

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

22.42 LABORATORIO DE ELECTRONICA

TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO *Nº 5*

Analizador de Espectros

Grupo 3:

Matías LARROQUE
Leg. 56597

Ariel MARTORELL
Leg. 56209

Manuel MOLLÓN
Leg. 58023

Ezequiel VIJANDE
Leg. 58057

Profesor:

Pablo Martín COSSUTTA
María Alejandra WEILL
Matías Damián SALVATI

Entregado: 20 de Noviembre de 2018

Índice

1. Introducción	2
2. Total Harmonic Distortion(THD)	2
3. Espectros de distintas señales	2
3.1. Señal cuadrada	2
3.2. Señal triangular	3
3.3. Tren de pulsos	3
4. Modulación AM y FM	4
4.1. Resultados AM	4
4.2. Resultados FM	5
5. Espectro de radiofrecuencias en Argentina	7
5.1. Medición señales de telefonía celular - 878 MHz	7
6. Espectro de FM	8
6.1. Medición	8
7. Espectro de televisión	8
7.1. Medición	8
8. $\frac{\sin(x)}{x}$ y Tren de deltas	8
9. Conclusiones	9

1. Introducción

En este escrito se busca exponer algunas de las distintas aplicaciones de un analizador de espectros. Asimismo, se darán algunas descripciones breves de conceptos relacionados con el estudio de las señales en el dominio de la frecuencia y la utilidad de los mismos. Con este fin, se muestran un numero de mediciones realizadas con dicho instrumento y en lo posible la simulación teórica del fenómeno de interés.

2. Total Harmonic Distortion(THD)

La distorsión armónica es un concepto que hace referencia a que tan 'impura' es una señal, ya que establece una relación entre la amplitud de los armónicos secundarios de la señal con el armónico fundamental. La definición matemática de la misma es:

$$THD = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} P_i}{P_0} \quad (1)$$

Donde P_i representa la potencia de los armónicos secundarios de la señal y P_0 es la potencia del armónico fundamental. En la práctica no es posible hacer la suma de los infinitos armónicos por lo que en este trabajo medimos todos los armónicos detectados por el instrumento (aquellos con potencia mayor a -80dbm).

Se conectaron 3 generadores de señales distintos al analizador de espectros, aunque todos del mismo modelo(Agilent 33220A, 20MHz), y se procedió a medir la potencia de todos los armónicos presentes con el fin de calcular la THD de cada uno.

Dicha medición se llevó a cabo para una señal senoidal de una amplitud de 250mVpp y una frecuencia fundamental de 900KHz. A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos:

	P_0 (dbm)	P_1 (dbm)	P_2 (dbm)	THD(medido)	THD(manual)
1 ^{er} Generador	-43	-	-77	0.04 %	0.04 %
2 ^{do} Generador	-45	-	-75.2	0.01 %	0.04 %
3 ^{er} Generador	-35	-	-70	0.03 %	0.04 %

Cuadro 1: THD medida de cada generador

Las mediciones anteriores se realizaron centrando la pantalla en la frecuencia de cada armonico con un Span de 100KHz y un RBW de 1Khz.

3. Espectros de distintas señales

Se procedió a realizar la medición del espectro de distintas formas de onda, todas de 250mVpp y de una frecuencia fundamental de 900KHz.

3.1. Señal cuadrada

Para la señal cuadrada se procedió primero a realizar un análisis teórico de dicha señal. Estableciendo su amplitud como A, su duty cycle D y frecuencia $f = \frac{1}{T}$ se puede expresar su señal con una serie trigonométrica de Fourier de infinitos términos:

$$x(t) = A(2D - 1) + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2A}{\pi n} \sin(2\pi nD) \cos\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) + \frac{2A}{\pi n} (1 - \cos(2\pi nD)) \sin\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) \right)$$

teniendo en cuenta esto se realizaron las mediciones con el analizar de espectros y se encontró los siguientes resultados:

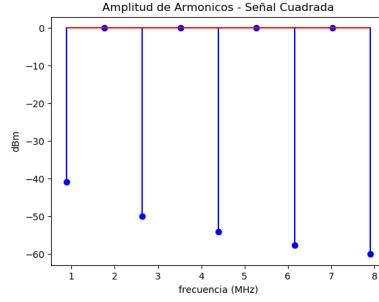


Figura 1: Armonicos medidos de la cuadrada

3.2. Señal triangular

Analogamente se realizó el mismo análisis para una señal triangular con simetría del 50%, amplitud A y frecuencia $f = \frac{1}{T}$ y se obtiene la siguiente expresión

$$x(t) = \frac{A}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cos \left(\frac{2\pi(2n-1)}{T} t \right)$$

teniendo en cuenta esto se realizaron las mediciones con el analizar de espectros y se encontró los siguientes resultados:

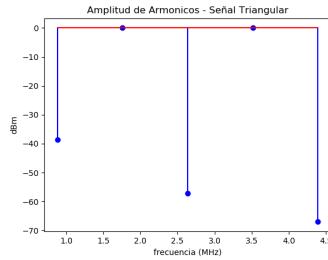


Figura 2: Armonicos medidos de la triangular

Se puede ver que se anulan los armónicos pares, lo cual es lo esperado debido a que la señal presenta simetría de media onda

3.3. Tren de pulsos

Para el tren de deltas se obtuvieron las siguientes mediciones:

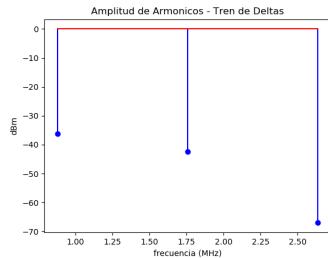


Figura 3: Armonicos del tren de deltas

4. Modulación AM y FM

Mediante el uso de dos generadores se procedió a generar una señal modulada en AM de 200mVpp. Se utilizó un generador de ondas para producir la señal correspondiente a la moduladora (se utilizó $f_m = 100\text{KHz}$) y el otro para producir la señal de la portadora ($f_p = 1.1\text{MHz}$). Luego se repitió la experiencia con las dos ondas de las mismas características pero con el objetivo de producir una señal modulada en FM.

4.1. Resultados AM

A continuación se presentan imágenes obtenidas del analizador de espectros para distintos casos de interés, acompañados por su correspondiente simulación.

- Moduladora senoidal, $m=0.5$

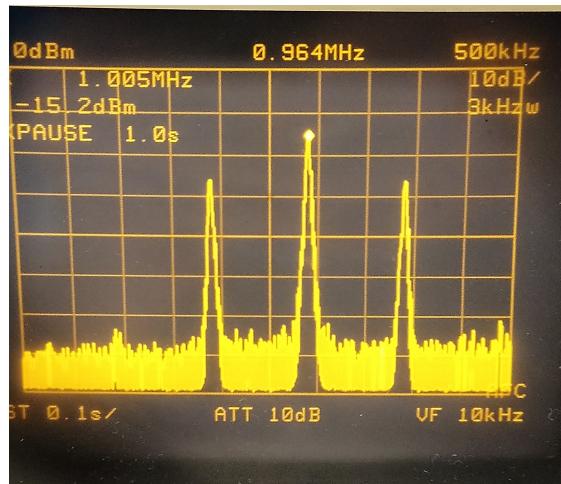


Figura 4: Medición para $m=0.5$

- Moduladora senoidal, $m=1$



Figura 5: Medición obtenida para $m=1$

- Moduladora triangular, $m=1$

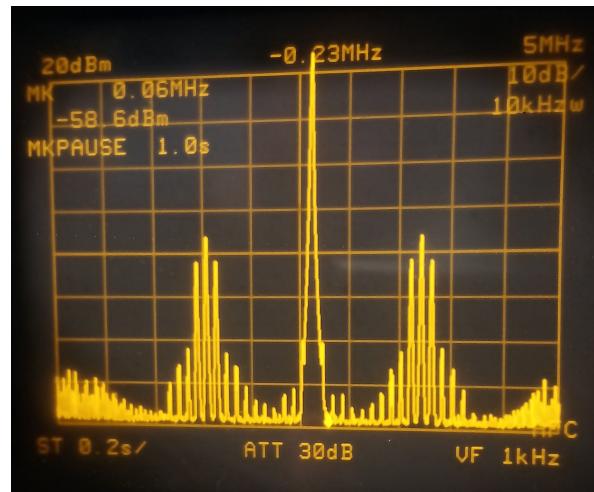


Figura 6: Medición para moduladora triangular y $m=1$

- Moduladora senoidal, $m=1$ ($f_m = 1.1MHz$)

