

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

22.42 LABORATORIO DE ELECTRÓNICA

TRABAJO PRÁCTICO N° 5

Analizador de Espectros

Grupo 5:

Nicolás DE LEÓN
Leg. 57232

Tomás VIGÓN
Leg. 57327

Benjamín LIN
Leg. 57242

Lucero Guadalupe FERNANDEZ
Leg. 57485

Profesor:

Pablo COSSUTTA
Alejandra WEILL
Matías SALVATI

Entregado: 20 de Noviembre de 2018

Índice

1. Medición de distorsión armónica	2
1.1. Distorsión armónica del Agilent 33220A	2
1.2. Distorsión armónica del GW Instek GFG-8019G	2
1.3. Distorsión armónica del Instek GFG-8219A	3
1.4. Conclusiones	4
2. Analisis de señales	4
2.1. Señal cuadrada	5
2.1.1. Análisis teórico de una señal cuadrada	5
2.1.2. Señal cuadrada de DC:50%	5
2.1.3. Señal cuadrada de DC 33.33 %	6
2.2. Señal triangular	7
2.2.1. Analisis teórico de una señal triangular a 50% de simetría	7
2.2.2. Resultados obtenidos	7
3. Modulación AM	8
3.1. Señal moduladora senoidal m=0.5	9
3.2. Señal moduladora senoidal m=1	10
3.3. Señal moduladora triangular m=1	10
3.4. Señal moduladora senoidal m=1, de frecuencia igual a la portadora	11
4. Modulación FM	12
4.1. Moduladora senoidal	12
4.2. Moduladora triangular	13
4.3. Moduladora senoidal de frecuencia igual a la portadora	13
5. Espectro de radiofrecuencias en Argentina	13
6. Espectro Electromagnético de la Banda FM	14
7. Espectro Electromagnético de TV	15
8. Tren de deltas y sinc(x)	17

1. Medición de distorsión armónica

1.1. Distorsión armónica del Agilent 33220A

Se conectó el generador de funciones Agilent 33220A al analizador de espectros y en paralelo al osciloscopio generando una señal senoidal de $250mV_{pp}$ de $1,3MHz$, observando el espectro que se muestra a continuación:

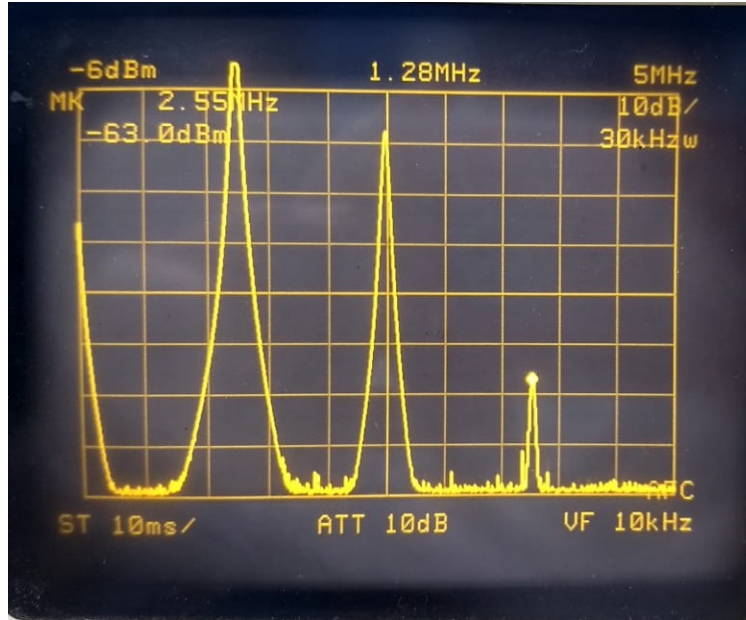


Figura 1: Espectro de una senoidal generada por el Agilent 33220A.

Es trivial recordar que, ya que la generación de la señal real no es ideal, se observan más armónicos aparte del fundamental; siendo P_0 la potencia del armónico fundamental ($1.3MHz$), de $-14dBm$ y P_1 la potencia del segundo armónico, es decir, aquel que le sigue al fundamental ($2.6MHz$), siendo $P_1 = -62.6dBm$.

Estos valores equivalen a una potencia en Watts de:

$$\begin{cases} P_0 = 39,8mW \\ P_1 = 549,54nW \end{cases}$$

Definiendo la THD (Total Harmonic Distortion) de la siguiente manera:

$$THD = \frac{\sum_{n=1}^N P_n}{P_0}$$

Lo que resulta en una $THD = 0,0014\%$. Para comparar este valor el THD que señala la hoja de datos, que es de $-40 dBc$, hay que utilizar otra definición de distorsión, dada por

$$THD : 10\log\left(\frac{\sum_{n=1}^N P_n}{P_0}\right) = -48,6dBc.$$

1.2. Distorsión armónica del GW Instek GFG-8019G

Se realizó el mismo procedimiento que el caso anterior, resultando en el siguiente espectro:

