



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIRCUITOS  
LABORATORIO DE COMUNICACIONES EC-3043  
PROFESOR: MIGUEL DÍAZ

**INFORME - PRÁCTICA #1**  
**ANALIZADOR DE ESPECTROS Y COMPONENTES ESPECTRALES**

**Integrantes:**  
Miguel Salcedo 15-11326  
Giancarlo Torlone 20-10626

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>5</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>6</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>17</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>19</b>

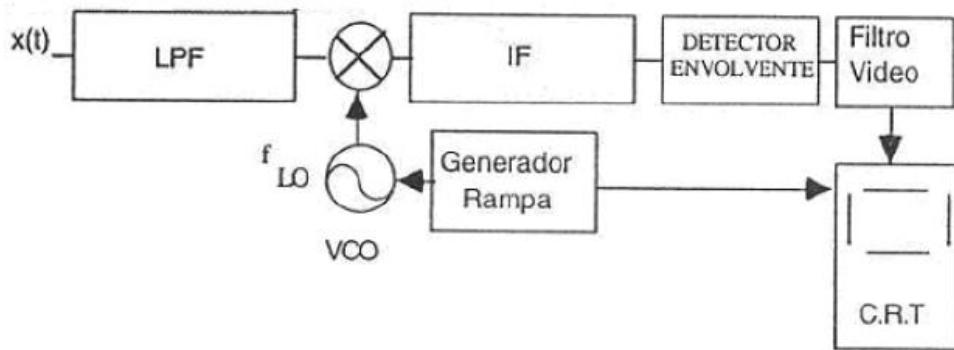
## **INTRODUCCIÓN**

Esta práctica de laboratorio tiene como objetivo familiarizar a los estudiantes con el uso del Analizador de Espectros y comprender su funcionamiento como un receptor superheterodino. Se analizarán diferentes señales en el dominio de la frecuencia para observar sus armónicas y calcular la potencia de las primeras 7. Para finalizar se observarán las formas de espectro de los servicios comerciales, como Radio FM, TV analógica, TV Digital, y Celulares.

## MARCO TEÓRICO

### Analizador de Espectros

El analizador de espectros es el instrumento que permite visualizar el contenidopectral de las señales eléctricas. El tipo de analizador de espectros más utilizado es el de tipo superheterodino.



**Figura 1.** Diagrama del Analizador de Espectros Superheterodino

El generador de rampa controla la frecuencia inicial y final del VCO, y simultáneamente controla la deflexión horizontal del C.R.T. Esto define la zona de frecuencia a explorar de la señal  $x(t)$ . El mezclador efectúa el producto de  $x(t)$  y el tono proveniente del oscilador local. Al igual que en el receptor superheterodino, se selecciona  $f_{LO}=f_{IN} + f_{IF}$ . También se escoge  $f_{IF} = f_{LOmín}$  para asegurar que:  $f_{LO}+f_{IN} > f_{IF}$ . En este caso, la gama de frecuencias del analizador será:  $0 < f_{IN} < (f_{LOmáx} - f_{LOmín})$ . El filtro pasabajo a la entrada debe evitar la frecuencia imagen para lo cual debe tener un ancho de banda menor a  $2 f_{IF}$ . La frecuencia de corte del filtro pasabajo debe ser  $f_{LOmáx} - f_{LOmín}$ .

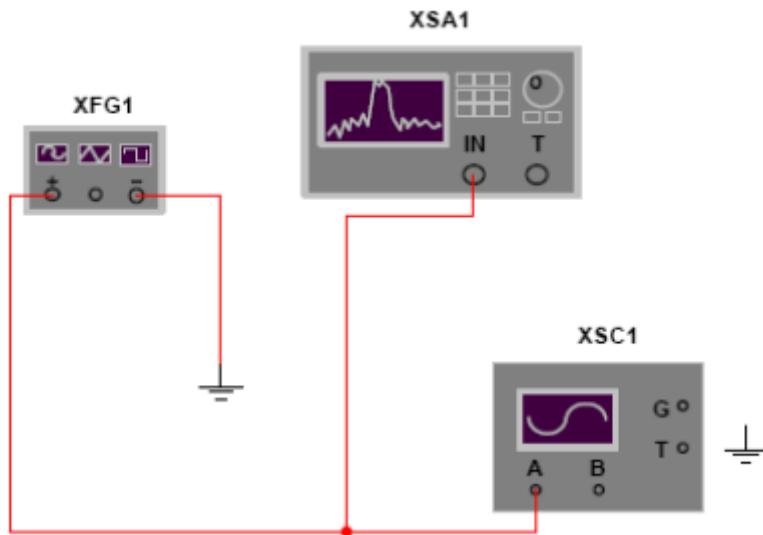
Generalizando para cualquier señal de entrada, lo que se está logrando es trasladar la señal de entrada, sea cual sea, a una zona fija de frecuencias alrededor de  $f_{IF}$ , de esta forma el tratamiento de la señal se independiza de la frecuencia que presenta.

