Señal Cuadrada

Para esta sección se utilizó una señal cuadrada de  $350mV$  y con un  $DC$  del  $50\%$ . Esta señal fue generada con el generador de señales Agilent.

#### 2.1.1. Cálculo Analítico

Sea una señal cuadrada  $f(t)$  de amplitud  $A$  y frecuencia  $f_0$ , el desarrollo en serie de Fourier para esta señal es:

$$f(t) = \frac{A}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2A}{n\pi} \sin(2\pi n f_0 t) \quad (2)$$

Luego,  $X_n = \frac{2A}{n\pi}$  representan los coeficientes de la serie de Fourier de la onda cuadrada para  $n > 1$ . Notemos, además, que para múltiplos pares de la frecuencia fundamental la señal se anula. Luego se verán únicamente armónicos impares en el espectro.

#### 2.1.2. Simulación del Espectro

Se realizó una simulación del espectro de una señal cuadrada con frecuencia  $1MHz$  y amplitud  $350mV_{pp}$ . En la figura (8) se puede observar el resultado de dicha simulación. Nótese que efectivamente no hay presentes armónicos pares.

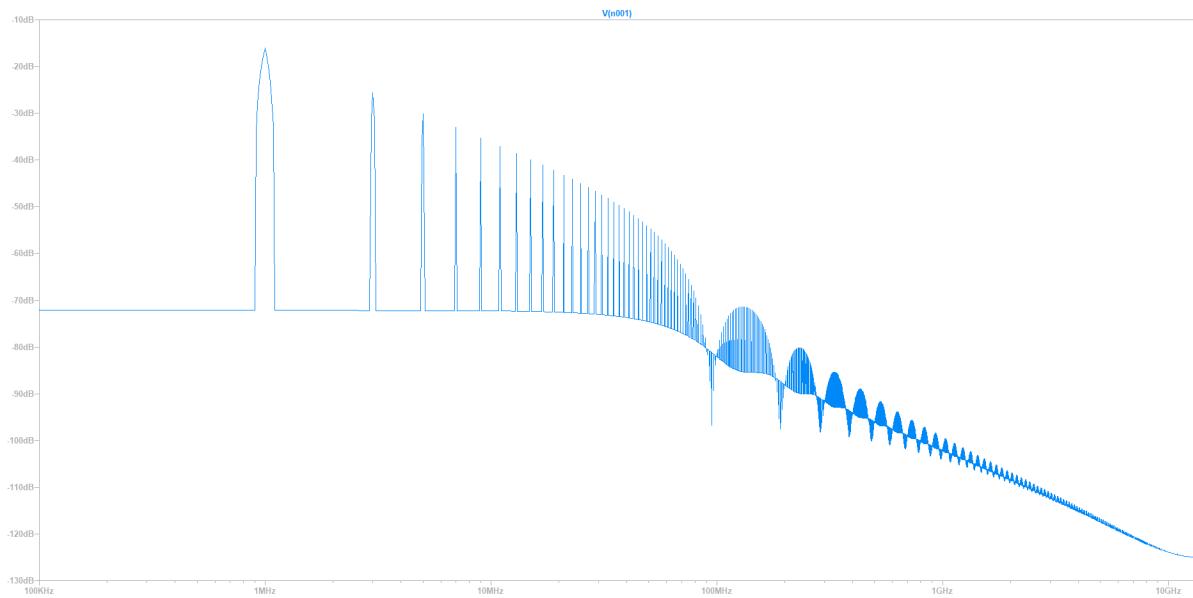


Figura 8: Simulación del espectro de una señal cuadrada.

### 2.1.3. Medición

Las mediciones se llevaron a cabo utilizando el marcador del dispositivo el cual al posicionarlo sobre el armónico que se quiere medir muestra la frecuencia y la potencia de este en  $dBm$ . A continuación se presentan las mediciones realizadas con el analizador de espectro:

0,982MHz	1,981MHz	2,98MHz	3,98MHz	4,98MHz	5,979MHz	6,979MHz	7,978MHz	8,979MHz	9,979MHz	10,978MHz
-11.2dBm	-63dBm	-18.2dBm	-62.8dBm	-22.6dBm	-63.8dBm	-30.2dBm	-63.4dBm	-27.6dBm	-61.4dBm	-32.6dBm

Puede observarse cómo los armónicos múltiplos pares de la frecuencia fundamental tienen una potencia muy baja comparado con los impares. Esto se corresponde con la teoría.

### 2.1.4. Cálculo del Duty-Cycle

Se entiende por duty cycle o ciclo de trabajo a la relación entre el tiempo en que la señal está activa y el período de dicha señal. Expresado en porcentaje, puede variar desde 0 % hasta 100 %. Matemáticamente, para una señal cuadrada el ciclo de trabajo  $D$  puede expresarse como  $D = \frac{\tau}{T} \cdot 100\%$ , donde  $\tau$  es el tiempo en que la señal está activa y  $T$  es el período.

Luego, podemos escribir el pulso cuadrado con un Duty Cycle determinado por  $\tau$  como

$$x(t) = A\Pi(t - \frac{\tau}{T}) \quad (3)$$

cuya serie de Fourier puede expresarse como

$$x(t) = \sum_{n \text{ impar}} \frac{2A}{\pi n} \sin\left(\frac{\pi n \tau}{T}\right) \quad (4)$$

Luego, como los armónicos pares se anulan, tenemos  $\sin\left(\frac{\pi n \tau}{T}\right) = 0$  si  $n = 2k$  con  $k$  entero. De ahí se deduce que  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{2}$ , de donde el Duty Cycle es del 50 %

## 2.2. Señal Triangular

Para esta sección se generó una señal triangular con DC del 50 % utilizando el generador GW.

### 2.2.1. Cálculo Analítico

Para una señal triangular  $x(t)$  con amplitud  $A$  y frecuencia  $f_0$ , se tiene que los coeficientes de la serie de Fourier son:

$$|X_n| = \begin{cases} \frac{4A}{\pi^2 n^2}, & \text{si } n \text{ es impar} \\ 0, & \text{si } n \text{ es par} \end{cases} \quad (5)$$

Se observa nuevamente que los armónicos pares valen cero.

### 2.2.2. Simulación del Espectro

Se simuló el espectro de una señal triangular. Dicho espectro puede observarse en la figura (9)

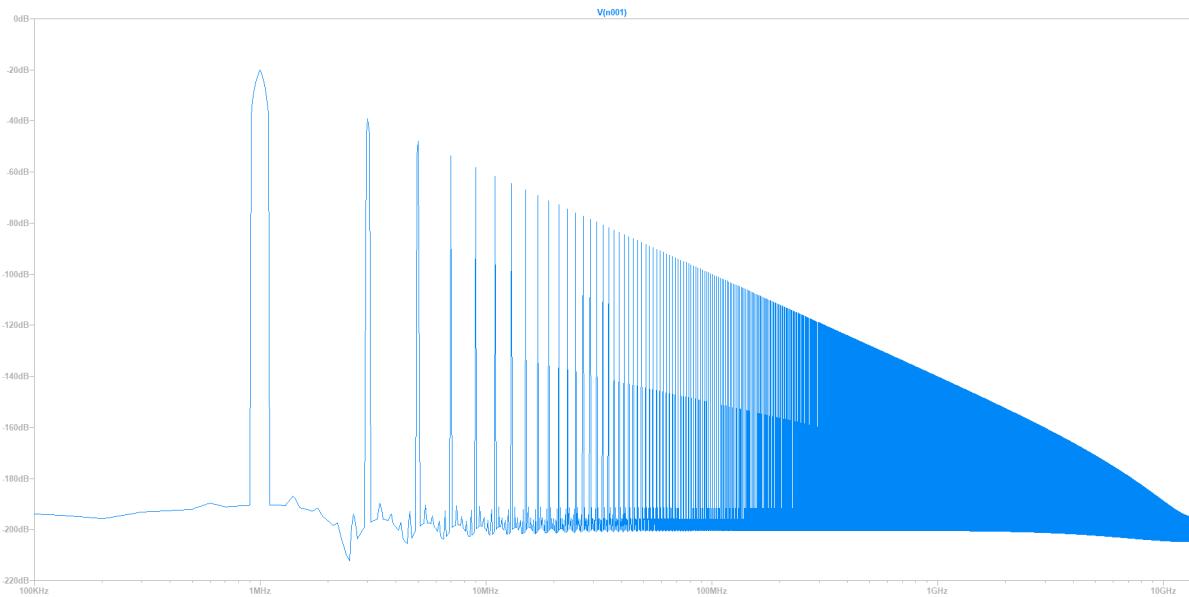


Figura 9: Simulación del espectro de una señal triangular.

### 2.2.3. Medición

De forma similar al caso anterior, se midieron algunos armónicos junto con sus potencias correspondientes (en  $dBm$ ) A continuación se presenta una tabla con las mediciones.

