

Informe 3

Laboratorio de Mezcladores, Armónicos y Conversión de Frecuencia

Integrantes:	Francisco Muñoz Diego Espinoza
Profesor:	Leonardo Bronfman A. Walter Max-Moerbeck A.
Auxiliar:	Boris Cuevas
Fecha de entrega:	29 de abril de 2024 Santiago, Chile

Índice de Contenidos

1. Introducción	1
2. Marco teórico	2
3. Datos obtenidos	6
4. Análisis de Resultados	12
4.1. Parte 1	12
4.2. Parte 2	12
4.3. Parte 3	13
5. Conclusiones	14

Índice de Figuras

1. Curva característica del diodo rectificador 1N4001(se aplica al 1N4001 o el 1N4007) . .	2
2. Circuito continente de una resistencia de 1 K Ω y un diodo en serie.	3
3. Circuito implementado en protoboard, los cables negros corresponden a puntas de prueba que llevan al osciloscopio para medir la señal, el cable rojo y verde vienen de una fuente DC, siendo positivo y tierra respectivamente, para la segunda parte se conectan al generador de ondas.	6
4. Gráfico de los valores obtenidos en la tabla 4, de la corriente versus el voltaje en el diodo (en puntos azules), mientras que en línea naranja aparece el ajuste que minimiza el error cuadrático medio, según la formula (1).	7
5. Gráfico de los valores obtenidos en la tabla 3 en puntos azules contrastado con el ajuste según la ecuación 2.	8
6. Primera derivada a la izquierda y radio de curvatura (ambas derivadas de V_{out} en función de V_{in}).	8
7. Gráfico de los datos obtenidos para la potencia del segundo armónico en la tabla 4 . . .	9
8.	9
9.	10
10. Aquí se muestra claramente el punto en el cual se maximiza la potencia del segundo armónico. A la izquierda se muestra el generador de onda con un voltaje offset de 600mV que es la señal que entra al circuito y a la izquierda se muestra en la parte superior las señales V_{in} y V_{out} , de color amarillo y azul respectivamente, bajo estas se puede apreciar el espectro de la señal de salida con marcadores que señalan la potencia del segundo armónico.	10
11. Circuito implementado para ultima parte del laboratorio en protoboard. Donde los cables naranjos inyectan en la resistencia la señal de 1.2KHz y el par de caimanes de la más a la derecha inyectan al circuito la señal de 1KHz, las mediciones de voltaje se hacen en la resistencia de más abajo que tiene un valor de 1K Ω	11

12. Circuito implementado para ultima parte del laboratorio en protoboard. Donde los cables naranjos inyectan en la resistencia la señal de 1.2KHz y el par de caimanes de la más a la derecha inyectan al circuito la señal de 1KHz, las mediciones de voltaje se hacen en la resistencia de más abajo que tiene un valor de $1K\Omega$ 11

Índice de Tablas

1. Datos obtenidos de la corriente versus el voltaje en el diodo. 6
2. Aquí, T_{opt} , I_{opt} , RMS y \bar{E} son la temperatura y la corriente que minimizan el error cuadrático medio RMS y el error promedio \bar{E} 7
3. Tabla de datos obtenidos para el voltaje medido en la resistencia (V_{out}) a distintos voltajes de entrada (V_{in}). 7
4. Tabla con los valores obtenidos de potencia para el primer y el segundo armónico a distintos valores de voltaje offset para la señal sinusoidal de entrada. 9
5. Tabla con los coeficientes teóricos que acompañan a cada uno de los armónicos, B, c, D en Volts para el primer, segundo y tercer armónico respectivamente. 10

1. Introducción

El presente laboratorio tiene como fin llevar a una mayor comprensión del funcionamiento de los mezcladores, sobre los cuales se basa la detección y generación de señales en distintos campos, pero fundamentalmente nos concierne su funcionamiento en Radiotelescopios como ALMA o Mini. En este caso el mezclador de interés de estudio es uno simple: un circuito que se compone de solamente un diodo y una resistencia.

Primero se construye el circuito haciendo uso de los materiales del laboratorio de electrónica y enseguida se procede a medir la curva característica del diodo, el objetivo de esto es comparar la curva medida con la teórica brindada por la solución teórica.

A continuación se busca una expresión que defina el voltaje medido en la resistencia en función del voltaje de entrada y se gráfica, esto se compara con mediciones para el voltaje de salida en función a una variación entre 0 y 1.5V del voltaje de entrada además, se busca el voltaje de entrada que la curva del voltaje de salida en función del de entrada tenga máxima curvatura.

Para la segunda parte del laboratorio se utiliza como voltaje de entrada una señal sinusoidal de 1k Hz y de 200mV de amplitud p-p, con un voltaje DC de 0 V, se procede a variar el voltaje DC entre 0 y 1.5 V buscando el que maximice la potencia del segundo armónico.

Finalmente, mediante una resistencia se inyecta otra señal sinusoidal de 1.2k Hz e igual amplitud y voltaje DC igual al que maximiza el segundo armónico.