La escala de amplitud puede ser lineal o logarítmica. La escala logarítmica es en dBm sobre 50 ohms y se calcula así:

$$10 \log \left( \frac{\frac{V^2}{50}}{1\text{mW}} \right)$$

## METODOLOGÍA

Se procedieron a conectar los equipos de la siguiente manera:

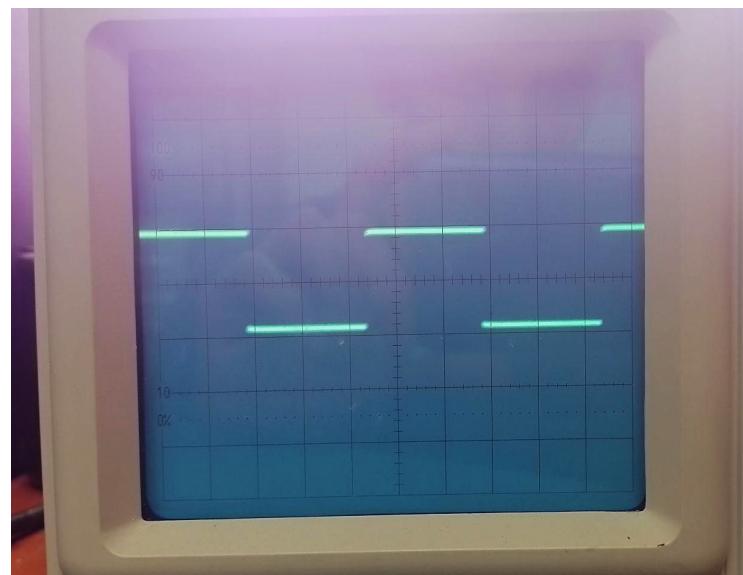


**Figura 2.** Conexión de los equipos de generación y medición

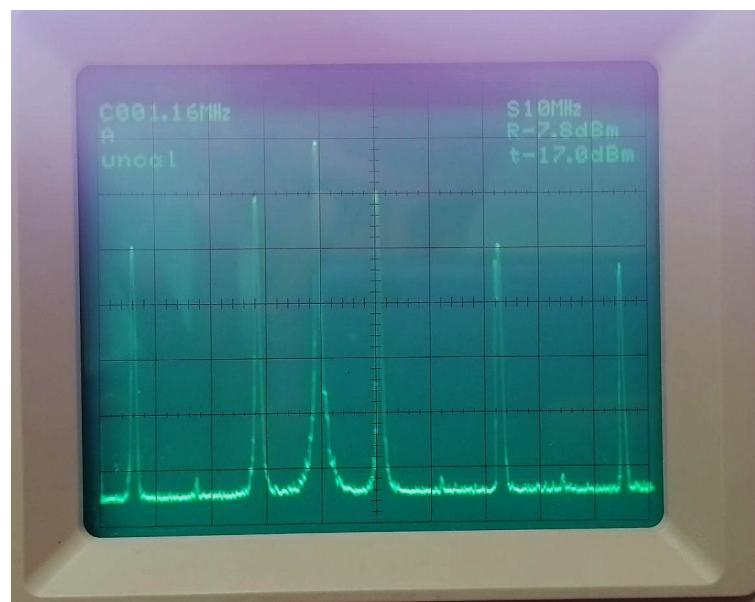
- Con el generador de funciones XFG1 se generan las distintas señales a analizar: onda cuadrada, onda rectangular y onda sinusoidal.
- Con el osciloscopio XSC1 se observa la señal en el dominio del tiempo.
- Con el analizador de espectros XSA1 se observa la forma de onda en el dominio de la frecuencia. Con este instrumento se observarán y se analizarán las armónicas de la señal.

## RESULTADOS

- Onda Cuadrada, 60 mVpp, 1 MHz



**Figura 3.** Onda cuadrada en el dominio del tiempo



**Figura 4.** Onda cuadrada en el dominio de la frecuencia

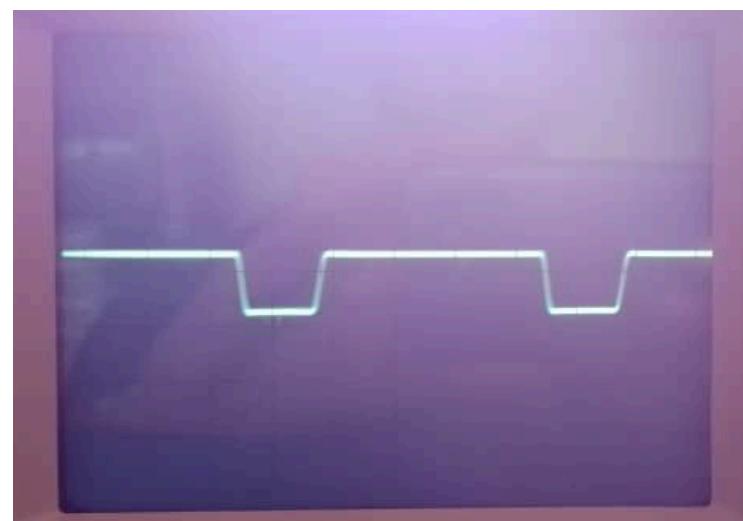
Frecuencia	Valor Teórico	Valor Práctico	Error
fo	1 MHz	1,16 MHz	16%
3fo	3 MHz	3,21 MHz	7%
5fo	5 MHz	5,20 MHz	4%
7fo	7 MHz	7,14 MHz	2%
9fo	9 MHz	9,17 MHz	1,89%
11fo	11 MHz	11,16 MHz	1,45%
13fo	13 MHz	13,21 MHz	1,62%
15fo	15 MHz	15,20 MHz	1,33%