$1,028MHz$	$2,027MHz$	$3,014MHz$	$4,012MHz$	$5,026MHz$	$6,004MHz$	$7,037MHz$	$8,007MHz$	$9,047MHz$	$10,029MHz$
$-13,6dBm$	$-55dBm$	$-34dBm$	$-70dBm$	$-44,2dBm$	$-89,6dBm$	$-53dBm$	—	$-53,2dBm$	—

Notemos cómo nuevamente los armónicos pares tienen potencia mucho más baja que los impares. De hecho, los correspondientes a frecuencias de  $8,007MHz$  y  $10,029MHz$  no pudieron medirse por ser demasiado tenues.

## 2.3. Tren de Pulses

Se generó un tren de pulsos con un DC del 33,3%.

### 2.3.1. Cálculo Analítico

De forma análoga a lo desarrollado en la sección de la onda cuadrada, como el DC es del 33,3% se verifica que  $\sin(\frac{n\pi}{3}) = 0$ , de donde los armónicos múltiplos de 3 se anularán.

Haciendo el desarrollo en serie de Fourier se encuentra que  $|X_n| = \frac{A\sqrt{3}}{n\pi}$  para todo  $n$  que no sea múltiplo de 3

### 2.3.2. Simulación del Espectro

Se simuló el espectro del tren de pulsos. El resultado puede observarse en la figura (10)

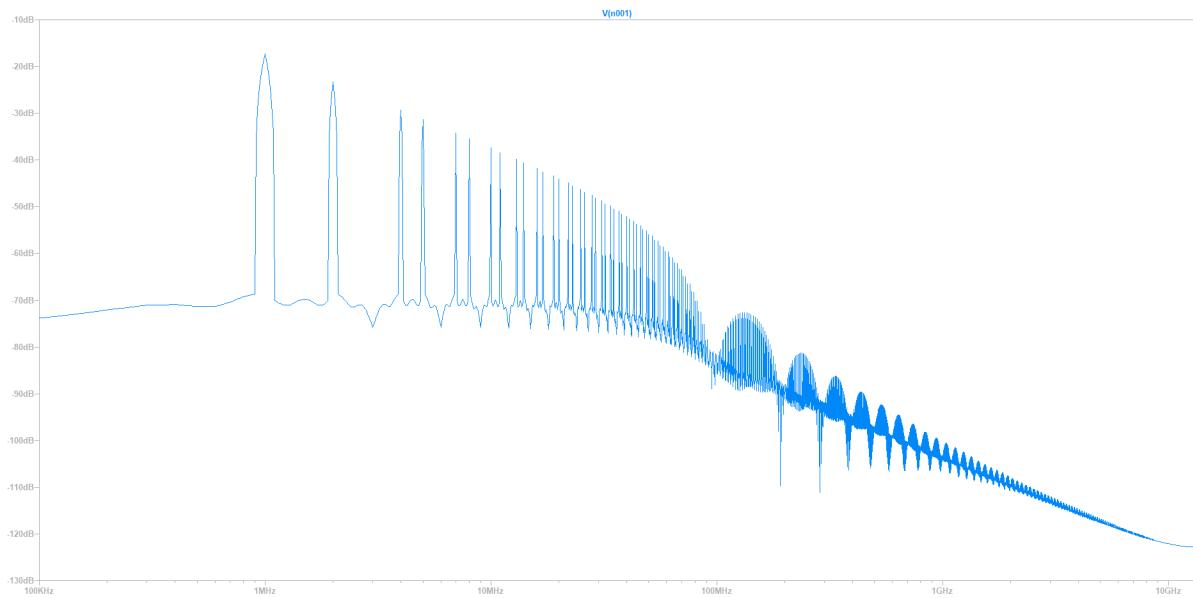


Figura 10: Simulación del espectro del tren de pulsos

### 2.3.3. Medición

Se midieron los primeros armónicos con sus correspondientes potencias. Se presentan los resultados en la siguiente tabla:

1,018MHz	2,018MHz	3,015MHz	4,011MHz	5,009MHz	6,004MHz	7,009MHz	8,007MHz	9,002MHz	9,999MHz	10,998MHz
-10,2dBm	-16,2dBm	-63dBm	-25,4dBm	-26,1dBm	-81dBm	-32,2dBm	-34,4dBm	-84,8dBm	-36,8dBm	-31,6dBm

Las mediciones corresponden con la teoría. Se puede observar cómo en los armónicos múltiplos de 3 la potencia cae considerablemente.

## 2.4. Conclusiones

En los tres casos se puede observar que hubo correspondencia entre la teoría y la práctica. Tanto en la cuadrada con DC del 50 % como en la triangular la potencia en los armónicos pares decayó considerablemente. Por supuesto, no fue exactamente cero porque el generador es incapaz de crear una onda cuadrada o triangular perfecta; de hecho en el primer ejercicio se vio que tanto el generador Agilent como el GW poseen en mayor o menor medida un grado de distorsión armónica. Una conclusión similar se puede confeccionar para el tren de pulsos: los armónicos múltiplos de tres resultaron tener una potencia que, aunque no fue cero, resultó muy baja comparada con el resto de los armónicos. El analizador de espectros resulta un elemento muy útil a la hora de analizar espectros de señales. No obstante, pueden surgir complicaciones si se intentan medir potencias muy pequeñas, ya que éstas se pueden confundir con el piso de ruido.

## 3. Señales AM

Se estudiaron señales moduladas en AM generadas con dos osciloscopios, de forma que la frecuencia de la portadora sea de  $1MHz$  con amplitud de  $250mV_{pp}$  y la frecuencia de la moduladora de  $100KHz$ .

Sea  $S_{AM}(t)$  la señal modulada,  $S_p(t)$  la señal portadora y  $S_M(t)$  la señal moduladora, entonces

$$S_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t) \quad (6)$$

$$S_M = \frac{1}{2} m A_p \cos(2\pi f_M t) \quad (7)$$

siendo  $A_p$  la amplitud de la señal portadora,  $m$  el coeficiente de modulación, definido según  $m = \frac{V_{max}-V_{min}}{V_{max}+V_{min}}$ , y  $f_p$  y  $f_M$  la frecuencia de la señal portadora y la señal moduladora respectivamente.

La señal modulada puede describirse como la suma de tres señales senoidales de tres frecuencias distintas, una central y otras dos que la modulan. Matemáticamente es posible describirla según la siguiente ecuación:

$$S_{AM}(t) = S_p(t)(1 + mS_M(t)) \quad (8)$$

Desarrollando,

$$S_{AM} = \frac{1}{2}A_p \cos(2\pi f_p t) + \frac{1}{2}mA_p(\cos(2\pi(f_p - f_M)t) + \cos(2\pi(f_p + f_M)t)) \quad (9)$$

### 3.1. Señal senoidal AM m=0,5

Para el primer caso se moduló una señal AM con  $m = 0,5$ . El espectro observado se presenta en las figuras 11 y 12

