

Diodo Semiconductor

Barbosa E. Liliana M., Ocampo R. Angee L.

Resumen - Durante el desarrollo del presente preinforme, se procede a elaborar un análisis, mediante el uso de herramientas de simulación y material bibliográfico, del comportamiento de diferentes configuraciones con diodos semiconductores 1N4004 o 1N4007. Ello para fomentar el entendimiento del comportamiento de estos dispositivos, así como las diferentes características y aplicaciones.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente documento consiste en realizar un análisis teórico y simulado a un conjunto de circuitos electrónicos antes de proceder a su estudio físico en el laboratorio. Asimismo, la información teórica se toma del manual de operación de Pspice así como de fuentes bibliográficas, y la información presente en el datasheet.

Marco teórico:

En cuanto al desarrollo de la práctica, se debe tener claro una serie de conceptos respecto a la familia de diodos rectificadores 1N400X.

- **Voltaje de conducción (forward voltage drop):** voltaje mínimo necesario para que el diodo comience a conducir la corriente en la dirección directa, es decir, permitiendo que la corriente fluya a través de él.
- **Voltaje de ruptura inversa (reverse breakdown voltage):** cantidad de voltaje inverso que un diodo puede soportar antes de que comience a conducir la corriente en la dirección inversa.
- **Corriente de saturación, I_R :** corriente inversa mínima que debe aplicarse al diodo para que comience a conducir en la dirección opuesta a su polarización normal.
- **Capacitancia de unión, C_j :** capacidad de almacenar carga en la unión P-N del diodo. Esta capacitancia puede tener un impacto en aplicaciones de alta frecuencia y es una propiedad inherente a la estructura del diodo.

| 1N400X | Voltaje de conducción | Voltaje de ruptura inversa | Corriente de saturación | Capacitancia de unión |
|--------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1N4001 | 1.1V | 50V | 5uA | 15pF |
| 1N4002 | 1.1V | 100V | 5uA | 15pF |
| 1N4003 | 1.1V | 200V | 5-20uA | 15pF |
| 1N4004 | 1.1V | 400V | 5-30uA | 15pF |
| 1N4005 | 1.1V | 600V | 5-50uA | 15pF |
| 1N4006 | 1.1V | 800V | 5-100uA | 15pF |
| 1N4007 | 1.1V | 1000V | 5-150uA | 15pF |

Tabla. 1. Características de la familia de diodos 1N400X.

De la tabla 1, vale mencionar que en la familia de diodos 1N400X, tanto la capacitancia de unión como el voltaje de conducción se mantienen relativamente constantes en la familia. Sin embargo, entre mayor sea el número X, va a tener un mayor rango de corriente de saturación así como un mayor voltaje de ruptura inversa, dejando ver claramente que entre mayor sea el valor X de esa familia, va a tener mayor rango de polarización inversa.

II. ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN

A. Circuito DC con diodo en serie

Antes de comenzar el análisis, es importante mencionar los parámetros más relevantes del modelo del diodo (1N4004) en PSPICE.

| | D1N4004 | D1N4001 |
|-----|---------------|---------------|
| IS | 14.110000E-09 | 14.110000E-09 |
| N | 1.984 | 1.984 |
| IKF | 94.81 | 94.81 |
| BV | 600 | 75 |
| IBV | 10.000000E-06 | 10.000000E-06 |
| RS | .03389 | .03389 |
| TT | 5.700000E-06 | 5.700000E-06 |
| CJO | 25.890000E-12 | 25.890000E-12 |
| VJ | .3245 | .3245 |
| M | .44 | .44 |

Fig. 1. Parámetros del modelo del diodo en Pspice.

De la figura 1, es necesario aclarar lo tiene lo siguiente:

| Parámetro | Significado |
|-----------|---|
| IS | Corriente de saturación (\approx corriente en polarización inversa) |
| N | Parámetro de fabricación del diodo |
| IKF | Corriente inversa de fuga |
| BV | Breakdown Voltage (voltaje de ruptura) |
| IBV | Reverse Bias Leakage Current (corriente que fluye a través del diodo cuando se polariza inversamente) |
| RS | Resistencia serie (modela la R interna del |

¹El presente documento corresponde al preinforme de la tercera práctica de laboratorio de la materia "Electrónica Analógica I" presentado en la Universidad de Antioquia de Medellín en el periodo académico 2023-02.

| | |
|-----|---|
| | diodo cuando conduce en dirección directa) |
| TT | Tiempo de tránsito (tiempo que tarda el diodo en pasar de un estado a otro) |
| CJO | Capacitancia de juntura inversa (capacidad de almacenar carga cuando el diodo se polariza inversamente) |
| VJ | Voltaje de juntura (voltaje de inicio de conducción de un diodo cuando se polariza en directa) |
| M | Factor de calidad de la corriente inversa |

Tabla. 2. Explicación de los parámetros del modelo del diodo de Pspice.

A continuación, se procede a tomar el diodo 1N4004 junto a una resistencia 100Ω y una fuente DC, con el fin de realizar el primer análisis de la práctica.

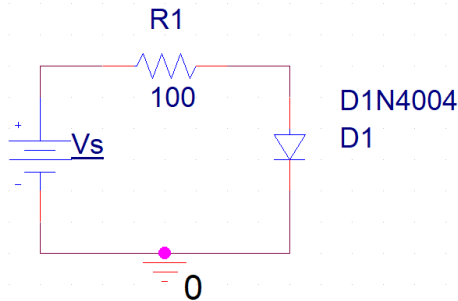


Fig. 2. Esquemático de circuito DC con diodo en serie.

Vale resaltar que para las simulaciones del montaje mostrado en la figura 2, se plantea un barrido dc de la fuente Vs entre -10V y 10V con un tamaño de paso de 0.1V. Así, el voltaje y la corriente del diodo con respecto la fuente:

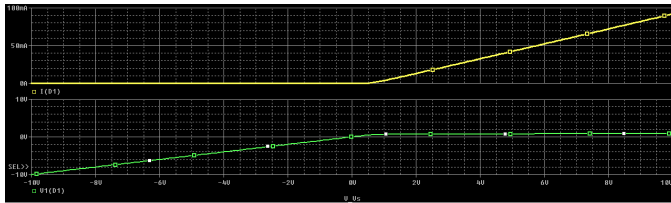


Fig. 3. Voltaje y corriente en el diodo con respecto a la fuente Vs.