**Tabla 1.** Valores de las armónicas de la fundamental

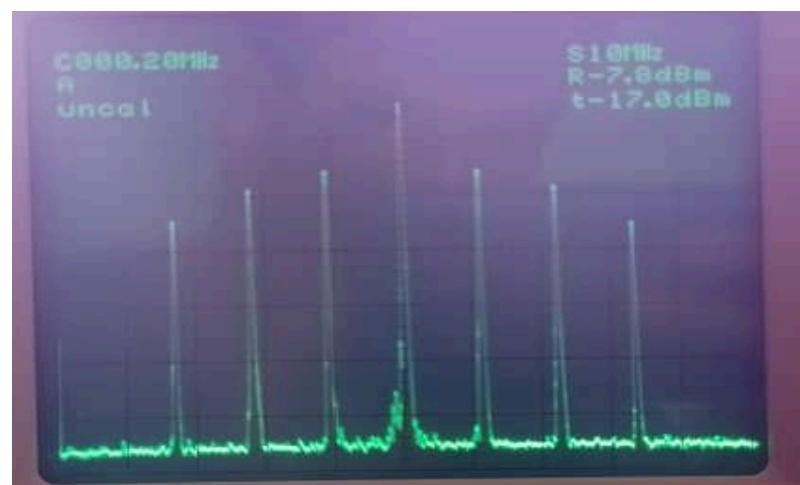
Frecuencia	Valor Teórico	Valor Práctico	Error
fo	-21 dBm	-20 dBm	4,76%
3fo	-31 dBm	-30 dBm	3,22%
5fo	-35 dBm	-32 dBm	8,57%
7fo	-38 dBm	-34 dBm	10,52%
9fo	-41 dBm	-38 dBm	7,31%
11fo	-42 dBm	-40 dBm	4,76%
13fo	-43 dBm	-44 dBm	2,33%
15fo	-45 dBm	-46 dBm	2,22%

**Tabla 2.** Valores de las potencias de las armónicas

- Onda rectangular (duty cycle de 75%), 60 mVpp, 1 MHz



**Figura 5.** Onda cuadrada en el dominio del tiempo



**Figura 6.** Onda rectangular en el dominio de la frecuencia



**Figura 7.** Onda rectangular en el dominio de la frecuencia centrado en 3 MHz

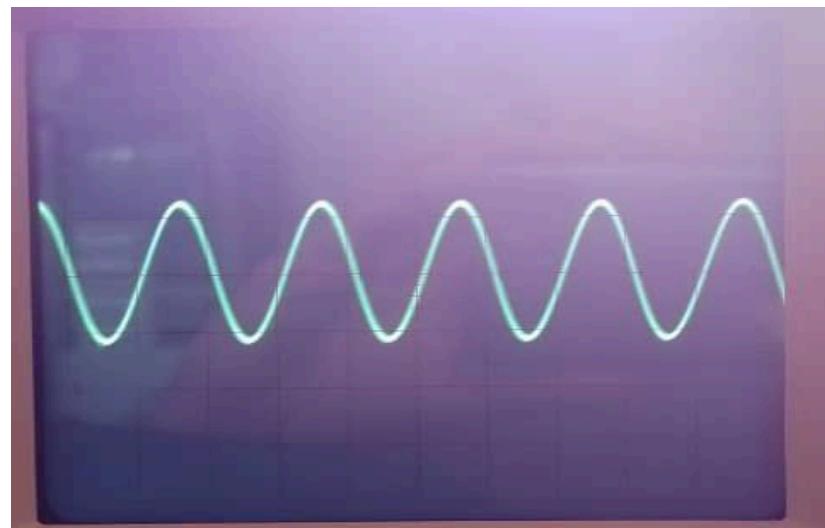
Frecuencia	Valor Teórico	Valor Práctico	Error
fo	1 MHz	1,16 MHz	16%
2fo	2 MHz	2,18 MHz	9%
3fo	3 MHz	3,21 MHz	7%
4fo	4 MHz	4,16 MHz	4%
5fo	5 MHz	5,20 MHz	4%
6fo	6 MHz	6,16 MHz	2,67%
7fo	7 MHz	7,19 MHz	2,71%
8fo	8 MHz	8,20 MHz	2,5%