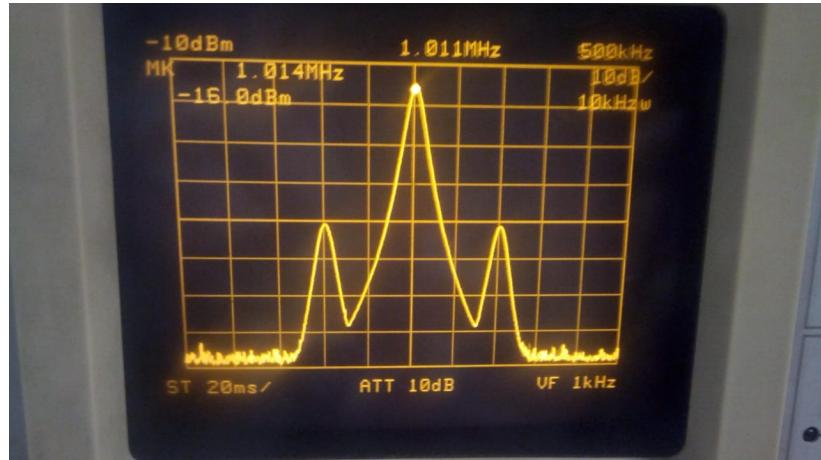


Figura 11: Espectro de la señal AM con  $m=0,5$

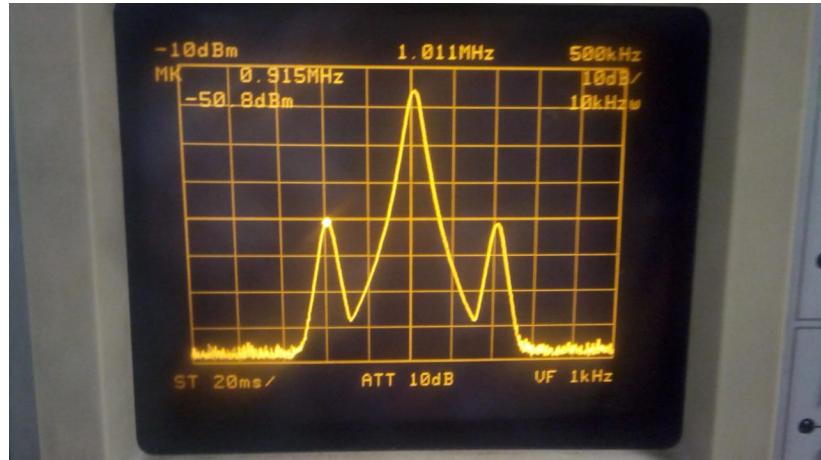
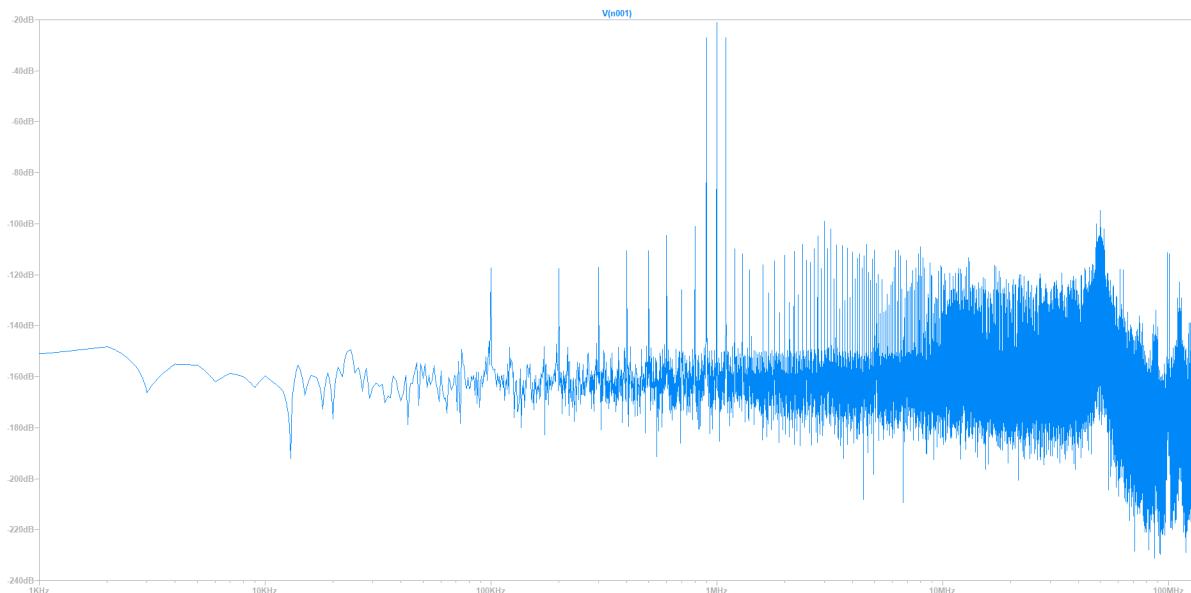
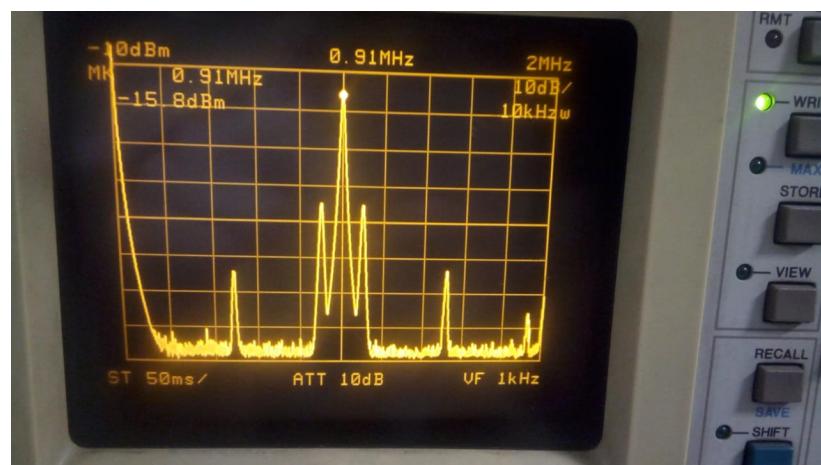
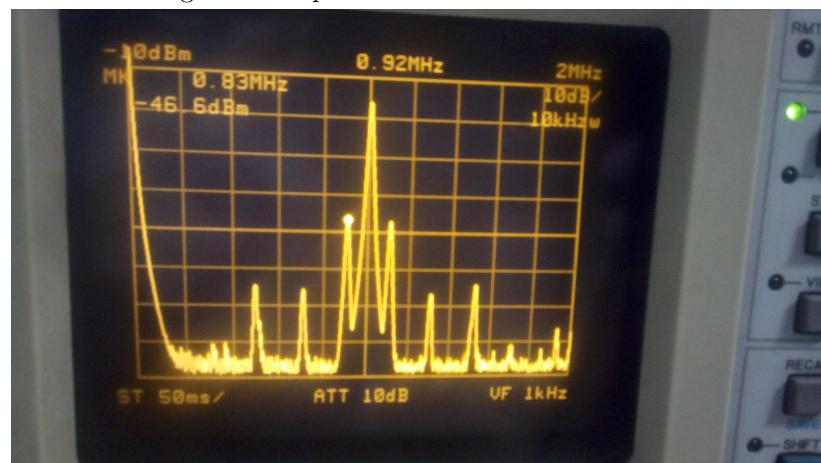


Figura 12: Espectro de la señal AM con  $m=0,5$

Puede observarse que la diferencia entre el pico central y los escoltas es de aproximadamente  $100kHz$ , lo cual corresponde a lo esperado, ya que la frecuencia de la moduladora era de  $100kHz$ . Además, puede apreciarse que el pico central está a una frecuencia de  $1,011MHz$ , muy cercana a la frecuencia que se configuró para la señal portadora de  $1MHz$ .

### 3.2. Señal senoidal AM m=1

En este caso se observa que mientras la amplitud del pico central se mantuvo igual, la de ambas escoltas aumentó. La diferencia de frecuencias continúa siendo de alrededor de  $100KHz$ . Se observa que el pico central se encontró en  $0,92MHz$ . Se realizó una simulación del espectro que se observa en la figura (13). En las Figuras (14) y (15) se puede observar el espectro medido en el analizador.

Figura 13: Espectro simulado de la señal AM con  $m=1$ Figura 14: Espectro de la señal AM con  $m=1$ Figura 15: Espectro de la señal AM con  $m=1$

### 3.3. Señal triangular AM con $m=1$

Se analizó una señal triangular con  $m = 1$ . En este caso se observó la aparición de más armónicos que antes. En la figura (16) se observa una simulación del espectro a medir. En la figura (17) se puede observar el espectro medido.