El informe se compone de un marco teórico de manera de situar el problema y el resultado de su análisis dentro del conjunto de conocimientos existentes, para luego dar cabida a la presentación de los datos recopilados. De estos últimos se lleva a cabo un análisis, donde se comenta sobre los gráficos y ajustes hechos para los distintos datos y se responden las preguntas asociadas al informe para finalizar con las conclusiones de la experiencia con los principales objetivos alcanzados.

2. Marco teórico

Para comprender el desarrollo de este laboratorio se necesitan conocer un dispositivo semiconductor como lo es el diodo, como es que funciona. Además se hablará sobre como este aporta a un mezclador y su importancia en la radioastronomía.

Un diodo es dispositivo compuesto por materiales semiconductores dispuesto de tal manera que impide el paso de corriente en un sentido pero en el sentido contrario, no. Su uso es frecuente en el tratamiento de señales, desde rectificadores de onda, hasta amplificadores operacionales y electrónica de mayor integración.

El modelo matemático más empleado en el estudio del diodo es el de Shockley (en honor a William Bradford Shockley) que permite aproximar el comportamiento del diodo en la mayoría de las aplicaciones. La ecuación que relaciona la intensidad de corriente y la diferencia de potencial es:

$$I_D = I_o(e^{\frac{qV_D}{KT}} - 1) \quad (1)$$

Donde I_o corresponde a la corriente de saturación del diodo, q a la carga elemental del electrón, K la constante de Boltzman, T la temperatura de la unión y I_D y V_D corresponden a las variables corriente y voltaje del diodo respectivamente.

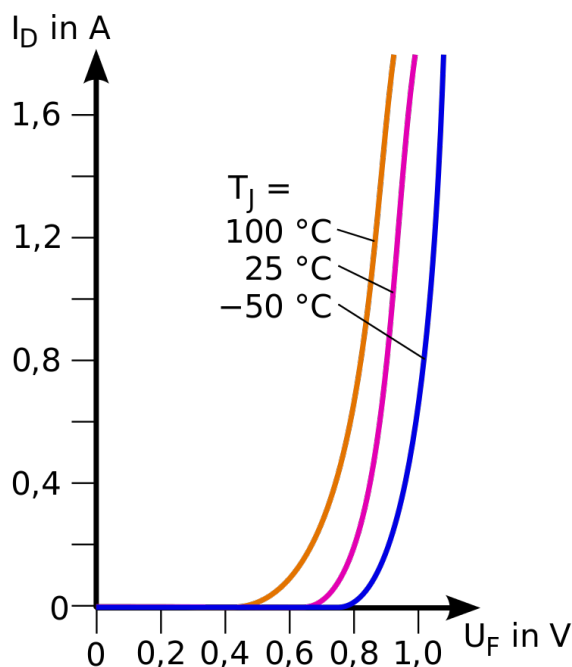


Figura 1: Curva característica del diodo rectificador 1N4001(se aplica al 1N4001 o el 1N4007)

En particular, el diodo en cuestión está integrado de la siguiente manera al circuito que se busca describir:

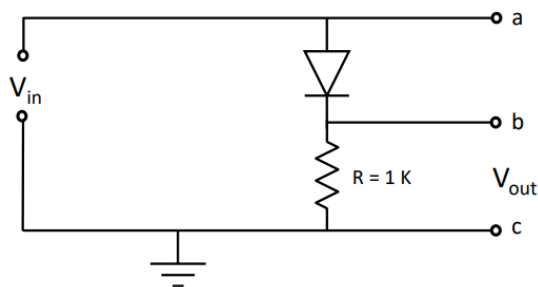


Figura 2: Circuito continente de una resistencia de $1\text{ K}\Omega$ y un diodo en serie.

En primer lugar, se busca una relación entre la corriente medida en el diodo y el voltaje en el mismo, llamémosle I y V_D . Para ello recordamos la relación (1) descrita recién, y por tanto de donde se puede despejar la forma de la curva teórica versus la obtenida experimentalmente, que se observa en la imagen 4. Los datos de la tabla (de los cuales se excluyeron los primeros dos datos para hacer el gráfico, por ser errores sistemáticos y aleatorios de los dispositivos en sí) se muestran en la tabla 1.

En segundo lugar se busca dar los tanto los parámetros I_0 y T de la ecuación (1) que minimizan el error cuadrático medio entre los datos y (1) que aparecen en la tabla 3, junto con el error cuadrático medio RMS y el error promedio. El ajuste aparece en la imagen 4. Debe notarse que, el RMS se puede calcular como $RMS = \sigma^2 + \mu^2$, donde σ y μ son la desviación estandar y el promedio de la resta (entre el valor esperado de la corriente y el valor teórico), pues minimizando esta diferencia, se minimiza el valor del RMS.