Mientras que la curva característica del mismo se comporta como se puede apreciar en la figura 4, donde se observa el comportamiento de la corriente con respecto al voltaje del mismo diodo D1 (1N4004).

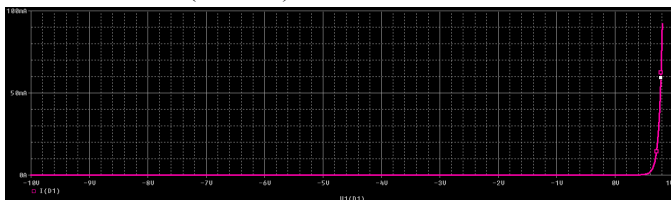


Fig. 4. Curva característica del diodo 1N4004.

Asimismo de la figura 4 se pueden identificar las siguientes zonas: la zona de polarización inversa (la cual va desde el voltaje de ruptura inversa hasta 0) y la zona de polarización directa (aquella zona donde el voltaje en el diodo es positiva). Es relevante resaltar que en la figura presentada no se puede

observar la zona de ruptura precisamente por el rango de visualización (o sea, el barrido en DC de la fuente del circuito), ya que esta zona se encuentra cuando los voltajes trabajados son muy altos y negativos, y está estrechamente relacionada al voltaje de ruptura inversa.

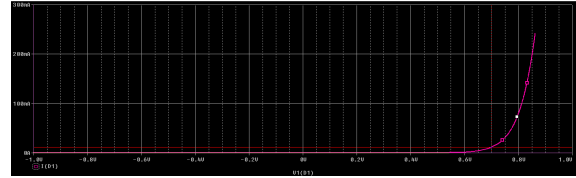


Fig. 5. Curva característica de la figura 4 ampliada.

De la figura 4, se tiene que la información más relevante del diodo se encuentra precisamente en la información presentada en la figura 5. Allí se puede observar con mayor claridad los datos respecto a la polarización directa en este. Conviene subrayar respecto al comportamiento del diodo 1N4004, que se comporta como “circuito abierto” entre -10V y 0V, mientras que aproximadamente a partir de 0.5V el diodo comienza a reaccionar como “cortocircuito”, permitiendo el paso de corriente a través de él. Sin embargo, vale resaltar que el comportamiento cuando permite el paso de corriente es de forma gradual, precisamente de manera exponencial. Por otro lado, partiendo de la figura 5, se tiene que la corriente en el diodo es 11.770mA cuando se tiene 700.000mV (o sea, 0.7V).

| Trace Color | Trace Name | Y1 |
|-------------|------------|----------|
| | X Values | 700.000m |
| CURSOR 1.2 | I(D1) | 11.770m |

Fig. 6. Corriente DC en el diodo cuando el voltaje es 0.7V.

Ahora, teniendo en cuenta los parámetros del modelo del diodo 1N4004 de Pspice además de la Ecuación de Shockley, se procede al cálculo de la corriente en el diodo cuando el voltaje en este es 0.7V.

$$i_D = i_S (e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1)$$

De la ecuación de Shockley vale mencionar que $V_T = K * T$, donde V_T significa potencial equivalente de temperatura ó

voltaje térmico, $K = 8.62 * 10^{-5} \frac{V}{K}$ es la constante de boltzmann y T significa la temperatura en k (Kelvin).

Así, de acuerdo a la figura 7 con todos los datos que se usan para la simulación, se puede apreciar que la temperatura de simulación es 27°C (o sea, 300.15K).

| Available Sections | | | |
|----------------------------|------------------|-----------------|----------|
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = .6 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = .7 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = .8 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = .9 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.1 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.2 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.3 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.4 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.5 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.6 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.7 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.8 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 1.9 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 2 | 27.0 Deg |
| Profile: "SCHEMATIC1-sim1" | d:\users\W\A\... | Step V_Vs = 2.1 | 27.0 Deg |

Fig. 7. Información utilizada para la simulación.

Con la información anterior se obtiene lo siguiente:

$$i_D = (14.11 * 10^{-9}) (e^{\frac{0.7}{(1.984) * (8.62 * 10^{-5}) * (300.15)}} - 1) = 0.0118A = 11.8mA$$

Así, tomando las corrientes obtenidas tanto en la parte teórica como en la simulación, se tiene el siguiente porcentaje de error

$$\%Error = \frac{|11.77mA - 11.8mA|}{|11.8mA|} * 100\% = 0.25\%, \text{ el cual es un porcentaje de error muy aceptable.}$$

B. Circuito AC con diodo en serie

• Fuente AC con valor DC incluido:

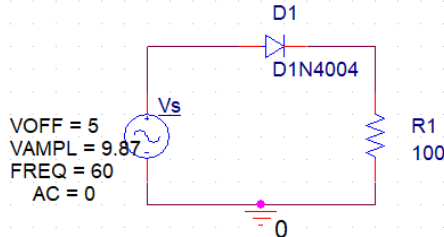


Fig. 8. Esquemático de circuito con fuente AC con DC incluido.

Antes de iniciar el proceso de simulación, se procede a realizar un análisis teórico de la corriente pico mínima y máxima que pasa a través de la resistencia R1.

$$v_{R1} = 0, v_s < V_D$$

$$v_{R1} = v_s - V_D, v_s \geq V_D$$

Vale mencionar que V_D corresponde a *voltage drop* y según el archivo .OUT de la simulación en pspice, ese valor corresponde a 0.7668V, por lo cual:

$$v_{R1} = 0V, v_s < 0.7668V$$

$$v_{R1} = 14.1032V, v_s \geq 0.7668V$$

Así, la corriente máxima y mínima en el diodo del circuito:

$$i_{Dmin} = 0A, v_s < 0.7668V$$

$$i_{Dmax} = 0.1410A, v_s \geq 0.7668V$$

Mientras que en la resistencia es contraria a la corriente es contraria a la del diodo pero en igual fase que la fuente, ello se debe a la propiedad fundamental de los diodos “dirección de conducción” o “polarización”

$$i_{RLmax} = 0A, v_s < 0.7668V$$

$$i_{RLmin} = -0.1410A, v_s \geq 0.7668V$$

A continuación, se puede apreciar la corriente en el circuito y la corriente en el diodo 1N4004, donde se puede observar una “rectificación” de la onda sinusoidal.