**Tabla 3.** Valores de las armónicas de la fundamental

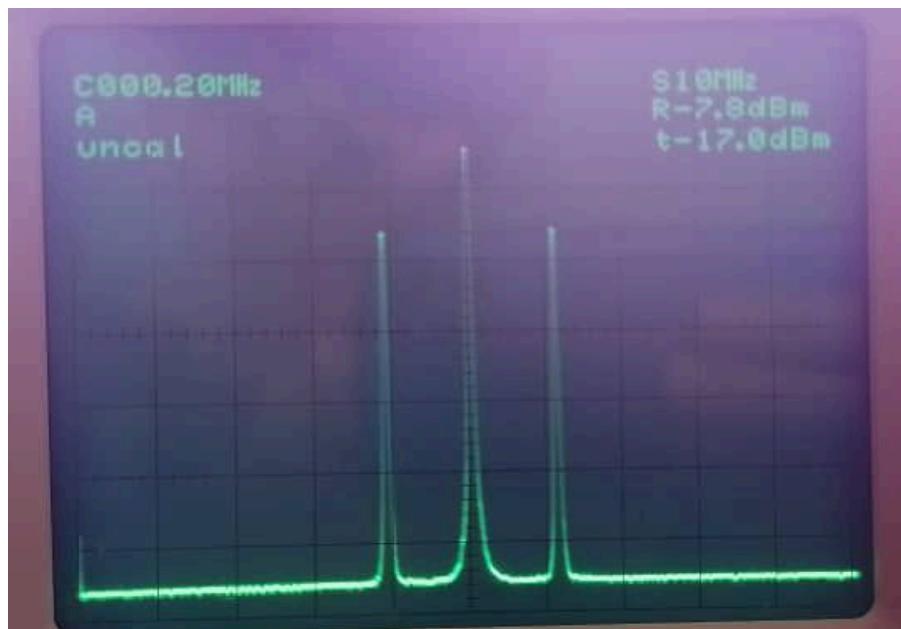
Frecuencia	Valor Teórico	Valor Práctico	Error
$f_0$	-24 dBm	-26 dBm	8,33%
$2f_0$	-27 dBm	-30 dBm	11,11%
$3f_0$	-34 dBm	-36 dBm	5,88%
$4f_0$	0	0	0
$5f_0$	-38 dBm	-40 dBm	5,26%
$6f_0$	-37 dBm	-38 dBm	2,70%
$7f_0$	-41 dBm	-44 dBm	7,31%
$8f_0$	0	0	0

**Tabla 4.** Valores de las potencias de las armónicas

- **Onda sinusoidal, 60 mVpp, 1 MHz**



**Figura 8.** Onda sinusoidal en el dominio del tiempo



**Figura 9.** Onda sinusoidal en el dominio de la frecuencia

Frecuencia	Valor Teórico	Valor Práctico	Error
fo	1 MHz	1,16 MHz	16%

**Tabla 5.** Valor de la armónicas fundamental

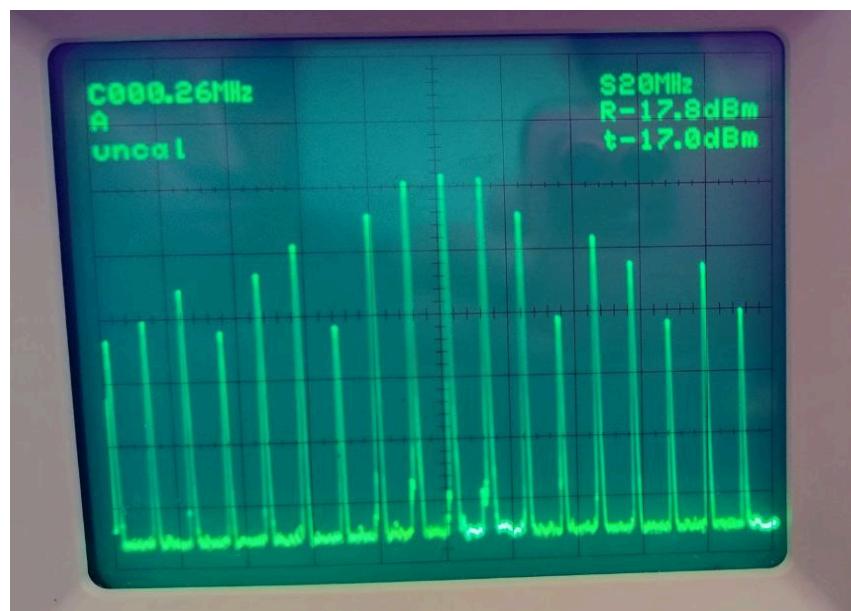
Frecuencia	Valor Teórico	Valor Práctico	Error
fo	-24 dBm	-26 dBm	8,33%

