

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

22.42 LABORATORIO DE ELECTRÓNICA

TRABAJO PRÁCTICO N°5

ANALIZADOR DE ESPECTROS

Alumnos:

Marcos MIKKELSEN-LÖTH Leg.
Nº56645
Juan Manuel ROMARÍS Leg.
Nº57108
Nicolás DIAZ Leg. Nº55125

Profesores:

Pablo COSSUTTA
Matías SALVATI

24 de noviembre de 2017

1. Medición de distorsión armónica

1.1. Distorsión armónica de Agilent 33220A

Se conectó la salida de un generador Agilent 33220A al analizador de espectros utilizando una señal senoidal de $250mVpp$ con una frecuencia de $1,4MHz$, observándose su espectro como se ve a continuación:

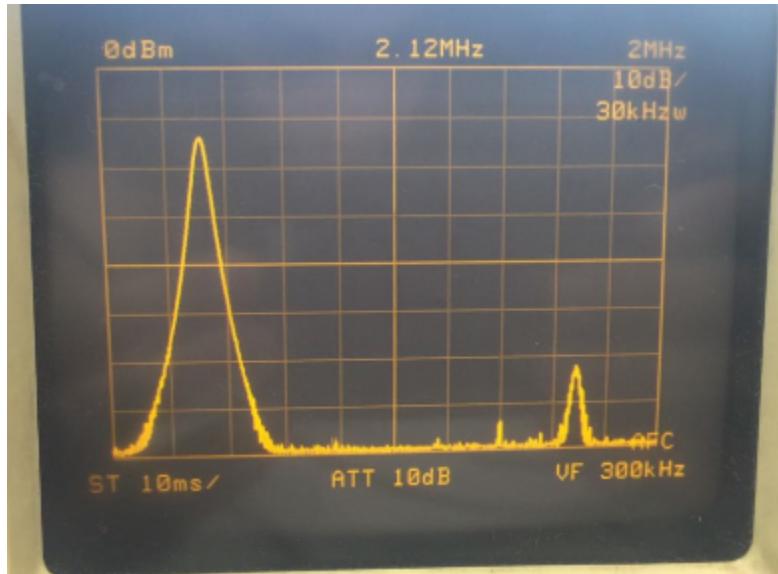


Figura 1: Espectro de señal senoidal de Agilent 33220A

Donde se pueden ver los armónicos medibles de la señal, siendo P_0 la potencia del armónico fundamental($1,4MHz$) de $-14dBm$ y de P_1 su primer armónico ($2,8MHz$) de $-60,5dBm$.

1.2. Cálculo de THD

Partiendo de la definición de THD de la forma $THD = \frac{\sum_{n=1}^N P_n}{P_0}$ se procedió a calcular este índice para el generador de funciones en cuestión. Pasando las potencias medidas previamente a Watts se obtiene que $P_0 = 39,8\mu W$ y $P_1 = 891pW$, obteniendo un THD de $12,10^{-6}$. Luego de realizar esto se buscó en la hoja de datos provista por el fabricante el THD estimado del generador. Se encontró que garantizaba un índice de THD para señales de amplitud menor a $1Vpp$ y de frecuencia entre $[1; 20]MHz$ de $-40dBc$. Se define dBc como el nivel relativo entre una señal portadora y alguno de sus armónicos. Por esto se recalcula el THD para ser comparable con el encontrado en la hoja de datos, calculando $THD = 10.\log(\frac{P_1}{P_0}) = -46,5dBc$.

1.3. Distorsión armónica de otros generadores disponibles

1.3.1. Distorsión armónica de Agilent 33120A

Se procedió a medir el espectro del generador en cuestión bajo las mismas condiciones previas para poder estimar su índice de THD, obteniéndose el siguiente espectro.

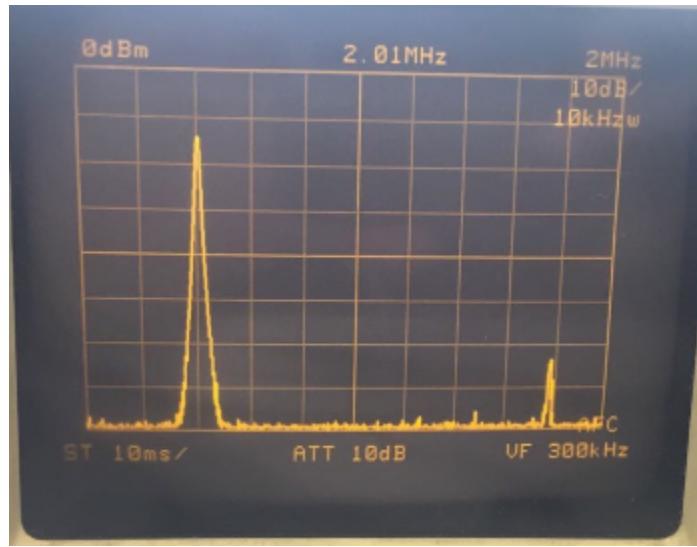


Figura 2: Espectro de señal senoidal de Agilent 33120A

Donde se pueden ver los armónicos medibles de la señal, siendo la potencia del armónico fundamental($1,4MHz$) de $-13,8dBm$ y de su primer armónico ($2,8MHz$) de $-60,6dBm$. Pasando a Watts se obtiene que las potencias en estos armónicos es $P_0 = 41,6\mu W$ y $P_1 = 870pW$, obteniendo un índice de THD igual a $13,10^{-6}$. Luego de realizar esto se buscó en la hoja de datos provista por el fabricante el THD estimado del generador. Se encontró que garantizaba un indice de THD para señales de amplitud menor a $1Vpp$ y de frecuencia entre $[1;20]MHz$ de $-40dBc$. Para poder comparar se recalcula el THD para ser comparable con el encontrado en la hoja de datos, calculando $THD = 10 \cdot \log(\frac{P_1}{P_0}) = -46,7dBc$.

1.3.2. Distorsión armónica de GWInsteck GFG-8219

Se procedió a medir el espectro del generador en cuestión bajo las mismas condiciones previas para poder estimar su indice de THD, obteniéndose el siguiente espectro.