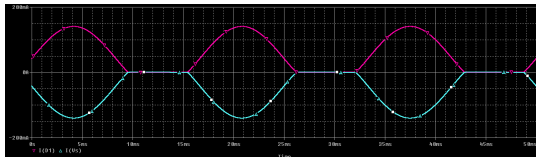


Fig. 9. Señales de corriente en el diodo y en la fuente.

| Trace Color | Trace Name | Y1 |
|-------------|------------|-----------|
| | X Values | 20.869m |
| CURSOR 1,2 | I(D1) | 140.257m |
| | I(Vs) | -140.376m |

Fig. 10. Valores relevantes de la señal de corriente en el diodo y la fuente.

Asimismo, se prosigue al análisis de la señal de

corriente en el resistor presente en el circuito (figura 11 y 12), donde se aprecia evidentemente que el comportamiento de esta es contraria a la señal de corriente que atraviesa el diodo e igual a la corriente que atraviesa la fuente.

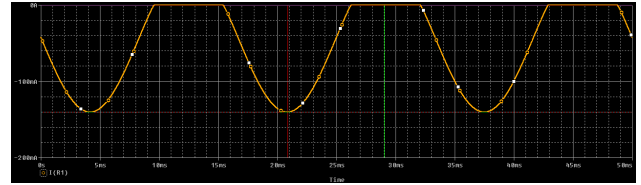


Fig. 11. Señal de corriente en el resistor.

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|------------|-----------|---------|
| | X Values | 20.869m | 29.050m |
| CURSOR 1,2 | I(R1) | -140.376m | 15.404n |

Fig. 12. Valores de corriente máximos y mínimos en el resistor.

De la figura 12, se aprecia que el valor mínimo de corriente es -140.376mA mientras que el máximo es 15.404nA. Vale resaltar que la información correspondiente a la simulación es acorde a los cálculos teóricos realizados previamente, donde la corriente máxima tiene un valor aproximado de 0A y la mínima tiene un porcentaje de error:

$$\%Error = \frac{|-140.376mA + 141.03mA|}{|-141.03mA|} * 100\% = 0.46\%,$$

dejando en evidencia un buen manejo de la simulación con respecto a los cálculos.

Por otro lado, al examinar nuevamente el archivo de salida .OUT de la simulación en Pspice del presente circuito, se observa lo siguiente:

```

***** 09/08/23 07:07:49 ***** Pspice Lite (March 2016) ***** ID# 10813 *****
** Profile: "SCHEMATIC1=sin2" [ d:\users\lily\Desktop\practicas\montaje01_p2-pspicefiles\schematic1=sin2.sin ]
***** OPERATING POINT INFORMATION ***** TEMPERATURE = 27.000 DEG C *****
***** DIODES *****
NAME      D_D1
MODEL     D1N4004
ID        4.23E-02
RD        7.47E-01
RPO       4.21E+00
CAP       4.70E-09
JOB CONCLUDED

```

Fig. 13. Punto de operación del circuito de la figura 8.

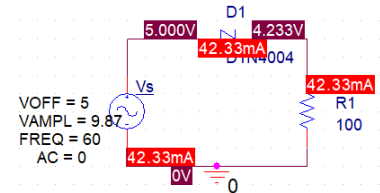


Fig. 14. Valores de corriente y voltaje en circuito de la figura 8 cuando se ejecuta la simulación.

La figura 13 es resultado de la activación del punto de operación del circuito (.OP), sin embargo, es imprescindible aclarar cada uno de los parámetros activos del diodo utilizado en esta configuración.

| Parámetro | Significado |
|-----------|--|
| NAME | Dato descriptivo que se usa para identificar la función o propósito del componente en el circuito. |
| MODEL | Indica el tipo o el modelo del diodo utilizado. |

| | |
|-----|--|
| ID | Corriente en el diodo al inicio de la simulación, cuando solo la señal DC de la fuente está activa. |
| VD | Voltaje en el diodo al inicio de la simulación, cuando solo la señal DC de la fuente está activa. |
| REQ | “Dynamic Resistance”, pequeña señal de resistencia del diodo cuando está conduciendo corriente. |
| CAP | “Capacitance”, representa la capacitancia del diodo (es un valor de gran importancia en aplicaciones de alta frecuencia donde la capacitancia del diodo puede afectar el desarrollo del circuito). |

Tabla. 3. Explicación de los parámetros del punto de operación en Pspice.

Por otra parte, se procede al análisis de voltaje en el diodo y en la resistencia del circuito.

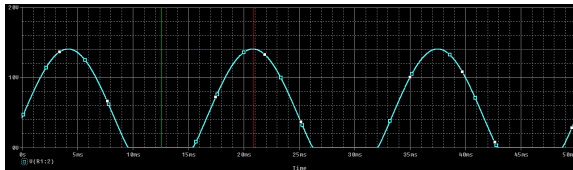


Fig. 15. Señal de voltaje en el resistor.

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|------------|---------|----------|
| | X Values | 20.834m | 12.541m |
| CURSOR 1,2 | V(R1:2) | 14.038 | -1.3680u |

Fig. 16. Valores de voltaje máximo y mínimo del resistor.

De la información proporcionada en las figuras 14 y 15, se puede concluir del voltaje en la resistencia que su valor máximo es 14.038V mientras que su valor mínimo es -1.3680uV (aproximadamente 0V).

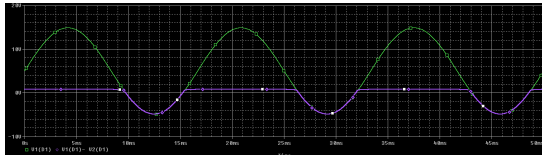


Fig. 17. Señal de voltaje en el diodo con respecto al de la fuente.

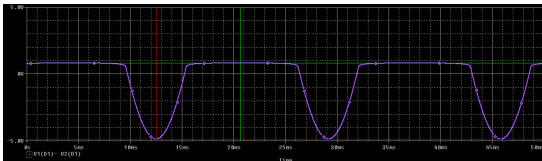


Fig. 18. Señal de voltaje en el diodo.

