

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

22.42 LABORATORIO DE ELECTRÓNICA

---

## Trabajo práctico 5: Analizador de espectros

---

*Grupo 7*

GONZÁLEZ ORLANDO, Tomás Agustín	57090
PARRA, Rocío	57669
PIERDOMINICI, Matías Nicolás	57498
STEWART HARRIS, María Luz	57676

*Profesores*

COSUTTA, Pablo Martín  
WEILL, María Alejandra  
SALVATI, Matías Damián

Presentado: 20/11/2018

# Índice

<b>1</b>	<b>Ejercicio 1: medición de distorsión armónica</b>	<b>2</b>
1.1	Agilent 33220A . . . . .	2
1.2	GW Instek GFG-8219A . . . . .	2
1.3	GW Instek GFG-8019G . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Ejercicio 2</b>	<b>4</b>
2.1	Señal Cuadrada . . . . .	4
2.1.1	Desarrollo de Fourier . . . . .	4
2.1.2	Simulación de amplitud y potencia de armónicos . . . . .	4
2.1.3	Mediciones y comparación de resultados . . . . .	5
2.1.4	Cálculo del Duty Cycle . . . . .	6
2.2	Señal Triangular . . . . .	6
2.2.1	Desarrollo de Fourier . . . . .	6
2.2.2	Simulación de amplitud y potencia de armónicos . . . . .	6
2.2.3	Mediciones y comparación de resultados . . . . .	6
2.3	Tren de pulsos . . . . .	7
2.3.1	Desarrollo de Fourier . . . . .	7
2.3.2	Simulación de amplitud y potencia de armónicos . . . . .	7
2.3.3	Mediciones y comparación de resultados . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Ejercicio 3</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Ejercicio 4</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Ejercicio 5</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Ejercicio 6</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Ejercicio 7</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Ejercicio 8</b>	<b>13</b>

# 1 Ejercicio 1: medición de distorsión armónica

En esta sección estudiaremos la distorsión armónica de distintos generadores de funciones, para lo cual trabajaremos con señales senoidales de frecuencia 1.7MHz y de 250mV<sub>pp</sub> de amplitud. Puesto que una señal senoidal perfecta sólo posee una frecuencia, medir la relación entre la potencia correspondiente a su fundamental y la de sus armónicos nos permitirá tener una idea de la calidad del generador en este aspecto.

## 1.1 Agilent 33220A

Para este generador, sólo pudo observarse en el analizador de espectro el pico correspondiente al primer armónico, mientras que los demás no eran distinguibles del ruido propio del aparato.

Armónico	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)
0	1.7	-14
1	3.4	-66

Tabla 1: Mediciones correspondientes al Agilent 33220A

Por lo tanto, de acuerdo a estas mediciones la *total harmonic distortion* de este generador es:

$$\text{THD} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} P_n}{P_0} \cdot 100\% \sim \frac{2.51 \times 10^{-10} \text{W}}{3.98 \times 10^{-5} \text{W}} \cdot 100\% = 0.00063\% \quad (1)$$

Esto se condice con la información obtenida de su hoja de datos, según la cual la THD debe ser menor al 0.04%.

## 1.2 GW Instek GFG-8219A

En este caso sí podían observarse más armónicos aparte del primero. Se decidió medir 10 armónicos, puesto que para este punto las potencias eran tan pequeñas que prácticamente no afectaban el resultado del THD.

Armónico	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)
0	1.70	-14.4
1	3.40	-50.4
2	5.10	-42.8
3	6.80	-64.4
4	8.50	-62.4
5	10.2	-76.4
6	11.9	-66.0
7	13.6	-77.0
8	15.3	-66.6
9	17.0	-77.0
10	18.7	-69.0

Tabla 2: Mediciones correspondientes al GW Instek GFG-8219A

El THD obtenido a partir de estas mediciones es de 0.174%, lo cual es consistente con el  $\leq 1\%$  especificado por la hoja de datos.