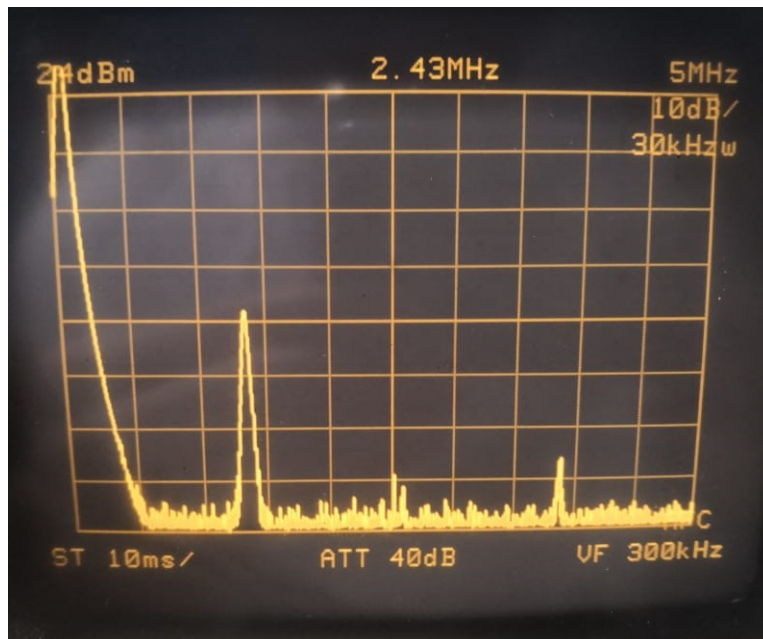


Figura 2: Espectro de una senoidal generada por el GW Instek GFG-8019G.

Se midieron las potencias de los armónicos principales, llegándose a medir tres.

$$\begin{cases} P_0 = -14,2dBm & P_0 = 38mW & (1,3MHz) \\ P_1 = -54dBm & P_1 = 3,98\mu W & (2,6MHz) \\ P_2 = -46,2dBm & P_2 = 23,99\mu W & (3,9MHz) \end{cases}$$

Que resulta en un THD del 0.074 %, que se condice con los datos provistos por la hoja de datos (<1 %).

1.3. Distorsión armónica del Instek GFG-8219A

Se procedió, luego, a realizar las mediciones con el generador mencionado. En este caso, se observaron 5 armónicos:

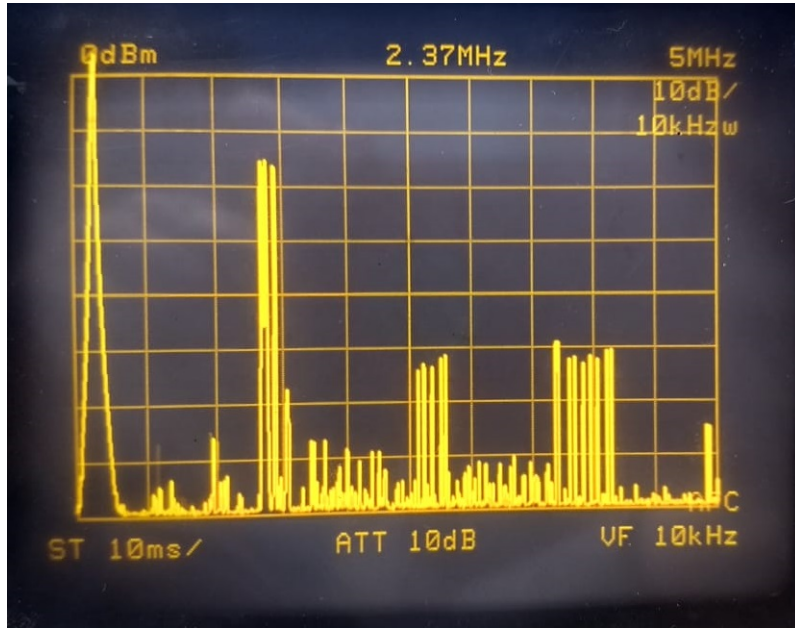


Figura 3: Espectro de una senoidal generada por el Instek GFG-8219A.

$$\begin{cases} P_0 = -15,4dBm & P_0 = 28,84mW & (1,3MHz) \\ P_1 = -49,4dBm & P_1 = 11,48\mu W & (2,6MHz) \\ P_2 = -47,6dBm & P_2 = 17,38\mu W & (3,9MHz) \\ P_3 = -61,6dBm & P_3 = 691,8nW & (5,2MHz) \\ P_4 = -55,6dBm & P_4 = 2,75\mu W & (6,5MHz) \end{cases}$$

Se puede ver que este instrumento es el que tendrá mayor distorsión, pues es donde se observan más armónicos. Para este caso, el THD calculado, da el siguiente valor:

$$THD = \frac{P_4 + P_3 + P_2 + P_1}{P_0} = 0,11 \%$$

Vale aclarar que se condice con los datos provistos por la hoja de datos (THD<1 %).

1.4. Conclusiones

Como hay armónicos que no son visibles en el tiempo se recurre a observarlos en el dominio de la frecuencia, calculando la distorsión armónica, como parámetro relevante, a partir de los armónicos observados en el analizador de espectros. Luego de realizar las mediciones y cálculos del índice de THD de los 3 generadores, todos se condicen con los datos instanciados en las hojas de datos y se observa una superioridad del Agilent respecto de ambos Instek en cuanto a distorsión armónica respecta.

2. Analisis de señales

Se analizan señales analíticamente para luego simularla en Matlab obteniendo su respectiva potencia en dBm para sus armónicos, sabiendo que la resistencia del analizador de espectros es de 50Ω .