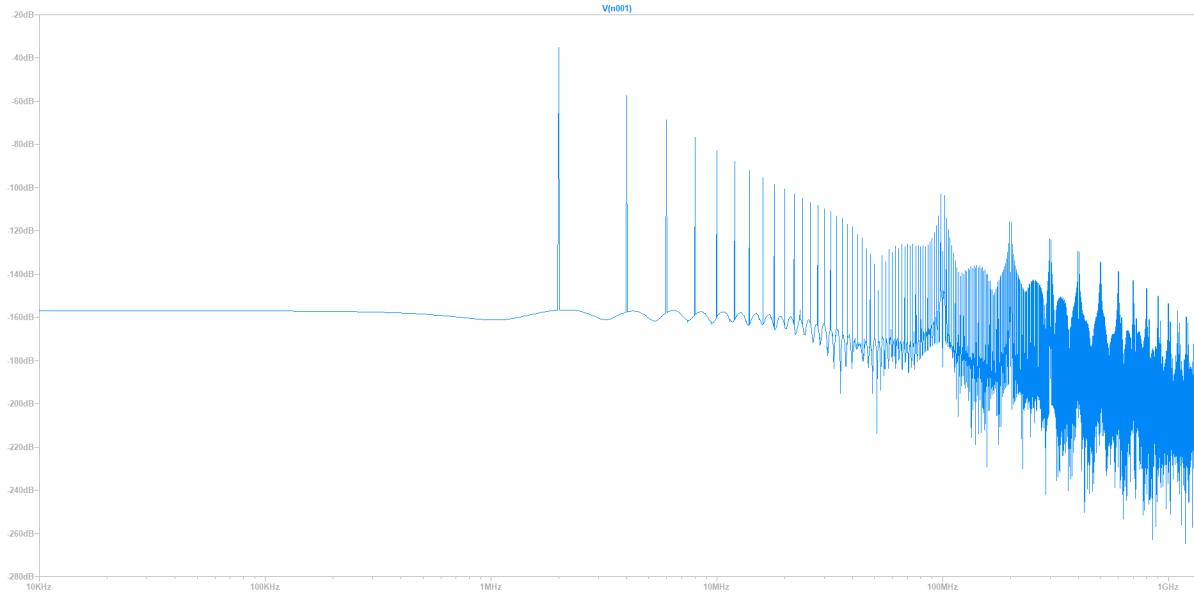


Figura 16: Espectro simulado de la señal triangular AM

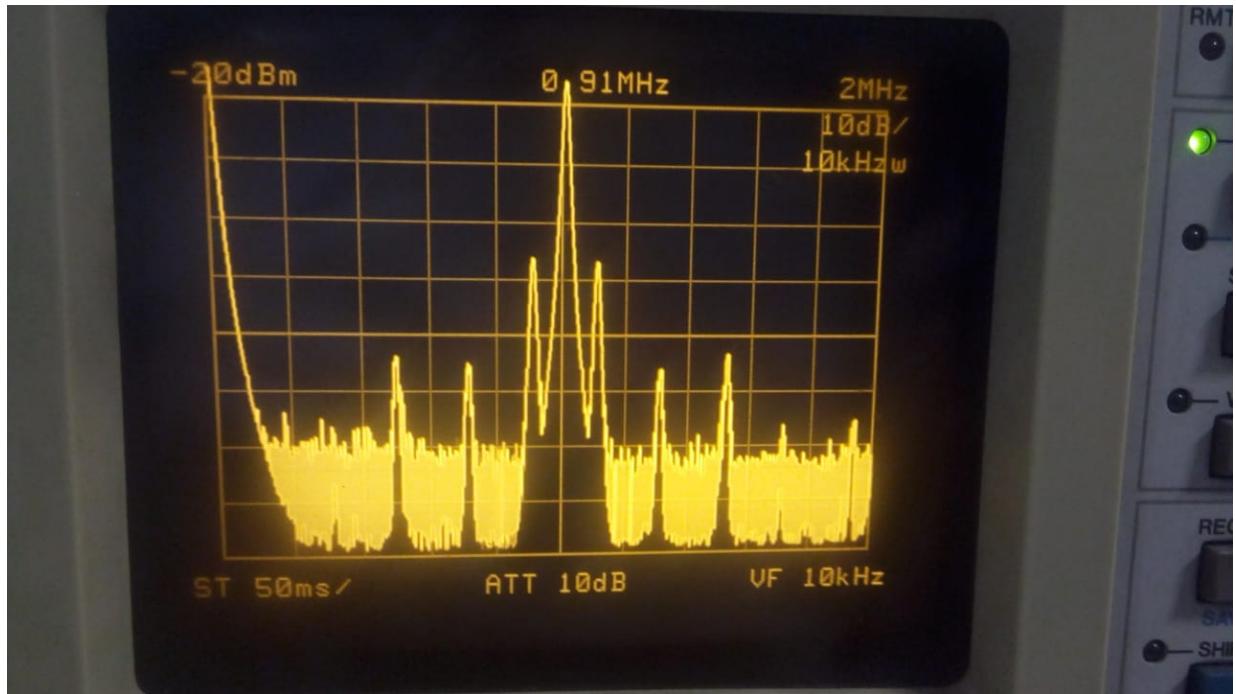
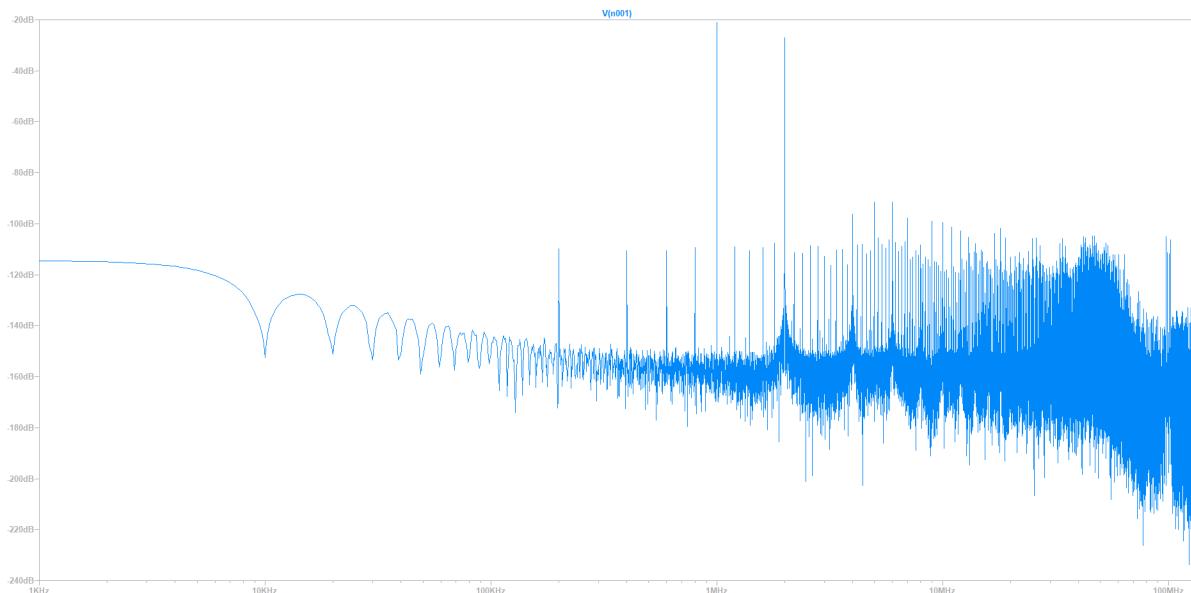
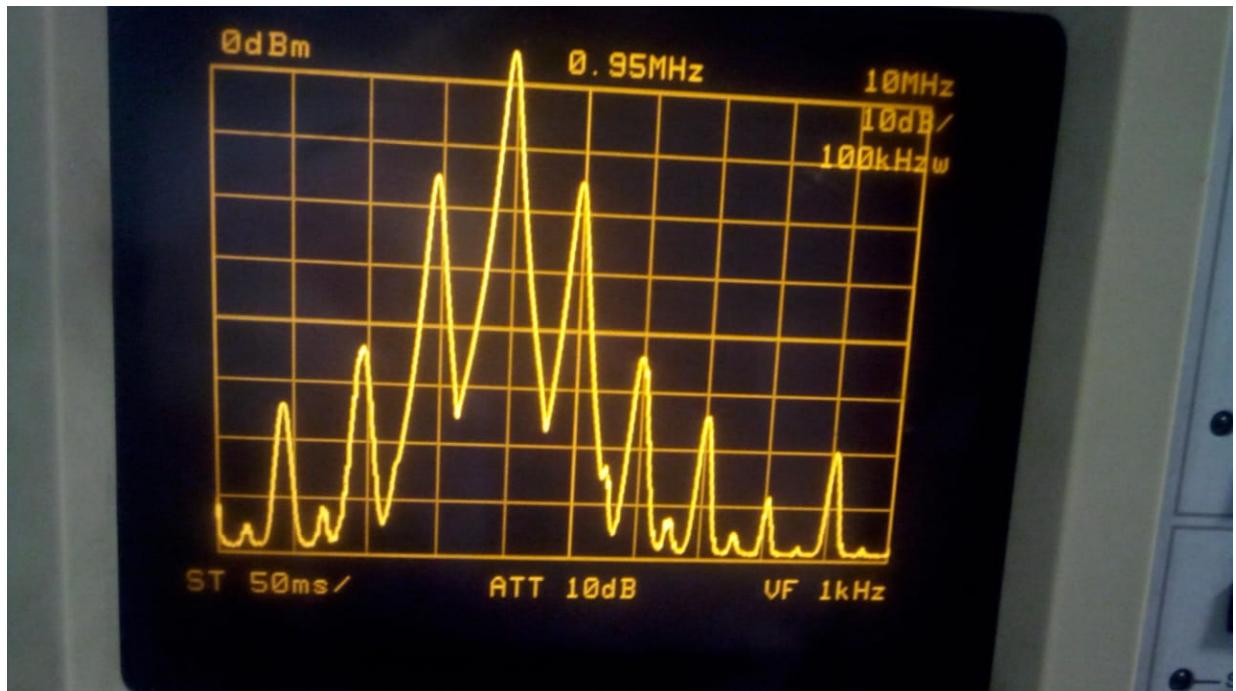


Figura 17: Espectro de señal triangular AM con  $m=1$

### 3.4. Señal senoidal AM con $f=1$ MHz, $m=1$

Se analizó nuevamente una señal senoidal AM con  $m=1$  pero ahora la frecuencia de la moduladora se hizo coincidir con la de la portadora. En este caso, la separación entre la frecuencia central y la escolta debería corresponder a  $f_m + f_p = 2f_p$  siendo  $f_m$  la frecuencia de la moduladora y  $f_p$  la frecuencia de la portadora. En la figura (18) puede observarse el espectro simulado. En la Figura (19) se observa el espectro medido.

