



Instituto Tecnológico de Buenos Aires
19 de noviembre de 2018

Analizador de espectros
Trabajo de Laboratorio nº 5

Laboratorio de Electronica

Grupo 6

<i>Nombre</i>	<i>Legajo</i>
Ariel Nowik	58309
Joaquín Mestanza	58288
Marcelo Regueira	58300
Martina Máspero	57120
Malena Muller	57057

Índice

1. Cálculo de THD con diversos osciloscopios	3
1.1. Mediciones	3
1.2. Verificación de la magnitud obtenida para el primer armónico	3
1.3. Conclusiones	3
2. Medición de señales cuadradas y triangulares	3
2.0.1. Cálculos analíticos, cuadrada, DC=50 %	3
2.0.2. Cálculos analíticos, cuadrada, DC=30 %	4
2.0.3. Cálculos analíticos, triangular simetría = 50 %	4
2.1. Cálculo de potencia a partir de los coeficientes de Fourier	4
2.1.1. Comparación, mediciones y Teoría	4
3. Análisis de señales AM	5
3.1. Estructura de una señal AM	5
3.2. Señal senoidal AM, $m=0.5$	5
3.3. Señal senoidal AM, $m=1$	6
3.4. Señal triangular AM, $m=1$	7
3.5. Señal senoidal AM, $m=1$, $F_p = F_m$	7
4. Medición de señales FM	7
4.1. Señal 2 - Modulación senoidal	8
4.2. Señal 1 - Modulación triangular	8
5. Espectro de radiofrecuencias en Argentina	9
6. Señales de radio	10
7. Señales de televisión	11
8. Análisis de señales sinc y tren de deltas con el analizador de espectros	13
8.1. Señal sinc(t)	13
8.2. Señal tren de deltas	13
9. Conclusión final	14

1. Cálculo de THD con diversos osciloscopios

Se procedió a medir la distorsión armónica con tres generadores de señales distintos disponibles en el laboratorio. La señal de entrada en todos los casos fue de 250mVpp, con una frecuencia de 1.7Mhz¹

Debido a la impedancia del generador y del analizador de espectros (de 50 Ω cada uno), la tensión que llegó al analizador de espectros fue aproximadamente la mitad de la original, es decir 125mVpp.

Se tomó como definición de THD la siguiente fórmula

$$THD = \frac{P_1 + P_2 + \dots}{P_0 + P_1 + P_2 + \dots}$$

1.1. Mediciones

Se procedió a medir con RBW=30Khz y un span time de 0.1s, la intensidad de los armónicos de la señal de entrada.

Generador	1er armónico	2do armónico	3er armónico	THD medido	THD hoja de datos
Agilent 3322A	-14.6 dBm	-66.4 dBm	-	0.00063 %	<0.04 %
Agilent 33120A	-14 dBm	-66.2 dBm	-	0.00060 %	<0.04 %
Instek GFG 8019G	-15.2 dBm	-56.2 dBm	-65.8 dBm	0.008 %	<1 %

En general se observó que en ambos casos la distorsión armónica dio en mucho menor que lo esperado, por lo que se infiere que es probable que los fabricantes se cubren en gran medida con la cota que informan en sus hojas de datos, a pesar de que en los casos más usuales como los que fueron medidos la distorsión armónica sea muy baja.

1.2. Verificación de la magnitud obtenida para el primer armónico

Se procedió a verificar numéricamente que las potencias medidas en el primer armónico fuesen las correctas como

$$V_{in} = 250mVpp \Rightarrow V_{an} \approx 125mVpp = 44,1mVrms \Rightarrow P_{an} \approx 39,06\mu W = -14,08dBm$$

Por lo tanto las potencias medidas fueron razonables.

1.3. Conclusiones

En general la distorsión armónica calculada, con los generadores, fue muy baja. En particular, los dos generadores Agilent dieron un THD diez veces menor al correspondiente al generador Inkstek, lo cual es una diferencia poco notable al observar la señal senoidal, pero perfectamente medible.

Es importante notar que debido a que solo se midió una cantidad finita de armónicos es probable que el THD real fuese un poco más grande que el calculado, pero no demasiado más, ya que los armónicos más grandes tienen una potencia mucho menor que los más pequeños.

2. Medición de señales cuadradas y triangulares

Se calculó algebraicamente los coeficientes de la serie exponencial de Fourier de las tres señales a analizar. Se mostrarán a continuación los resultados.

2.0.1. Cálculos analíticos, cuadrada, DC=50 %

$$|X_n| = \frac{2A}{\pi n} \text{ si } n \text{ impar}$$

$$|X_n| = 0 \text{ si } n \text{ par}$$

¹Deberíamos haber utilizado 1.5Mhz dado que somos el grupo 6, no obstante se decidió no volver a medir con frecuencia distinta

2.0.2. Cálculos analíticos, cuadrada, DC=30 %

$$|X_n| = 0 \text{ si } n = 3k$$

$$|X_n| = \frac{A\sqrt{3}}{n\pi} \text{ si } n = 3k + 1$$

$$|X_n| = \frac{A\sqrt{3}}{n\pi} \text{ si } n = 3k + 2$$

2.0.3. Cálculos analíticos, triangular simetría = 50 %

$$|X_n| = 0 \text{ si } n \text{ par}$$

$$|X_n| = \frac{4A}{\pi^2 n^2} \text{ si } n \text{ impar}$$

2.1. Cálculo de potencia a partir de los coeficientes de Fourier

En todos los casos la potencia del armónico n estuvo dada por

$$P_n = \frac{2\|X_n\|^2}{50\Omega}$$

Ya que por un lado los X_n se calcularon en amplitud (y por lo tanto es necesario dividir por raíz de 2), pero por el otro es necesario en aporte de X_n y $X_{-n} = X_n$ para armar el armónico n. (Entonces es necesario multiplicar por 2).