2.1. Señal cuadrada

2.1.1. Análisis teórico de una señal cuadrada

Se puede definir una señal cuadrada como $x(t) = A \sum_{i=-\infty}^{\infty} \Pi\left(\frac{t-iT}{d}\right) - \frac{A}{2}$, es decir un tren de pulsos, donde $d < T$, $\Pi(t)$ el pulso unitario, A la amplitud pico, T período y $\frac{d}{T}$ el duty cycle de la función. Sabiendo que la misma es par, buscamos la serie trigonométrica de Fourier tal que la función tiene forma de $x(t) = A_0 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)$, donde A_0 es el valor medio de la señal y A_n los coeficientes de Fourier de la misma. Los respectivos coeficientes se calcularán como:

$$A_0 = \frac{2}{T} \left(\int \frac{A}{2} dt + \int_{\frac{d}{2}}^{\frac{T}{2}} -\frac{A}{2} dt \right) = \frac{A}{2} \left(2\frac{d}{T} - 1 \right)$$

$$A_n = \frac{4}{T} \left(\int_0^{\frac{d}{2}} \frac{A}{2} \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt + \int_{\frac{d}{2}}^{\frac{T}{2}} -\frac{A}{2} \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \right) = \frac{2A}{\pi n} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi d}{T}\right)$$

Desde la serie trigonométrica de Fourier si realizamos la respectiva transformada de Fourier obtenemos:

$$F[x(t)](f) = A_0 \delta(f) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{2} \delta\left(f - \frac{n}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_{-n}}{2} \delta\left(f + \frac{n}{T}\right)$$

2.1.2. Señal cuadrada de DC:50%

Teniendo un tren de pulsos a un duty cycle del 50% donde $A = 125mV$, $\frac{d}{T} = 0.5$ y $\frac{1}{T} = 1.3MHz$ se simuló en Matlab obteniendo el siguiente resultado:

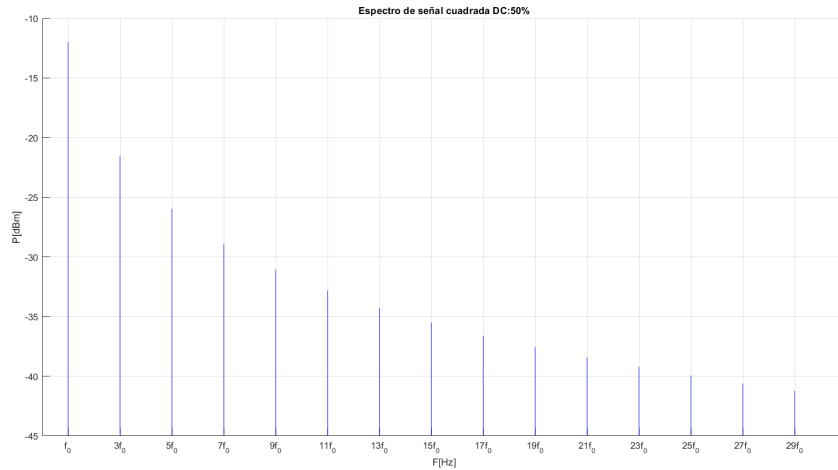


Figure 4: Simulación de espectro de una señal cuadrada a 50% duty cycle

Donde se puede ver que la potencia en el 0 de frecuencia es 0, debido a que el valor medio de la señal es nulo, además podemos ver que la potencia en los armónicos caen $\frac{1}{n} dBm$ y que los armónicos pares potencia es 0 de acuerdo que $A_n = 0$ ya que se anula la parte senoidal.

Experimentalmente con el uso de un analizador de espectros y se observó lo siguiente:

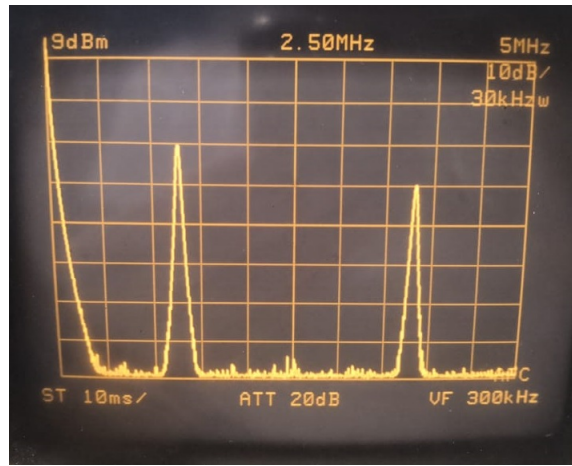


Figure 5: Espectro de una señal cuadrada a 50% duty cycle

Verificando que la simulación de los resultados están a rasgo de la experiencia, si bien a frecuencia 0 parece haber una potencia pero esa es debido a la fuente de alimentación del analizador de espectro.