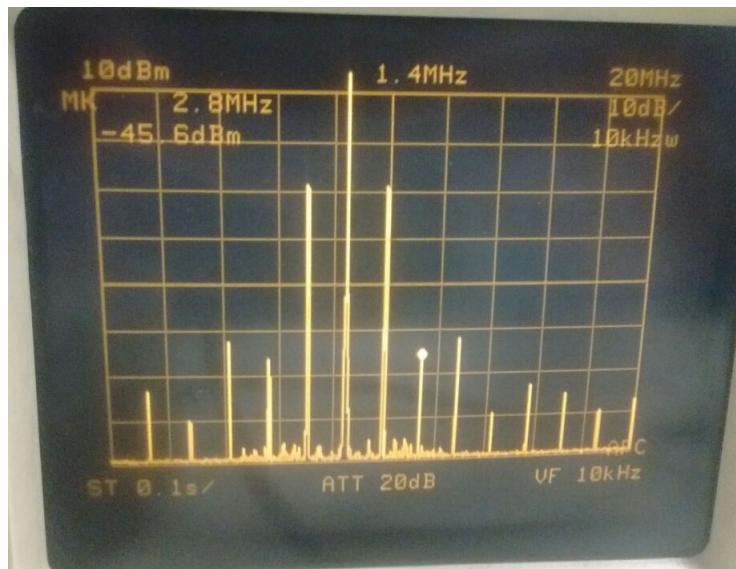


Figura 3: Espectro de señal senoidal de Good Will Instruments GFG-8019G

Donde se pueden ver los armónicos medibles de la señal, siendo P_0 la potencia del armónico fundamental($1,4MHz$) de $-9dBm$. En el caso de este generador se presentan más armónicos medibles que en los casos anteriores, considerandose en el caso solamente hasta el 6to armónico.

Las potencias medidas fueron: $P_1 = -45,6dBm$, $P_2 = -42dBm$, $P_3 = -59dBm$, $P_4 = -53dBm$, $P_5 = -55dBm$, $P_6 = -59dBm$. Pasando a Watts se obtiene que las potencias en estos todos los armónicos medidos es de $P_0 = 125,9\mu W$, $P_1 = 27\eta W$, $P_2 = 63\eta W$, $P_3 = 1,25\eta W$, $P_4 = 5\eta W$, $P_5 = 3,16\eta W$, $P_6 = 1,25\eta W$, obteniendo un índice de THD igual a $800,10^{-6}$. Luego de realizar esto se buscó en la hoja de datos provista por el fabricante el THD estimado del generador. Se encontró que garantizaba un indice de THD para señales senoidales de frecuencia en todo su rango admisible de $-35dBc$. Para poder comparar se recalcula el THD para ser comparable con el encontrado en la hoja de datos, calculando $THD = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6}{P_0}\right) = -30,98dBc$.

1.4. Conclusiones

Luego de realizar las mediciones y cálculos de índice de THD de los 3 generadores en cuestión se concluyó que no hay diferencia notable entre ambos generadores de la marca Agilent en lo que respecta a su distorsión. Sin embargo se pudo ver que estos generadores presentan una distorsión mucho menor que el generador GWInstek. De los resultados obtenidos se puede decir que al menos en lo que respecta a distorsión los generadores Agilent son de mejor calidad.

2. Análisis de señales conocidas

2.1. Señal cuadrada con DC 50 %

2.1.1. Análisis y simulación teórica de señal cuadrada

Se puede definir una señal cuadrada como $x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A \prod\left(\frac{t-kT}{d}\right) - \frac{A}{2}$ $d < T$, siendo $\prod(t)$ el pulso unitario, T el período de la señal y la relación $\frac{d}{T}$ el duty cycle de la misma. Teniendo en cuenta que la función es par, esta puede ser expresada en serie trigonométrica de Fourier de la forma $x(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)$, siendo A_0 el valor medio de la señal y A_n los coeficientes de Fourier de la misma. Se pueden calcular estos coeficientes obteniendo:

$$A_0 = \frac{1}{T} \left(2 \int_0^{\frac{d}{2}} \frac{A}{2} dt + 2 \int_{\frac{d}{2}}^{\frac{T}{2}} -\frac{A}{2} dt \right) = \frac{Ad}{2T} + \frac{A}{T} \left(\frac{-T}{2} + \frac{d}{2} \right) = \frac{A}{2} \left(2\frac{d}{T} - 1 \right)$$

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

Habiendo obtenido el desarrollo en series de Fourier de la función se le aplica la transformada de Fourier para poder ver el comportamiento de la misma en el espectro de la frecuencia obteniéndose

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

Siendo $A = 125mV$ $\frac{d}{T} = 0,5$ y $\frac{1}{T} = 1,4MHz$ se simula matemáticamente con Matlab el espectro de la señal cuadrada en cuestión, obteniéndose lo siguiente:

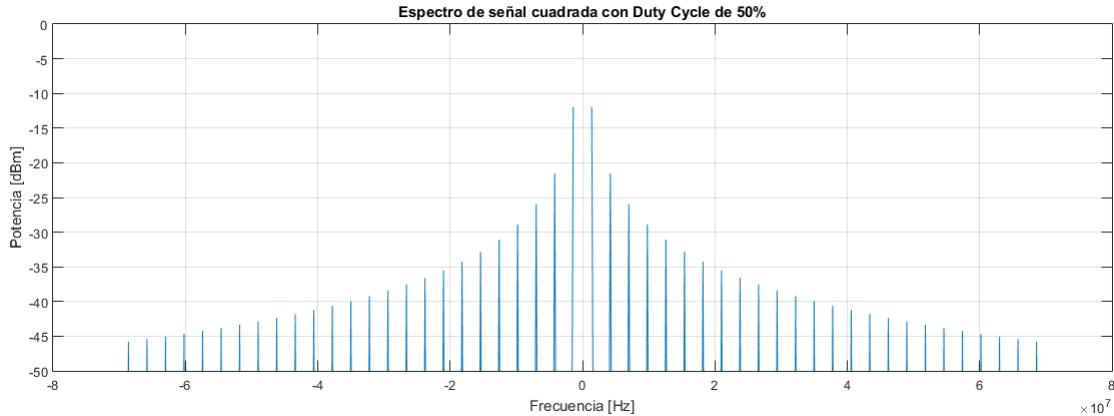


Figura 4: Espectro Simulado de señal cuadrada con DC 50 %

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, se corroboró que la potencia en los armónicos cae de la forma $\frac{1}{n}$.