2.1.1. Comparación, mediciones y Teoría

Se procedió a medir las tres señales con una señal de entrada de $250mVpp$ y $f = 1,7Mhz$. En el caso de la señal triangular se debió disminuir la frecuencia a $f = 150Khz$ debido a las limitaciones del generador.

Se utilizó un $ST = 0,5s$ y un $RBW = 100Khz$ para las cuadradas ($RBW = 30Khz$ para la señal triangular).

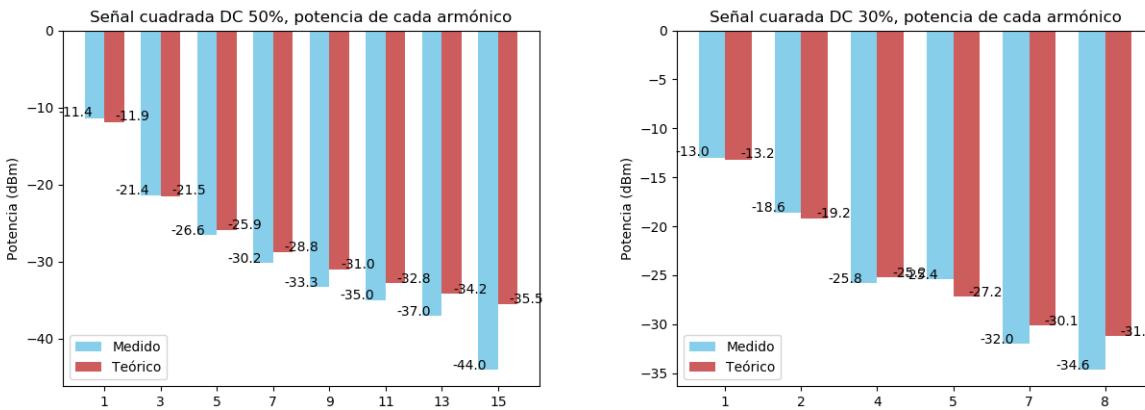


Figura 1: Comparación - Teoría y práctica señal cuadrada DC 50 %, señal cuadrada DC 30 %

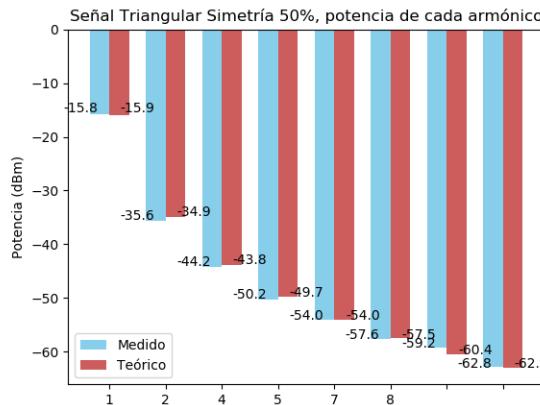


Figura 2: Comparación - Teoría y práctica señal triangular simétrica

En general podemos observar que en los tres casos hubo correspondencia entre la teoría y la práctica. Los casos menos acertados fueron las señales cuadradas, en los cuales se notó que las mediciones de armónicos altos fueron más tenues de lo esperado. Esto probablemente se deba a que la frecuencia de dichas señales fue más alta que la de la triangular, por lo que es probable que la calidad de estas señales fuera menor que la de la señal triangular.

También es importante aclarar que los armónicos que fueron demasiado tenues fueron directamente excluidos del gráfico. En particular, para las señales cuadradas, una buena forma de identificar su tiempo activo experimentalmente a partir del espectro es mirar los armónicos faltantes. Si son los pares, el tiempo activo será del 50 %. Si son los múltiplos de 3, el tiempo activo será del 33 %. Probablemente exista una generalización de dicho patrón para identificar otros tiempos activos de señales cuadradas a partir del espectro.

3. Análisis de señales AM

Se procedió a medir en el analizador de espectros señales de AM generadas utilizando dos osciloscopios, modulando uno con el otro. Se decidió no utilizar señales de amplitud mayor a $200mVpp$ debido a que por su escasa amplitud, y su parecido con el piso de ruido del osciloscopio dichas señales fueron demasiado difíciles de medir. Salvo indicado lo contrario, la frecuencia de la señal modulada fue de $200KHz$, y la frecuencia de la señal portadora $1,7Mhz$

3.1. Estructura de una señal AM

Recordaremos la composición de una señal AM, para luego verificar que las mediciones posteriores con dichas señales fueron razonables.

$$S_{am}(t) = Ap(1 + m\cos(2\pi f_m t))\cos(2\pi f_p t) = \frac{1}{2}A_p S_p + \frac{1}{2}mA_p \cos(2\pi(f_p - f_m)t) + \frac{1}{2}mA_p \cos(2\pi(f_p + f_m)t)$$

Es decir, a una señal AM se la puede imaginar como un producto de dos senoidales (uno con offset), o como una señal compuesta por una suma de tres senoidales, de tres frecuencias distintas: una central y dos escoltas.