2.1.3. Señal cuadrada de DC 33.33 %

Ahora teniendo pulsos de duty cycle del 33.3%, es decir que $\frac{d}{T} = \frac{1}{3}$ a la misma amplitud y frecuencia que la señal cuadrada de 50%. Así se obtuvo el siguiente diagrama:

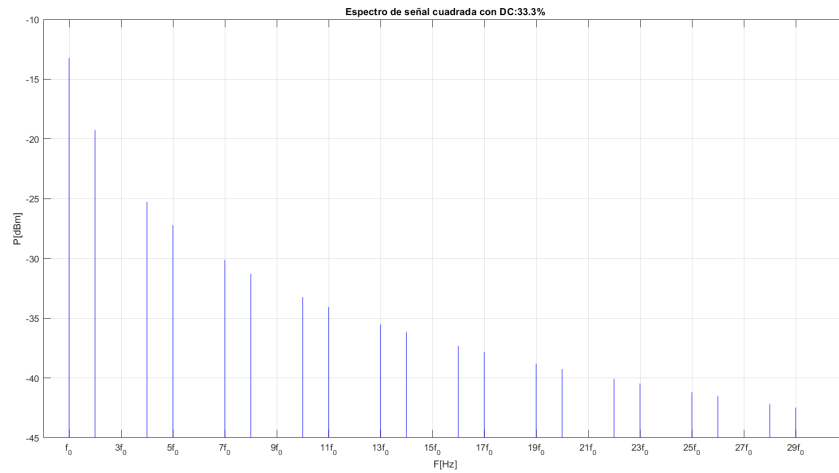


Figure 6: Simulación de espectro de una señal cuadrada a 33.3% duty cycle

Tal que la potencia en los armónicos caen $\frac{1}{n}dBm$ y se anulan los armónicos de múltiplos de 3.

Experimentalmente con el uso de un analizador de espectro se observó que el espectro coincide con los análisis previos:



Figure 7: Espectro de una señal cuadrada a 33.3% duty cycle

2.2. Señal triangular

2.2.1. Analisis teórico de una señal triangular a 50% de simetría

Una señal triangular definida como $x(t) = A \left(1 - 4\frac{|t|}{T}\right)$ para $0 \leq |t| \leq T$, tal que $x(t)$ es una función periódica de período T . Como la función es par y su valor medio es 0, la representación de serie de Fourier trigonométrica será $x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)$ con su coeficiente calculado:

$$A_n = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} A \left(1 - 4\frac{t}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt = \frac{8A}{\pi^2 n^2}$$

para n impar.

Realizando su respectiva transformada de Fourier, obtenemos que:

$$F[x(t)](f) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4A}{(2n+1)^2 \pi^2} \left(\delta\left(f - \frac{2n+1}{T}\right) + \delta\left(f + \frac{2n+1}{T}\right) \right)$$

2.2.2. Resultados obtenidos

Simulando la función, sabiendo que $A = 250mV$ y $\frac{1}{T} = 200kHz$, y calculando sus potencias en matlab su diagrama espectral resultó:

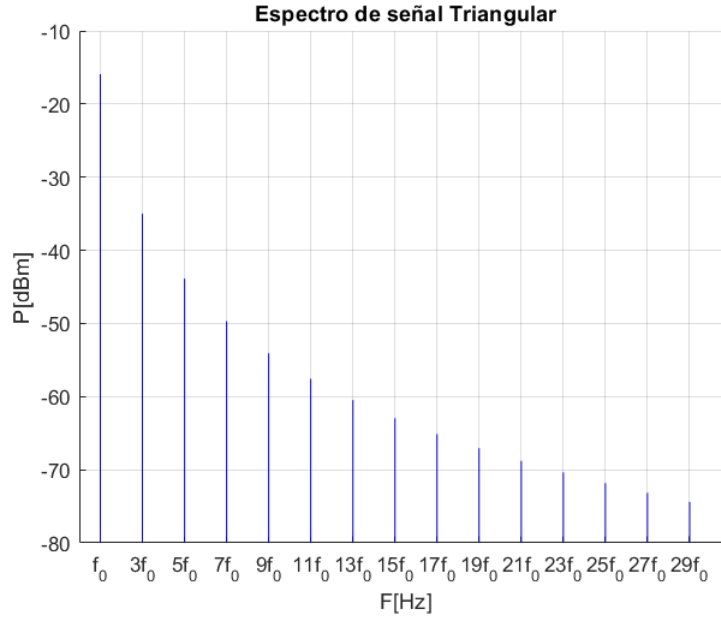


Figure 8: Simulación de espectro de una señal triangular

Tal como se corroborará que la potencia en los armónicos es de la forma $\frac{1}{n^2}$ y los armónicos pares son iguales a cero.

Experimentalmente se obtuvo un resultado parecido:

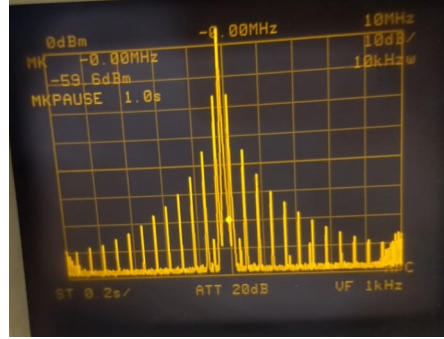


Figure 9: Espectro de una señal triangular

3. Modulación AM

La modulación de amplitud o amplitud modulada (AM) se basa en variar la amplitud de la señal transmitida en relación con la información que se envía. Teniendo una señal con información que llamaremos señal modulada, dada por $S_M(t) = \cos(2\pi f_M t)$ se la multiplica por una señal de mayor frecuencia y potencia conocida como portadora, $S_P(t) = A_P \cos(2\pi f_P t)$. Esto resulta en:

$$S_{AM}(t) = S_P(t)(1 + m S_M(t)) = A_P \cos(2\pi f_P t) [1 + m \cos(2\pi f_M t)] \quad (1)$$

donde $m = \frac{A_M}{A_P}$ es el índice de modulación de la señal.