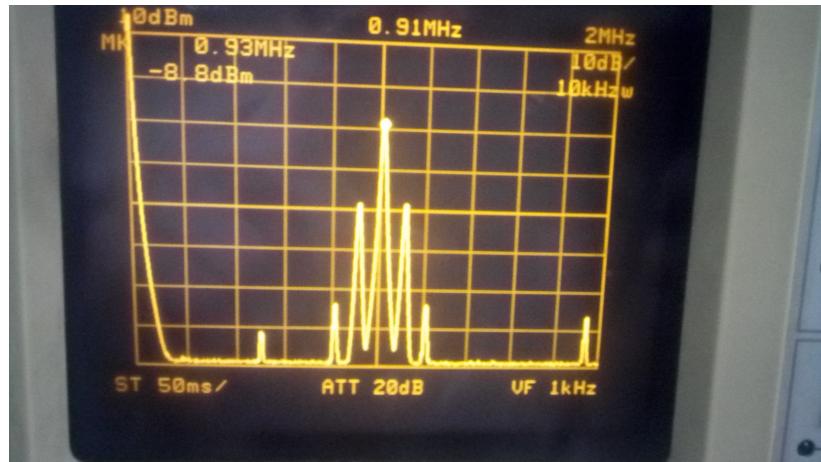
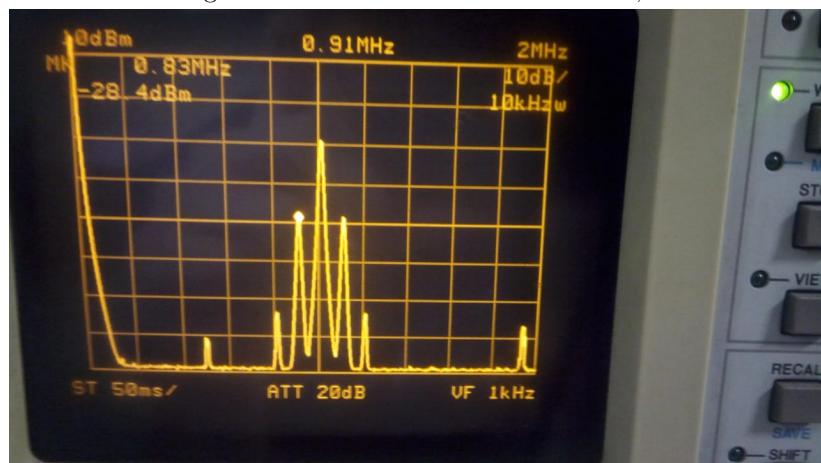
Figura 18: Espectro simulado de la señal senoidal con  $m=1$  y  $f=f_p$ Figura 19: Espectro de senoidal AM con  $f=f_p$  y  $m=1$ 

## 4. Análisis de señales FM

En esta parte se estudiaron señales moduladas en FM. Al igual que en el estudio de la modulación en AM se utilizó una señal moduladora de frecuencia  $100\text{kHz}$  y una portadora de frecuencia  $1\text{MHz}$  y amplitud de  $250\text{mV}_{pp}$ .

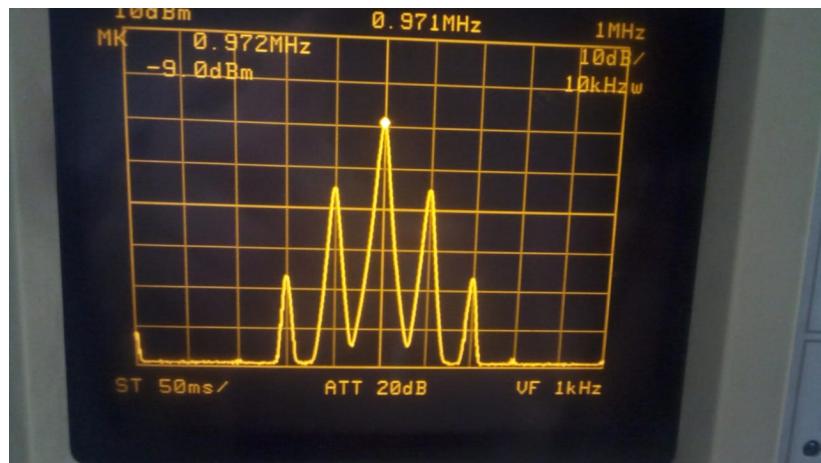
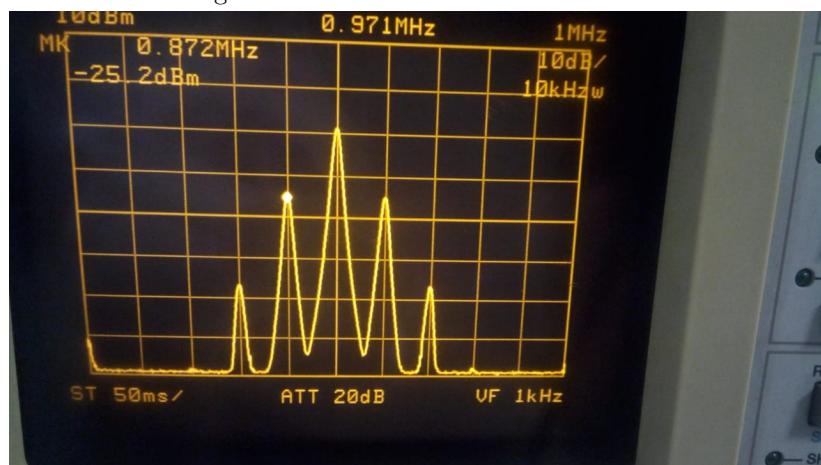
### 4.1. Señal senoidal FM con $m=0,5$

Nuevamente se modificó la amplitud de la moduladora en la mitad de la amplitud de la portadora, para lograr lo que en AM correspondería a un  $m = 0,5$ . En las Figuras (20) y (21) se presenta el espectro medido en el analizador. Puede observarse un aumento en la cantidad de armónicos, al igual que en la potencia de cada uno; la diferencia entre la frecuencia central y las primeras "escoltas" sigue siendo de  $100\text{kHz}$ .

Figura 20: Señal senoidal FM con  $m=0,5$ Figura 21: Señal senoidal FM con  $m=0,5$ 

#### 4.2. Señal senoidal FM con $m=1$

Se configuró la amplitud de la moduladora en  $250mV_{pp}$  para que coincidiera con la amplitud de la portadora. Una vez más se observó la aparición de nuevos armónicos y el aumento de la potencia de cada uno comparado con el caso AM. La diferencia entre la frecuencia central y las escoltas se mantiene en  $100kHz$ . Las Figuras (22) y (23) presentan lo observado en el analizador.

Figura 22: Señal senoidal FM con  $m=1$ Figura 23: Señal senoidal FM con  $m=1$ 

#### 4.3. Señal triangular FM

Nuevamente se analizó una señal triangular, pero en este caso modulada en FM. Al igual que en los dos casos anteriores se aprecia la aparición de nuevos armónicos. La Figura (24) muestra lo observado en el analizador.