2.1.2. Medición del espectro de señal cuadrada

Utilizando el analizador de espectros se midió y observó el espectro de la señal cuadrada simulada matemáticamente previamente, obteniéndose el siguiente espectro:

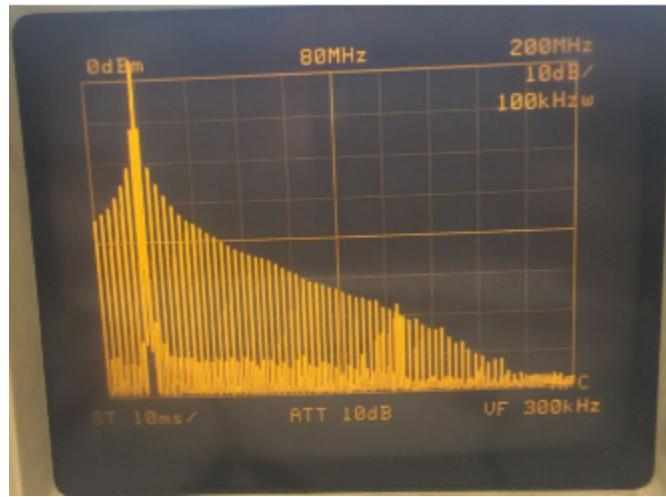


Figura 5: Espectro medido de señal cuadrada con DC 50 %

Puede verse que como era esperado la potencia en los armónicos crecientes decae de la forma $\frac{1}{n}$ y que además los armónicos pares se anulan. Cabe aclarar que la potencia relacionada con el valor medio de la señal no pudo ser medido correctamente, ya que en el 0 de frecuencia se encuentran los 30dBm del generador, imposibilitando la visión clara de la potencia de la señal a medir.

2.1.3. Cálculo de Duty Cycle

Teniendo en cuenta estas mediciones y los coeficientes de la serie de Fourier de la señal puede encontrarse una relación entre el espectro medido y el Duty Cycle de la señal. Sabiendo que $A_n = \frac{2A}{T\pi n} \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{\pi n d}{T}\right)$ y que $\frac{d}{T}$ es el duty cycle de la señal, se entiende que los armónicos en los que no hay potencia son en los que se anula el seno encontrado en los coeficientes de Fourier. Sabiendo que $\operatorname{sen}(\pi k) = 0 \forall k \in \mathbb{Z}$, se obtiene que $\pi n \frac{d}{T} = \pi k$. De esto se termina obteniendo que $n \frac{d}{T} = k$ es la

relación que determina cuales son los armónicos que se anulan. En el caso de duty del 50 %, puede verse $\frac{n}{2} = k$, siendo los armónicos pares los anulados.

2.2. Señal Triangular con DC 50 %

2.2.1. Análisis y simulación teórica de señal triangular

Se puede definir una señal triangular como $\Lambda(t) = A \cdot \left(1 - 4\frac{|t|}{T}\right)$ para $0 \leq |t| \leq \tau$, y $\Lambda(t) = \Lambda(t+T) \forall t \in \mathbb{R}$. Dado que esta función es par, puede ser representada en serie trigonométrica de Fourier en función de cosenos solamente. Además como es simétrica respecto del eje de abscisas, tiene valor medio 0, obteniéndose una representación de la forma $\Lambda(t) = \sum_{n \in \mathbb{N}} A_n \cos(\frac{2\pi}{T}nt)$. Siendo los coeficientes

$$A_n = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} A \left(1 - \frac{4t}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) dt = \frac{8A}{n^2\pi^2} \text{ en el caso que } n \text{ sea impar, siendo 0 de lo contrario.}$$

Reemplazando esta expresión la representación queda $\Lambda(t) = \sum_{n \in \mathbb{N}} \frac{8A}{(2n+1)^2\pi^2} \cos\left(\frac{2\pi}{T}(2n+1)t\right)$, que puede ser transformada en Fourier obteniendo la siguiente representaciónpectral:

$$\Lambda(f) = \sum_{n \in \mathbb{N}} \frac{4A}{(2n+1)^2\pi^2} (\delta(f - \frac{2n+1}{T}) + \delta(f + \frac{2n+1}{T})), \text{ siendo 0 para el caso de } n = 0$$

Teniendo esta expresión se procedió a simular matemáticamente el espectro de una señal triangular de $250mVpp$ y frecuencia $1,4MHz$ en Matlab, dando el siguiente espectro:

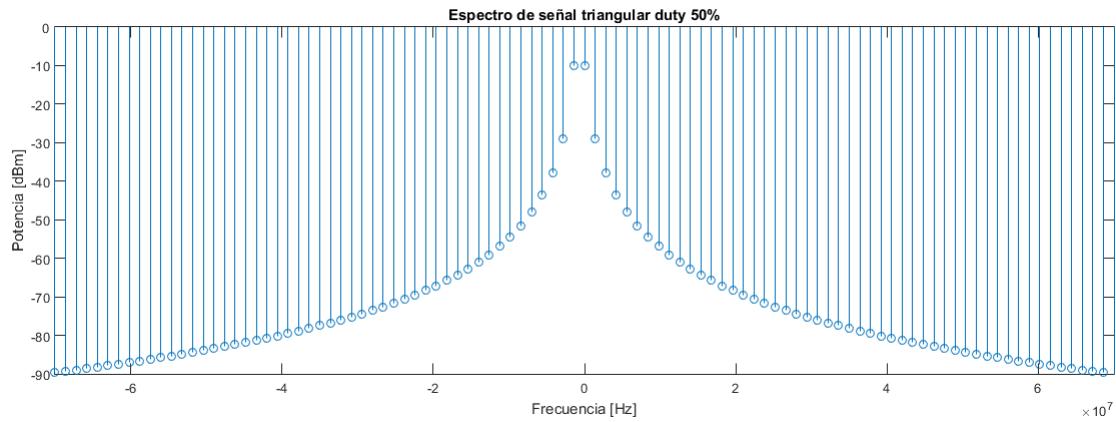


Figura 6: Espectro Simulado de señal triangular con DC 50 %

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, se corroboró que la potencia en los armónicos cae de la forma $\frac{1}{n^2}$.

2.2.2. Medición del espectro de señal triangular

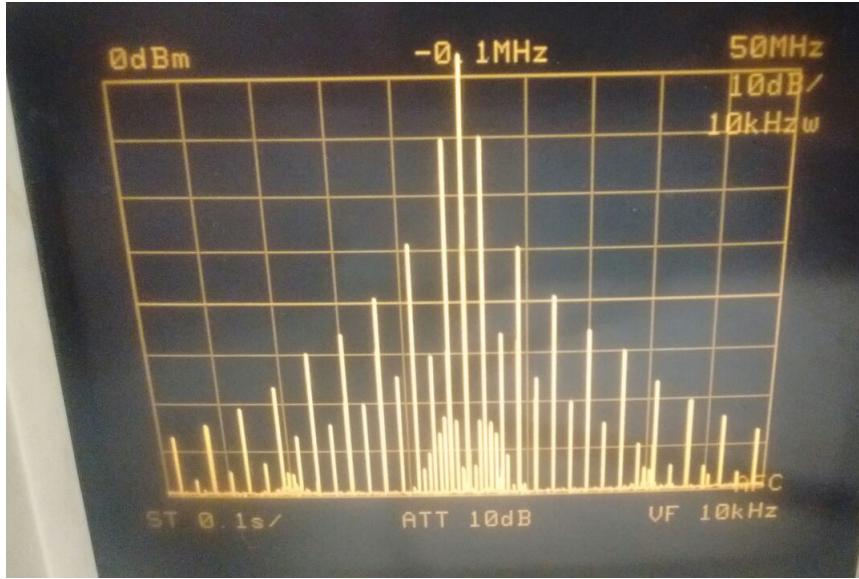


Figura 7: Espectro Medido de señal triangular con DC 50%

Puede verse que como era esperado la potencia en los armónicos crecientes decae de la forma $\frac{1}{n^2}$. A diferencia de lo teórico los armónicos pares no se anulen, sino que presentan menos potencia que los impares. Esto se debe a que el 50 de duty cycle del generador es aproximado puede tener errores de calibración. Cabe aclarar que la potencia relacionada con el valor medio de la señal no pudo ser medido correctamente, ya que en el 0 de frecuencia se encuentran los 30dBm del generador, imposibilitando la visión clara de la potencia de la señal a medir.