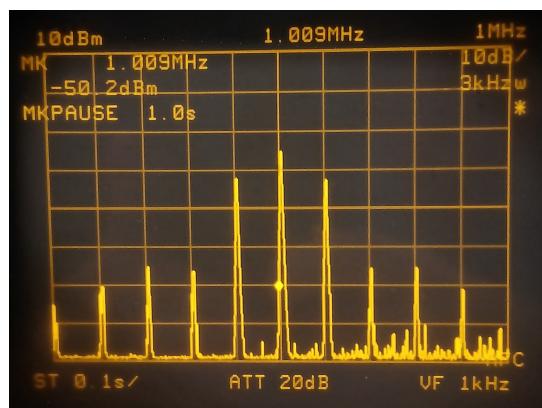


Figura 7: Medición para $m=1$ y $f_m = f_p = 1.1MHz$

4.2. Resultados FM

- Moduladora senoidal, $m=0.5$

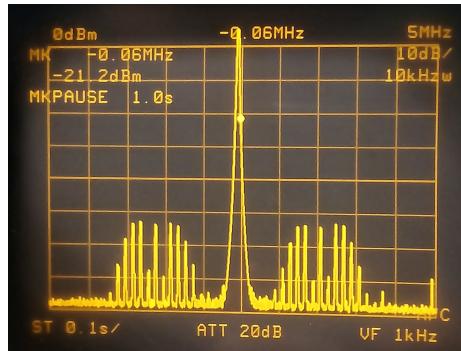


Figura 8: Medición para $m=0.5$

- Moduladora senoidal, $m=1$

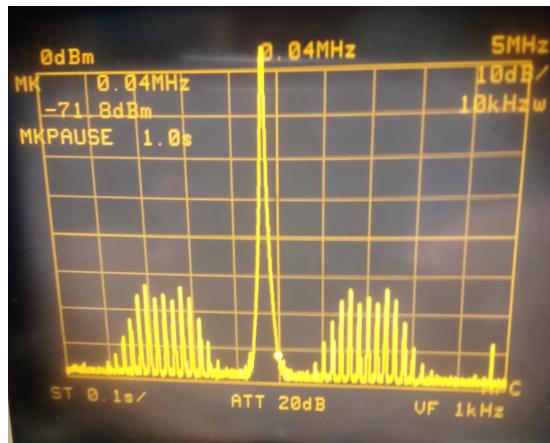


Figura 9: Medición obtenida para $m=1$

- Moduladora triangular, $m=1$

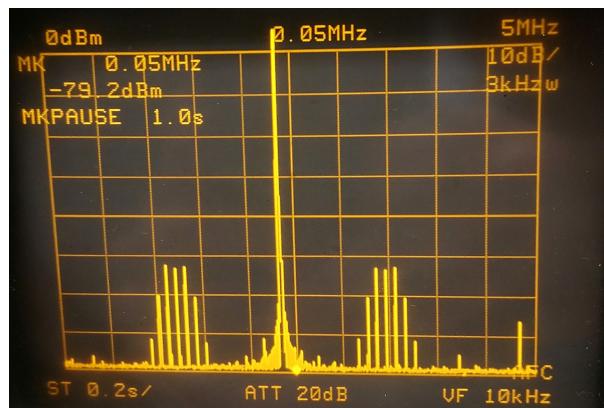


Figura 10: Medición para moduladora triangular y $m=1$

- Moduladora senoidal, $m=1$ ($f_m = 1.1MHz$)

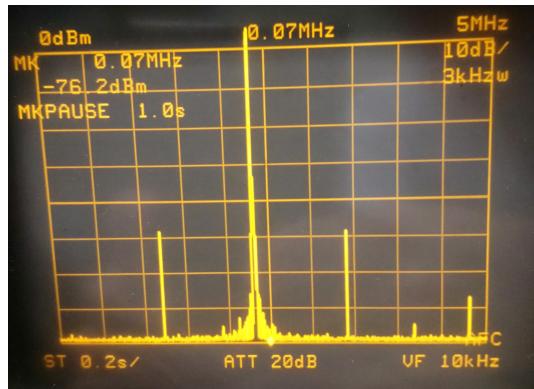


Figura 11: Medición para $m=1$ y $f_m = f_p = 1.1MHz$

5. Espectro de radiofrecuencias en Argentina

A continuación se procede a realizar un estudio del espectro de radiofrecuencias en Argentina, por lo cual en el siguiente cuadro se procede a mostrar las frecuencias de operación y los niveles de potencia que emiten los diversos sistemas y servicios de comunicación que utilizan radiofrecuencias:

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: Min 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 - 50138 - 174242 - 280340 - 399421 - 426443 - 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 comunicaciones móvil - tierra	HF: hasta 400 W PEP (media 100 W) VHF: 20 W

Cuadro 2: Distribución de Radiofrecuencia

5.1. Medición señales de telefonía celular - 878 MHz

Como se puede observar en el cuadro (2) esta frecuencia pertenece al rango de servicios de telefonía móvil, dichas señales presentan un sonido pero no es uno que brinde demasiada información pero que se podía diferenciar considerablemente del sonido del ruido eléctrico que produce el analizador.