En tercer lugar, se busca llegar a una dependencia de V_{out} en función de V_{in} . Para ello, usando la segunda ley de Kirchoff para las caídas de potencial en el circuito y la ley de Ohm para la corriente en que circula por la resistencia:

$$V_D + V_{out} - V_{in} = 0, \quad I = \frac{V_{out}}{R}$$

Y despejando de (1) V_D :

$$V_D = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{I}{I_0} + 1 \right) = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{V_{out}}{RI_0} + 1 \right)$$

Lo cual se reemplaza en la segunda ley de Kirchoff, dando una ecuación no analítica para V_{out} en función de V_{in} :

$$\frac{KT}{q} \ln \left(\frac{V_{out}}{RI_0} + 1 \right) + V_{out} - V_{in} = 0 \quad (2)$$

De donde se pueden usar métodos numéricos para encontrar la dependencia de V_{out} en función de V_{in} . Los resultados de hacer este ajuste están en la figura 5.

En cuarto lugar, se quiere graficar no solo el ajuste sino lo obtenido (que también se muestra en la

figura 5). Por otro lado, se busca encontrar el valor de V_{in} al cual la curvatura de la función $V_{out}(V_{in})$ es máxima, para lo cual puede ser necesario calcular las 4 primeras derivadas (derivando la ecuación (2)), así como el radio de curvatura:

$$\frac{dV_{out}}{dV_{in}} = \frac{q(V_{out} + RI_0)}{KT + q(V_{out} + RI_0)} \quad (3)$$

$$\frac{d^2V_{out}}{dV_{in}^2} = \frac{q^2KT(V_{out} + RI_0)}{(KT + q(V_{out} + RI_0))^3} \quad (4)$$

$$\frac{d^3V_{out}}{dV_{in}^3} = \frac{q^3KT(V_{out} + RI_0)(KT - 2q(V_{out} + RI_0))}{(KT + q(V_{out} + RI_0))^5} \quad (5)$$

$$\frac{d^4V_{out}}{dV_{in}^4} = \frac{q^4KT(V_{out} + RI_0)(K^2T^2 - 8KTq(V_{out} + RI_0) + 6q^2(V_{out} + RI_0)^2)}{(KT + q(V_{out} + RI_0))^7} \quad (6)$$

$$R_c = \frac{\left[1 + \frac{dV_{out}}{dV_{in}}\right]^{3/2}}{\left|\frac{d^2V_{out}}{dV_{in}^2}\right|} = \frac{\left[1 + \frac{q(V_{out} + RI_0)}{KT + q(V_{out} + RI_0)}\right]^{3/2}}{\left|\frac{q^2KT(V_{out} + RI_0)}{(KT + q(V_{out} + RI_0))^3}\right|} \quad (7)$$

Ahora bien, se quiere ver bajo qué condiciones se maximiza la curvatura, es decir la segunda derivada dada por la ecuación (4), para lo cual calculamos el punto de equilibrio según la ecuación (5), de donde se obtienen dos valores posibles, $V_{out} = \left\{-RI_0, \frac{KT}{2q} - RI_0\right\}$, donde el primero da una curvatura nula, mientras que el segundo da una curvatura positiva y por lo tanto es el valor que se corresponde con el máximo, en particular la curvatura es $\frac{8q}{(KT)^3} = 3.934$. Por tanto, reemplazando el valor de V_{out} que maximiza la curvatura en la ecuación (2), queda que el valor V_{in} que maximiza la curvatura es:

$$V_{in} = \frac{KT}{2q} - RI_0 + \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{KT}{2qRI_0}\right) \quad (8)$$

que evaluado numéricamente da $V_{in} = 0.566$ [V]. Las curvas obtenidas para la primera y segunda derivada (curvatura), se muestran en la figura 6. Además, se mostrará, para un DC offset de 0 Volts, un Voltaje peak to peak de 200 mV y una señal sinusoidal de 1kHz, tanto V_{in} como V_{out} junto con la transformada de Fourier de V_{out} , resultado que se observa en la figura 10.

En quinto lugar, lo que es de interés, es determinar, para un rango de DC Offset entre 0 y 1.5 Volts, en qué punto el segundo armónico para el voltaje V_{out} se maximiza, resultado que se resume en la tabla 4, cuyo gráfico se corresponde con la figura 7.

En sexto lugar se pretende mostrar la forma de la Transformada de Fourier con el voltaje sinusoidal apagado. En penúltimo lugar, se escribe una aproximación (expansión de Taylor) a cuarto orden de V_{out} en función de V_{in} en torno a V_0 que maximiza los armónicos:

$$V_{out}(V_{in}) = \left\langle \sum_{n=0}^4 \frac{d^n V_{out}}{dV_{in}^n} (V_{in} - V_0)^n \right\rangle |_{V=V_0} \quad (9)$$

