

**LABORATORIO ELECTRÓNICA ANALÓGICA I**

**PREINFORME PRÁCTICA 1 (DIODO SEMICONDUCTOR)**

**PRESENTA:**

Luis Fernando Torres Torres

C.C.1061820239

Andrés Felipe Rodríguez

C.C 1020496316

**DOCENTE:**

Gustavo Adolfo Patiño Álvarez

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

INGENIERÍA ELECTRÓNICA [00510]

MEDELLÍN – ANTIOQUIA

JUNIO 2022

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1

- Voltaje de conducción ( $V_F$ ): Para poder conducir corriente en dirección hacia adelante, un diodo requiere que se aplique cierta cantidad de voltaje positivo a través de él. El voltaje que se requiere para encender un diodo se llama Voltaje Directo o de Conducción.
- Voltaje de ruptura inversa ( $V_{RRM}$ ): Si una cantidad de voltaje negativo suficientemente grande es aplicada al diodo, este va a ceder y va a permitir que la corriente fluya en el sentido inverso. Este gran voltaje negativo se denomina voltaje de ruptura. Para la mayoría de los diodos, el voltaje de ruptura esta entre los -50V hasta -100V, o incluso valores más negativos.
- Corriente de saturación ( $I_R$ ): Una muy pequeña cantidad de corriente (del orden de los nA), que es capaz de fluir inversamente a través del diodo cuando este está en polarización inversa.
- Capacitancia de unión ( $C_j$ ): la cantidad típica de capacitancia intrínseca a la unión, debido a que la región de agotamiento actúa como un dieléctrico que separa las conexiones del ánodo y del cátodo. Suele ser una cifra muy pequeña, medida en el rango de picofaradios ( $pF$ ).

Especificación	Condiciones de prueba	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007
Voltaje de Ruptura Inversa	T = 25°C	50 V	100 V	200 V	400 V	600 V	800 V	1000 V
Voltaje de Conducción	1.0 A	1.1 V						
Corriente de Saturación	T = 25°C	5.0 $\mu$ A						
	T = 125°C	50 $\mu$ A						
Capacitancia de Unión	4.0 V, 1MHz	15 pF						

### 1.2

- Los siete diodos tienen las mismas características en polarización directa, se observa que el voltaje el cual los diodos comienza a conducir para todos es el mismo.
- La corriente de saturación o corriente de fuga para los siete diodos es la misma, además si la temperatura aumenta esta corriente también aumenta.
- El voltaje de ruptura inversa va aumentando a medida la numeración del diodo aumenta; el diodo 1N4001 tiene 50V de voltaje de ruptura y el 1N4007 tiene un voltaje de ruptura de 1000V.
- Para los siete diodos a condiciones de prueba de 4.0V y frecuencia 1MHz la capacitancia de unión PN es 15pF.

## 2. ANALISIS, DISEÑO Y SIMULACION:

### 2.1 Circuito DC con diodo en serie

#### 2.1.1. Parámetros más relevantes del modelo del diodo 1N4004 en la librería diode.lib

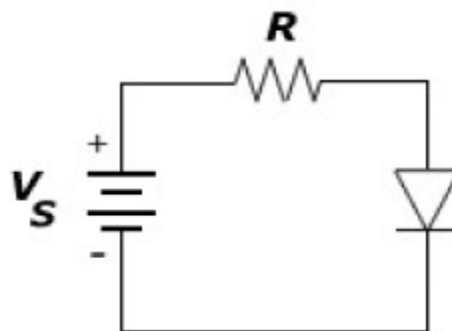
Parámetro	Descripción de Parámetro
<b>IS</b>	Corriente inversa de saturación
<b>CJO</b>	Capacitancia de unión sin tensión
<b>BV</b>	Voltaje de ruptura
<b>VJ</b>	Voltaje de conducción
<b>N</b>	Coeficiente de emisión

Valores de los anteriores parámetros para el diodo 1N4004

Diodo 1N4004	
Parámetro	Valores
<b>IS</b>	$14.11nA$
<b>CJO</b>	$25.89pF$
<b>BV</b>	$600V$
<b>VJ</b>	$0.3245V$
<b>N</b>	1.984

Los anteriores parámetros ya fueron definidos en la sección 2.1.1 a excepción del parámetro N (Coeficiente de emisión) este parámetro da información del material y de la estructura física del diodo.