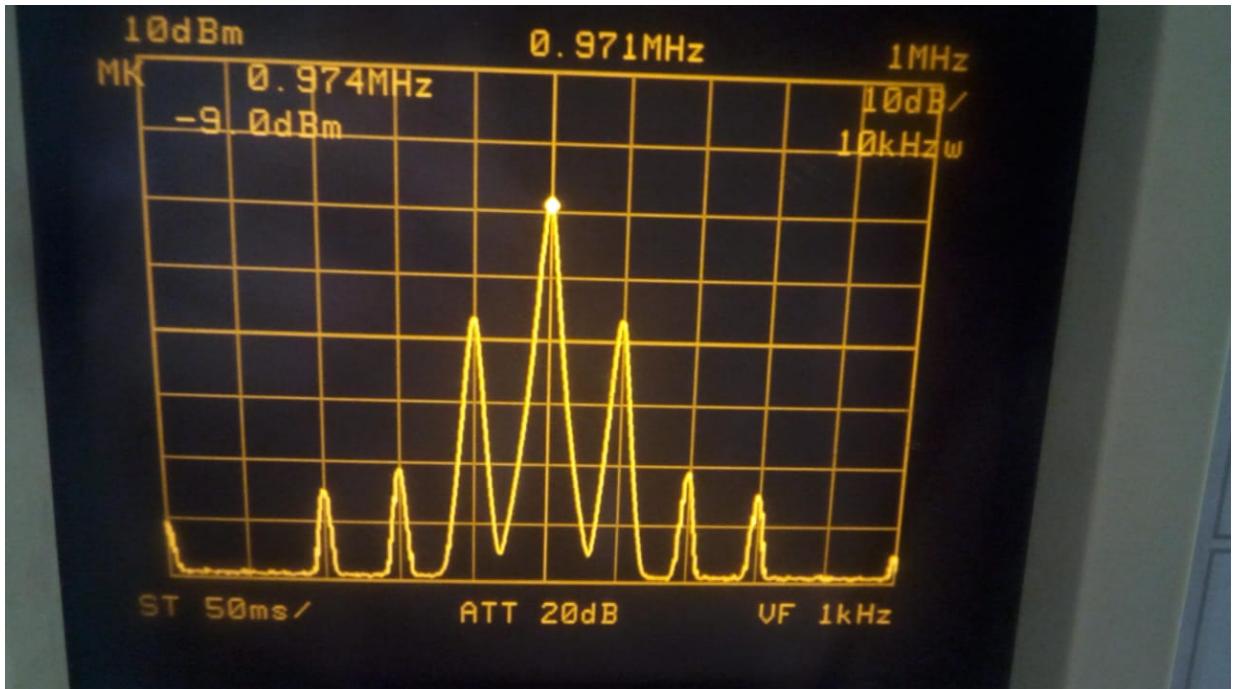
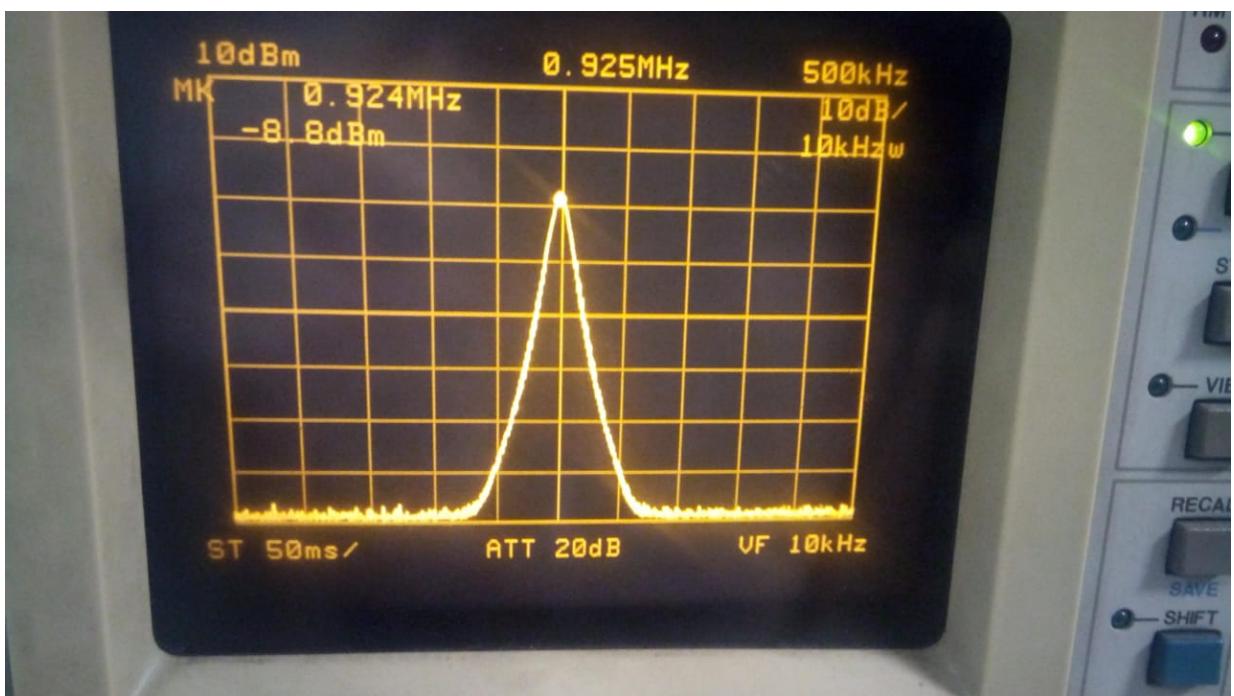


Figura 24: Señal triangular modulación FM

#### 4.4. Señal senoidal FM con $f_m=1$ MHz

Se configuró la amplitud de la señal moduladora al mismo valor que la de la señal portadora. En la figura 25 se muestra lo observado en el analizador.

Figura 25: Señal senoidal FM con  $f_m=f_p$

## 5. Espectro de radiofrecuencias

De la página del Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM): "El Espectro Radioeléctrico es el conjunto de frecuencias que, conforme a la tecnología disponible, pueden ser empleadas para emitir ondas que permitan transportar información. La manera en cómo está atribuido el Espectro Radioeléctrico en nuestro país se puede consultar en el "Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias de la República Argentina", al que abreviadamente se lo conoce como CABFRA."

El espectro es considerado un recurso natural, de carácter limitado, sobre el cual el estado tiene soberanía. Por lo tanto, se lo divide en bandas atribuidas a distintos servicios y sistemas de comunicaciones. A continuación se presenta una figura con las atribuciones según el CABFRA.

Considerando esta tabla, se buscó sintonizar una frecuencia que no perteneciera a una emisora de radio o TV. El resultado se puede observar en ?? Se sintonizó la frecuencia 301.5 MHz, que corresponde a alguna de las tres aplicaciones de la Figura (27). A pesar de que pudieron observarse picos de potencia en el analizador, al conectar los parlantes sólo se escucharon pitidos intermitentes. Esto puede deberse a que la señal sintonizada era digital y el analizador es incapaz de interpretarla.



Figura 26: Espectro de la frecuencia analizada

RANGO DE FRECUENCIA 297 – 310			
OBSERVACIONES GENERALES			
SERVICIO (T10)	TIPO DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS	NORMATIVA
Sistemas Multicanales Analógicos - MXA	FIJO		35SUBC81 228CNT94 198CNT96
Sistemas Multicanales Digitales - MXD	FIJO		35SUBC81 228CNT94 198CNT96
Servicio Móvil por Satélite - SMS	MOVIL		675SC86

Figura 27: Aplicaciones en el rango de frecuencias analizado

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 gral. 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 gral 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 - 50 138 - 174 242 - 280 340 - 399 421 - 426 443 - 490	Handies 6 W Móvil 40 W Base 60 W Estos 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	HF: hasta 400 W PEP (media 100 W) VHF: 20 W

Figura 28: Atribución de bandas de frecuencia

## 6. Banda FM

El espectro FM está dividido en siete categorías (de la A a la G) según el radio de servicio. A continuación se presenta una tabla tomada de la página web oficial del ENACOM en la que se muestra la división de bandas por categorías.

CATEGORÍA	RADIO DE ÁREA ESTIMADA (48 dB $\mu$ V/m - 250 $\mu$ V/m) Km.
A	90
B	80
C	70
D	45
E	28
F	22
G	9,5

Dentro de estas categorías yacen 100 canales de 200kHz cada uno. Estos van desde el canal 201 con frecuencia

88,1MHz, hasta el canal 300 con frecuencia 107,9MHz.

Se buscó sintonizar alguna estación de radio y escucharla con unos parlantes conectados al analizador de espectros. Primero se sintonizó la estación Mega 98.3, con frecuencia 98.3 MHz, correspondiente al canal 277. En la figura 29 puede observarse una imagen del espectro de la estación. La potencia de la portadora es de aproximadamente  $-42\text{dBm}$ . Luego se sintonizó la emisora Aspen, con frecuencia 102.3 MHz, correspondiente al canal 297. En la figura 30 se observa el espectro medido para la estación. La potencia de la portadora se midió en aproximadamente  $-35\text{dBm}$ . En ambos casos se logró un sonido con poca interferencia.