2.3. Tren de Pulses con DC 33.33 %

2.3.1. Análisis y simulación teórica de tren de pulsos con DC 33.33 %

Para el análisis teórico de esta señal se valió de lo previamente calculado para la señal cuadrada, solo que fijando el valor de $\frac{d}{T} = \frac{1}{3}$, obteniéndose los siguientes coeficientes del desarrollo de Fourier trigonométrico. $A_0 = \frac{-A}{6}$ y $A_n = \frac{2A}{\pi n} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi n}{3}\right)$, obteniéndose el siguiente espectro $F[x(t)] = A_0\delta(f) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{2} \delta(f - \frac{n}{T}) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_{-n}}{2} \delta(f + \frac{n}{T})$, el cual luego fue simulado en Matlab obteniendo:

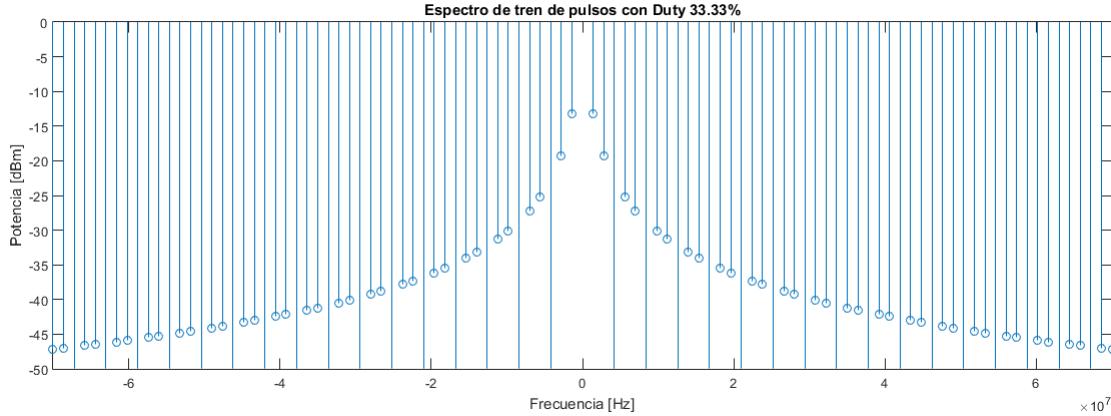


Figura 8: Espectro Simulado de Tren de Pulsos con DC 33.33 %

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, se corroborá que la potencia en los armónicos cae de la forma $\frac{1}{n}$, donde los armónicos múltiplos de 3 se anulan.

2.3.2. Medición del espectro de tren de pulsos con DC 33.33 %

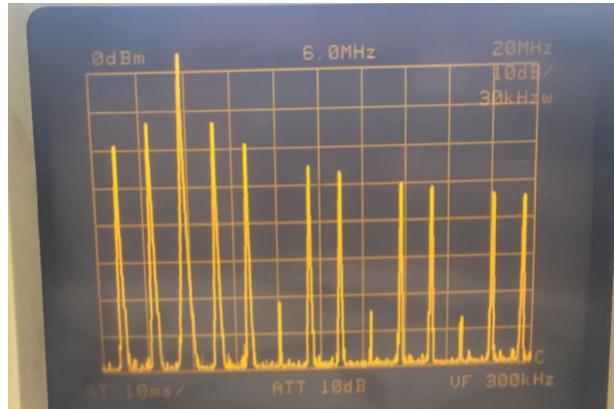


Figura 9: Espectro Medido de Tren de Pulsos con DC 33.33 %

Puede verse que como era esperado la potencia en los armónicos crecientes decae de la forma $\frac{1}{n}$. A diferencia de lo teórico los armónicos múltiplos de 3 no se anulen, sino que presentan menos potencia que los otros armónicos. Esto se debe a que el 33,333 de duty cycle del generador puede tener un error de calibración. Cabe aclarar que la potencia relacionada con el valor medio de la señal no pudo ser medido correctamente, ya que en el 0 de frecuencia se encuentran los 30dBm del generador, imposibilitando la visión clara de la potencia de la señal a medir.

3. Modulación AM

La modulación de amplitud o amplitud modulada (AM) es una técnica utilizada en la comunicación. La modulación en amplitud funciona mediante la variación de la amplitud de la señal transmitida en relación con la información que se envía. Teniendo una señal de información $S_M(t) = \cos(2\pi f_m t)$ a esta se le multiplica una señal portadora de mayor potencia $S_P(t) = A_P \cos(2\pi f_p t)$. Reinsertando la señal de la portadora en la señal resultante queda una señal con la forma $S_{AM}(t) = S_P(t)(1 + mS_M(t)) = A_P \cos(2\pi f_p t)[1 + m \cos(2\pi f_m t)]$, donde $m = \frac{A_M}{A_P}$ es el

índice de modulación de la señal. Partiendo de la expresión del coseno complejo como suma de exponentiales $\cos(2\pi t) = \frac{e^{j2\pi t} + e^{-j2\pi t}}{2}$, se reescribe la expresión de la señal AM.

$$S_{AM}(t) = A_P \frac{e^{j2\pi f_p t} + e^{-j2\pi f_p t}}{2} [1 + m \frac{e^{j2\pi f_m t} + e^{-j2\pi f_m t}}{2}] = \\ \frac{A_P}{2} [e^{j2\pi f_p t} + e^{-j2\pi f_p t}] + \frac{A_P \cdot m}{4} [e^{j2\pi(f_p + f_m)t} + e^{j2\pi(f_p - f_m)t} + e^{-j2\pi(f_p + f_m)t} + e^{-j2\pi(f_p - f_m)t}].$$

Para lograr el análisis en el dominio de las frecuencias se realiza la transformada de Fourier de la señal dando:

$$S_{AM}(f) = \frac{A_P}{2} [\delta(f - f_p) + \delta(f + f_p)] + \frac{A_P \cdot m}{4} [\delta(f - (f_p + f_m)) + \delta(f - (f_p - f_m)) + \delta(f + (f_p + f_m)) + \delta(f + (f_p - f_m))].$$

Quedandonos con las frecuencias positivas se termina concluyendo que la señal en el dominio de la frecuencia queda de la forma $S_{AM}(f) = \frac{A_P}{2} [\delta(f - f_p)] + \frac{A_P \cdot m}{4} [\delta(f - (f_p + f_m)) + \delta(f - (f_p - f_m))]$, es decir se verá la Amplitud de la señal portadora rodeada por las señales generadas de la multiplicación entre la señal portadora y modulante.