#### 2.1.2. Simulación en PSPICE del circuito de la figura 1.1, utilizando el diodo **1N4004** y resistencia: **1kΩ**.



**Figura 1.1** Circuito básico para caracterizar un diodo.

A continuación, se muestra el *Netlist* de la simulación del circuito de la figura 1.1.

```
Circuito DC con diodo en serie
V1 1 0 DC 5V
R1 1 2 1000
D1 2 0 D1N4004

.lib DIODE.LIB
*Barrido DC
.DC lin V1 -700V 100V 0.1V
.PROBE
.END
```

### 2.1.3.

Barrido DC del voltaje de entrada y obtención de la curva característica del diodo  $I_D$  vs  $V_D$

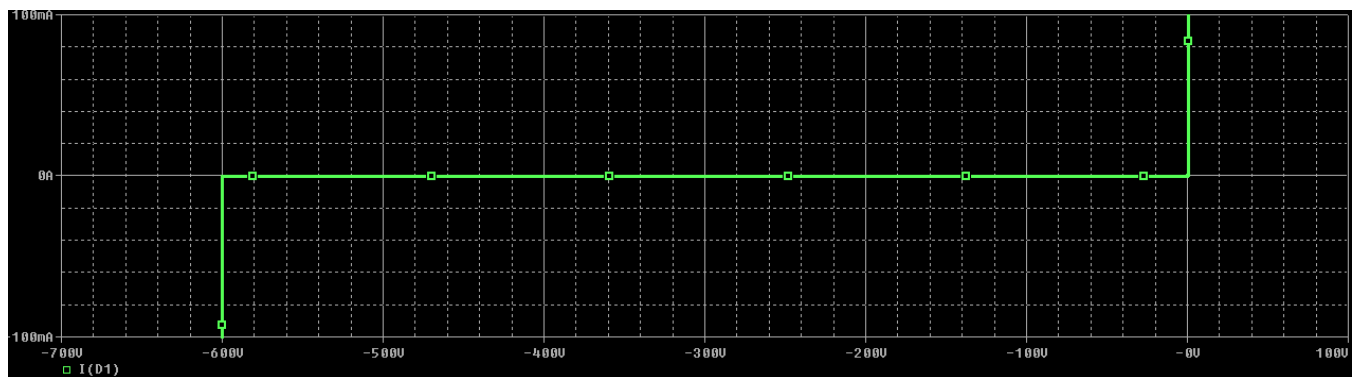


Figura 1.2. Curva característica del diodo (Barrido DC)

- i. Las regiones relevantes de dicha curva característica son: La región de polarización directa (voltaje aproximadamente mayor a 0.7V), la región de polarización inversa (aproximadamente menor a cero hasta -600 V) y la región de ruptura (voltaje menor a -600 V)

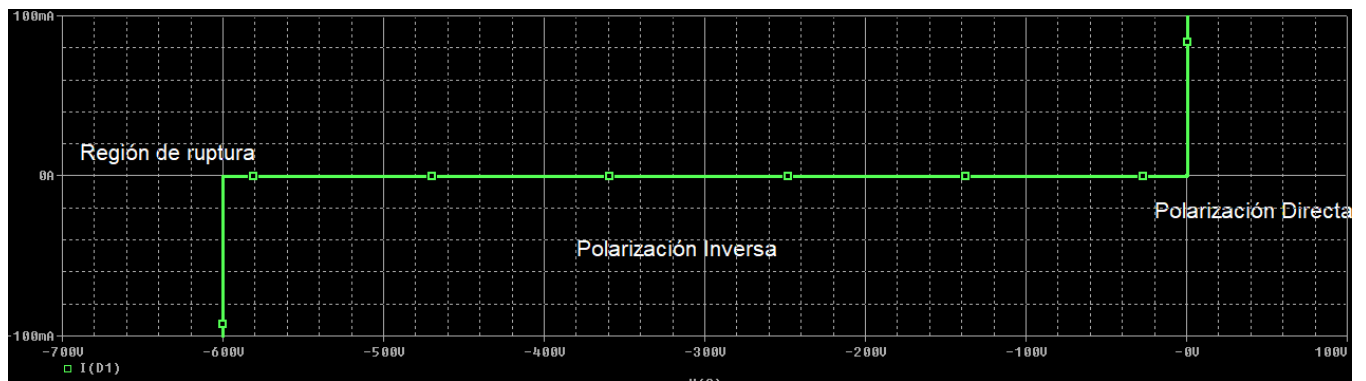


Figura 1.3. Regiones de funcionamiento del diodo.