En esta frecuencia se obtuvo considerando un $span = 100 MHz$ y un $RBW = 1 MHz$ con el que se obtuvo una medición de potencia de $P = -57 dBm$.

6. Espectro de FM

Para este ejercicio se procedio a analizar el espectro electromagnético en la banda FM, elegir una emisora, sintonizarla utilizando el analizador de espectros y obtener su potencia.

6.1. Medición

En esta medición se sintonizo una frecuencia correspondiente a una radio en este caso a radio La Plata cuya frecuencia es de 92.1 MHz , una vez que se pudo sintonizar dicha estación y verificar que era la misma escuchando su contenido, se procedio a medir su potencia y se obtuvo que $P = -40 \text{ dBm}$ con Sweep time de 0.2s , VF=1KHz, RBW=100K y Span= 500KHz.

7. Espectro de televisión

El espectro de radiofrecuencia de la televisión argentina esta dividido en 3 bandas como se muestra en la siguiente tabla:

Banda	Frecuencias [Mhz]
VHF Bajo	54 – 88
VHF alto	174 – 216
UHF	512 – 806

Cuadro 3: Distribución de las bandas de televisión

7.1. Medición

Para esta medición se buscó sintonizar la frecuencia correspondiente al canal 13 de aire que se obtuvo a la frecuencia $f = 215,7 \text{ MHz}$ con el cual utilizando un $span = 500 \text{ kHz}$ y un $RBW = 100 \text{ KHz}$ se obtuvo la siguiente potencia a partir de la medición $P = -37.6 \text{ dBm}$. En dicha medición se pudo escuchar claramente el sonido emitido por el programa de televisión que estaba siendo emitido en el instante de la medición.

8. $\frac{\sin(x)}{x}$ y Tren de deltas

Para realizar el siguiente ejercicio se utilizó un generador de señales que poseía ya tanto el $\text{sinc}(x)$ como el tren de deltas previamente cargadas, con las que se obtuvieron las siguientes mediciones.

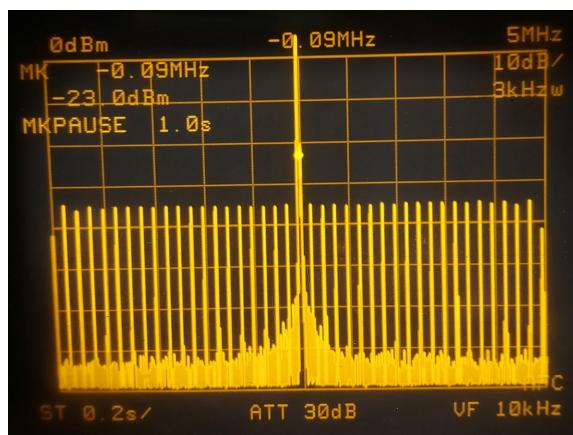


Figura 12: Espectro del $\text{sinc}(x)$

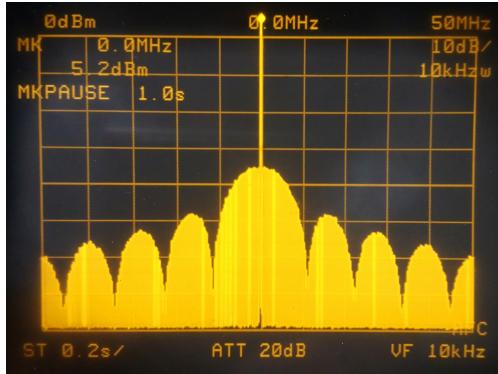


Figura 13: Espectro del tren de deltas ($f_0 = 125\text{KHz}$)

Como se puede observar en ambas figuras (12) . En el caso de 13 se puede ver que los armonicos medidos tienen la forma de un sinc, esto se debe a que el generador no puede generar deltas perfectos sino que los mismos son cuadradas angostas. Esto explica porque el espectro en frecuencia del mismo se ve como un sinc, ya que la transformada de fourier de una cuadrada es un sinc.

9. Conclusiones

Para Finalizar, se pudo contemplar la funcionalidad que posee el analizador, que nos posibilitó el sintonizar radiofrecuencias y a su vez medir sus espectros tanto como medir el espectro de distintas señales, consecuentemente se pudo comprobar que dichas mediciones coinciden con el cálculo teórico del espectro de las señales medidas que se obtuvo mediante la transformada de Fourier.