Ahora bien, si se usa $V_{in} = \cos(\omega t)$, y las identidades siguientes:

$$\cos^2(x) = \frac{1 + \cos(2x)}{2} \quad (10)$$

$$\cos^3(x) = \frac{1}{4}(\cos(3x) + 3\cos(x)) \quad (11)$$

$$\cos^4(x) = \frac{1}{8}(\cos(4x) + 4\cos(x) + 3) \quad (12)$$

reemplazando estas últimas 3 ecuaciones en (9), da:

$$V_{out}(t) = A + B\cos(\omega t) + C\cos(2\omega t) + D\cos(3\omega t) + E\cos(4\omega t) \quad (13)$$

donde las constantes son, para cada armónico:

$$A1 = V_{out}(V_0) - V_0 \dot{V}_{out}(V_0) + \frac{\ddot{V}_{out}(V_0)}{2}(2V_0^2 - 3V_0 + 1) \quad (14)$$

$$A2 = -\ddot{V}_{out}(V_0)V_0^3 + \frac{\dddot{V}_{out}(V_0)}{8}(8V_0^4 + 24V_0^2 + 3) \quad (15)$$

$$A = \langle A1 + A2 \rangle |_{V=V_0} \quad (16)$$

$$B = \left\langle \dot{V}_{out}(V) - 2V\ddot{V}_{out}(V) + \frac{3}{4}\ddot{V}_{out}(V)(4V^2 + 1) - \ddot{V}_{out}(V)(4V^3 + 3V) \right\rangle |_{V=V_0} \quad (17)$$

$$C = \left\langle \frac{1}{2}\ddot{V}_{out}(V)(1 - 3V) - \ddot{V}_{out}(V)(3V^2 + 2) \right\rangle |_{V=V_0} \quad (18)$$

$$D = \left\langle \frac{1}{4}\ddot{V}_{out}(V) - V\ddot{V}_{out}(V) \right\rangle |_{V=V_0} \quad (19)$$

$$E = \left\langle \frac{1}{4}\ddot{V}_{out}(V) \right\rangle |_{V=V_0} \quad (20)$$

donde lo que nos interesa en particular son las constantes o coeficientes A, B, C, D, donde los últimos tres se corresponden con los tres primeros armónicos. Estas tres constantes se muestran en la tabla 5, mientras que la gráfica de las 4 primeras derivadas teóricas de la función V_{out} están en las figuras 8 y 9.

3. Datos obtenidos

En primer lugar se implementa el circuito de la figura 2, como se muestra a continuación en la figura 3.

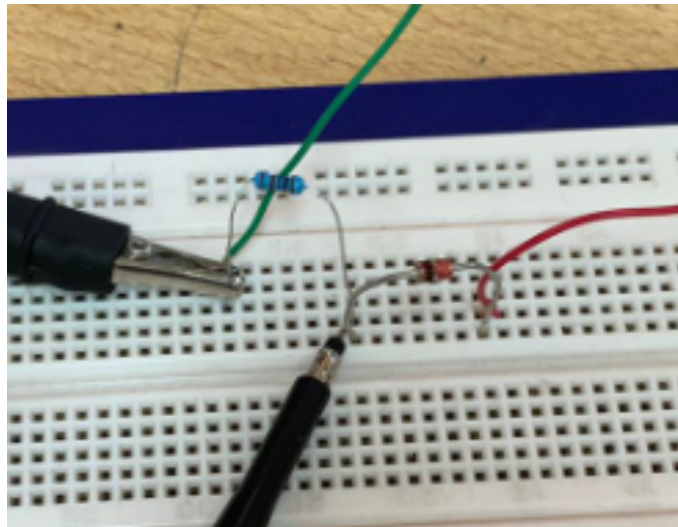


Figura 3: Circuito implementado en protoboard, lo cables negros corresponden a puntas de prueba que llevan al osciloscopio para medir la señal, el cable rojo y verde vienen de una fuente DC, siendo positivo y tierra respectivamente, para la segunda parte se conectan al generador de ondas.

Se comienza por medir el voltaje en el diodo, conectando en paralelo a este el voltímetro y variando la corriente en la señal de entrada, los resultados de esto se muestran en la tabla 1 y en la figura 4 se muestra el gráfico de los datos obtenidos.

Tabla 1: Datos obtenidos de la corriente versus el voltaje en el diodo.

Corriente (mA)	Voltaje en el Diodo (Vd)
1	0,292
2	0,25
3	0,719
4	0,743
5	0,755
6	0,764
7	0,771
8	0,776
9	0,781
10	0,785
11	0,788
12	0,792
13	0,794
14	0,797
15	0,8
16	0,801
17	0,803
18	0,805
19	0,808
20	0,809

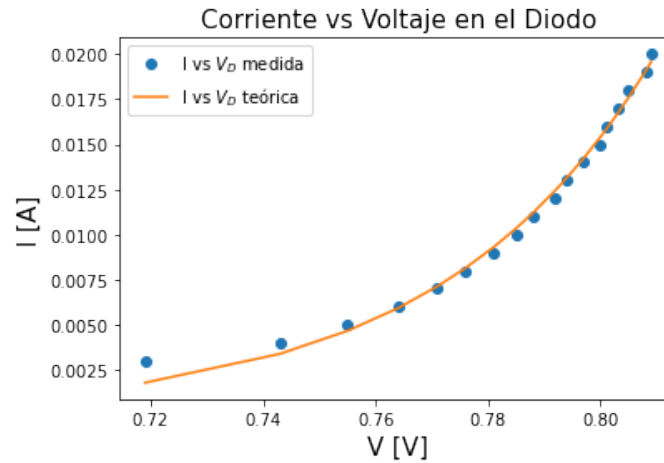


Figura 4: Gráfico de los valores obtenidos en la tabla 4, de la corriente versus el voltaje en el diodo (en puntos azules), mientras que en línea naranja aparece el ajuste que minimiza el error cuadrático medio, según la formula (1).