- ii. Cuando el voltaje es menor a  $600\text{ V}$  está en la región de ruptura y la corriente en el circuito es negativa. Luego, cuando el diodo se encuentra en polarización inversa, el diodo actúa como un circuito abierto, es decir la corriente tiene un valor constante de cero. Luego llega hasta polarización directa, donde comienza a conducir corriente y mientras el voltaje aumenta la corriente también lo hace
- iii. Corriente  $I_D$  cuando el voltaje en el diodo  $V_D$  es  $0.7\text{V}$

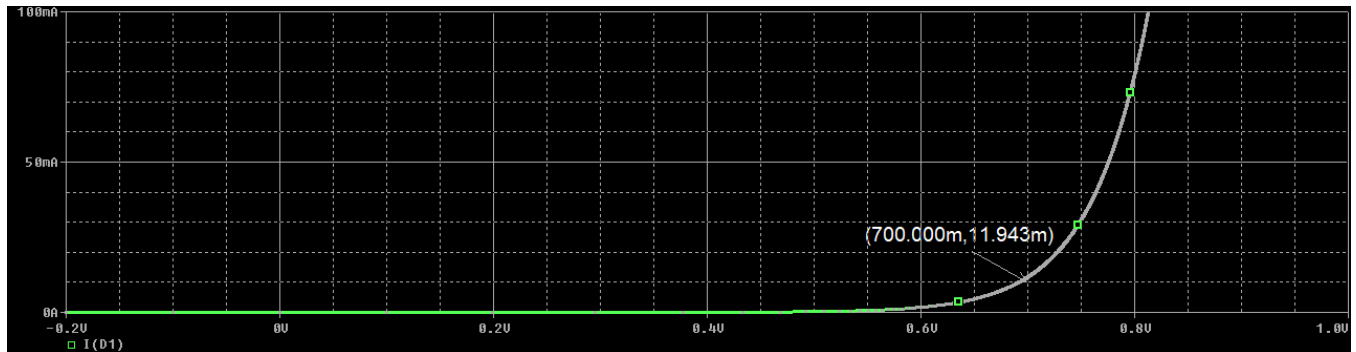


Figura 1.4. Corriente del diodo cuando el voltaje es  $700\text{mV}$

Voltaje $V_D$	Corriente $I_D$
$700\text{mV}$	$11.943\text{mA}$

- iv. Cálculo de la corriente  $I_d$  cuando  $V_D$  es  $0.7\text{V}$

Valores de los parámetros consultados para el diodo 1N4004

$$I_s = 14.11\text{nA} ; n = 1.984 ; V_T = 25.8\text{mV} ; V_D = 520.5\text{mV}$$

$$I_d = I_s e^{\frac{V_D}{nV_T}} = 12.16\text{mA}$$

## 2.2. Circuito AC con diodo en serie

2.2.1. El circuito de la figura 2.1. tiene **D1N4004**,  $V_s = 5\text{V}_{DC} + 10\sqrt{2}\text{V}_{pico}$  a  $60\text{Hz}$  y  $R_L = 1\text{k}\Omega$

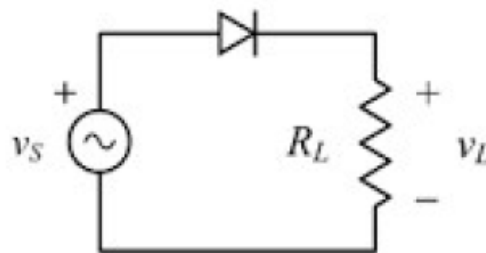


Figura 2.1. Circuito rectificador

i. Cálculo teórico de la corriente pico máxima y mínima esperadas en el circuito según análisis realizados

- El voltaje pico máximo es  $V_{p+} \cong 19.142$

Para encontrar la corriente máxima se parte de la corriente pico de la siguiente manera:

$$I_{p+} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_{p+} - 0.7}{1000} = 18.442mA$$

- El voltaje pico mínimo es  $V_{p-} \cong -9.142$

En este caso la corriente es  $I_{p-} = 0V$  porque el diodo está en polarización inversa y no conduce corriente.

ii. Simulación en PSPICE

```

Circuito AC con diodo en serie
V1 1 0 SIN(5V 14.14V 60hz 0 0 0)
R1 2 0 1000
D1 1 2 D1N4004

.lib DIODE.LIB
*Análisis en tiempo
.TRAN 35u 35m 0 35u
.PROBE
.END
  