3.2. Señal senoidal AM, $m=0.5$

Se procedió a generar y medir una señal AM intentando aproximar el valor de n a 0.5.

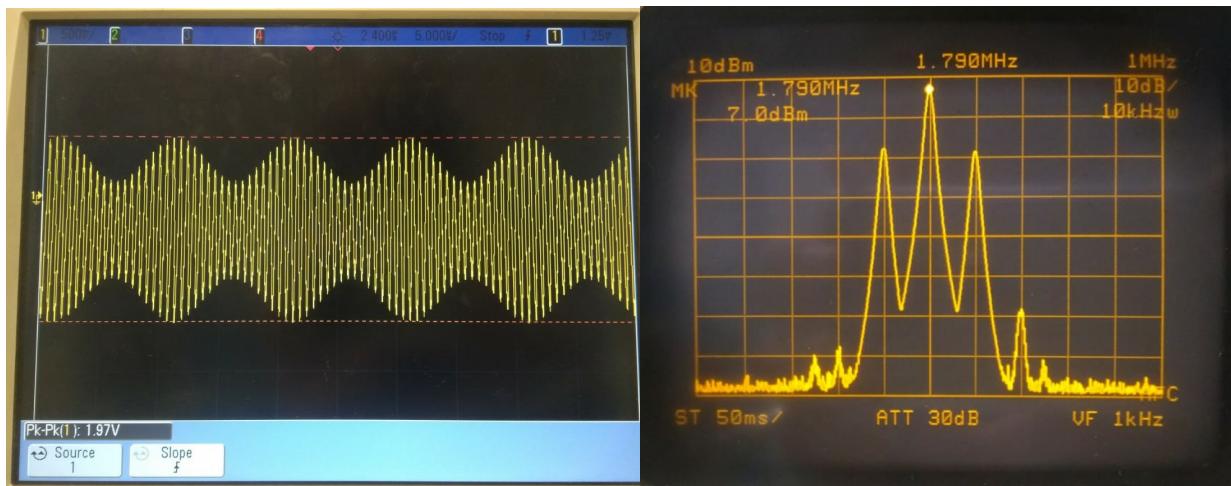


Figura 3: Señal senoidal, $m=0.5$ y su espectro correspondiente (derecha a izquierda)

Se observó que la frecuencia central del espectro se encontró en 1.79 Mhz, lo cual no era de esperar ya que según las indicaciones del generador la señal moduladora era de 1.7Mhz. En las mediciones posteriores se procedió a realizar un ajuste para lograr que la frecuencia del armónico central fuese de 1.7Mhz

Observando los graficos podemos ver que $A_m \approx 0,25V$ y que $A_p \approx 0,75V$ por lo tanto $n = \frac{V_{max}-V_{min}}{V_{max}+V_{min}} \approx 0,6$.

Debido a que el ajuste fue realizado mediante el giro de una perilla y observando la señal, es razonable que el valor de n no sea exactamente 0.5

3.3. Señal senoidal AM, $m=1$

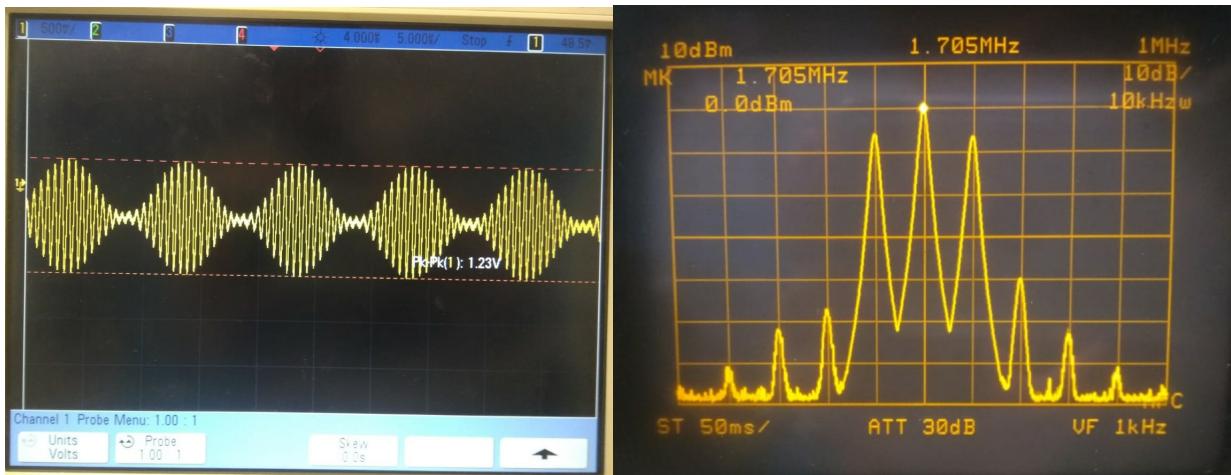


Figura 4: Señal senoidal, $m=0.5$ y su espectro correspondiente (derecha a izquierda)

En este caso se ajusto la frecuencia para que el armonico central coincidiese en 1.7Mhz. Tambien es importante observar que la señal medida tiene cierto offset debido a que, se dejó la perilla de offset del generador en un nivel distinto de 0, y no se noto. No obstante no se encontraron diferencias importantes, ya que en principio, un nivel mayor de continua solo debería modificar la componente continua de la señal que, la cual no fue medida.