La expresión final está dada por:

$$S_{AM}(t) = A_P \cos(2\pi f_P t) + \frac{mA_P}{2} \cos[2\pi(f_P + f_M)t] + \frac{mA_P}{2} \cos[2\pi(f_P - f_M)t] \quad (2)$$

Para analizar en el dominio de la frecuencia se realiza la transformada de Fourier, quedándonos con las frecuencias positivas:

$$S_{AM}(f) = \frac{A_P}{2} [\delta(f - f_P)] + \frac{A_P \cdot m}{4} [\delta(f - (f_P + f_M)) + \delta(f - (f_P - f_M))] \quad (3)$$

Es decir, lo que se observará será la frecuencia central (f_P) con mayor potencia, rodeada por las señales generadas de la multiplicación entre la señal portadora y la modulante.

3.1. Señal moduladora senoidal m=0.5

Se generó una señal AM de 200mVpp con un índice de modulación de 0.5, siendo la frecuencia de la portadora 1.3MHz, y la moduladora 100kHz. El espectro se muestra a continuación:

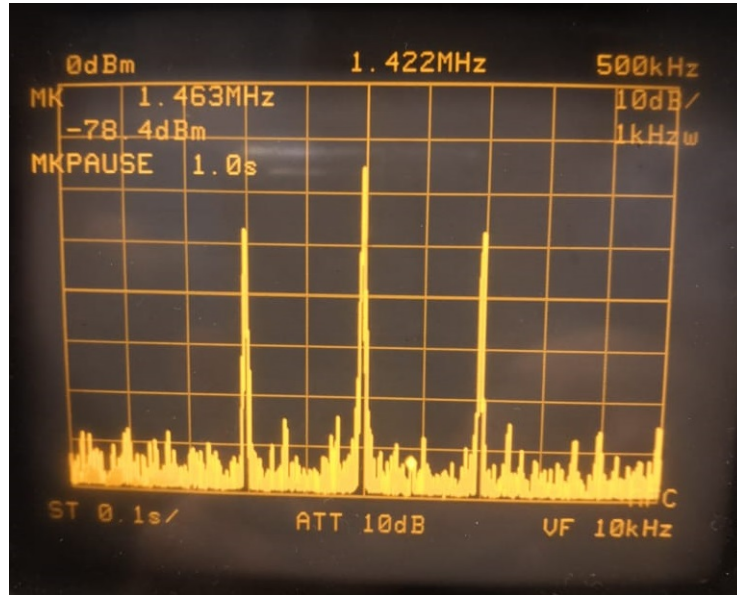


Figura 10: Modulación AM con moduladora con forma senoidal m=0.5

Teniendo en cuenta que la impedancia de la moduladora es 50Ω , podemos calcular la potencias de los armónicos presentes como:

$$\begin{cases} P_0 = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{A_P}{2} \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{2} \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = -16dBm \\ P_1 = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{A_P}{4} \frac{m}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{4} \frac{m}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = -28,1dBm \end{cases}$$

De esto y analizando el gráfico, se concluye que las potencias son similares a las calculadas teóricamente.

3.2. Señal moduladora senoidal m=1

Se generó una senoidal de la misma forma que el caso anterior pero esta vez con un índice de modulación mayor, m=1.

Se observó el espectro que se muestra a continuación:

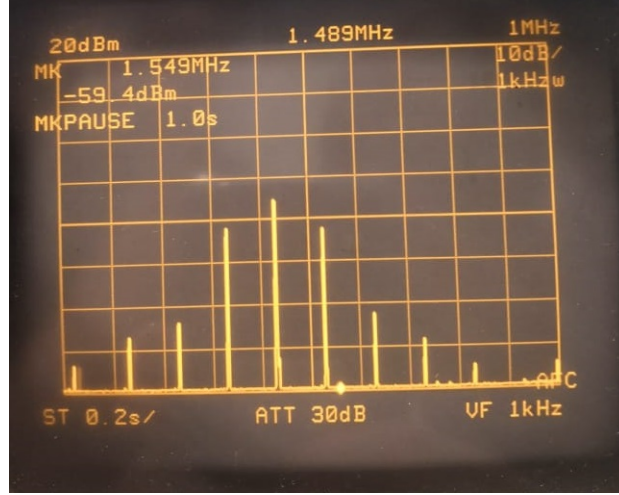


Figura 11: Modulación AM con moduladora con forma senoidal m=1

Para este caso, P_0 se mantiene igual ($P_0 = -16dBm$) pues la amplitud es la misma, pero al ser el índice de modulación diferente, $P_1 = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = -22dBm$.

Se puede ver que las potencias medidas son similares a las calculadas teóricamente, y se observan más armónicos que los calculados, esto se debe a que el generador utilizado GFG-8219A tiene considerable distorsión armónica, agregándole armónicos a la señal.

3.3. Señal moduladora triangular m=1

En este caso, la señal moduladora se tomó como $S_M(t) = A \left(1 - 4 \frac{|t|}{\tau} \right)$ para $0 \leq |t| \leq \tau$, y $\Lambda(t) = \Lambda(t + T) \quad \forall t \in \mathbb{R}$ con una frecuencia de 1.3MHz.