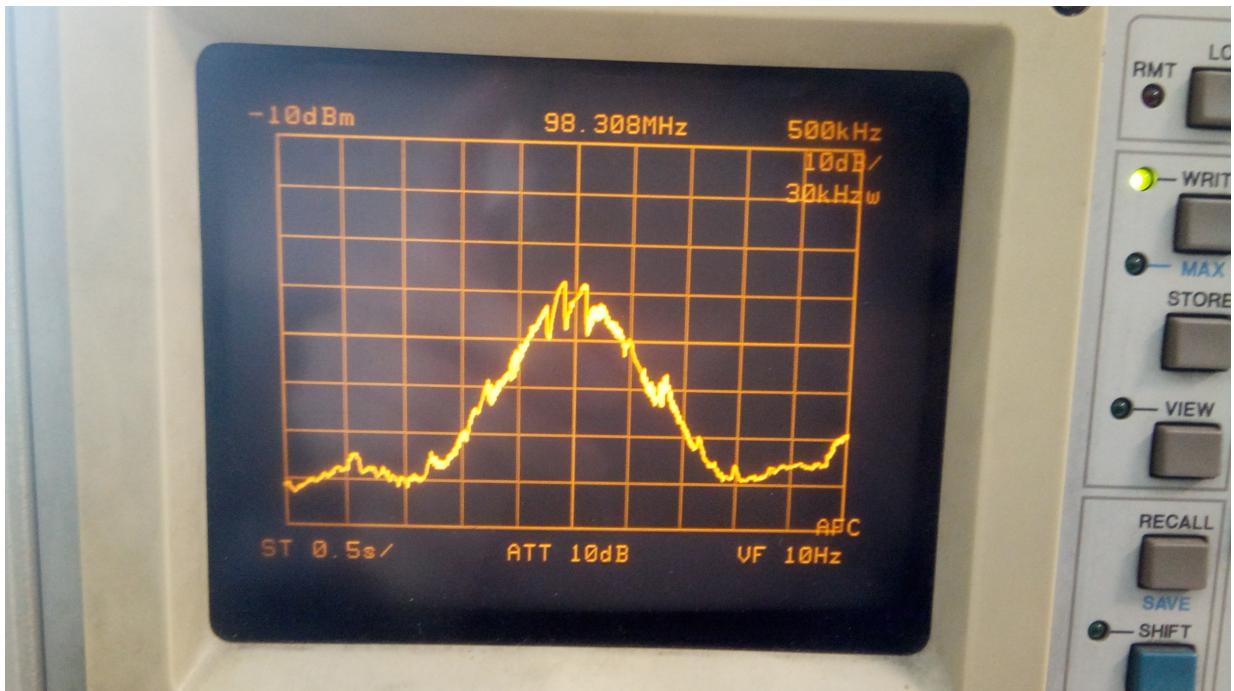


Figura 29: Espectro medido para la emisora Mega 98.3

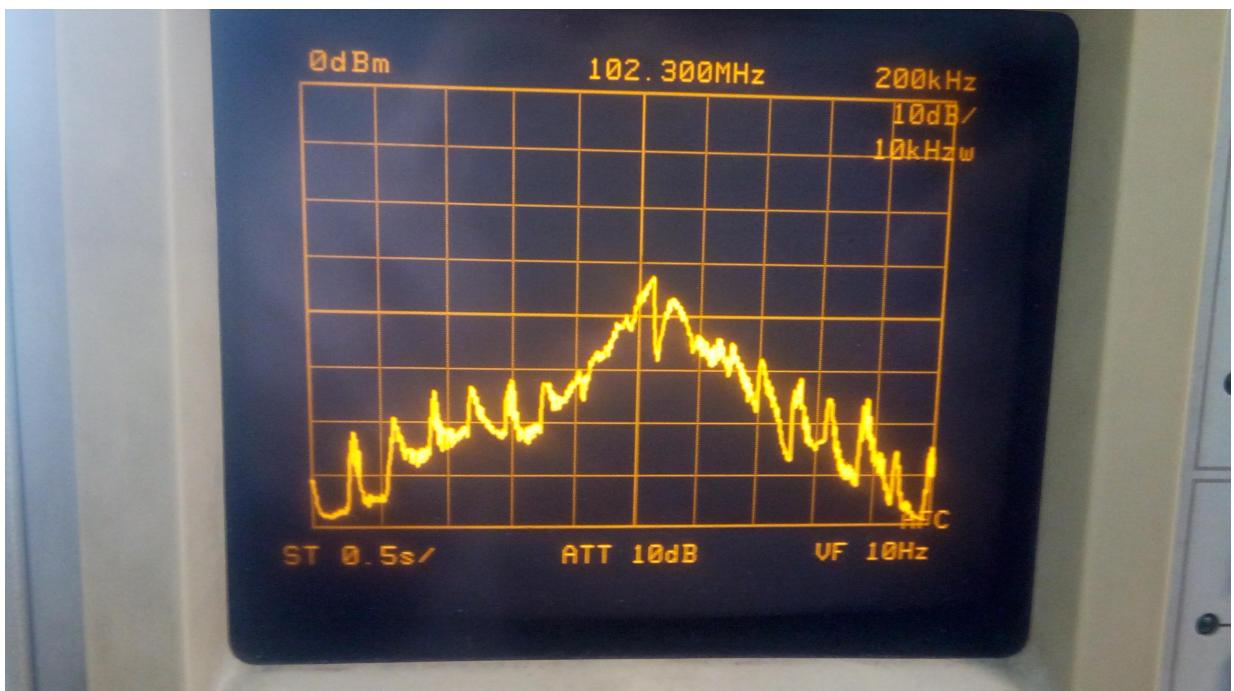


Figura 30: Espectro medido para radio Aspen

## 7. Señales de televisión

De manera similar a lo que ocurre con las señales de FM, el espectro de frecuencias asignado a la televisión se encuentra dividido en bandas:

- Banda I - VHF: de 54MHz a 88MHz
- Banda II - VHF: de 174MHz a 216MHz
- Banda III - UHF: de 512MHz a 806MHz

A su vez, el espectro está dividido en canales desde el 2 al 69. A cada canal le corresponden  $6\text{MHz}$ . Los canales del 2 al 6 se encuentran en la banda I, los canales del 7 al 13 en la banda II y los canales del 21 al 69 (excluyendo al 37 que corresponde a radioastronomía) en la banda III.

Las bandas se puede dividir en distintas categorías según su radio de servicio. Dichas categorías para la banda II se presentan en la Figura (31)

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 (*1)

Figura 31: Categorías para Canal II

El Canal 11 tiene asignada la banda de frecuencia de 198 MHz a 204 MHz. Se logró sintonizar la portadora de audio y se esuchó con los parlantes el programa siendo emitido en ese momento. En la Figura (32) se presenta lo observado en el analizador al sintonizar la portadora. En la Tabla (2) se muestra cómo están distribuidas las portadoras de video y audio para este canal.

Frecuencia	Contenido
199,25	Portadora de video
202,83	Subportadora de color
203,85	Portadora de sonido

Tabla 2: Frecuencias para Canal 11

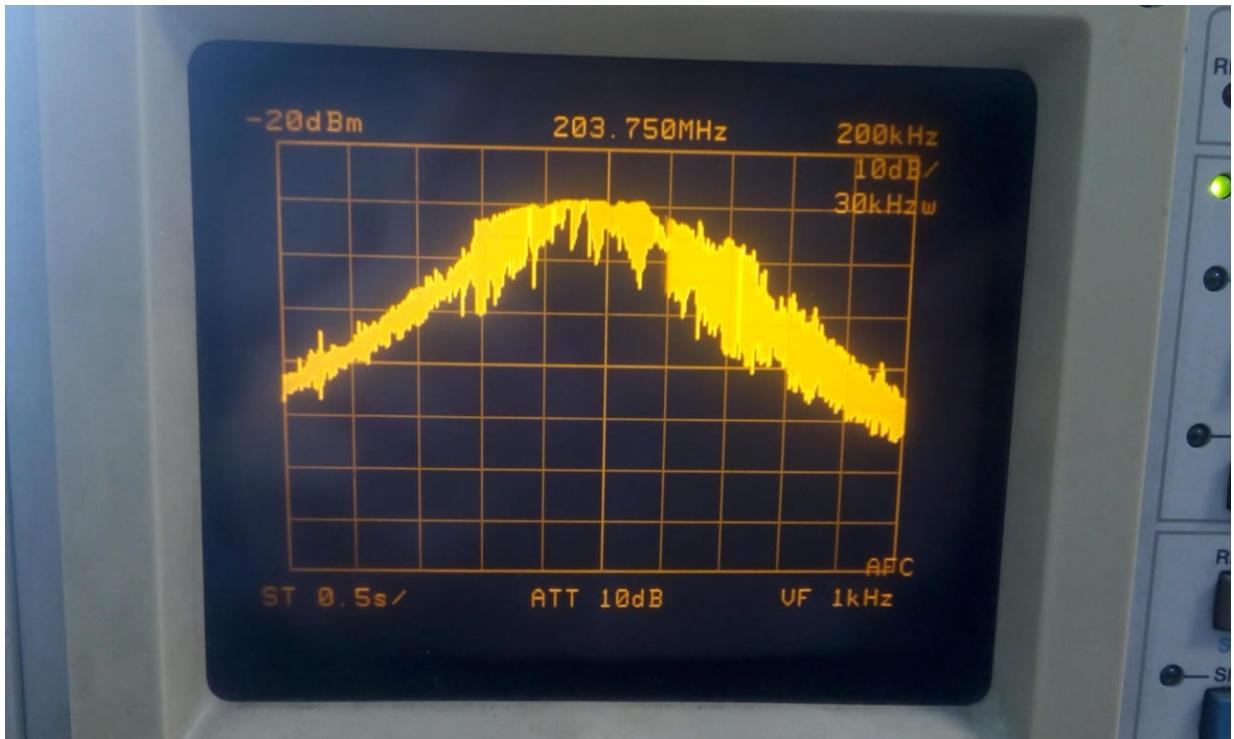


Figura 32: Espectro de audio de canal 11

## 8. Espectro de señales

### 8.1. sinc

En esta experiencia se estudió el espectro de una señal sinc con una amplitud de  $350mVpp$  (medidos con el OUT TERM en HiZ) y una frecuencia de  $100kHz$ . En la figura 33 se puede observar la señal sinc en el osciloscopio, mientras que en 34 se observa el espectro visto en el analizador. El resultado coincide con lo esperado, pues la transformada de Fourier del sinc es, en efecto, un pulso.