Además es importante observar que los resultados son razonables ya que los picos de las frecuencias adyacentes se acercaron al valor del pico central. Esto se debe a que al incrementarse N, la amplitud de los componentes adyacentes, dada por $\frac{1}{2}mAp$ crece, mientras que $\frac{1}{2}A_P$, la amplitud del pico central se mantiene. Si bien esta relación es de amplitudes, si las amplitudes se acercan entre si, es razonable pensar que las potencias también lo hacen.

3.4. Señal triangular AM, $m=1$

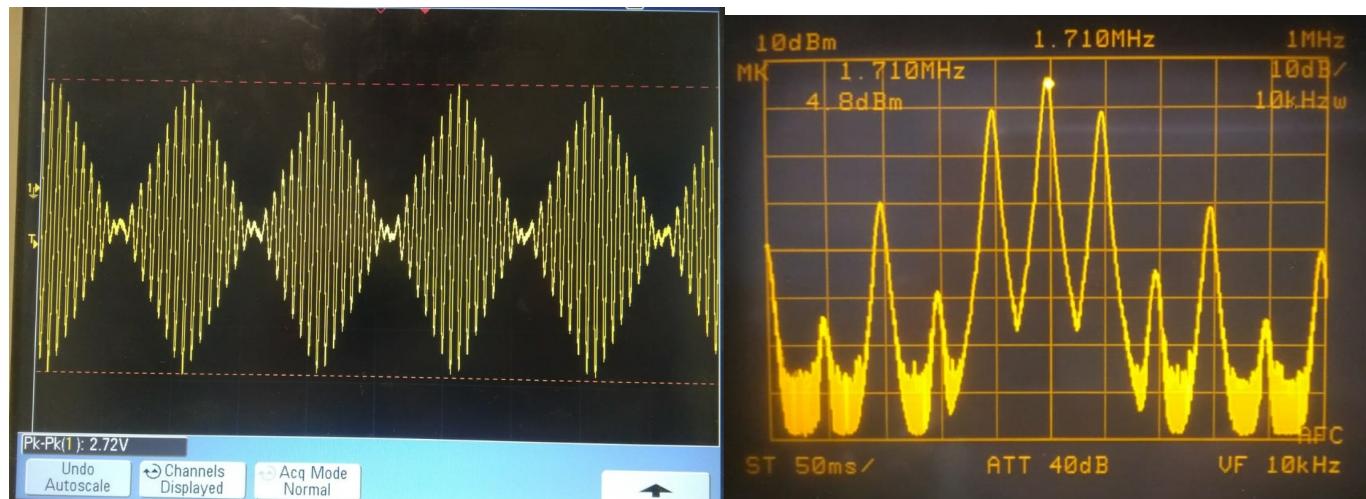


Figura 5: Señal triangular, $m=0.5$ y su espectro correspondiente (derecha a izquierda)

Se observa la aparición de un número considerable de armónicos nuevos en la señal. Esto se debe a que una señal triangular contiene infinitos armónicos, debido al hecho de que no es una función suave.

3.5. Señal senodial AM, $m=1$, $F_p = F_m$

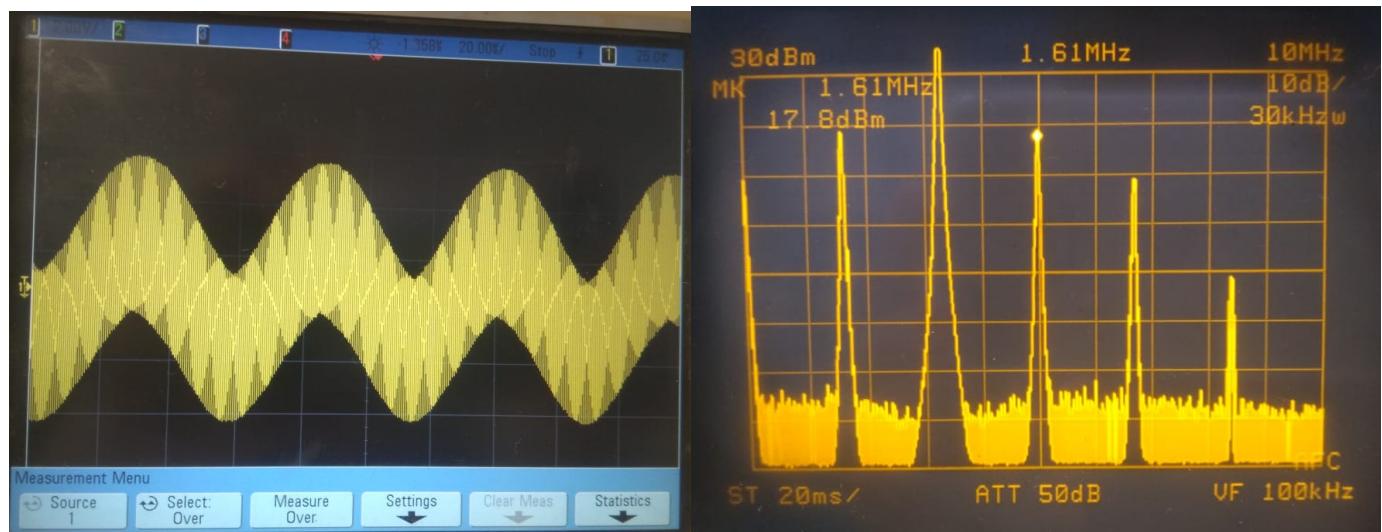


Figura 6: Señal senoidal, $F_m = F_p$

Se observa que la señal vista en el osciloscopio no correspondió con las curvas esperadas de una señal AM con frecuencia modulada igual a la portadora. Esto se especula que tiene que ver con cómo se midió. No obstante, el espectro observado fue razonable ya que se encontraron armónicos en 1.6Mhz y 3.2 Mhz, lo cual era de esperar ya que la frecuencia del armónico derecho es igual a $f_p + f_m = 2f_m$.