```

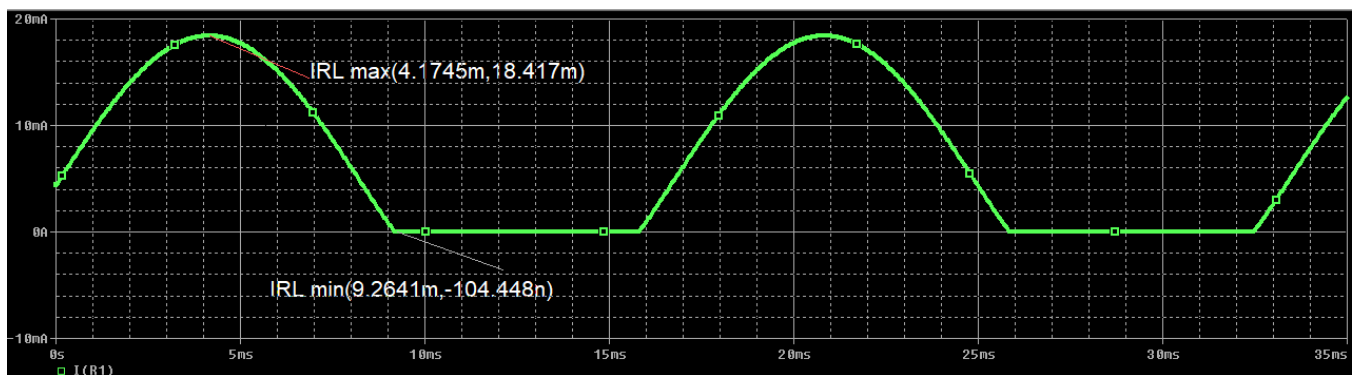


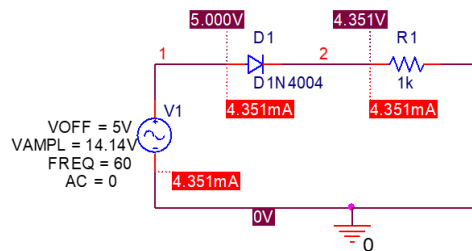
Figura 2.2. Corriente máxima y mínima en la resistencia de carga.

A partir de la gráfica de la simulación se obtiene los siguientes valores:

$$i_{RL_{max}} = 18.417mA \quad ; \quad i_{RL_{min}} = -104.448nA$$

Se puede observar que la corriente  $i_{RL_{max}} = 18.442mA$  (calculada teóricamente) es demasiado cercana a la corriente encontrada con la simulación y la corriente  $i_{RL_{min}}$  también muy cercana ya que la magnitud de la corriente encontrada en la simulación es prácticamente despreciable, se puede aproximar a 0.

### iii. Obtención del punto de operación



Nodo 1: 5V  
Nodo 2: 4.351V  
Corriente por Diodo: 4.351mA  
Corriente por Resistor: 4.351mA