**Tabla 6.** Valor de la potencia de la armónica

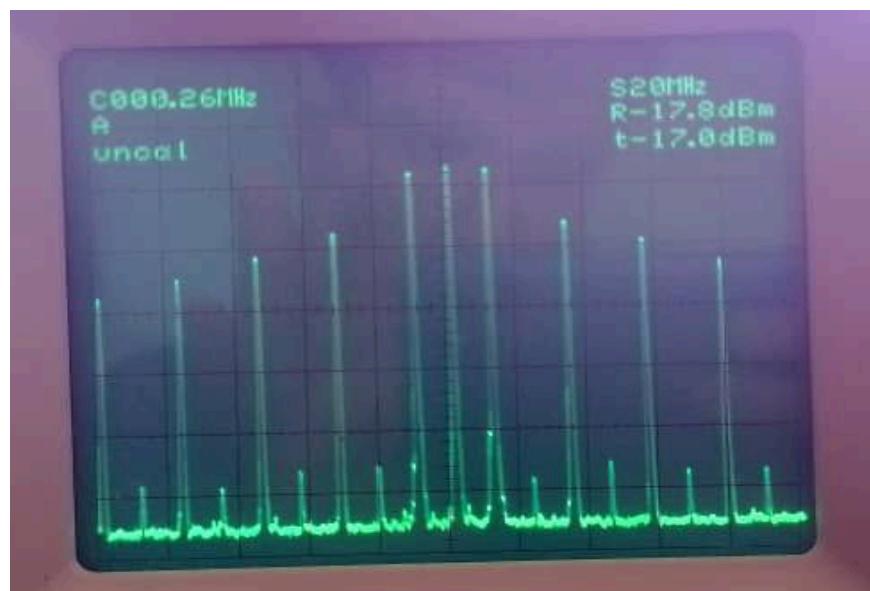


**Figura 10.** Onda sinusoidal en el dominio de la frecuencia con una amplitud de 200 mVpp

- **Onda rectangular variando el duty cycle**

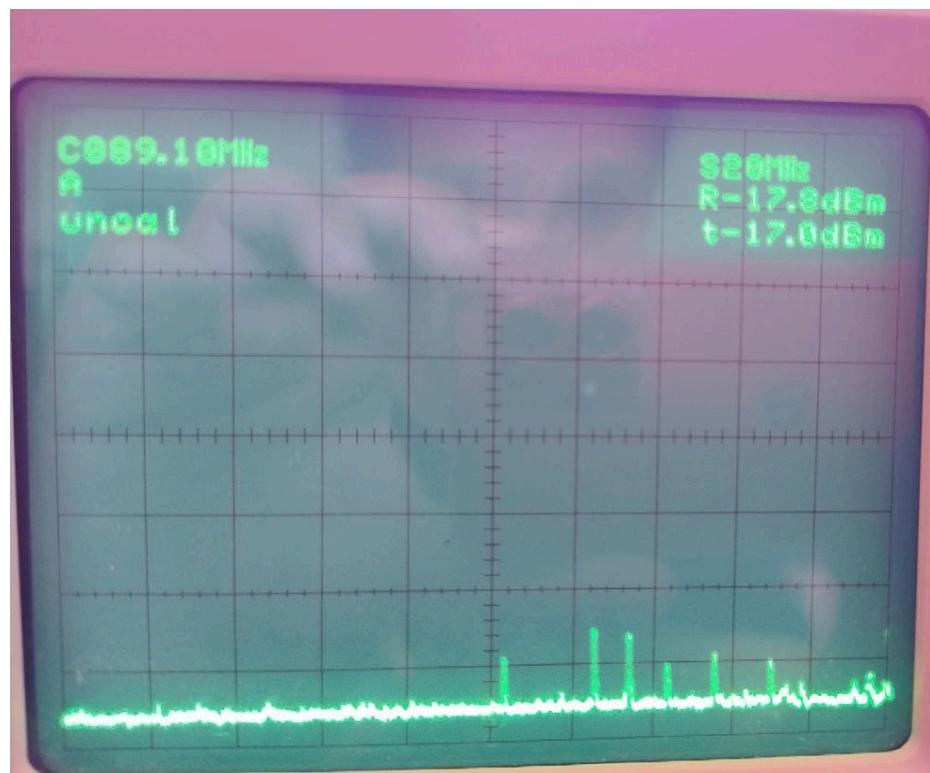


**Figura 11.** Onda rectangular en el dominio de la frecuencia con un duty cycle de 35%

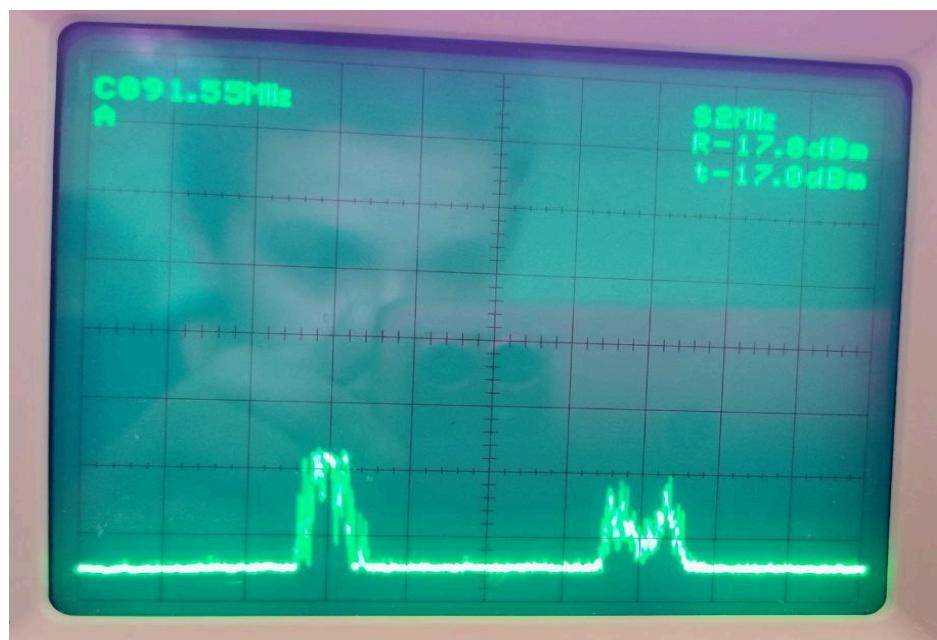