Los valores de T_{opt} , I_{opt} , RMS y \bar{E} , que son la temperatura y la corriente que minimizan el error cuadrático medio RMS y el error promedio \bar{E} para la curva fiteada a los puntos obtenidos de la derivación teórica de esta se presentan a continuación:

Tabla 2: Aquí, T_{opt} , I_{opt} , RMS y \bar{E} son la temperatura y la corriente que minimizan el error cuadrático medio RMS y el error promedio \bar{E} .

T_{opt} [K]	I_{opt} [A]	RMS [A ²]	\bar{E} [A]
436,571	$9,13 \cdot 10^{-12}$	$1,76 \cdot 10^{-7}$	$-5,94 \cdot 10^{-5}$

Luego se procede a medir el voltaje en la resistencia (V_{out}) a distintos valores de voltaje de entrada, regulado por la fuente DC, el V_{out} se mide conectando en paralelo el voltímetro a la resistencia del circuito mostrado en la figura 3. A continuación se muestran, en la tabla 3 y en la figura 5 los resultados obtenidos.

Tabla 3: Tabla de datos obtenidos para el voltaje medido en la resistencia (V_{out}) a distintos voltajes de entrada (V_{in}).

v_{in}	v_{out}
0	0
0,1	0
0,2	0
0,3	0
0,4	0
0,5	0
0,6	0,004
0,7	0,046
0,8	0,13
0,9	0,211
1	0,268
1,1	0,402
1,2	0,488
1,3	0,583
1,4	0,68
1,5	0,785

A continuación se muestra el resultado de comparar los datos obtenidos en la tabla 3 con la curva derivada de la teoría correspondiente a la ecuación 2, con los valores que minimizan el error cuadrático medio presentados en la tabla 3.

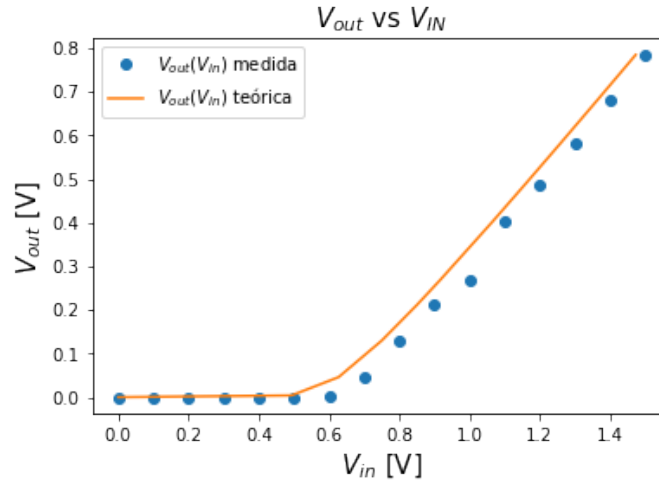


Figura 5: Gráfico de los valores obtenidos en la tabla 3 en puntos azules contrastado con el ajuste según la ecuación 2.

Ahora bien, se presentan las curvas asociadas a la primera derivada y del radio de curvatura en función del voltaje DC de entrada, que corresponden a las ecuaciones (3) y (7).

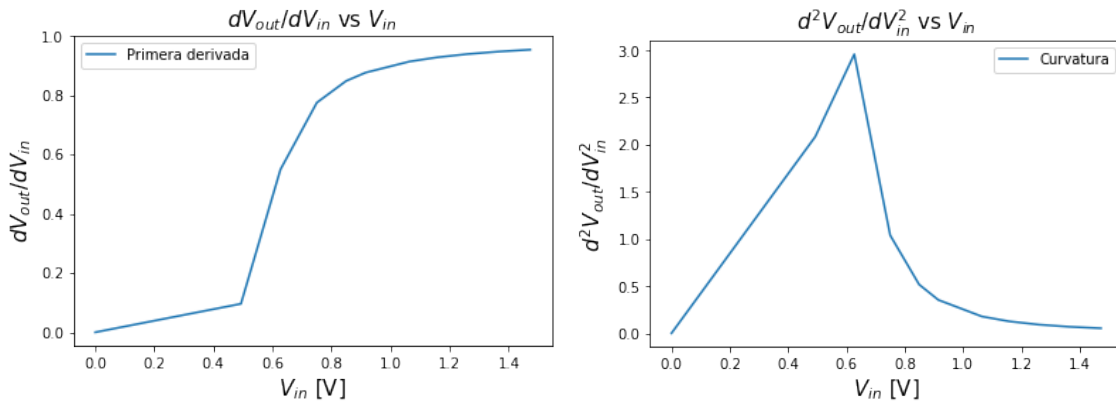


Figura 6: Primera derivada a la izquierda y radio de curvatura (ambas derivadas de V_{out} en función de V_{in}).

En la tabla 4 se muestran los valores de potencia en decibels y en wats del 2do armónico para distintos valores de voltaje DC de entrada, y en la figura ?? se muestra un gráfico de los datos, esto corresponde a uno de los últimos procedimientos en el laboratorio.