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|---------------|---------|----------|
| | X Values | 12.500m | 20.656m |
| CURSOR 1,2 | V1(D1)-V2(D1) | -4.8700 | 831.487m |

Fig. 19. Valores de voltajes relevantes del diodo.

Es relevante mencionar de las figuras 17 y 18, que la señal en verde que se puede observar hace referencia a la señal de la fuente mientras que V2(D1) corresponde a la señal del resistor, por lo cual la señal en el diodo es precisamente V1(D1)-V2(D1), donde su valor máximo es 831.487mV y su mínimo es -4.87V.

Comparando la información anteriormente presentada respecto a los voltajes máximos y mínimos, con la información en el punto de operación del archivo .OUT, se puede resaltar que la relación se encuentra

netamente cuando se está en el tiempo cero donde el mismo valor VD de la figura 13 se puede observar en la figura 19. Asimismo, ese mismo valor VD en tiempo cero también está presente en la señal de voltaje del resistor.

Conviene subrayar y concluir de toda la información presentada respecto al circuito de la figura 8, que el voltaje en la resistencia no es de rectificación de media onda. Ya que la rectificación de media onda es un proceso en el que se conviene una señal AC en DC tomando solo la mitad de los ciclos de la señal de entrada, y este proceso no es exactamente el que se observa en la figura 15, ya que el circuito deja pasar más de la mitad de la onda de la señal de alimentación, lo cual es debido al *offset* de la fuente que alimenta el circuito.

• Fuente AC sin valor DC incluido:

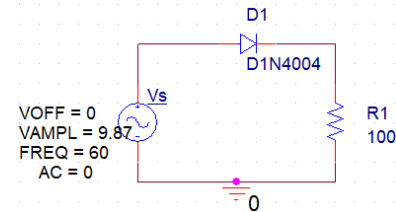


Fig. 20. Esquemático de circuito con fuente AC sin DC incluido.

Antes de iniciar el proceso de simulación, se procede a realizar un análisis teórico de la corriente pico mínima y máxima que pasa a través de la resistencia R1.

$$v_{R1} = 0V, v_s < 0.7668V$$

$$v_{R1} = 9.1032V, v_s \geq 0.7668V$$

Así, la corriente máxima y mínima en el diodo del circuito:

$$i_{Dmín} = 0A, v_s < 0.7668V$$

$$i_{Dmáx} = 0.09103A, v_s \geq 0.7668V$$

Mientras que en la resistencia es contraria a la corriente es contraria a la del diodo pero en igual fase que la fuente, ello se debe a la propiedad fundamental de los diodos “dirección de conducción” o “polarización”

$$i_{RLmax} = 0A, v_s < 0.7668V$$

$$i_{RLmín} = -0.09103A, v_s \geq 0.7668V$$

Hecho los cálculos teóricos, se procede a realizar la serie de análisis y simulaciones del circuito de la figura 20.

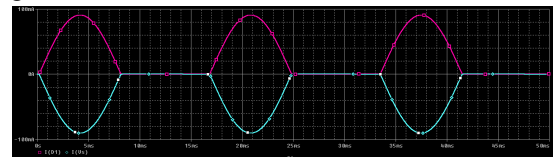


Fig. 21. Señal de corriente en el diodo y fuente (en circuito AC sin offset).

| Trace Color | Trace Name | Y1 |
|-------------|------------|----------|
| | X Values | 20.869m |
| CURSOR 1,2 | I(D1) | 90.632m |
| | I(Vs) | -90.617m |

Fig. 22. Valores relevantes de las señales en la figura 21.

De las figuras 21 y 22, se puede observar las corrientes que se tienen en el circuito, donde la corriente en el diodo está desfasada aproximadamente 180° con respecto al de la fuente y el resto del circuito.

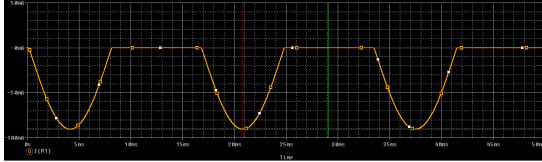


Fig. 23. Señal de corriente en resistor (en circuito AC sin offset).

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|------------|----------|---------|
| | X Values | 20.834m | 29.050m |
| CURSOR 1,2 | I(R1) | -90.626m | 15.081n |

Fig. 24. Valores relevantes de las señales en la figura 23.

Así, analizando la corriente en el resistor del circuito, se puede observar que el valor máximo de esta señal es 15.081nA mientras que el valor mínimo corresponde a -90.626mA. Lo anterior, evidencia la alta relación de los cálculos teóricos con la correspondiente a la simulación, donde la corriente máxima tiene un valor aproximado de 0A y la mínima tiene un porcentaje de error:

$$\%Error = \frac{|-90.626mA + 91.03mA|}{|-91.03mA|} * 100\% = 0.44\%.$$

Ahora, al examinar el archivo de salida .OUT de la simulación en Pspice del presente circuito:

```

000 09/08/23 07:25:13 ***** PSpice Lite (March 2016) ***** ID# 10813 ****
001
002 ** Profile: "SCHEMATIC1-sin2" [ d:\users\lily\Desktop\practica\acontaje01_p2-pspicefiles\schematic1-sin2.sin ]
003
004 ***** OPERATING POINT INFORMATION ***** TEMPERATURE = 27.000 DEG C
005
006 ***** DIODES *****
007
008 NAME      D1
009 MODEL     D1N4004
010 ID        0.000e+00
011 VD        1.513e-24
012 PEO       2.645e+06
013 CAP       7.750e-11
014
015 JOB CONCLUDED
016
017
018
019
020
021

```

Fig. 25. Punto de operación del circuito en la figura 20.

La figura anterior, corresponde al punto de operación donde se evidencia el comportamiento del diodo en el momento inicial de la simulación.

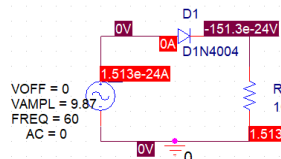


Fig. 26. Valores de corriente y voltaje en circuito de la figura 20 cuando se ejecuta la simulación.