**Figura 12.** Onda rectangular en el dominio de la frecuencia con un duty cycle cercano al 50%

- **Forma espectral de Radio FM**

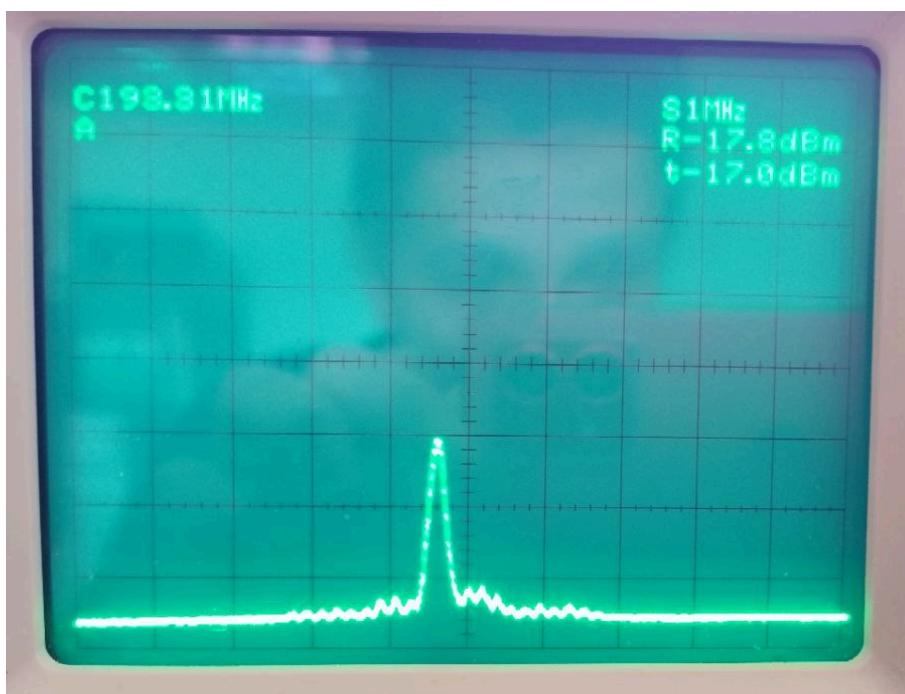


**Figura 13.** Formas espectrales de Radio FM



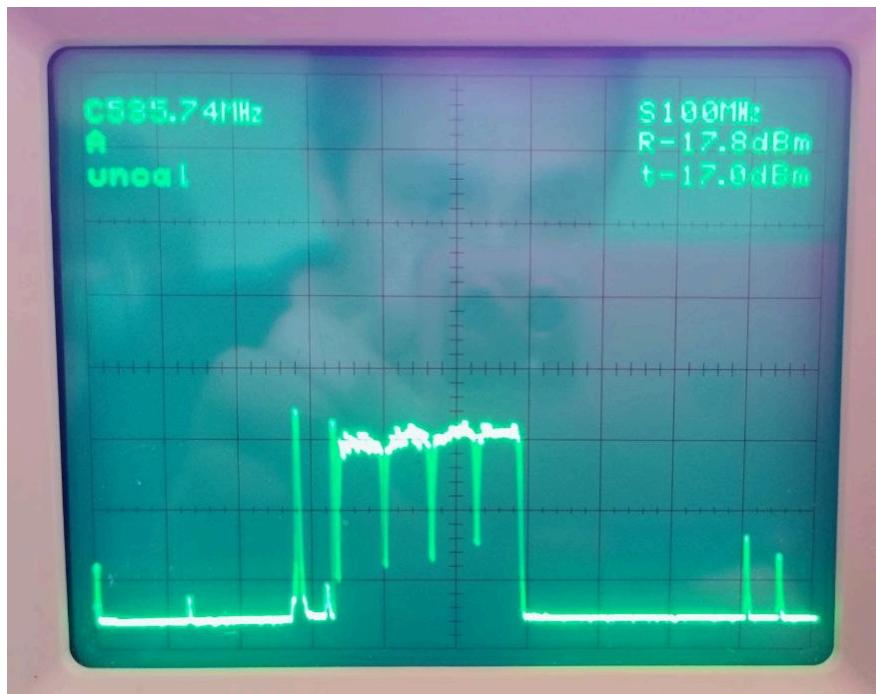
**Figura 14.** Forma espectral de Radio FM con una mayor resolución

- **Forma espectral de TV abierta**



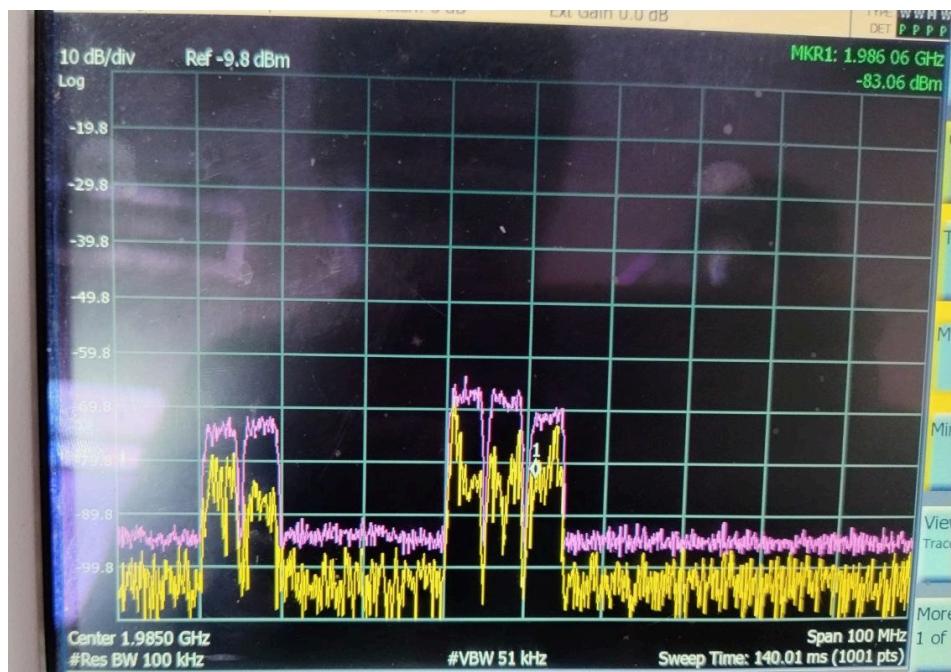
**Figura 15.** Forma espectral de TV abierta