Tabla 4: Tabla con los valores obtenidos de potencia para el primer y el segundo armónico a distintos valores de voltaje offset para la señal sinusoidal de entrada.

Voltaje Offset (mV)	Potencia 2do Armónico (dB)	Potencia 2do Armónico (Watts)
0	0	0,001
100	0	0,001
200	0	0,001
300	0	0,001
400	0	0,001
500	0	0,001
600	20	0,1
700	17	0,05011872336
800	10	0,01
900	10	0,01
1000	10	0,01
1100	24	0,2511886432
1200	16	0,03981071706
1300	0	0,001
1400	0	0,001
1500	0	0,001

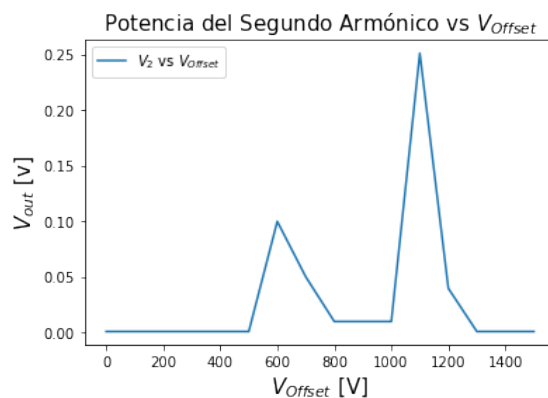


Figura 7: Gráfico de los datos obtenidos para la potencia del segundo armónico en la tabla 4

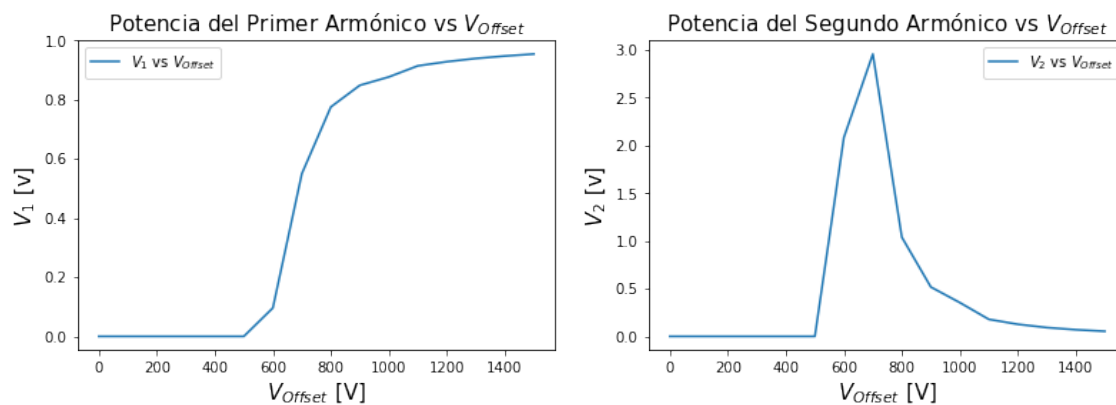


Figura 8

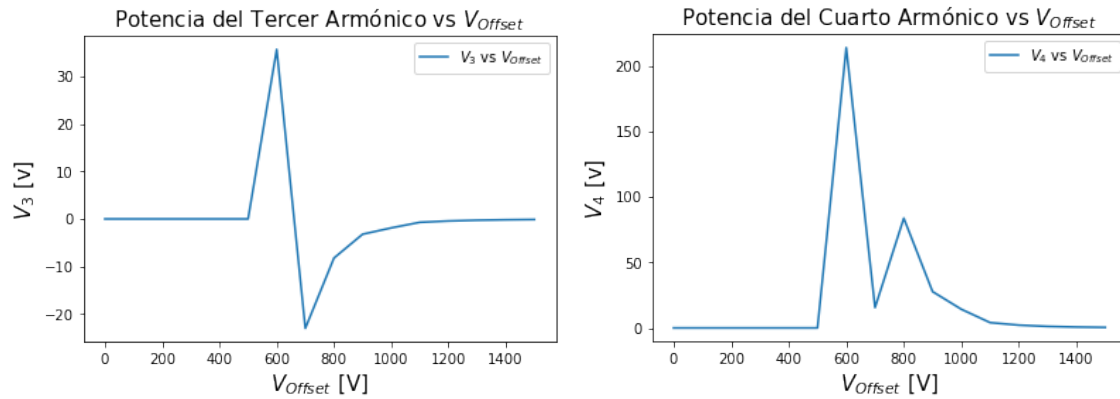


Figura 9

Tabla 5: Tabla con los coeficientes teóricos que acompañan a cada uno de los armónicos, B, c, D en Volts para el primer, segundo y tercer armónico respectivamente.

B [V]	C [V]	D [V]
-2198.58	$-5.188 \cdot 10^{-5}$	$-1.838 \cdot 10^{-10}$

En la figura a continuación se muestra el primer peak de potencia del segundo armónico, al lado izquierdo, y el voltaje DC en el que este ocurre (600mV), al lado derecho de la imagen en conjunto con el espectro de la señal V_{out} .