En cuanto al voltaje en la resistencia y en el diodo, se procede a realizar las siguientes mediciones:

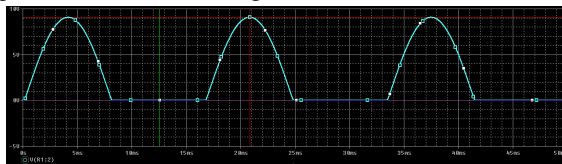


Fig. 27. Señal de voltaje del resistor (en circuito AC sin offset).

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|------------|---------|----------|
| | X Values | 20.834m | 12.540m |
| CURSOR 1,2 | V(R1:2) | 9.0626 | -1.3736u |

Fig. 28. Valores relevantes de las señales en la figura 27.

De las figuras 27 y 28, se puede concluir del voltaje en la resistencia que su valor máximo es 9.0626V mientras que su valor mínimo es -1.3736uV (aproximadamente 0V).

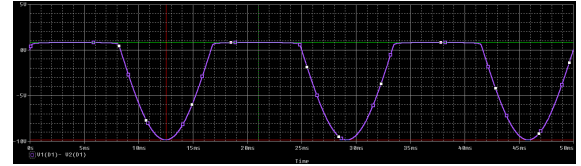


Fig. 29. Señal de voltaje del diodo (en circuito AC sin offset).

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|----------------|---------|----------|
| | X Values | 12.500m | 21.017m |
| CURSOR 1,2 | V1(D1)- V2(D1) | -9.870 | 807.348m |

Fig. 30. Valores relevantes de las señales en la figura 29.

Asimismo, de las figuras 29 y 30 se observa que el valor mínimo de voltaje en el diodo es de -9.87V mientras que el máximo es 807.348mV.

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|----------------|---------|-----------|
| | X Values | 12.500m | 0.000 |
| CURSOR 1,2 | V1(D1)- V2(D1) | -9.870 | 151.3E-24 |

Fig. 31. Voltaje mínimo y en tiempo inicial de la figura 29.

Comparando la información anteriormente presentada respecto a los voltajes máximos y mínimos, con la información en el punto de operación del archivo .OUT, se puede resaltar que la relación se encuentra netamente cuando se está en el tiempo cero donde el mismo valor VD de la figura 25 se puede observar en la figura 31. Asimismo, ese mismo valor VD en tiempo cero también está presente en la señal de voltaje del resistor.

De igual manera, es importante resaltar que la información presentada en esta configuración del esquemático sí da como resultado una rectificación de media onda en el resistor mientras que en la configuración anterior no. Lo anterior implica que aquella señal de offset o señal DC que se le agregue o no a la fuente, altera el comportamiento de la rectificación de señal en la resistencia.

C. Circuito rectificador

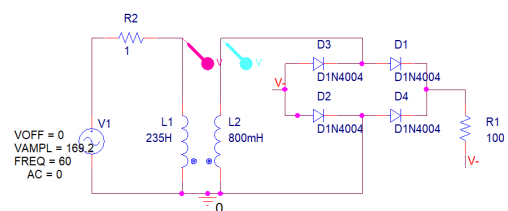


Fig. 32. Esquemático del circuito rectificador de onda completa.

Para el circuito presente en la figura 32, se considera un transformador cuyo voltaje primario (V_p) corresponde a 120 V_{RMS} a 60Hz (o sea, un voltaje pico de $120\sqrt{2}V=169.2V$) y un

voltaje de salida en el secundario (V_I) de $7V_{RMS}$ ($=9.87V$). Así, partiendo de las características del transformador, se calcula el valor de las inductancias a partir de lo siguiente:

$$\left(\frac{V_p}{V_I}\right)^2 = \frac{L_1}{L_2}$$

$$\left(\frac{169.2V}{9.87V}\right)^2 = \frac{L_1}{800mH}$$

$$L_1 = \left(\frac{169.2V}{9.87V}\right)^2 * 800mH = 235.102H$$

Por otra parte, vale tener presente que el modo texto del circuito rectificador de onda completa es el siguiente:

```

Libraries:
* Profile Libraries
* Local Libraries
* From (PSPICE NETLIST) section of C:\SPICE_Data\cdssetup\OrCAD_PSpice\17.2.0\PSpice.ini file:
lib "nom.lib"

Analysis directives
TRAN 0 700ns 0 1000ns
OPTIONS ADPOWV
PROBE4 V(alias(*) I(alias(*) W(alias(*) D(alias(*) NOISE(alias(*)
INC "SCHEMATIC1.net"

**** INCLUDING SCHEMATIC1.net ****
source MONTAJE01.P3
D.D1 M00282 M00270 DIN4004
D.D2 V- 0 DIN4004
D.D3 V- M00282 DIN4004
D.D4 0 M00270 DIN4004
D.L1 0 M00239 235H
D.L2 0 M00282 800mH
R.R1 M00270 100 TC=0.0
V.V1 M00239 0 AC 0
+ SINE 0 169.2 60 0 0 1
R.R1 L1 L2
R.R2 M00239 M00239 1 TC=0.0
**** RESUMING sim.cir ****
END

```

Fig. 33. Modo texto del circuito rectificador de onda completa.

Ahora, se procede a la simulación en Pspice del circuito planteado:

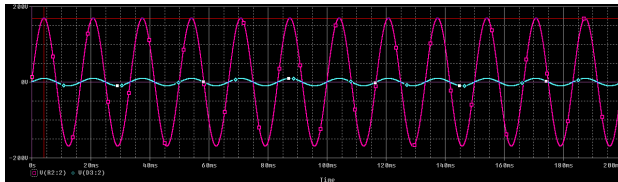


Fig. 34. Señales de voltaje primario y secundario del transformador.

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|------------|---------|----------|
| | X Values | 4.1676m | 0.000 |
| CURSOR 1,2 | V(R2:2) | 169.193 | 0.000 |
| | V(D3:2) | 9.868 | 372.171u |

Fig. 35. Voltajes pico de las señales en la figura 34.

Las figuras 34 y 35 dejan en evidencia la buena aproximación de los cálculos realizados anteriormente respecto al valor de las inductancias para tener control de la tensión primaria y secundaria.