### 1.3 GW Instek GFG-8019G

Armónico	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)
0	1.70	-1.80
1	3.40	-39.6
2	5.10	-29.0
3	6.80	-48.2
4	8.50	-44.6
5	10.2	-64.0
6	11.9	-62.0
7	13.6	-63.2
8	15.3	-65.2
9	17.0	-66.6
10	18.7	-61.6

Tabla 3: Mediciones correspondientes al GW Instek GFG-8019G

El THD obtenido a partir de estos datos es de 0.215%. También en este caso se esperaba un resultado  $\leq 1\%$ , es decir que se verificó la información provista por el fabricante.

## 2 Ejercicio 2

### 2.1 Señal Cuadrada

#### 2.1.1 Desarrollo de Fourier

El desarrollo en serie de Fourier de una onda cuadrada  $x(t)$ , de frecuencia  $f_0$  y de amplitud  $A$  (tensión pico) resulta ser:

$$x(t) = \sum \frac{4 \cdot A}{n\pi} \text{sen}(2\pi n f_0 t), n > 0, \text{ impar}$$

Donde  $X_n = \frac{4 \cdot A}{n\pi}$  son los coeficientes de Fourier de la serie, que definen la amplitud de cada armónico.

De la fórmula anterior se deduce que la señal cuadrada tiene componentes en frecuencias bajas y altas. Además, observamos que los múltiplos pares de la frecuencia fundamental se anulan, es decir, no agregan potencia.

#### 2.1.2 Simulación de amplitud y potencia de armónicos

En particular, la consigna indica que la señal de entrada deberá tener una amplitud de  $250mV_{pp}$  y una frecuencia  $f_0 = 1.7MHz$ . Como el generador fue configurado en HiZ en el punto anterior y quedó configurado de esta manera cuando las mediciones fueron realizadas, se deberá tener en cuenta la transferencia del circuito formado entre la resistencia del generador de  $50\Omega$  en serie con los  $50\Omega$  del analizador de espectros, sobre el cual se realizarán las mediciones de potencia, por lo que debe tenerse en cuenta el divisor resistivo que hace que se pierda un 50% de la amplitud de la señal al ser medida por el analizador. Esto implica que las simulaciones para los armónicos deberán hacer hacerse con una amplitud de  $250mV_{pp}$ .

Simulando con MATLAB 20 armónicos de dicha señal obtenemos el siguiente espectro:

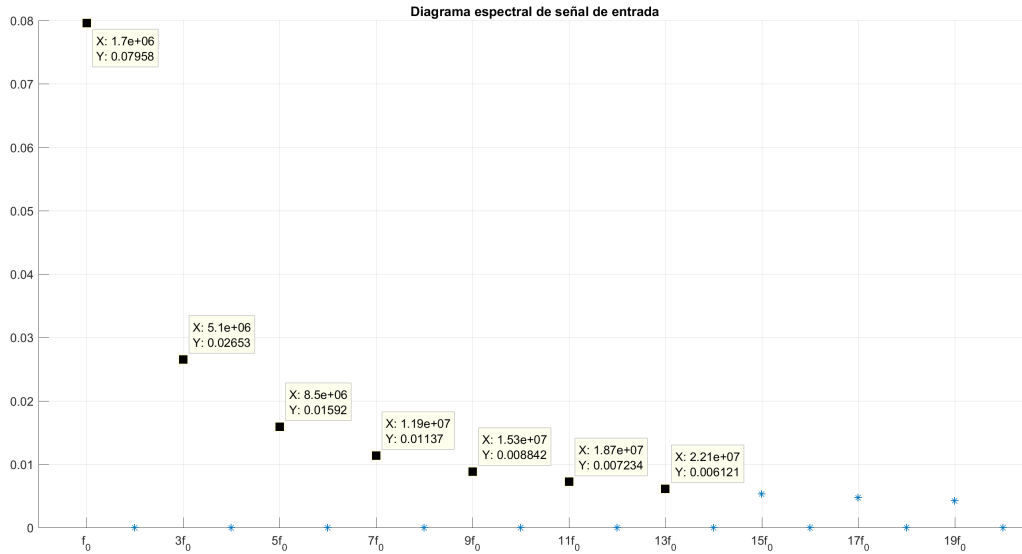


Figura 1: 20 armónicos de la señal cuadrada de entrada

Dada que la potencia estará ligada al cuadrado del módulo de la amplitud del armónico y teniendo en cuenta que esta potencia será medida sobre una resistencia de  $50\Omega$ , podemos simular también el diagrama espectral de potencia de la señal bajo la fórmula  $\frac{|X_n|^2}{50}$ :

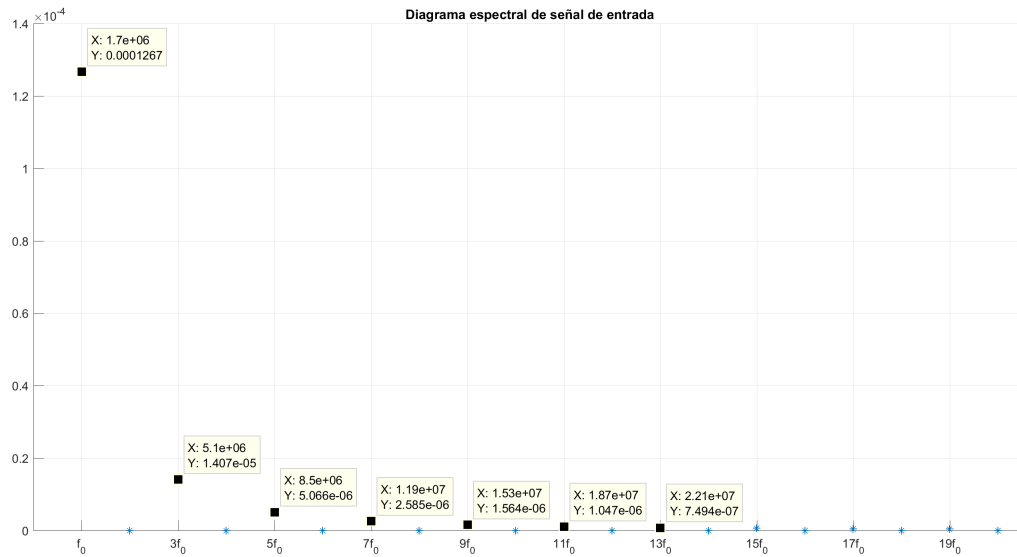


Figura 2: 20 armónicos de potencia para la señal cuadrada de entrada

Luego, utilizamos el analizador de espectros del laboratorio para poder medir la potencia de dichos armónicos. Para ello, fijamos la atenuación en 10dB y con el cursor seleccionamos el pico de cada armónico. De aquí obtuvimos la siguiente tabla de datos al haber medido como mínimo 10 armónicos para tener una medida representativa. Debe aclararse que como el generador no es ideal, la potencia de los armónicos pares no será nula, pero su potencia deberá ser indefectiblemente más pequeña que la de sus armónicos impares adyacentes.

### 2.1.3 Mediciones y comparación de resultados

Armónico	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)	Potencia (W)
1	1.7MHz	-11.8	$6.61 \cdot 10^{-5}$
2	3.4MHz	-62.4	$5.75 \cdot 10^{-10}$
3	5.1MHz	-21	$7.94 \cdot 10^{-6}$
4	6.8MHz	-71	$7.94 \cdot 10^{-11}$
5	8.5MHz	-25.6	$2.75 \cdot 10^{-6}$
6	10.2MHz	-70	$1 \cdot 10^{-10}$
7	11.9MHz	-28.4	$1.44 \cdot 10^{-6}$
8	13.6MHz	-72.4	$5.75 \cdot 10^{-11}$
9	15.3MHz	-31.8	$6.61 \cdot 10^{-7}$
10	17MHz	-77.4	$1.81 \cdot 10^{-11}$
11	18.7MHz	-35.8	$2.63 \cdot 10^{-7}$

Hacemos notar de la tabla anterior que al multiplicar por un factor algo menor a dos a cada una de las potencias de los armónicos se obtienen los valores teóricos simulados con MATLAB. Se cree que este factor se debe al THD del generador, que es cercano al 50% (medido en el ejercicio anterior), por lo que mitad de la potencia que se obtendría teóricamente se perdería en armónicos que no son de interés, en este caso los armónicos que teóricamente tendrían potencia nula.