- Forma espectral de TV digital

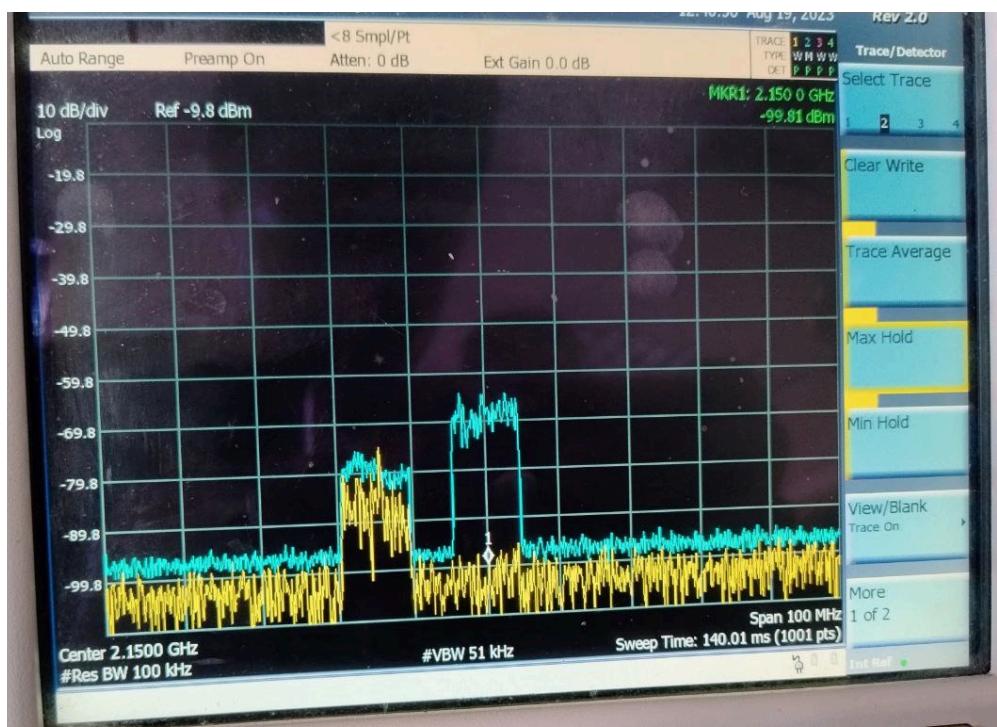


**Figura 16.** Forma espectral de TV digital

- Forma espectral de Celulares



**Figura 17.** Forma espectral de banda de 3G centrada en 1,986 GHz



**Figura 18.** Forma espectral de banda de 3G centrada en 2,150 GHz

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

- **Forma de onda en el dominio de la frecuencia:** en las figuras 4, 6, 7 y 9 se pueden apreciar las forma de ondas en el dominio de la frecuencia. Además, se puede notar que la forma que estas adoptan corresponden a la forma que se esperaba de los cálculos teóricos realizados. De esta forma, si notamos en la figura 4, al igual que con la teoría al usar una señal cuadrada con un duty cycle del 50%, las armónicas pares se eliminan. Por otro lado, en las figuras 6 y 7 se observa la forma de onda en el dominio de la frecuencia cuando el duty cycle es del 75%, en este caso al igual que lo calculado teóricamente, al usar una señal de estas características se ven eliminadas las armónicas que son múltiplos de 4, es decir,  $4f_0, 8f_0, 12f_0\dots$ , correspondiendo con lo observado en el analizador de espectros. Por último, se tiene la figura 9 que muestra la forma de onda en el dominio de la frecuencia de una señal sinusoidal, cumpliendo con lo establecido en la teoría mostrando únicamente la fundamental y el DC que posee la señal. En este caso, se midió también las frecuencias en que se encontraba la fundamental y sus armónicas para comparar con lo obtenido en el analizador de espectros, viéndose esto reflejado en las tablas 1, 3 y 5. En estas tablas se puede observar que el analizador de espectros se encuentra mal calibrado y esto lo podemos notar en la no proporcionalidad ofrecida en el error calculado o simplemente notando que los valores de la fundamental y sus armónicas solamente se encuentran desplazados aproximadamente unos 0,16 MHz, ocasionando que el error sea mayor en las frecuencias pequeñas y que este se reduzca en las frecuencias más altas.
- **Potencia de las armónicas:** en las tablas 2, 4 y 6 se pueden observar las potencias obtenidas para cada armónica gracias al analizador de espectros y su comparación con los valores esperados. En el caso de la tabla 2, se tomaron en cuenta solamente las armónicas impares, ya que las armónicas pares para una onda con estas características es cero; arrojando que la potencia obtenida del analizador de espectros es muy similar a la obtenida teóricamente, oscilando entre un 2 a 10% de error en las 8 armónicas tomadas en cuenta. Para la tabla 4 notamos un comportamiento similar, obteniendo errores que están dentro de este mismo rango, sin embargo, cabe resaltar que en este caso si se tomaron las primeras 8 armónicas aparte de la fundamental y que la potencia en  $4f_0$  y  $8f_0$  como se mencionó anteriormente es 0, coincidiendo con lo establecido en la parte teórica. La señal sinusoidal a diferencia de las anteriores cuenta