Por otro lado, siguiendo el análisis de las simulaciones, se obtiene lo siguiente:

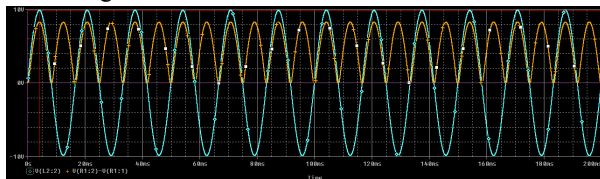


Fig. 36. Señales de voltaje secundario (V_I) y en el resistor de carga (V_O).

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|-----------------|---------|---------|
| | X Values | 4.1676m | 0.000 |
| CURSOR 1,2 | V(L2:2) | 9.872 | 0.000 |
| | V(R1:2)-V(R1:1) | 8.2643 | 2.2305n |

Fig. 37. Voltajes pico de las señales presentadas en la figura 36.

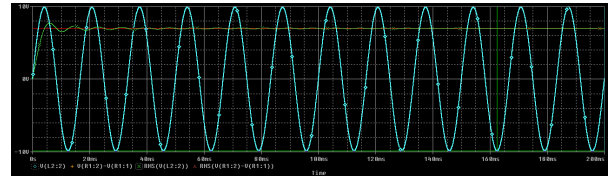


Fig. 38. Señal de voltaje secundario (V_I) y RMS de la misma.

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|--------------|----------|----------|
| | X Values | 200.000m | 162.497m |
| CURSOR 2 | V(L2:2) | -1.8624m | -9.872 |
| CURSOR 1 | RMS(V(L2:2)) | 6.9805 | 6.9791 |

Fig. 39. Voltaje mínimo de V_I y valor aproximado de RMS de la misma.

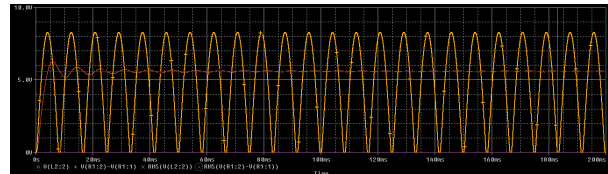


Fig. 40. Señal de voltaje en la carga (V_O) y RMS de la misma.

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|----------------------|----------|----------|
| | X Values | 200.000m | 182.949m |
| | V(R1:2)-V(R1:1) | 55.385n | 201.835m |
| CURSOR 1 | RMS(V(R1:2)-V(R1:1)) | 5.5987 | 5.6046 |

Fig. 41. Voltaje mínimo de V_O y valor aproximado de RMS de la misma.

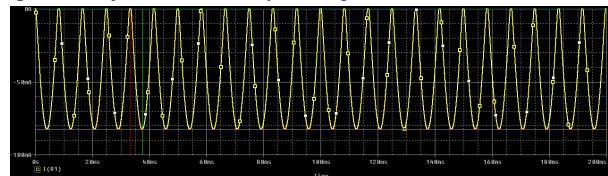


Fig. 42. Señales de corriente en la resistencia de carga del circuito (R_1).

| Trace Color | Trace Name | Y1 | Y2 |
|-------------|------------|-----------|----------|
| | X Values | 33.299m | 37.500m |
| CURSOR 1,2 | I(R1) | -784.551p | -82.668m |

Fig. 43. Corriente pico máxima y mínima en la resistencia de carga.

Ahora, condensando los datos tomados anteriormente, se obtiene lo siguiente:

| Simulación | V_{IPico} | V_{OPico} | $V_{I(DC)}$ | $V_{O(DC)}$ | $V_{I(RMS)}$ | $V_{O(RMS)}$ | $I_{RL(DC)}$ | $I_{P(MAX)}$ |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Rectificador de onda completa | 9.872 V | 8.264 V | 0V | 8.0625 V | 6.9805 V | 5.5987 V | -82.667 mA | -784.551 pA |

Tabla. 4. Valores de simulación del circuito de rectificación de onda completa.

III. CONCLUSIONES

- Tras identificar los principales parámetros de un diodo en su hoja de especificaciones y en su modelo de simulación, se concluye que de los valores presentes ahí, la información que más varía entre los diodos de la familia 1N400X es el voltaje de ruptura inversa. Donde entre mayor sea el valor de X de esa familia, va a soportar mayores voltajes antes de permitir corriente en su polarización inversa. Asimismo, partiendo de esa información, se debe prestar especial atención qué diodo es el adecuado a partir de la aplicación.
- Se verifica el funcionamiento del diodo mediante la simulación de circuitos sencillos que modela la rectificación de media y onda y onda completa. Donde se concluye que la señal de alimentación

altera el correcto funcionamiento o no de la rectificación, así como se pudo observar en el circuito AC con diodo en serie, cuya fuente presentaba componente DC.

- Asimismo, tras realizar los montajes en el simulador Pspice, se pudo corroborar la gran aproximación de los cálculos teóricos, donde los porcentajes de error resultaron ser menores al 1%

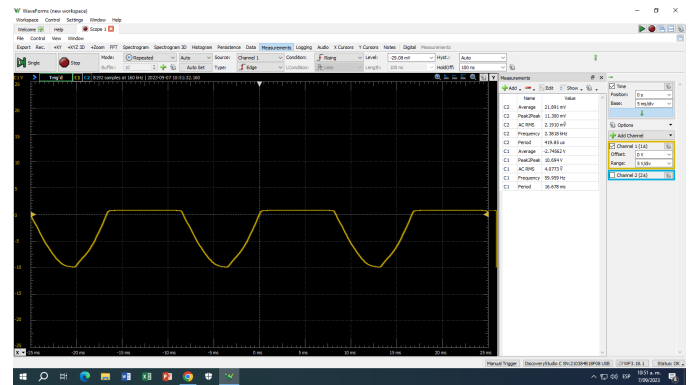
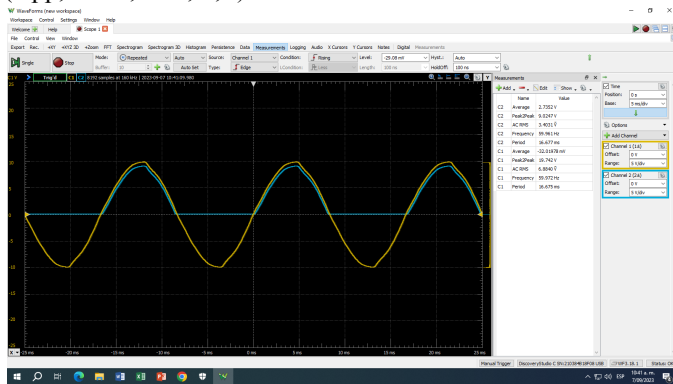
REFERENCES

- [1] Sedra, A., Smith, K. C., Carusone, T. C., & Gaudet, V. (2020). Microelectronic circuits 8th edition.