3.1. 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 $1,4MHz$ y la de la moduladora $100kHz$. Sabiendo que la impedancia del analizador es de 50Ω se puede calcular la potencia medida como $P = \frac{V_{RMS}^2}{50\Omega}$. Teniendo en cuenta esto se calcula la potencia de la portadora en dBm , siendo $P_P = 10 \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{A_P}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = -16dBm$, mientras que la potencia de las frecuencias con información es de $P_M = 10 \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{A_P}{4} \cdot \frac{m}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{4} \cdot \frac{0.5}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = -28,1dBm$. Sabiendo estos valores se analizó la señal en el analizador de espectros obteniéndose lo siguiente:

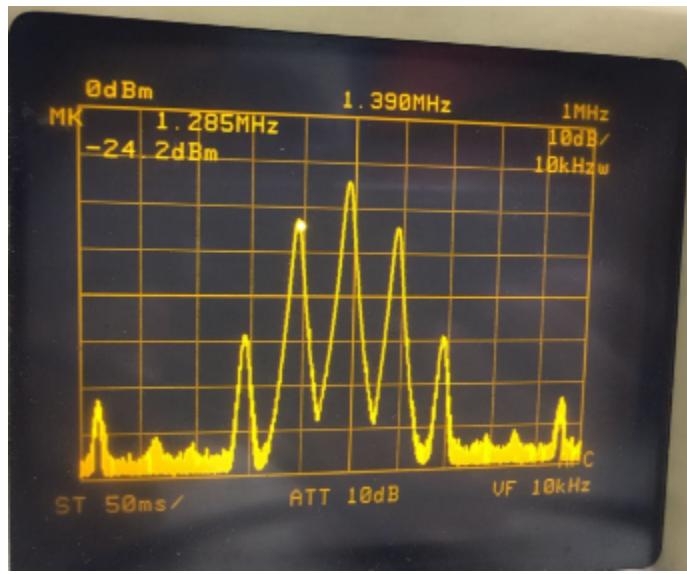


Figura 10: Espectro de señal AM con moduladora senoidal $m=0.5$

Se puede ver que las potencias medidas son similares a las calculadas teóricamente. Se puede ver que se encuentran más armónicos que los calculados previamente. Esto se debe a que el generador utilizado (GFG-8219A), tiene distorsión armónica notable, incorporando más armónicos a la señal modulada.

3.2. Moduladora senoidal m=1

Se generó una señal AM con las mismas condiciones que en el caso anterior, solamente que se utilizó un $m = 1$. Teniendo en cuenta esto, se calculó la potencia en la portadora en dBm dando $P_P = 10 \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = -16dBm$, mientras que la potencia de las frecuencias con información es de $P_M = 10 \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega 1mW} \right) = -22dBm$.

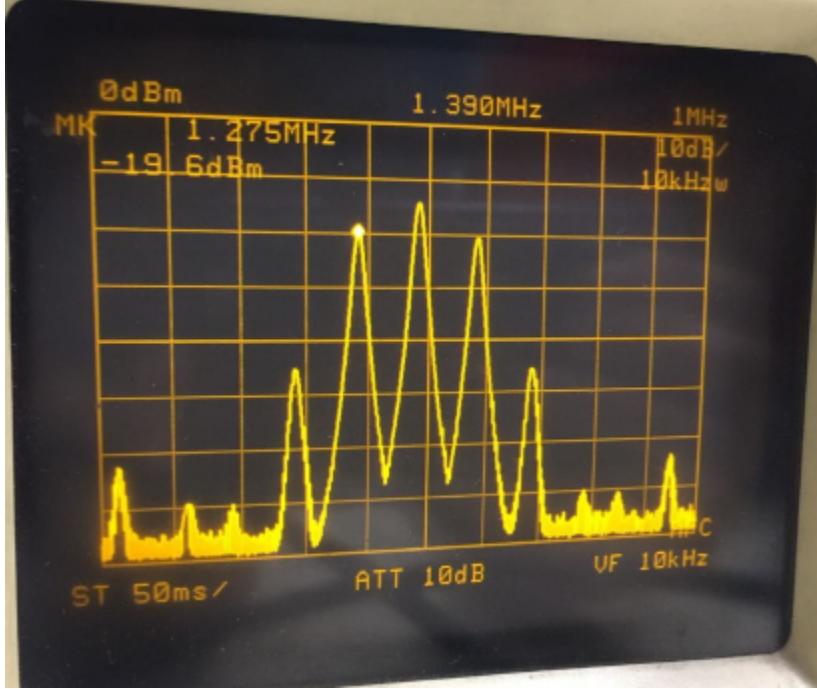


Figura 11: Espectro de señal AM con moduladora senoidal m=1

Se puede ver que las potencias medidas son similares a las calculadas teóricamente. Se puede ver que se encuentran más armónicos que los calculados previamente. Esto se debe a que el generador utilizado (GFG-8219A), tiene distorsión armónica notable, incorporando más armónicos a la señal modulada.

3.3. Moduladora triangular, m = 1

En este caso se tomó a la señal moduladora como $S_M(t) = A \cdot \left(1 - 4 \frac{|t|}{T} \right)$ para $0 \leq |t| \leq \tau$, y $\Lambda(t) = \Lambda(t + T) \forall t \in \mathbb{R}$ con una frecuencia de $1.4MHz$, quedando una señal modulada $S_{AM}(t) = A_P \frac{e^{j2\pi f_p t} + e^{-j2\pi f_p t}}{2} [1 + mS_M(t)]$. Teniendo en cuenta que la señal moduladora es la misma que la que fue utilizada en el punto 2.2, se expresa la misma en serie trigonométrica de Fourier dando $S_M(t) = \sum_{n \in \mathbb{N}} \frac{8A}{(2n+1)^2 \pi^2} \cos(\frac{2\pi}{T}(2n+1)t)$. En el dominio de la frecuencia la señal resultante queda de la forma:

$$S_{AM}(f) = \frac{A_P}{2} [\delta(f - f_p) + \delta(f + f_p)] + \sum_{n \in \mathbb{Z}} \frac{A_P \cdot m \cdot 2 \cdot A}{(2n+1)^2 \pi^2} [\delta(f - (f_p + \frac{2n+1}{T})) + \delta(f - (f_p - \frac{2n+1}{T})) + \delta(f + (f_p + \frac{2n+1}{T})) + \delta(f + (f_p - \frac{2n+1}{T}))] \text{ con } n \text{ distinto de 0.}$$