4. Medición de señales FM

Se procedió a medir con el analizador de espectros y dos generadores algunas señales de FM. En general se tuvieron las mismas consideraciones que al medir las señales de AM. Las señales medidas fueron con $F_p = 1,7\text{MHz}$

y $F_m = 100\text{Khz}$. Al igual que en el caso anterior se intentó buscar amplitudes suficientemente grandes como para poder observar las señales en el osciloscopio con una buena nitidez.

4.1. Señal 2 - Modulación senoidal

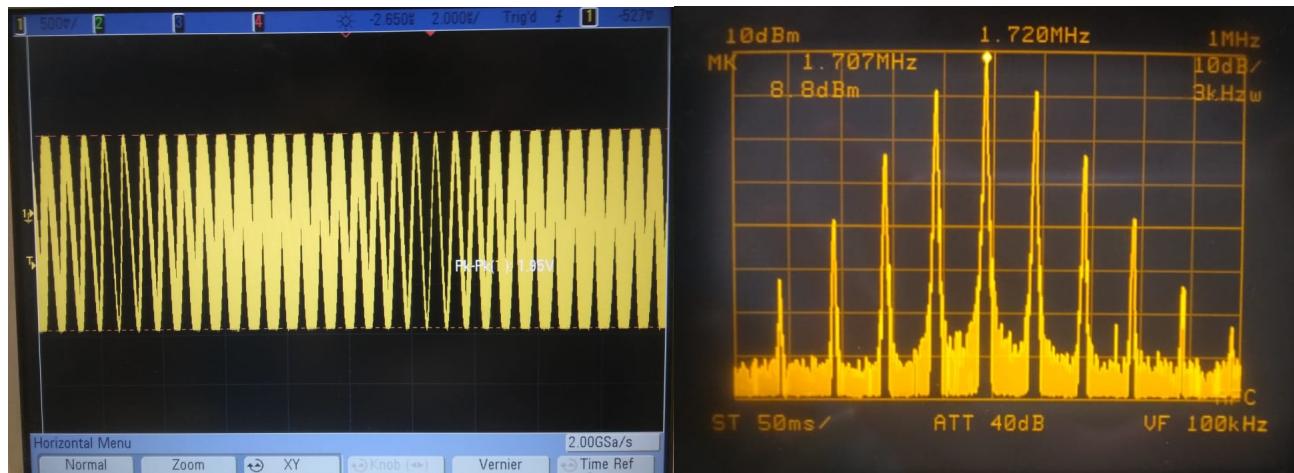


Figura 7: Señal FM y su espectro (derecha a izquierda)

Se observa cómo la señal está compuesta por una gran cantidad de armónicos. Se decidió no calcular el índice de modulación debido a su complejidad. Al mismo tiempo, se nota cómo la señal incrementa su frecuencia instantánea de forma abrupta para luego mantenerla, de la misma manera que un senoidal sube, y se mantiene en su pico por un tiempo considerable antes de volver a bajar (es una función suave).

4.2. Señal 1 - Modulación triangular

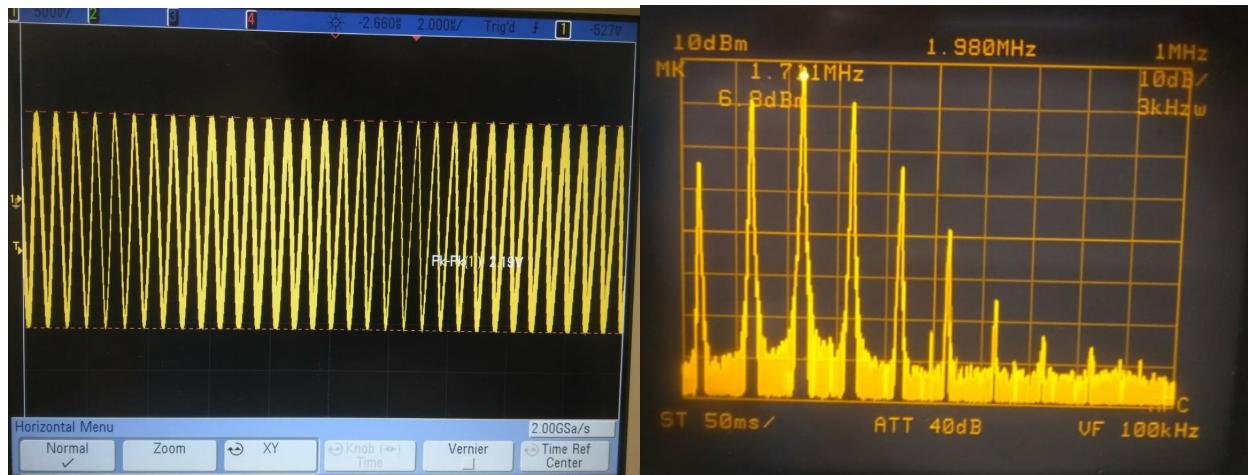


Figura 8: Señal FM y su espectro (derecha a izquierda)

Se observa, al igual que en el caso anterior la composición de la señal por muchos armónicos. También es importante observar cómo la frecuencia de la señal se incrementa gradualmente, y no abruptamente como en el caso anterior con modulación senoidal.