PUNTO 1:

Secundario “6V con respecto a tierra”:

Superposición de la medida del voltaje en la resistencia y la medida del voltaje en el secundario del transformador. Mida la diferencia entre las dos señales capturadas. (Vpp, Vrms, Vdc, T, f)

**REAL:**

| Señal en Diodo | Vp p | Vrms | Vdc | T | f |
|----------------|----------|--------|----------|---------|-----------|
| Real | 10.677 V | 4.962V | -2.766 V | 16.66ms | 60.024 Hz |
| Simulación | 10.694 V | 4.077V | -2.746 V | 16.67ms | 59.959 Hz |

REAL:

| Señal | Vpp | Vrms | Vdc | T | f |
|-------|--------|--------|----------|---------|---------|
| V_S | 19.74V | 6.884V | -32.02mV | 16.67ms | 59.97Hz |
| V_L | 9.02V | 4.403V | 2.735V | 16.67ms | 59.96Hz |

SIMULACIÓN:

| Señal | Vpp | Vrms | Vdc | T | f |
|-------|--------|--------|---------|---------|---------|
| V_S | 19.74V | 6.979V | 0V | 16.66ms | 60.02Hz |
| V_L | 9.06V | 4.437V | 2.7656V | 16.66ms | 60.02Hz |

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_{pico}^2 (\cos(\omega t))^2 dt}$$

$$V_{pico} = \sqrt{\frac{TV_{rms}^2}{\int_0^{T/2} (\cos(\omega t))^2 dt}} = \sqrt{\frac{TV_{rms}^2}{\left[\frac{T\omega + \sin(T\omega)}{4\omega}\right]}} = \sqrt{\frac{8\pi V_{rms}^2}{2\pi + \sin(2\pi)}} = 8.730V$$

$$V_L(DC) = 2.735V$$

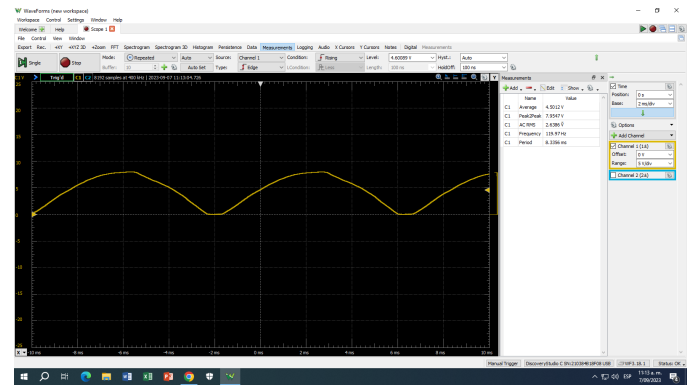
$$V_L(rms) = 4.403V$$

$$i_L(DC) = -\frac{V_L(DC)}{R_L} = -\frac{2.735}{100} = -27.35mA$$

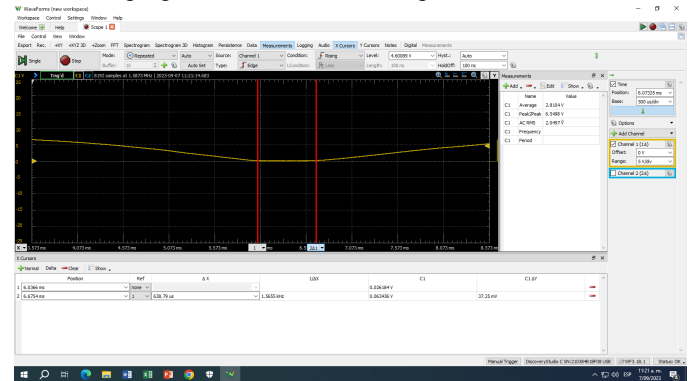
$$i_L(picoMÁX) = -\frac{V_L(pico)}{R_L} = -\frac{8.730}{100} = -87.3mA$$

| Señal simulada | $i_L(DC)$ | $i_L(picoMAX)$ |
|----------------|-----------|----------------|
| Valor | -27.656mA | -90.626mA |

Observe y capture también la forma de onda del voltaje en el diodo

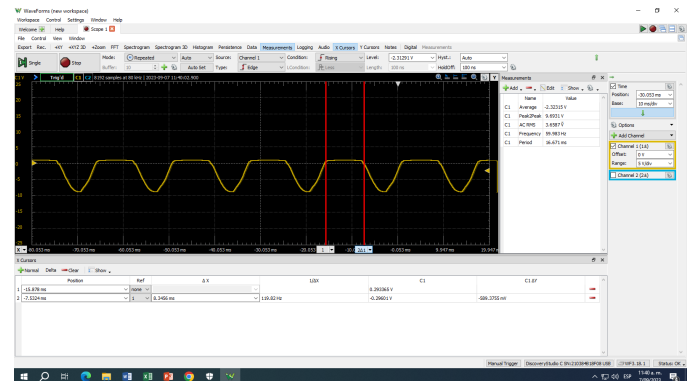


Realice un zoom en el tiempo “muerto” de voltaje cero en la rectificación de onda completa, y mida dicho tiempo. En su informe explique la causa de este tiempo “muerto”.



Voltaje pico a pico de las señales capturadas en cada diodo y mida el tiempo de conducción de un diodo cualquiera. Luego, con este tiempo, calcule el ángulo de conducción de cada diodo.