Figura 33: Señal sinc vista en el osciloscopio

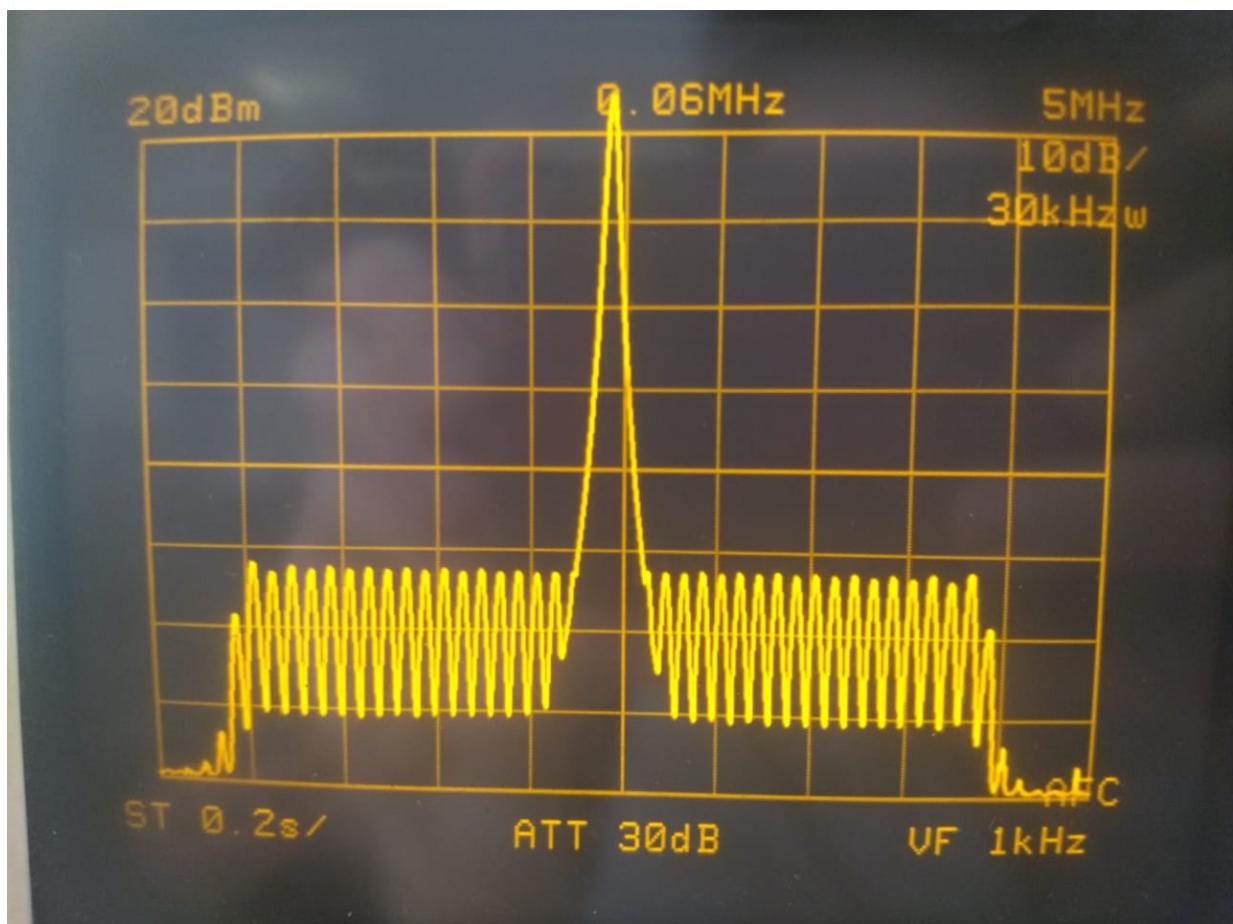


Figura 34: Espectro de la señal sinc

## 8.2. Tren del deltas

En esta parte se estudió el espectro de un tren de deltas, con la misma configuración en amplitud y frecuencia que la señal del ejercicio anterior. Para configurar el tren de deltas, se formó un tren de pulsos con DC mínimo, que con el generador utilizado se tradujo en un DC del 20 %. En la figura 35 se puede apreciar el espectro observado.

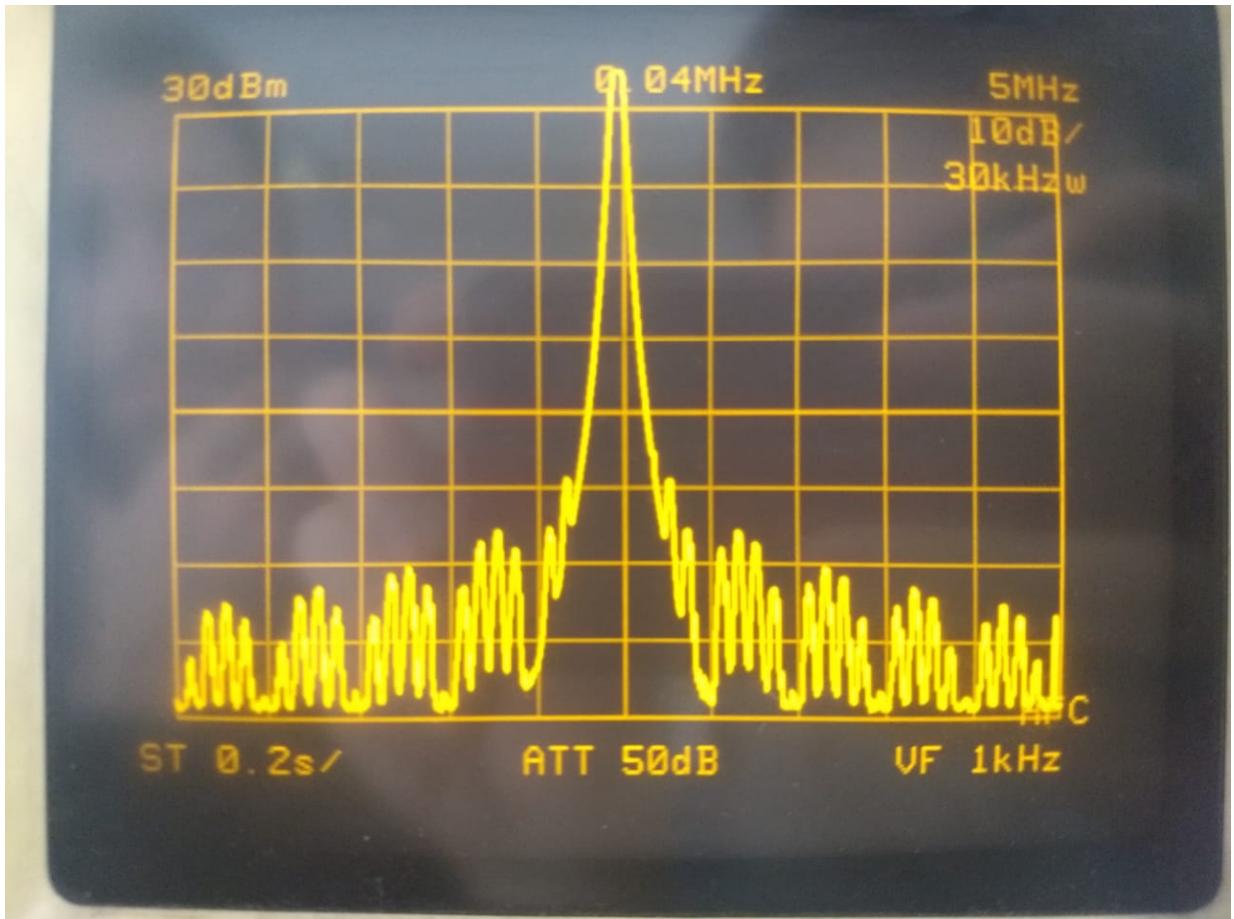


Figura 35: Espectro del tren de deltas

El espectro se asemeja más a un sinc que al tren de deltas que se esperaría observar. La posible causa de esto es que al no ser lo suficientemente pequeño el duty cycle no se logre generar algo parecido a un tren de deltas a la entrada, de donde lo que se observa es más similar al espectro de un tren de pulsos que a uno de deltas.