5. Espectro de radiofrecuencias en Argentina

El Espectro Radioeléctrico es el conjunto de frecuencias que, conforme a la tecnología disponible, pueden ser empleadas para emitir ondas que permitan transportar información. La manera en la cual 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 electromagnético está compuesto por:



Figura 9: Espectro electromagnético

El Espectro Radioeléctrico es un recurso natural, de carácter limitado, que constituye un bien de dominio público, sobre el cual el Estado ejerce su soberanía. Es asimismo, un medio intangible que puede utilizarse para la prestación de diversos servicios de comunicaciones.

Se buscó sintonizar una frecuencia que no sea de una emisora de radio ni de televisión. La señal que se midió fué la siguiente:

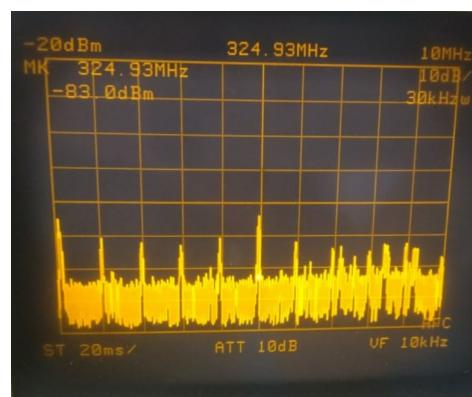


Figura 10: Señal medida

Que según la información encontrada en el CABFRA brindado por el Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM) se encontró que en la frecuencia medida de 325MHz se tiene:

REGIÓN 2 - UIT	REPÚBLICA ARGENTINA
322 - 328,6	322 - 327
FIJO	FIJO
MOVIL	N39
RADIOASTRONOMÍA	327 - 328,6
5.149	FIJO
	MÓVIL TERRESTRE

Figura 11: Rango de frecuencias (en MHz) para radioastronomía

RANGO DE FRECUENCIA			
322 - 327			
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

Figura 12: Rango de frecuencias investigado

Como se puede ver en la figura 10, hay picos de potencia que se repiten cada cierto intervalo de frecuencia, que al conectar el parlante al analizador se lograron escuchar solo pitidos que pueden deberse a que la señal era digital y el analizador no las puede interpretar.

6. Señales de radio

RANGO DE FRECUENCIA			
88 – 108			
OBSERVACIONES GENERALES			
SERVICIO (T10)	TIPO DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS	NORMATIVA
Servicio de Radiodifusión Sonora por Modulación de Frecuencia - FM	RADIODIF	Canales 201 a 300 (100 canales de 200 kHz)	142SC96 251SC02
Sistemas de Baja Potencia - SBP	FIJO/MOVIL	Categoría Secundaria	67SC12 86SC14 15ENACOM16 5186ENACOM17

Figura 13: Rango de frecuencias (en MHz) para radio FM

Como se puede ver en la imagen, el espectro de radio FM en Argentina está compuesto por 100 canales de 200kHz cada uno. Estos van desde el 201 con frecuencia de 88,1MHz hasta el 300 con frecuencia de 107,9MHz. Las estaciones se dividen en categorías de la A a la G según el área de servicio estimada considerando el límite en $48 \frac{dB\mu V}{m}$. Los radios del área estimada de servicio son los siguientes:

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 14: Categorías según los radios de servicio

Luego se sintonizó la radio "ASPEN: la radio de los clásicos" con frecuencia de 102.3MHz, la cual se corresponde con el canal 272. Se conectaron los parlantes al analizador de espectros, se pudo escuchar la emisora pero el sonido era de baja calidad. La medición obtenida fué:



Figura 15: Radio "ASPEN" a 102,3MHz

La potencia de la portadora es aproximadamente de $-42dBm$.

7. Señales de televisión

En la Argentina hay tres bandas de radiodifusión para televisión:

- Banda I - VHF: de 54MHz a 88MHz que abarca del canal 2 al 6.
- Banda II - VHF: de 174MHz a 216MHz que abarca del canal 7 al 13.
- Banda III - UHF: de 512MHz a 806MHz que abarca del canal 21 al 69, excluyendo al canal 37 (de 608MHz a 614MHz) que corresponde a radioastronomía.

Cada canal, a su vez, tiene asignada una banda de frecuencias de 6MHz y, al igual que las estaciones de radio, se pueden dividir en categorías según el área del servicio (hasta donde la potencia tiene un mínimo de $50\frac{dB\mu V}{m}$ para el caso de la Banda II):

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)

Figure 16: Categorías para los canales de la Banda II

Luego se sintonizó la frecuencia de 211MHz, la cual corresponde al canal 13 (210MHz a 216MHz) perteneciente a la Banda II.