### iv. Obtención de graficas del voltaje $v_{RL}$ y el voltaje $v_D$ , Voltaje $v_{RL}$

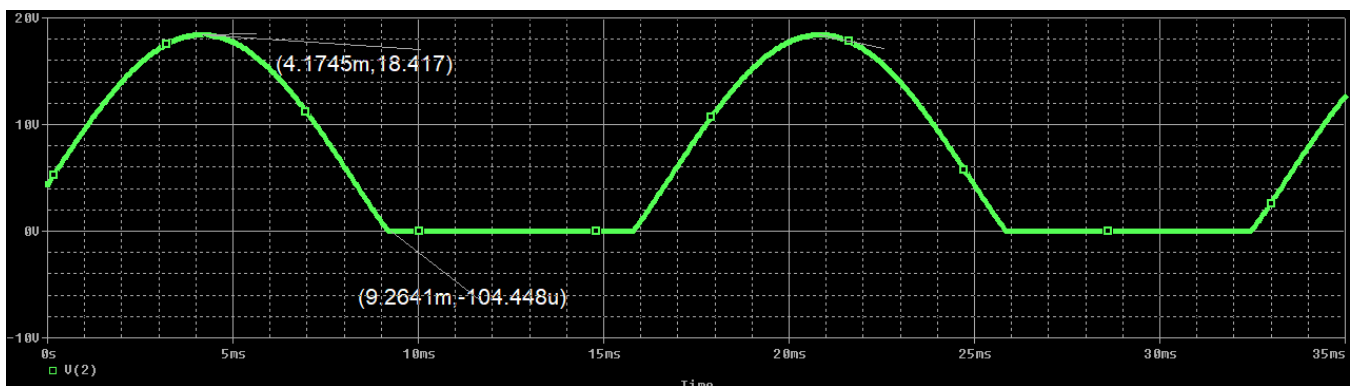


Figura 2.3. Voltaje en el resistor con valor máximo y mínimo

### Voltaje $v_D$

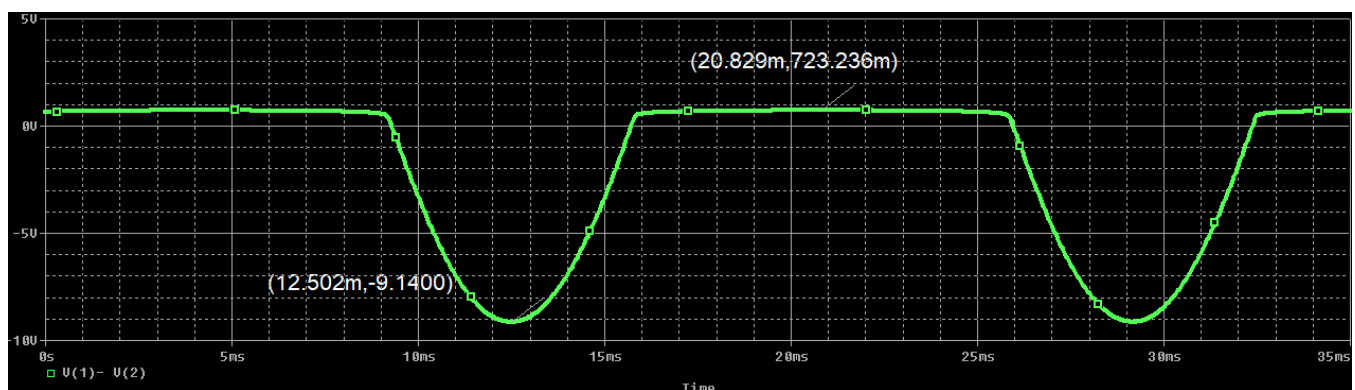


Figura 2.4. Voltaje en el resistor con valor máximo y mínimo

En los resultados obtenidos en el punto de operación se observa que el voltaje entre el nodo 1 y 2 es de 0.649V, esto corresponde a la caída del voltaje del nodo 1 al voltaje 2 que es el voltaje de operación (aproximadamente 0.7V). Si observamos la figura 2.4 vemos que el voltaje en el diodo (voltaje entre 1 y 2) es de 0.723236V. Si sumamos este valor al máximo valor del voltaje en el resistor se obtiene el valor máximo del voltaje de entrada. Es decir, si se suma la señal del voltaje en el diodo y la señal de voltaje en el resistor se obtiene la señal del voltaje de entrada.

- v. Como el voltaje de entrada en  $t=0s$  es igual a 5V en la salida habrá aproximadamente 4.7V y a medida que el tiempo la señal de voltaje de salida irá creciendo sobre ese punto, y esto hace que no sea de rectificación de media onda. Para que sea una rectificación de media onda en  $t=0s$  la fuente tiene que entregar 0V.

2.2.2. Elimine ahora el voltaje DC en la fuente de entrada, de modo que el voltaje  $V_s = 10\sqrt{2}V_{pico}$  a 60Hz y  $R_L = 1000\Omega$

- i. Cálculo teórico de la corriente pico máxima y mínima esperadas en el circuito

- El voltaje pico máximo es  $V_{p+} \cong 14.142$

Para encontrar la corriente máxima se parte de la corriente pico de la siguiente manera:

$$I_{p+} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_{p+} - 0.7}{1000} = 13.442mA$$