Sabiendo esto se midió el espectro de la señal, obteniéndose lo siguiente:

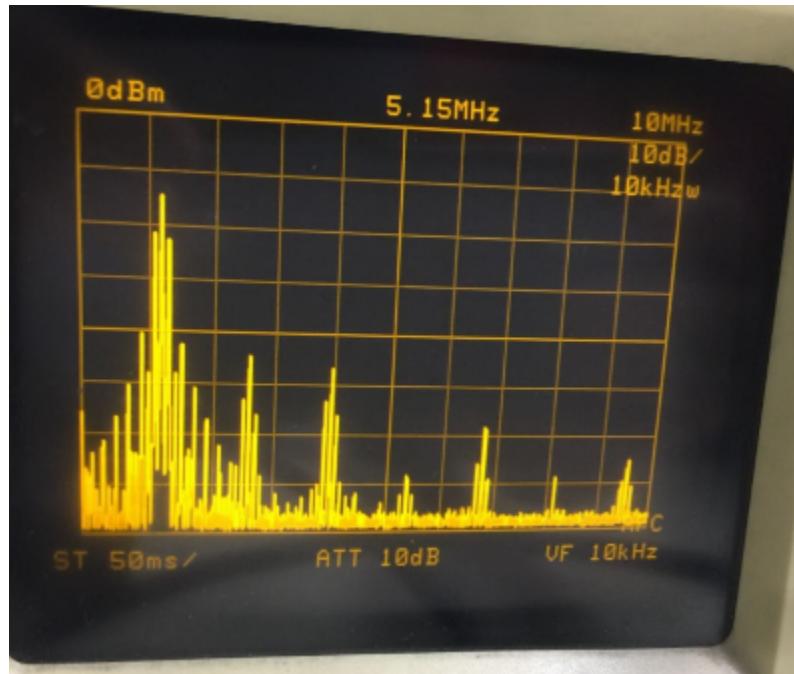


Figura 12: Espectro de señal AM con moduladora triangular $m=1$

Como se había calculado previamente teóricamente, 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 que como el generador (GFG-8219A), tiene distorsión armónica notable, incorporando más armónicos a la portadora. Por esta razón, es que se ve como se generan espectros de señales triangulares de menor potencia alrededor de estos armónicos mencionados.

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

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 $P_P = 10 \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega, 1mW} \right) = -16dBm$, mientras que la potencia de las frecuencias con información es de $P_M = 10 \cdot \log \left(\frac{\left(\frac{100mV}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2}{50\Omega 1mW} \right) = -22dBm$.

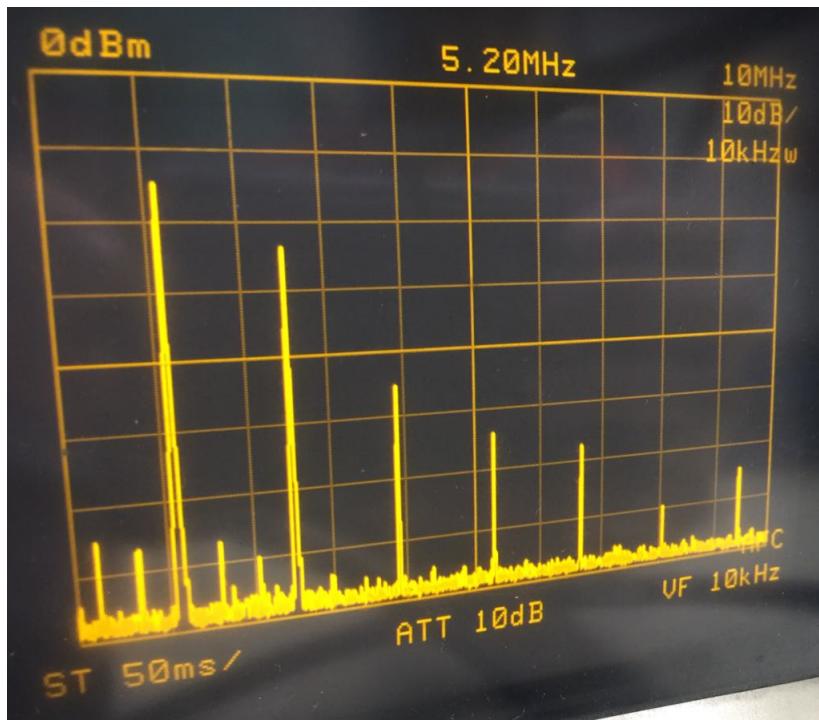


Figura 13: Espectro de señal AM con Moduladora senoidal de frecuencia igual a la portadora, $m = 1$

Se puede ver que se sigue manteniendo la relación de frecuencias entre portadora y moduladora, teniendo una diferencia de $1,4MHz$ en este caso. Las potencias medidas son similares a las calculadas teóricamente, existiendo diferencias por errores de precisión al medir y/o por la capacidad de los cables utilizados al medir. Como en todos los casos anteriores, se debe tener en cuenta que el generador usado para generar la portadora presenta un THD elevado por lo que en el espectro se ven los armónicos del mismo.

4. Modulación FM

La modulación de frecuencia o frecuencia modulada es una técnica de modulación que permite transmitir información a través de una onda portadora variando su frecuencia. A continuación se mostrará los espectros de distintos casos de modulación FM.

4.1. Moduladora senoidal

Se realizó modulación FM siendo la señal portadora una senoidal de amplitud $200mVpp$ con una frecuencia de $1,4MHz$, siendo la señal modulante otra señal senoidal. Se midió la señal generada con el analizador de espectro obteniendo lo siguiente:

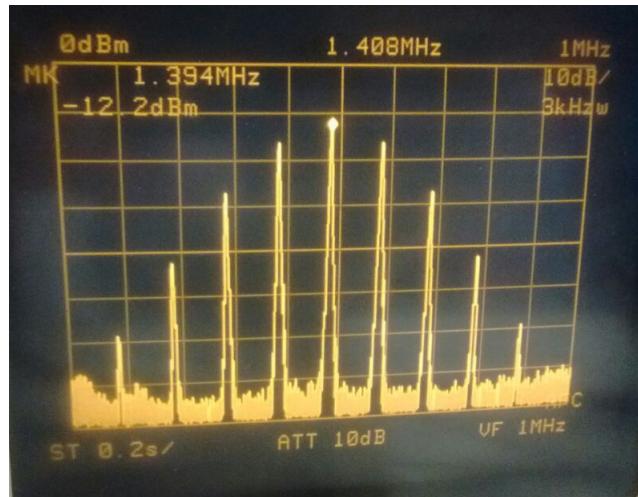


Figura 14: Espectro de señal FM con Moduladora senoidal

Se puede ver que en el espectro se ven más armónicos que el fundamental, viendose hasta el 4to armónico bilateralmente.