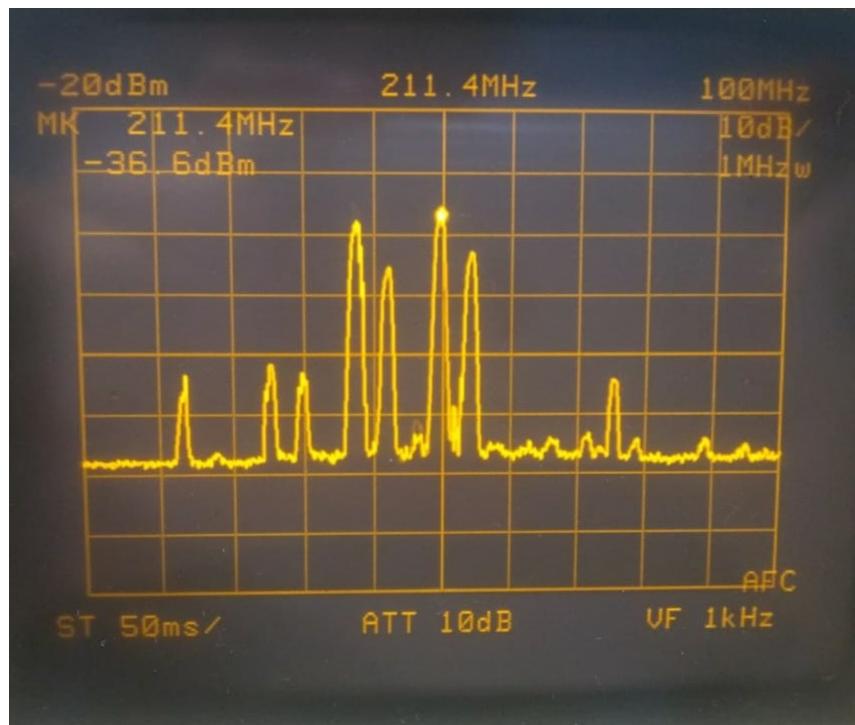


Figure 17: Categorías para los canales de la Banda II

Se encontró que las frecuencias de las portadoras son:

Portadora de Video	Portadora de Color	Portadora de Sonido
211,25	214,83	215,75

Table 1: Frecuencias de las portadoras del canal 13

La señal de video está modulada en AM y se separa de la del audio que está modulada en FM. La frecuencia medida corresponde a la portadora de color, por lo que no se logró escuchar nada.

8. Análisis de señales sinc y tren de deltas con el analizador de espectros

8.1. Señal sinc(t)

Se procedió a estudiar dichas señales: estos fueron los resultados

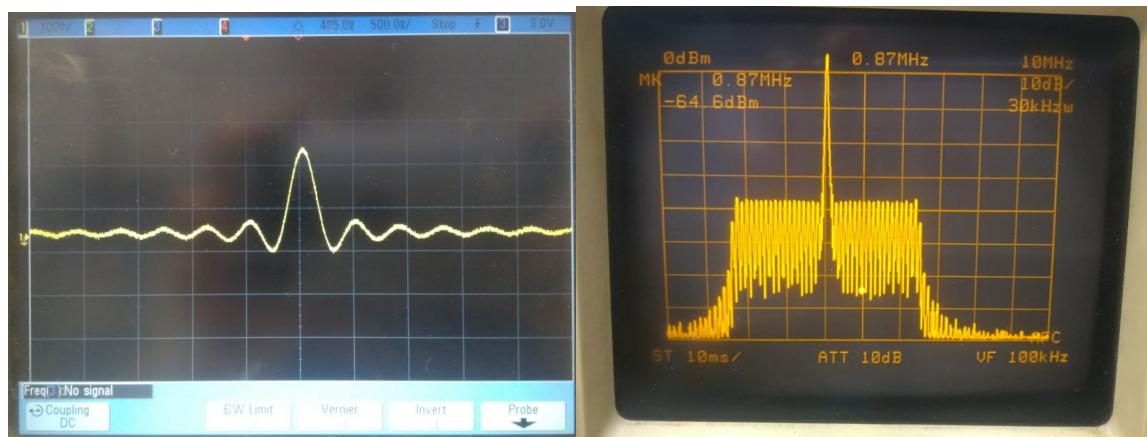


Figura 18: Señal sinc(t) y su espectro ($f=125\text{kHz}$)