La misma puede expresarse como serie de Fourier de la siguiente manera:

$$S_M(t) = \sum_{n \in \mathbb{N}} \frac{8A_M}{(2n+1)^2\pi^2} \cos \left(\frac{2\pi t}{T} (2n+1) \right) \quad (4)$$

Quedando expresada en el dominio de la frecuencia de manera completa (la señal AM):

$$S_{AM}(f) = \frac{A_P}{2} [\delta(f - f_P) + \delta(f + f_P)] + \sum_{n \in \mathbb{Z}} \frac{A_P \cdot m \cdot 2 \cdot A_M}{(2n+1)^2\pi^2} \cdot \left[\delta \left(f - \left(f_P + \frac{2n+1}{T} \right) \right) + \delta \left(f - \left(f_P - \frac{2n+1}{T} \right) \right) + \delta \left(f + \left(f_P - \frac{2n+1}{T} \right) \right) + \delta \left(f + \left(f_P + \frac{2n+1}{T} \right) \right) \right] \quad (5)$$

Con esto, se midió el espectro de la señal, obteniendo los siguientes resultados:

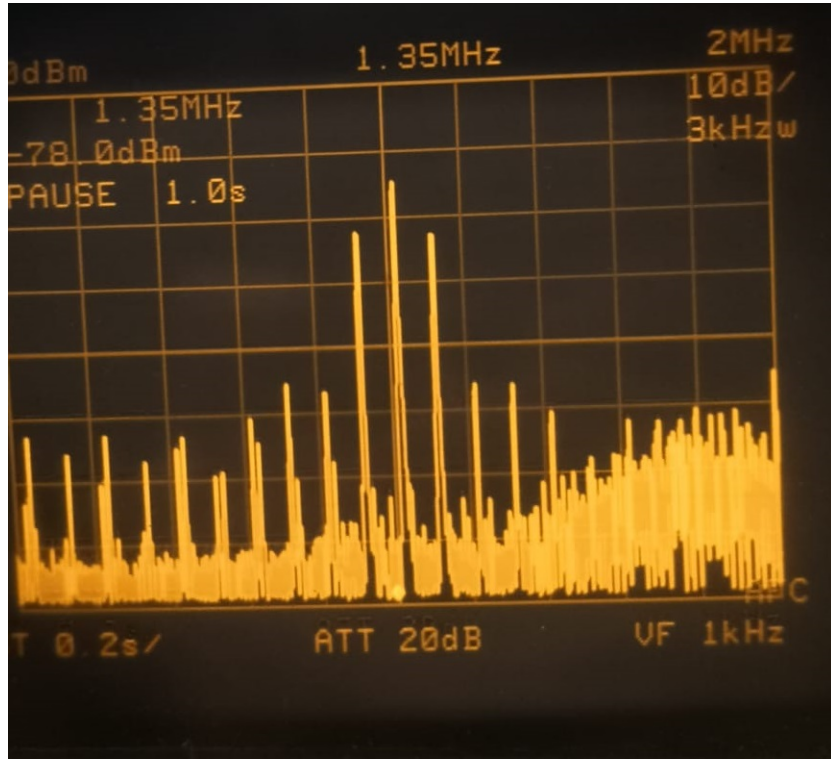


Figura 12: Modulación AM con moduladora con forma triangular $m=1$

Como se calculó previamente de manera teórica, se ve que la potencia de la señal se distribuye de acuerdo a los armónicos de una triangular, centrados en la frecuencia de la portadora. Cabe aclarar de igual manera que el inciso anterior, el generador agrega más armónicos pues tiene un índice de distorsión armónica notable.

3.4. Señal moduladora senoidal $m=1$, de frecuencia igual a la portadora

Para este caso, se generó una señal AM modulada con una senoidal de igual frecuencia que la portadora con un $m=1$. Teniendo en cuenta esto, se calculó la potencia en la portadora en dBm dando $P_P = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{2\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = -16dBm$.

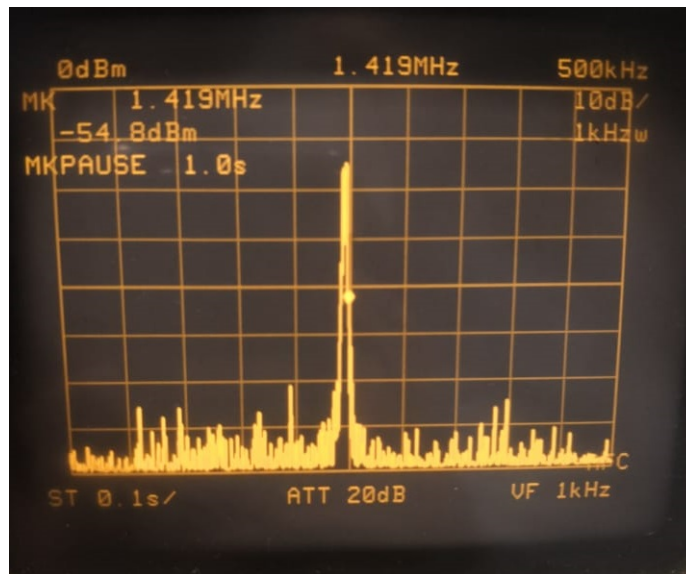


Figura 13: Modulación AM con moduladora senoidal ($m=1$) de igual frecuencia que la portadora.