- El voltaje pico mínimo es  $V_{p-} \cong -14.142$

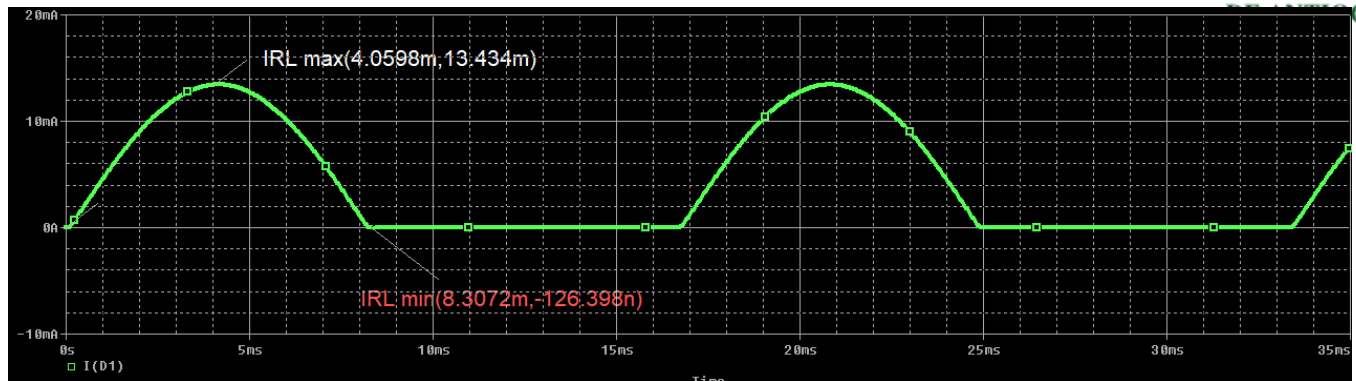
En este caso la corriente es  $I_{p-} = 0V$  porque el diodo está en polarización inversa y no conduce corriente.

- ii. Simulación en PSPICE

```
Circuito AC con diodo en serie
V1 1 0 SIN(0 14.14V 60hz 0 0 0)
R1 2 0 1000
D1 1 2 D1N4004

.lib DIODE.LIB
*Análisis en tiempo
.TRAN 35u 35m 0 35u
.PROBE
.END
```





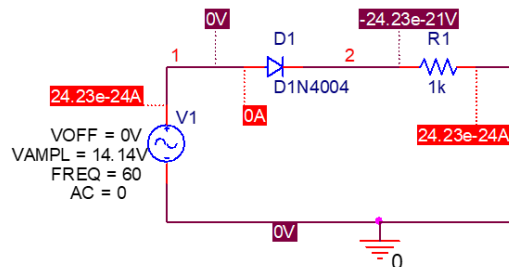
**Figura 2.5.** Corriente máxima y mínima en la resistencia de carga.

Se obtiene que los valores de las corrientes:

$$i_{RL_{max}} = 13.434mA \quad ; \quad i_{RL_{min}} = -126.398nA$$

Se puede observar que la corriente  $i_{RL_{max}} = 13.442mA$  (calculada teóricamente) es cercana a la corriente encontrada con la simulación  $i_{RL_{max}} = 13.434mA$  y la corriente  $i_{RL_{min}}$  la simulación tiene un valor tan pequeño que puede considerarse cero.