Los resultados fueron los esperados

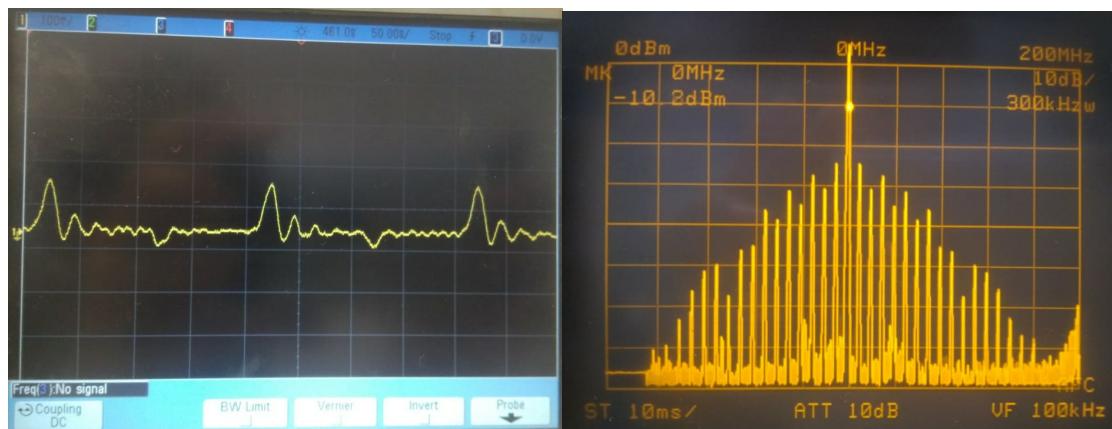
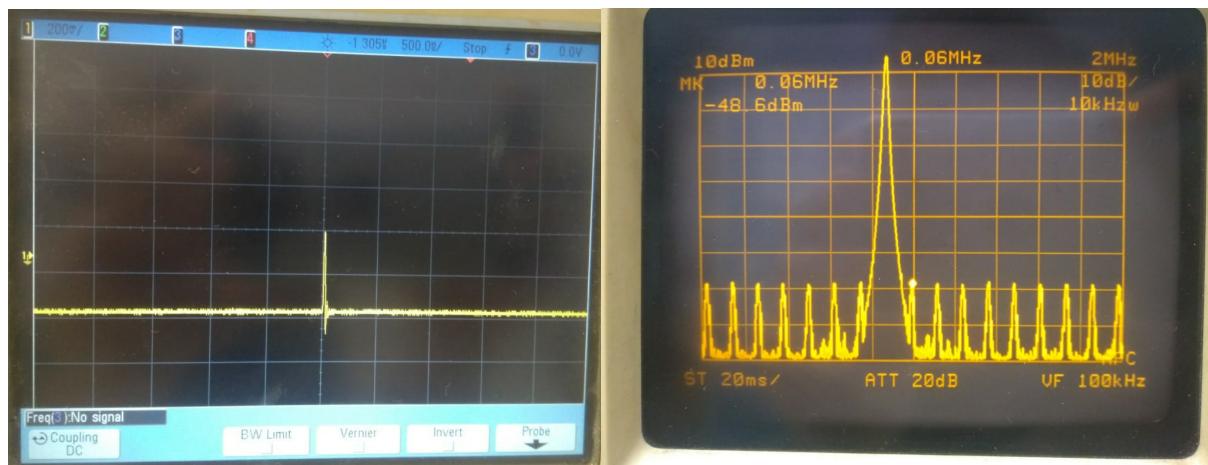


Figura 19: Señal sinc(t) y su espectro ($f=5\text{MHz}$)

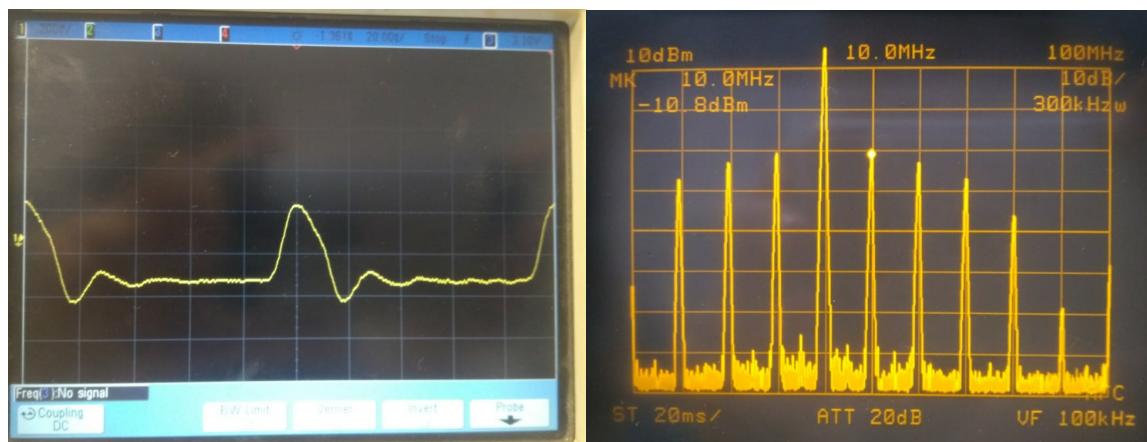
Se notó que la señal fue de mucha menos calidad. Además el espectro no fue un rectángulo, sino que se vio una constante atenuación a frecuencias altas. Probablemente se deba a la baja calidad de la señal. También observando el periodo de la señal en el osciloscopio se puede notar que su periodo es de 5Mhz, que era lo esperado.

8.2. Señal tren de deltas

Se procedió a analizar la señal tren de deltas a distintas frecuencias.

Figura 20: Señal tren de deltas y su espectro ($f=125\text{kHz}$)

Se observa que la separación de los deltas fue de 0.06Mhz, lo cual no sería correcto con una señal de 0.125Mhz. Probablemente se midió con una señal de frecuencia menor (la mitad). Al no tener posibilidad de volver a realizar las mediciones se dejan los resultados, pero observando los mismos, es muy probable que se haya utilizado una frecuencia menor a 125kHz.

Figura 21: Señal tren de deltas y su espectro ($f=10\text{MHz}$)

Se observa que los armonicos se atenúan gradualmente, probablemente debido a la baja calidad de la señal. La separación entre los picos equiespaciados en frecuencia es 10Mhz, lo cual es lo esperado.

9. Conclusión final

El analizador de espectros es un instrumento muy caro, pero al mismo tiempo muy útil, con el cual se puede analizar de manera muy precisa armónicos de potencia pequeña de las distintas señales con las que los circuitos electrónicos trabajan. Se pudo verificar esto mediante el análisis de señales tanto generadas por equipos generadores de señales, como también mediante señales transmitidas por aire. Si bien no todas las mediciones pudieron realizarse de la manera mas adecuada, se pudo verificar que el dispositivo cumple su funcionalidad correctamente. Es importante resaltar que no es demasiado complicada la interfaz de usuario que el dispositivo ofrece, ya que en solo un día se pudo aprender a maniobrarlo.