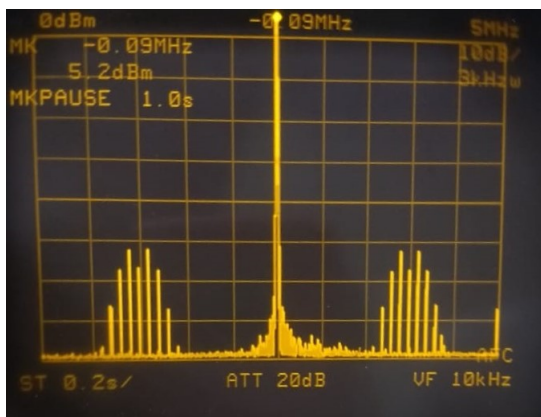
En la imagen se observa un sólo armónico pues ambas frecuencias, tanto la portadora como la moduladora son iguales.

4. Modulación FM

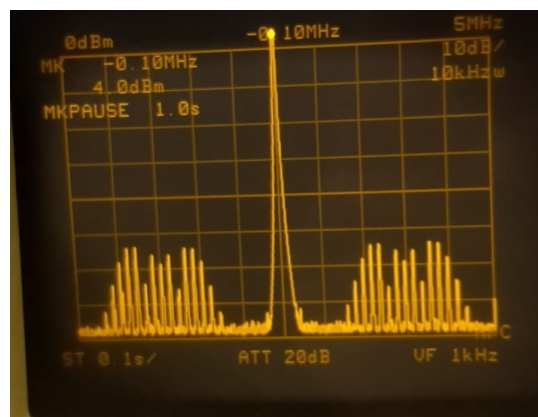
La modulación de frecuencia o frecuencia modulada (FM) es una técnica de modulación que permite transmitir información a través de una onda portadora variando su frecuencia.

4.1. Moduladora senoidal

Se realizó modulación FM siendo la señal portadora una senoidal de amplitud $200mV_{pp}$ con una frecuencia de $1.3MHz$, teniendo la señal modulante otra señal senoidal. Obteniendo así los siguientes resultados:



(a) Cuando en AM $m=0.5$



(b) Cuando en AM $m=1$

Figure 14: Espectro de señal FM con moduladora senoidal

4.2. Moduladora triangular

Se realizó modulación FM siendo la señal portadora una senoidal de amplitud $200mV_{pp}$ con una frecuencia de $1.3MHz$, siendo la señal modulante también una señal triangular. Visualizando:

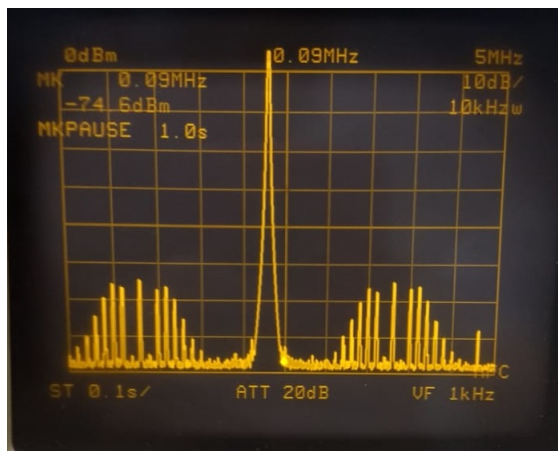


Figure 15: Espectro de señal FM con moduladora triangular cuando en AM $m=1$

4.3. Moduladora senoidal de frecuencia igual a la portadora

Se realizó modulación FM siendo la señal portadora una senoidal de amplitud $200mV_{pp}$ con una frecuencia de $1.3MHz$, siendo la señal modulante otra señal senoidal con la misma frecuencia que la portadora.

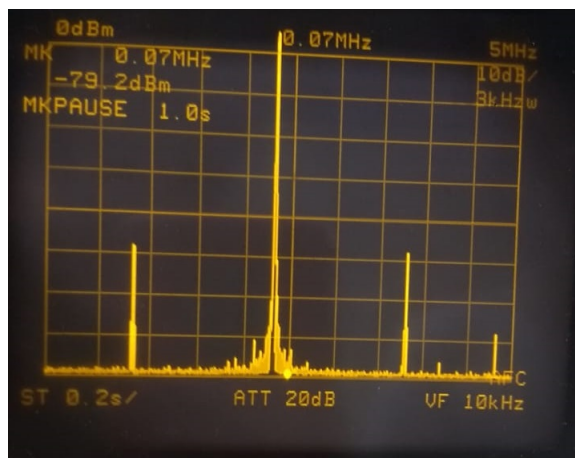


Figure 16: Espectro de señal FM con moduladora senoidal de frecuencia igual a la portadora

5. Espectro de radiofrecuencias en Argentina

El espectro radioeléctrico está compuesto por el rango de frecuencias que pueden ser utilizadas para modular información. A continuación se muestra el cuadro del espectro en Argentina.

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 WZona rural: máx. 100 W
HF	Servicio fijo y móvil (en gral uso comercial): 2 - 30 MHzRadioaficionados: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 WRadioafición: 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

Figure 17: Espectro de radiofrecuencias en Argentina

6. Espectro Electromagnético de la Banda FM

Dentro de la distribución del servicio de radio FM, en la argentina se distingue y categoriza entre las estaciones de alta y mediana potencia (categorías A, B, C y D) , y baja potencia (categorías E, F y G) con radios máximos de 5, 3 y 1.5 km. Se considera como límite de la señal, el contorno de 48 dB μ /m - (250 μ V/m).

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

Figura 18: Categorías de Estaciones

Por otro lado la distribución de canales viene dado entre 18MHz y 108MHz cada 200KHz dando así un total de 99 canales.