-D1:



PUNTO 2:

(Vpp, Vrms, Vdc, T, f) de la salida:

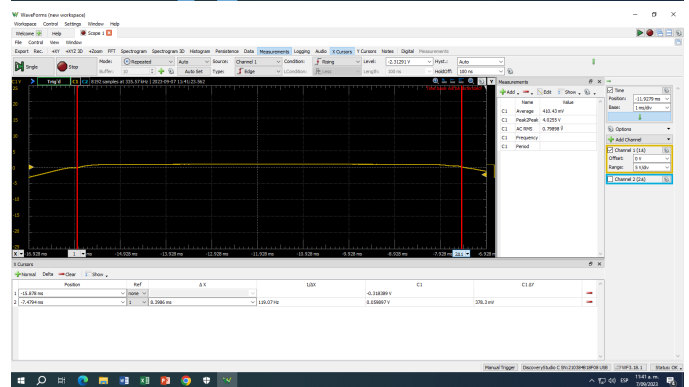
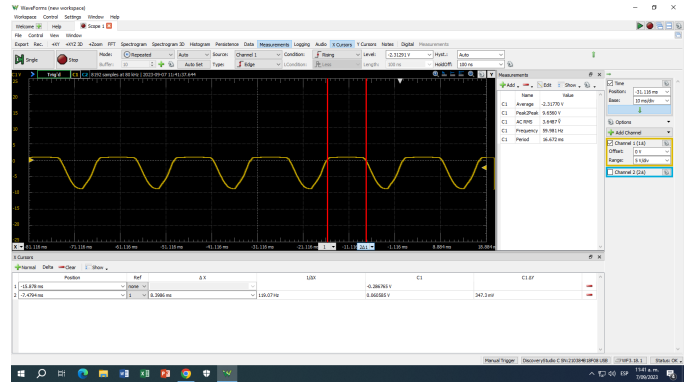
-D2:



-D3:

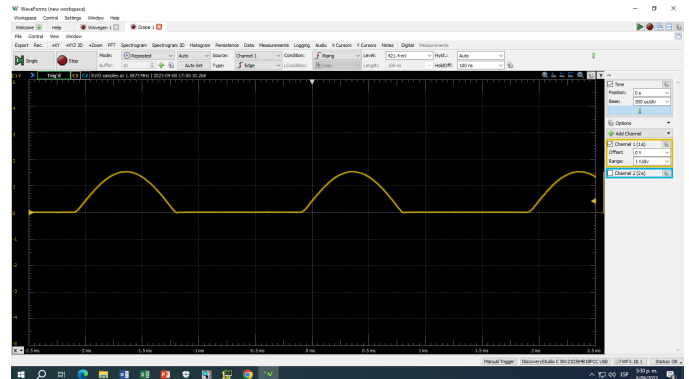


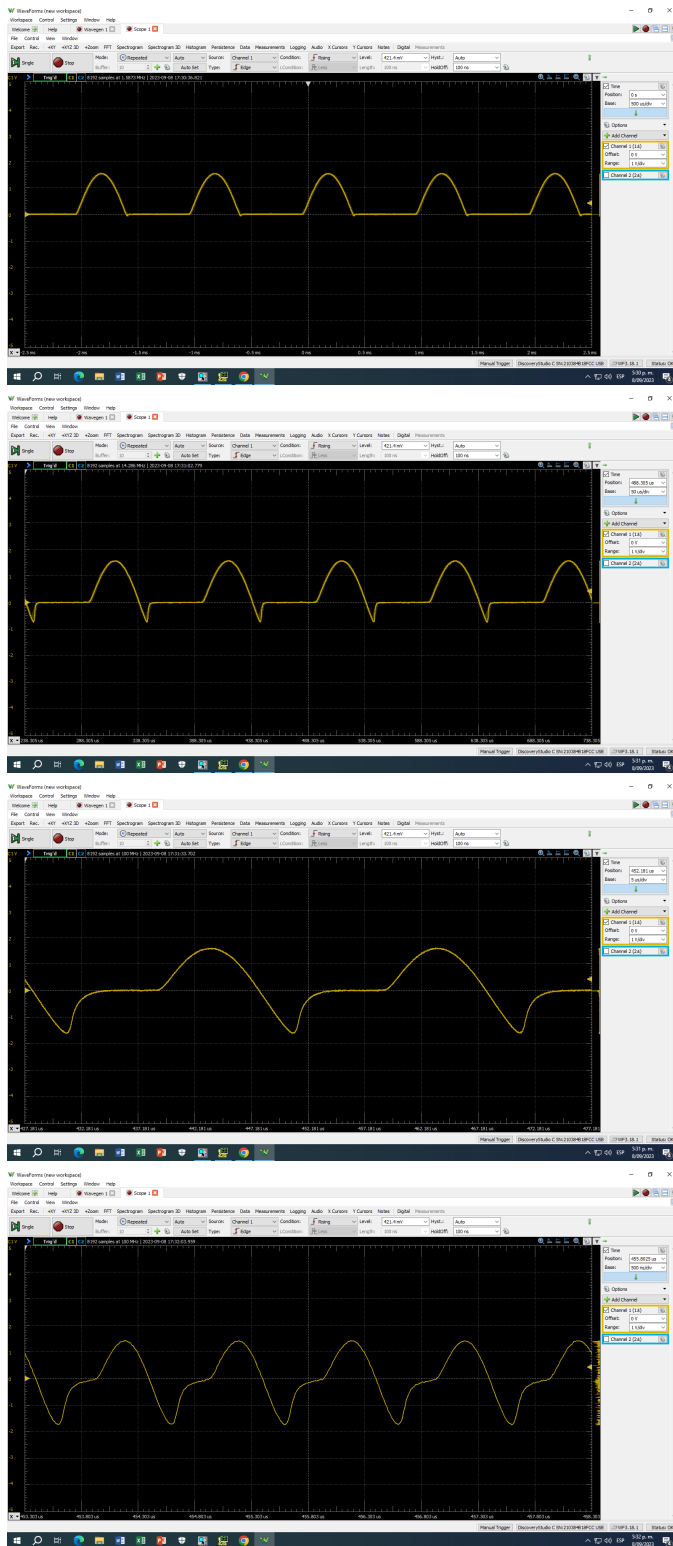
-D4:



PUNTO 3:

Análisis en frecuencia del circuito de rectificación de media onda, y del circuito de rectificación de onda completa, que fueron analizados en esta práctica de laboratorio. (analice cada circuito para las frecuencias de: 10kHz, 50kHz, y 1MHz)





3.2. Explique qué sucede con la rectificación de ambos circuitos para cada frecuencia analizada.
El diodo no es capaz de seguir la onda que entra (genera distorsión por la característica del recovery time)