iii. Obtención del punto de operación



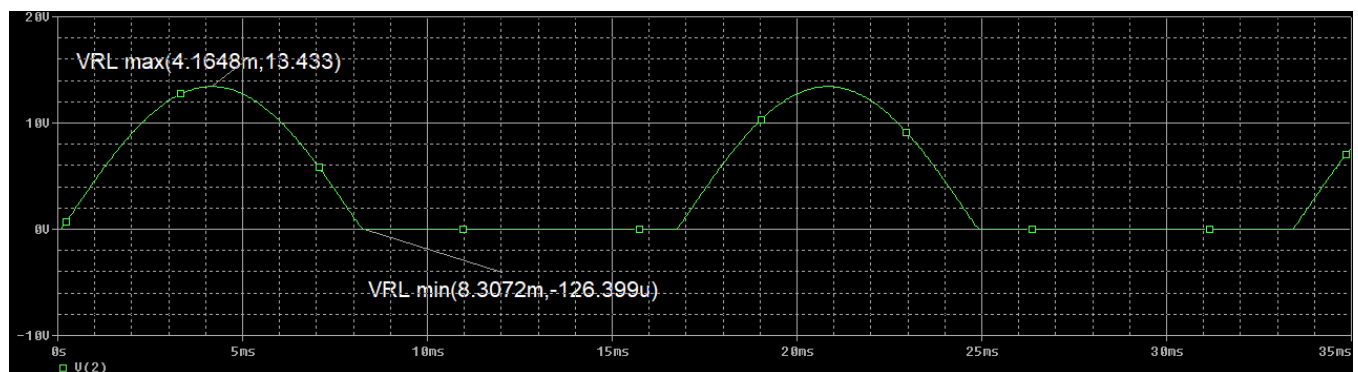
Nodo 1: 0V

Nodo 2: -24.23e-21V = 0V

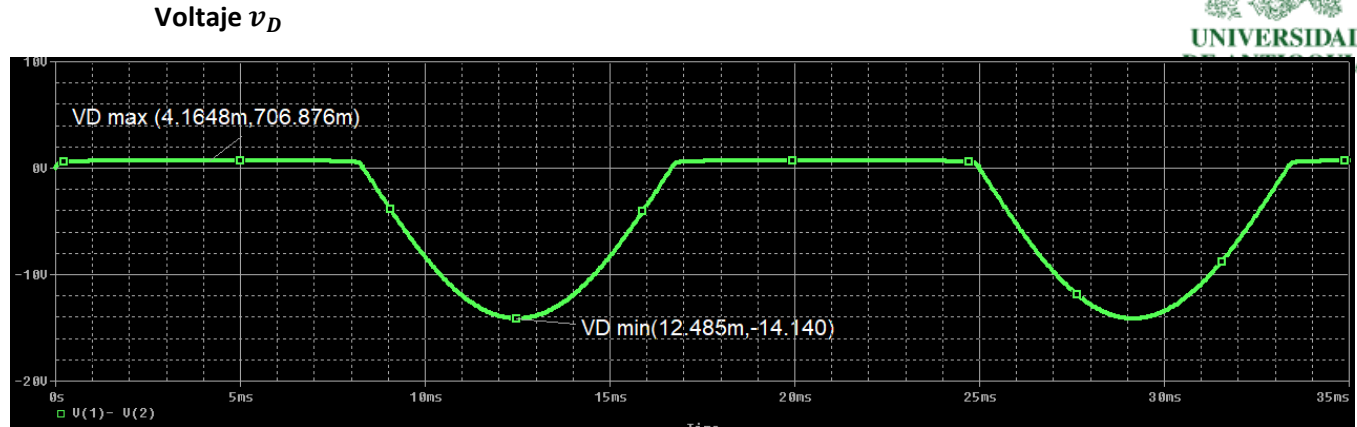
Corriente por Diodo: 24.23e-24A = 0A

Corriente por Resistor: 24.23e-24A = 0A

iv. Graficas del voltaje  $v_{RL}$  y  $v_D$  **Voltaje  $v_{RL}$**



**Figura 2.6.** Voltaje en el resistor con valor máximo y mínimo



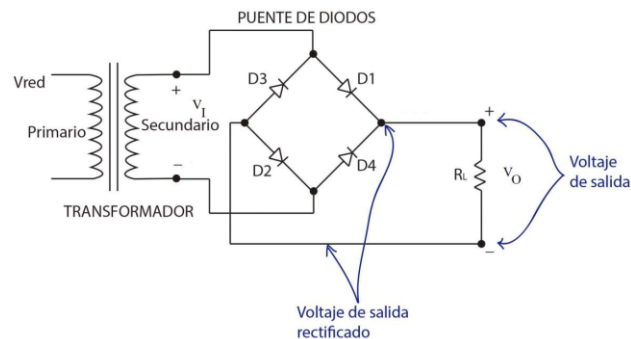
**Figura 2.7.** Voltaje en el diodo con valor máximo y mínimo

Se observa que en el nodo 1 el voltaje es 0V debido a que en  $t=0s$  el voltaje de entrada es 0V por lo tanto el diodo no es capaz de conducir corriente y el voltaje en el resistor es 0V. De la figura 2.7 se puede observar que a medida que pasa el tiempo el diodo ya conduce y el voltaje en el resistor toma la forma de onda del voltaje de entrada con la diferencia del voltaje que hay en el diodo.

Si se compara la figura 2.2 y la figura 2.6. se puede observar que para el primer caso la señal no es de rectificación de media onda debido al voltaje DC, en el tiempo  $t=0s$  se observa que comienza aproximadamente en 4.3V mientras que en el segundo caso es posible observar la rectificación de media onda debido a que el voltaje no tiene nivel DC. El voltaje en el resistor, en la figura 2.3 es como si estuviese en offset de 5v a la figura 2.6, pero esto solo aplica en el semiciclo positivo es decir donde hay corriente que pase por el resistor.