4.2. Moduladora triangular

Se realizó modulación FM siendo la señal portadora una senoidal de amplitud $200mVpp$ con una frecuencia de $1,4MHz$, siendo la señal modulante una señal triangular. Se midió la señal generada con el analizador de espectro obteniendo lo siguiente:

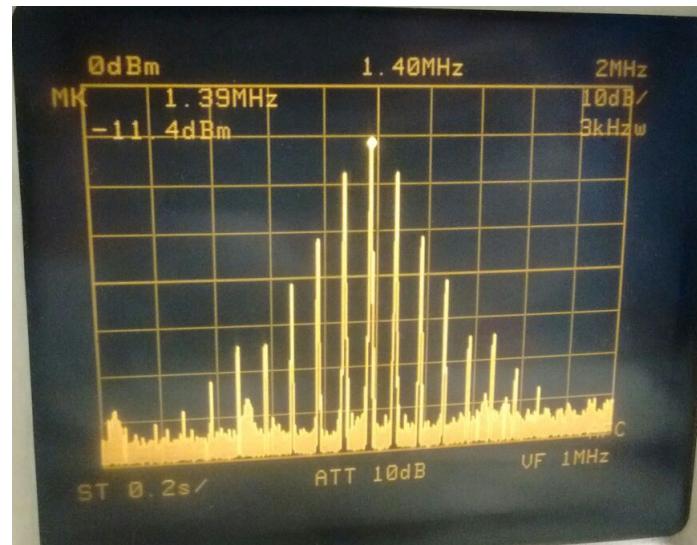


Figura 15: Espectro de señal AM con Moduladora triangular

Se puede ver que en el espectro se ven más armónicos que el fundamental, viendose hasta el 4to armónico bilateralmente.

4.3. Moduladora senoidal de frecuencia igual a la portadora

Se realizó modulación FM siendo la señal portadora una senoidal de amplitud $200mVpp$ con una frecuencia de $1,4MHz$, siendo la señal modulante otra señal senoidal con la misma frecuencia

que la portadora. Se midió la señal generada con el analizador de espectro obteniendo lo siguiente:

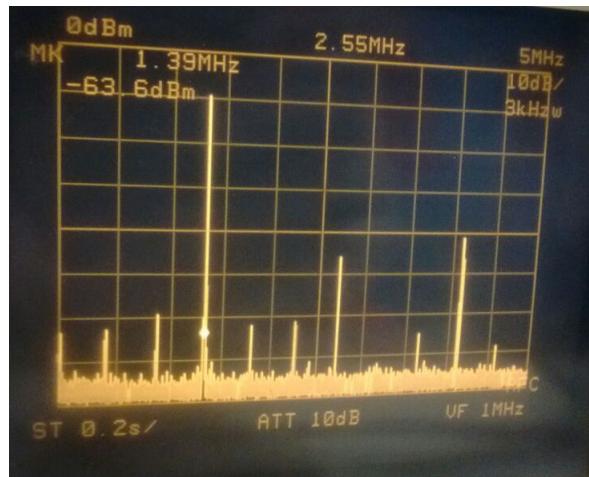


Figura 16: Espectro de señal AM con Moduladora senoidal de frecuencia igual a la portadora

Se puede ver que en el espectro se ven más armónicos que el fundamental, viendose hasta el 4to armónico bilateralmente.

5. Espectro de radiofrecuencias en Argentina

Se buscó e investigó sobre el espectro de radiofrecuencias en la Argentina. Con la información encontrada se confeccionó la siguiente tabla:

| SERVICIO | FRECUENCIAS DE OPERACIÓN | POTENCIA IRRADIADA |
|---------------------|---|--|
| Radiodifusión de AM | 535 - 1705 kHz | Min 100 W Máx 100 kW |
| Radiodifusión de FM | 88 - 108 MHz | Min 30 W Max 100 kW |
| Radiodifusión de TV | TV abierta VHF bajo: 54 - 72 MHz (canales 2-4) 76 - 88 MHz (canales 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: Min 5 kw en estación autónoma, 50W 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 |
| High Frequency | 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 160W 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. 150W 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 100W) VHF: 20 W |

Cuadro 1: Espectro de radiofrecuencia en Argentina

Teniendo en cuenta esta distribución espectral, se intentó demodular una señal de audio que no corresponda a una señal de radio ni TV. Sin embargo no se pudo encontrar una señal con la potencia suficiente para ser medida y que cumpla tal condición. Además debido a que las señales actualmente se modulan digitalmente o están codificadas, la disponibilidad de señales analógicas en el espectro de radio frecuencia es menor.

6. Espectro electromagnético de FM

En argentina, se establecen dos categorías de emisoras según la norma técnica del Servicio de FM (Resolución N° 142 SC/96). Las de alta y mediana potencia (categorías A, B, C y D), y las de baja potencia (E, F y G). Esto permite asignar mayor cantidad de estas estaciones al reducirse notoriamente las distancias de compartición.

6.1. Distribución de canales

La banda para este servicio, comprendida entre 88 y 108MHz, se divide en 100 canales de 200KHz cada uno. El primer canal, el canal 200, tiene una frecuencia de 88:1MHz y el último canal,

el canal 300, tiene una frecuencia de 107.9MHz. 6.2 Categoría de las estaciones La categoría de una estación queda determinada por el área de servicio estimada. Se considera como límite de la misma, el contorno de 48 dBm/m. Con el equipamiento máximo correspondiente a las diferentes categorías, los radios del área estimada de servicio son los

6.2. Categoría de las estaciones

La categoría de una estación queda determinada por el área de servicio estimada. Se considera como límite de la misma, el contorno de 48 dBm/m. Con el equipamiento máximo correspondiente a las diferentes categorías, los radios del área estimada de servicio son los siguientes:

| Categoría | RADIO DE ÁREA ESTIMADA (48 dBμV/m - 250 μV/m) Km. |
|-----------|---|
| A | 90 |
| B | 80 |
| C | 70 |
| D | 45 |
| E | 28 |
| F | 22 |
| G | 9.5 |

Cuadro 2: Tabla de Categorías y Alcance

Teniendo en cuenta todo esto que se investigó se sintonizó a la radio 105.5, y se configuró al analizador de espectros para poder escuchar la radio con la mejor calidad posible. En estas condiciones se obtuvo el siguiente espectro:

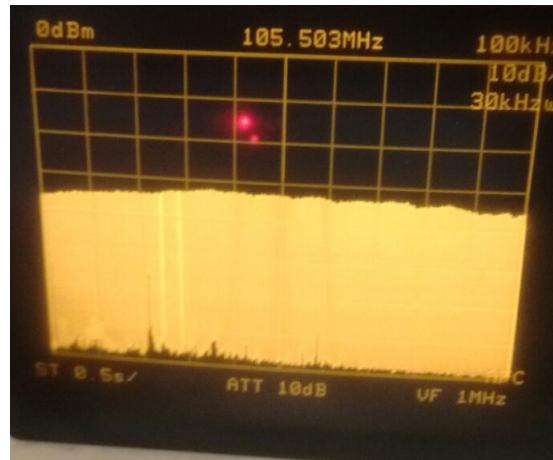


Figura 17: Espectro de radio 105.5

7. Espectro de señal de televisión

El espectro electromagnético de TV En argentina, se divide en tres bandas de canales:

| Banda | Canales |
|-------|---------|
| 1 | 2-6 |
| 2 | 7-13 |
| 3 | 21-69 |

Cuadro 3: Tabla de bandas y canales

A cada canal se le asigna un máxima de $6MHz$ de ancho de canal. Arrancando de los $54MHz$ con el canal 2, el resto de los canales se encuentran contiguos en cada banda. Es decir los 4 canales de la banda 1 se encuentran entre 54 y $88MHz$. Los canales de la segunda banda se encuentran entre los $174MHz$ y $216MHz$, mientras los canales de la tercera banda se encuentran entre $512MHz$ y $806MHz$.

Teniendo en cuenta esto se sintonizó al canal 3 cuyo canal asignado esta entre $210MHz$ y $216MHz$. Se configuró al analizador de espectros para poder escuchar la radio con la mejor calidad posible. En estas condiciones se obtuvo el siguiente espectro:

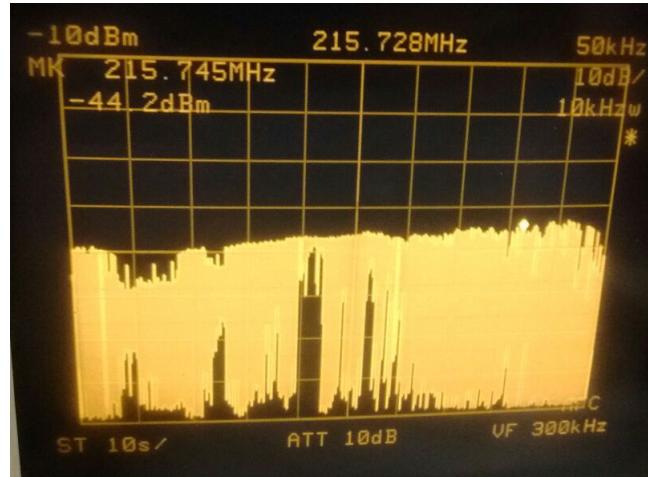


Figura 18: Espectro de Canal 13

8. Análisis de funciones

8.1. Sinc

Se configuró el generador de funciones para que este genere un sinc con una frecuencia de $100kHz$ y una amplitud de $250mVpp$ y se lo conectó al analizador de espectros para observar el espectro de la señal, observándose lo siguiente

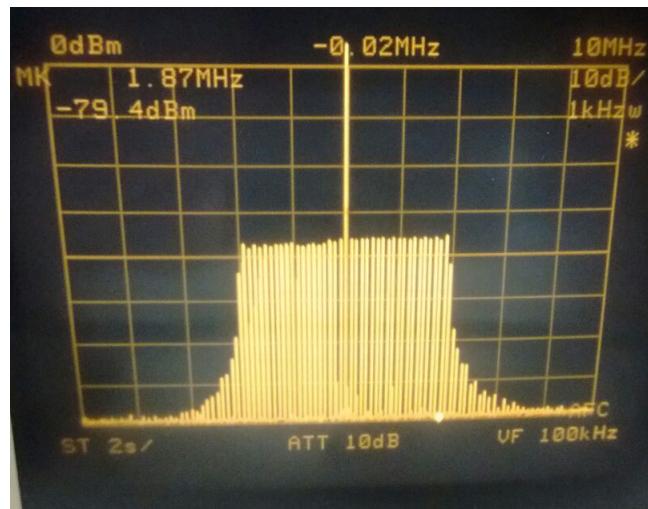


Figura 19: Espectro de Sinc

Sabiendo que la transformada de Fourier $F[sinc(\alpha t)] = \frac{1}{\alpha} \cdot \prod(\frac{f}{\alpha})$

8.2. Tren de Deltas

Se configuró el generador de funciones para que este genere un tren de pulsos con DC mínimo, con una frecuencia de $100kHz$ y una amplitud de $250mVpp$. Con esta configuración se esperó simular un tren de deltas periódico, del cual se quería analizar su espectro. Para esto se conectó el generador en la configuración especificada al analizador de espectros para observar el espectro de la señal, observándose lo siguiente:

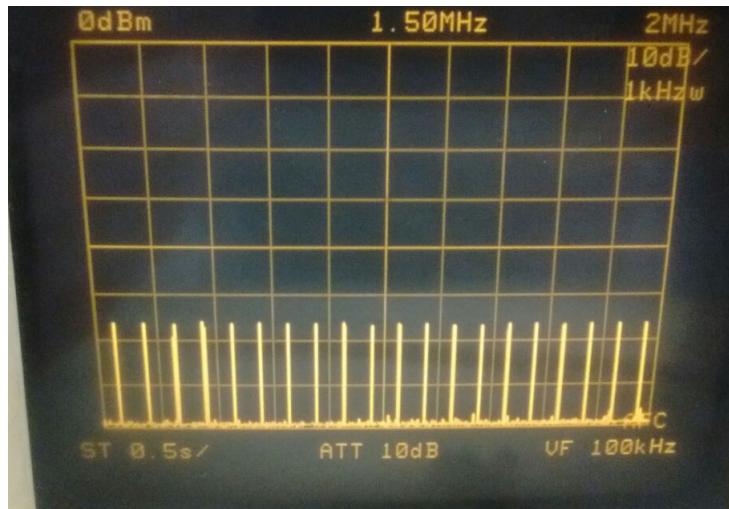


Figura 20: Espectro de Tren de Deltas

Teniendo en cuenta que un tren de deltas $y(t) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} A\delta(t - nT)$ la transformada de Fourier del tren de deltas es $\sum_{n \in \mathbb{Z}} A \cdot f_o \delta(f - nf_o)$. Esto puede verse claramente en la medición, ya que la distancia en frecuencia entre 2 deltas es de $100kHz$.