El mismo fenómeno se observará por lo tanto para las distintas señales a generar y medir en el analizador, como lo serán la triangular y el tren de pulsos.

### 2.1.4 Cálculo del Duty Cycle

Planteando la señal cuadrada con duty cycle definido por el factor de escalamiento  $d$ , donde  $d < T$ , siendo  $T$  el período de la señal:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A \cdot \Pi\left(\frac{t - k \cdot T}{d}\right)$$

Se obtienen los coeficientes en serie trigonométrica de Fourier para dicha señal:

$$y(t) = \begin{cases} a_n = \frac{2 \cdot A}{\pi \cdot n} \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi \cdot n \cdot d}{T}\right) \\ b_n = 0 \end{cases} \quad (2)$$

## 2.2 Señal Triangular

### 2.2.1 Desarrollo de Fourier

El desarrollo en serie de Fourier de una onda triangular  $x(t)$ , de frecuencia  $f_0$  y de amplitud  $A$  (tensión pico) resulta ser:

$$x(t) = \sum \frac{8 \cdot A \cdot (-1)^{\frac{n-1}{2}}}{(n \cdot \pi)^2} \cdot \text{sen}(2\pi n f_0 t), \quad n > 0, \text{ impar}$$

Donde  $X_n = \frac{8 \cdot A \cdot (-1)^{\frac{n-1}{2}}}{(n \cdot \pi)^2}$  son los coeficientes de Fourier de la serie, que definen la amplitud de cada armónico.

### 2.2.2 Simulación de amplitud y potencia de armónicos

### 2.2.3 Mediciones y comparación de resultados

Armónico	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)	Potencia (W)
1	0.2 MHz	-15.4	$2.88 \cdot 10^{-5}$
2	0.4 MHz	-56	$2.51 \cdot 10^{-9}$
3	0.6 MHz	-34.2	$3.8 \cdot 10^{-7}$
4	0.8 MHz	-69.8	$1.05 \cdot 10^{-10}$
5	1 MHz	-43	$5.01 \cdot 10^{-8}$

## 2.3 Tren de pulsos

### 2.3.1 Desarrollo de Fourier

### 2.3.2 Simulación de amplitud y potencia de armónicos

### 2.3.3 Mediciones y comparación de resultados

Armónico	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)	Potencia (W)
1	$0.2MHz$	-13.4	$4.57 \cdot 10^{-5}$
2	$0.4MHz$	-19	$1.25 \cdot 10^{-5}$
3	$0.6MHz$	-50.6	$8.7 \cdot 10^{-9}$
4	$0.8MHz$	-25.2	$3.02 \cdot 10^{-6}$
5	$1MHz$	-26.6	$2.18 \cdot 10^{-6}$
6	$1.2MHz$	-50	$1 \cdot 10^{-8}$
7	$1.4MHz$	-30.4	$9.12 \cdot 10^{-7}$
8	$1.6MHz$	-30.8	$8.32 \cdot 10^{-7}$
9	$1.8MHz$	-50.8	$8.32 \cdot 10^{-9}$
10	$2MHz$	-33.8	$4.16 \cdot 10^{-7}$
11	$2.2MHz$	-33.4	$4.57 \cdot 10^{-7}$



### 3 Ejercicio 3

A continuación se analizará el espectro de señales moduladas en amplitud.

4    Ejercicio 4

## 5 Ejercicio 5

## 6 Ejercicio 6

## 7 Ejercicio 7

## 8 Ejercicio 8