únicamente con una sola armónica y es la fundamental, por lo tanto, en la tabla 6 solo se mide un error, pero que se encuentra dentro del rango observado en las señales antes medidas. De esta forma, en la tabla 2 se observa cómo la potencia observada en la práctica es mayor que la obtenida en los valores teóricos, sin embargo, en la tabla 4 donde se observan las potencias de la onda rectangular y en la tabla 6 donde está la potencia de la señal sinusoidal, la potencia de las armónicas de los valores prácticos son menores que los esperados teóricamente. Esta diferencia entre las potencias puede ser generada por las resistencias internas del analizador de espectros y el generador de ondas, ocasionando un mayor o menor consumo de acuerdo a la forma de onda a tratar o simplemente que el generador de funciones consuma una mayor o menor potencia de acuerdo a las especificaciones de la señal.

- **Variación de la amplitud de la señal sinusoidal y el duty cycle de la señal cuadrada:** en el caso de la señal sinusoidal se pudo observar que empiezan a surgir armónicas adicionales al superar los 220 mVpp (Amplitud de 110 mV), además, se puede apreciar que la armónica fundamental supera en amplitud a la DC. Esto ocurre debido a que se sobrepasa la potencia máxima que soporta el analizador de espectros, esto ocasiona que parte de los componentes internos se saturen y distorsionen la señal, obteniendo resultados que no concuerdan con lo planteado teóricamente. Por otra parte, al variar el duty cycle podemos notar como la amplitud de las armónicas va cambiando y que dependiendo el porcentaje que se escoja hay armónicas que desaparecen como en el caso de las armónicas impares al tener un duty cycle del 50%. En las figuras 11 y 12 se puede ver claramente el cambio de las armónicas ante estos cambios y es muy interesante como en la figura 12 específicamente, las armónicas pares ven reducida su potencia al encontrarse cerca de un duty cycle del 50%.
- **Forma de onda de los servicios comerciales:** En la figura 13, 14, 15, 16, 17 y 18 se pueden observar las señales obtenidas de los servicios comerciales que se encuentran en Venezuela. En primer lugar, se observan las señales de la Radio FM, TV abierta y TV digital en el analizador de espectros usando la antena proporcionada por el laboratorio, con una forma de onda en el dominio de la frecuencia muy parecida a la parte teórica. Por otra parte, para las bandas celulares se usó un analizador de espectros y una antena distinta para poder observar correctamente la forma de estas señales en el dominio de la frecuencia, obteniendo resultados similares a lo que se obtuvo en la parte teórica.

## CONCLUSIONES

En esta práctica se usó el analizador de espectros para poder observar la forma de onda de distintas señales en el dominio de la frecuencia y su potencia. De esta forma, el analizador de espectros es un equipo que es capaz de recibir una señal en el dominio del tiempo y realizar los cálculos necesarios para transformar esta señal en el dominio de la frecuencia y enseñarla en su monitor. Además, nos muestra la potencia de las armónicas que presentan las señales, pero no en amplitud lineal, sino logarítmica con resultados en dBm.

Para la primera parte se realizó el estudio de tres señales, una señal cuadrada, una señal rectangular y una señal sinusoidal. En este sentido, los resultados obtenidos de estas señales en el analizador de espectros es el esperado de la teoría, obteniendo diferencias en la frecuencia de las armónicas por problemas de calibración del equipo y en las potencias de las señales que se puede deber a los componentes internos de los equipos que pueden variar de acuerdo a la señal que se necesite y que estos cuentan con un desgaste que afecta a los resultados esperados en los casos ideales. Sin embargo, estos resultados sirven para demostrar el comportamiento en frecuencia de las distintas señales, por lo tanto, se consideran confiables.

Por otro lado, se usó el analizador de espectros para poder observar la forma de ondas en el dominio de la frecuencia de servicios comerciales como Radio FM, TV abierta, TV analógica y celulares. Además, se pudo apreciar que estas señales son prácticamente idénticas a las investigadas, con algunas diferencias que pueden deberse a la antena usada para el estudio de estas. Cabe resaltar que para las señales de teléfono se usó una mejor antena para que se pudiera observar claramente estas señales.

En conclusión, se cumplieron con todos los objetivos de la práctica y se pudo constatar que las formas de ondas en el dominio de la frecuencia se asemejan a los resultados teóricos. Además, es importante tener en cuenta que las especificaciones de los equipos y sus desgastes puede cambiar el resultado de lo que se obtiene en el analizador de espectros. Por este motivo, es importante tener en cuenta el desgaste de los equipos en los resultados obtenidos y tratar de que estos problemas sean mínimos para que no afecten enormemente el estudio que se desea realizar.