7. Espectro Electromagnético de TV

La señal de televisión que llega a nuestros receptores debe contener la información de sincronismo vertical, sincronismo horizontal, la imagen en blanco y negro (luminiscencia), la información del color y la información de sonido (audio calidad FM). Para esto se utilizan portadoras de distinta amplitud que conlleven la señal dando así 6 MHz de ancho de banda por canal de televisión.

Aquí observamos algunos canales y su composición por las distintas ondas.

Nº Canal CATV	Banda de frecuencia (MHz)	Portadora de video (MHz)	Portadora de color (MHz)	Portadora de sonido (MHz)
2	54 - 60	55,25	58,83	59,75
3	60 - 66	61,25	64,83	65,75
6	82 - 88	83,25	86,83	87,75
7	174 - 180	175,25	178,83	179,75
13	210 - 216	211,25	214,83	215,75
14	120 - 126	121,25	124,83	125,75
22	168 - 174	169,25	172,83	173,75
23	216 - 222	217,25	220,83	221,75
25	228 - 234	229,25	232,83	233,75
30	258 - 264	259,25	262,83	263,75
40	318 - 324	319,25	322,83	323,75
50	378 - 384	379,25	382,83	383,75
60	438 - 444	439,25	442,83	443,75
80	558 - 564	559,25	562,83	563,75

Figura 19: Canales de TV y sus Frecuencias

Por otra parte el ente nacional de comunicaciones categoriza los canales de televisión en 3 bandas I, II, III para los canales 2 al 6, 7 al 13 y 21 al 69 respectivamente.

Así como para el espectro electromagnético de FM se categoriza por potencia y alcance de la señal con las bandas para los canales de TV sucede lo mismo, a su vez si la señal proviene de la línea principal, o de secundarias.

CATEGORÍA	RADIO ÁREA PRIMARIA DE SERVICIO ASIGNADA (40 dB μ V/m - 100 μ V/m) KILÓMETROS
PRINCIPAL	85
SECUNDARIA	60
MENOR	40
LOCAL	10 (*1)

Figura 20: Banda I

CATEGORÍA	RADIO ÁREA PRIMARIA DE SERVICIO ASIGNADA (50 dB μ V/m – 316 μ V/m) KILÓMETROS
PRINCIPAL	75
SECUNDARIA	55
MENOR	40
LOCAL	10 (*1)

Figura 21: Banda II

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

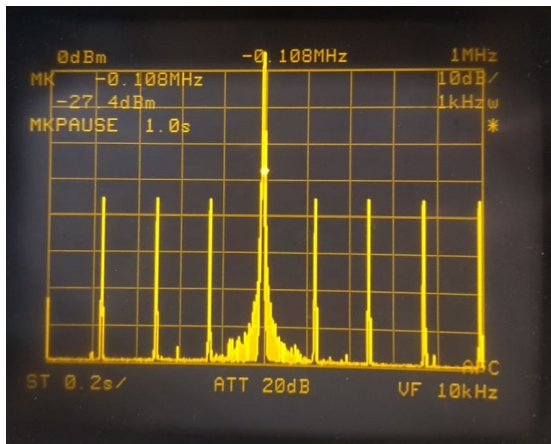
Figura 22: Banda III

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

Figura 23: Banda III Codificado

8. Tren de deltas y sinc(x)

Se conectó el analizador de espectros al generador con un tren de deltas, es decir, un tren de pulsos con duty cycle mínimo y con un sinc(x). La amplitud de las señales era de 250 mVpp a frecuencia 125 kHz y máxima frecuencia permitida por los instrumentos utilizados. Se muestran a continuación los resultados obtenidos.

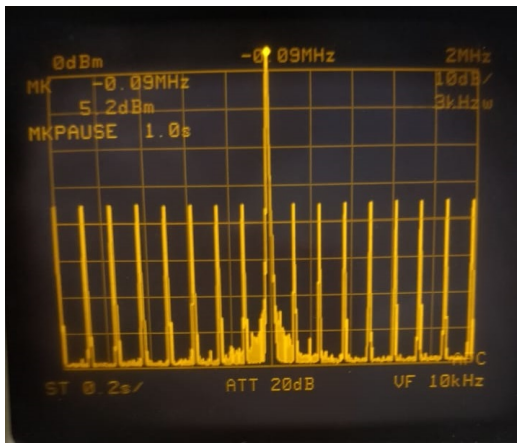


(a) 125KHz

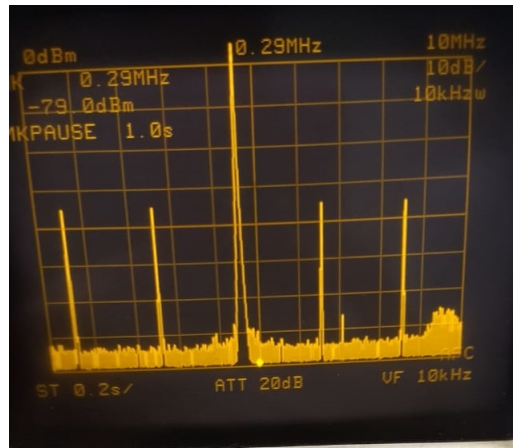


(b) 5MHz

Figure 24: Tren de deltas



(a) 125KHz



(b) 5MHz

Figure 25: $\text{sinc}(x)$

Donde se puede observar que las mediciones coinciden con la teoría.