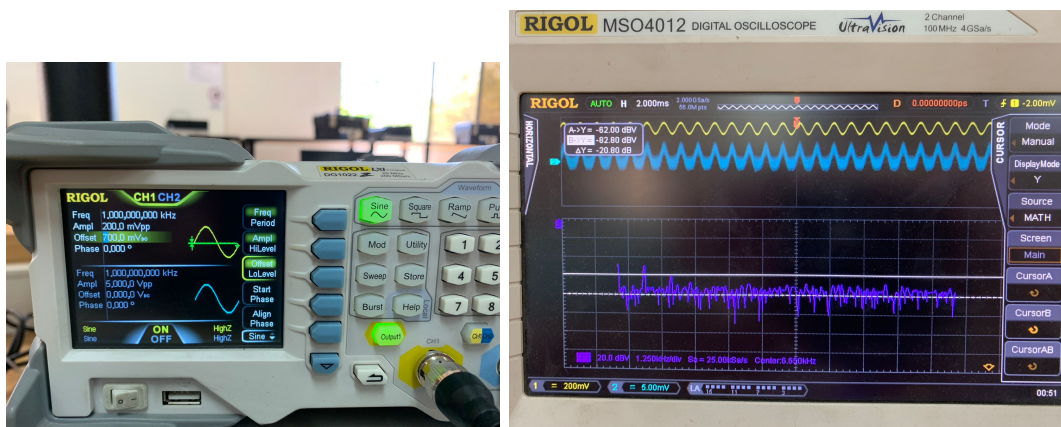


Figura 10: Aquí se muestra claramente el punto en el cual se maximiza la potencia del segundo armónico. A la izquierda se muestra el generador de onda con un voltaje offset de 600mV que es la señal que entra al circuito y a la izquierda se muestra en la parte superior las señales V_{in} y V_{out} , de color amarillo y azul respectivamente, bajo estas se puede apreciar el espectro de la señal de salida con marcadores que señalan la potencia del segundo armónico.

Finalmente se presenta el circuito implementado que corresponde al ultimo desarrollo del laboratorio donde mediante una resistencia de 100Ω se inyecta una señal sinusoidal de 1.2 KHz y mismo voltaje p-p y DC que maximizan la potencia del segundo armónico.

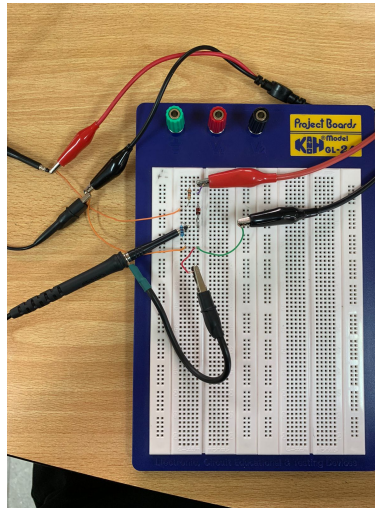


Figura 11: Circuito implementado para ultima parte del laboratorio en protoboard. Donde los cables naranjos inyectan en la resistencia la señal de 1.2KHz y el par de caimanes de la más a la derecha inyectan al circuito la señal de 1KHz, las mediciones de voltaje se hacen en la resistencia de más abajo que tiene un valor de $1K\Omega$.

En la figura 12 se muestra el espectro obtenido para la señal de salida en la última implementación, y sobre este se muestran en amarillo y azul las señales de entrada y salida respectivamente.



Figura 12: Circuito implementado para ultima parte del laboratorio en protoboard. Donde los cables naranjos inyectan en la resistencia la señal de 1.2KHz y el par de caimanes de la más a la derecha inyectan al circuito la señal de 1KHz, las mediciones de voltaje se hacen en la resistencia de más abajo que tiene un valor de $1K\Omega$.

4. Análisis de Resultados

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos y se responderán las preguntas realizadas en la guía de laboratorio, siguiendo el orden de esta última. Lo anterior mencionado se lleva a cabo en tres partes, en primer lugar el análisis del circuito en régimen DC, luego le sigue el análisis con un V_{in} sinusoidal y finalmente la tercera parte y última con la suma de una segunda señal sinusoidal mediante una resistencia de 100Ω .

4.1. Parte 1

Observando el gráfico de la figura 4, se logra obtener una excelente aproximación a la curva teórica descrita desde el análisis circuital, dando un valor de error cuadrático medio de:

$$RMS = 1.760668431566003e - 07$$

Y un error promedio de:

$$Errorpromedio : -5.949332607453453e - 02[mA]$$

Estos datos se presentan en la tabla 2. De donde también se obtiene la temperatura alcanzada por el diodo que es alrededor de 436 grados kelvin que son algo así como 162 grados celsius, lo que concuerda con lo esperado y lo visto en el laboratorio a la hora de hacer la experimentación.

Luego de esto se miden los voltajes de entrada y salida, dando cabida al gráfico mostrado en la figura 5, este muestra los datos obtenidos y la curva producida por el ajuste realizado anteriormente, nótese que ambas concuerdan, dejando en evidencia que la relación encontrada para $V_{out}(V_{in})$ mostrada en la ecuación 2. Luego se muestran en la figura 6 dos gráficas correspondientes a la primera derivada y al radio de curvatura en función del voltaje de entrada. De estos se puede decir que para la primera derivada comienza a crecer casi horizontalmente en un valor cercano a 0.6V y que en este valor es donde el radio de curvatura se hace máximo. Más adelante se comenta un poco más respecto a este último.

4.2. Parte 2

Ahora bien analizando el gráfico de la figura 7, podemos encontrar que se producen 2 peaks de potencia en el segundo armónico lo que no concuerda con la teoría, que debiese ser sólo uno cercano a los 600 mV, esto dado que es el voltaje en donde el diodo comienza a dejar pasar corriente. Además este valor coincide con el punto donde teóricamente existe una mayor curva de rotación dado por la figura 6, esto se puede deber a corrientes parásitas y errores de medición dado por los equipos del laboratorio que pudiesen generar esta discordancia. De todas para lo que sigue del análisis se considero como válido el primer peak de potencia en los 600 mV ya que es lo que concuerda con la teoría y no genera discordancias mayores en los cálculos que le siguen.

Luego de hacer el desarrollo de Taylor de orden 4 para la función $V_{out}(V_{in})$ mostrados en las ecuaciones (2) y (13) llegamos a lo que se menciona en el párrafo anterior, sobre el error del segundo peak de potencia mencionado y el acierto del primero. Se cree que la principal fuente de error puede haberse debido a errores en las conexiones o derechamente en los equipos utilizados en la experiencia.

4.3. Parte 3

Finalmente en las figuras 11 y 12 se muestran la implementación del circuito donde se agrega la señal de 1.2KHz y la respuesta en frecuencia (el espectro de la señal de salida) para ambas señales en 600 mV, el cuál es el voltaje que maximiza la potencia del segundo armónico.

En su espectro se puede notar claramente el componente de voltaje DC en un comienzo y una potencia alta en el primer armónico, contrario a lo que se podría pensar en que al voltaje de máxima potencia para el segundo armónico de la señal para la parte anterior se maximizaría igualmente este armónico en la respuesta en frecuencia. Esto puede deberse a un desplazamiento en frecuencia hacia abajo (*downconverted*) que produce el mezclador, haciendo que la potencia que maximiza el segundo armónico en la segunda parte del laboratorio, ahora produzca un peak de potencia considerablemente alto pero para el primer armónico.

5. Conclusiones

Entonces se finaliza el informe con los distintos objetivos del laboratorio alcanzados, en primer lugar se alcanza la comprensión cabal de los equipos de laboratorio y su uso, se logran realizar las mediciones necesarias para llevar a cabo la guía y se asimilan conceptos como lo son los mezcladores, armónicos y la conversión de frecuencia, lo cual constituye el tema principal de este laboratorio.

Sobre las mediciones, estas se alcanzaron a hacer en el tiempo dispuesto para ello con ciertas dificultades asociadas a los equipos del laboratorio, se tuvo que realizar el primer gráfico de voltaje vs corriente un par de veces debido a resultados extraños obtenidos debido a problemas con los cables de las puntas de prueba de los voltímetros, y otros errores asociados a la poca familiarización con el equipo de laboratorio. Lo anterior mencionado es la principal fuente de error a la que atribuimos el peak extraño medido para la potencia del segundo armónico, la cuál no se considero en el estudio de las secciones posteriores, dado que el primer peak concuerda con la teoría, osea que es el valor encontrado dado las fórmulas derivadas del análisis circuital y las aproximaciones de Taylor de orden 4.

Sobre los resultados obtenidos, estos concuerdan con lo desarrollado teóricamente, alcanzando errores promedio del orden de 5 centésimas, lo que nos explicita que los desarrollos fueron llevados de buena manera y los cálculos están acorde con los datos tomados. Para los espectros obtenidos tanto para la parte 2 como para la parte 3 mencionados en el análisis, comentar que nos fue difícil su obtención, ya que al ser las señales tan pequeñas se necesita para que estos dieran de forma correcta que las conexiones estuvieran hechas de manera correcta, en un principio no logramos encontrar los armónicos lo que retrasó el desarrollo del laboratorio, esto se debió a problemas con los cables que conectábamos los instrumentos y otras conexiones, lamentablemente esto escapaba de nuestras manos y solo quedó realizar las mediciones varias veces e ir probando cuales era las puntas de prueba y caimanes en las que resultaran prolijas los espectros.

Sobre la implementación de los fiteos de las curvas y el desarrollo matemático para la obtención de la función $V_{out}(V_{in})$, se llevo a cabo de manera correcta los ajustes necesarios para las curvas de corriente versus voltaje y para la de voltaje de salida versus el de entrada, el código utilizado se enviará a parte y la derivación matemática se incluye en la sección de marco teórico.

Finalmente destacar que se logra obtener los resultados esperados y se cumple con los principales objetivos del laboratorio.