### 3. SIMULACIÓN DE CIRCUITO RECTIFIADOR:

**3.1.** Simulación en PSPICE del circuito de la figura 3.1, considerando un transformador cuyo voltaje en el primario sea de 120Vrms a 60 Hz y el voltaje de salida en el secundario sea de 10Vrms, con diodos 1N4004 y un resistor de 1K $\Omega$



**Figura 3.1.** Circuito rectificador de onda completa

```

Rectificador

VP 1 0 SIN (0 170 60HZ 0 0 0)
L1 2 0 722.4M
L2 3 0 5M

KTRANS L1 L2 0.9999

D1 3 4 D1N4004
D2 5 0 D1N4004
D3 5 3 D1N4004
D4 0 4 D1N4004
RP 1 2 5U
RL 4 5 1000

.lib diode.lib
.PROBE
.TRAN 35u 35m 0 35u
.END

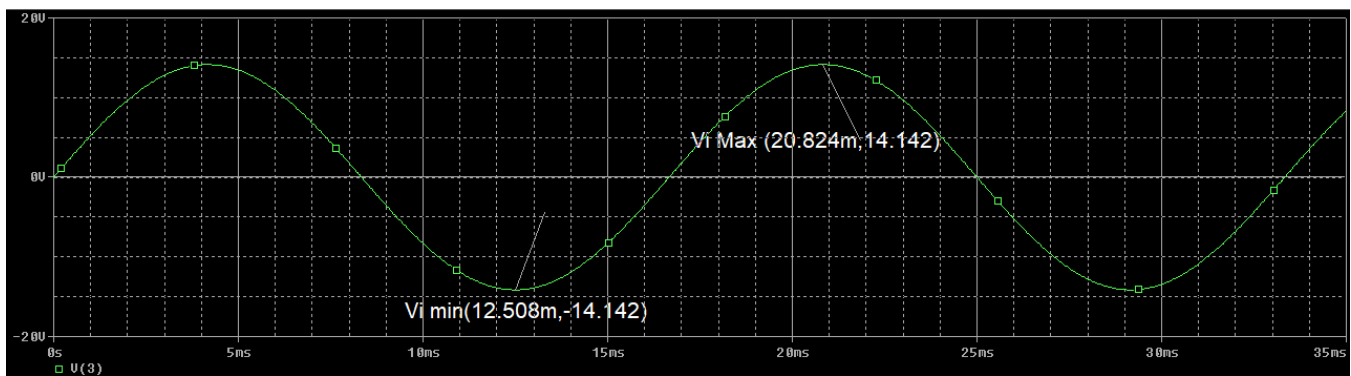
```

Netlist simulación Circuito rectificador de onda completa.

### 3.2. Graficas voltajes

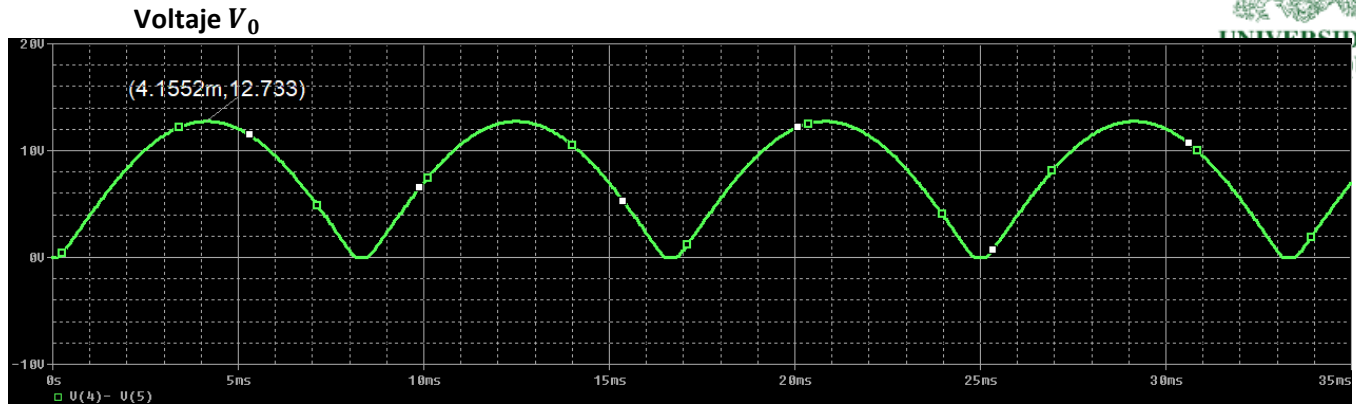
Recordando que para el rectificador de onda completa:  $V_{DC} = \frac{2V_p}{\pi}$  ;  $V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$

**Voltaje  $V_I$**



**Figura 3.2.** Voltaje del secundario del transformador ( $V_I$ )

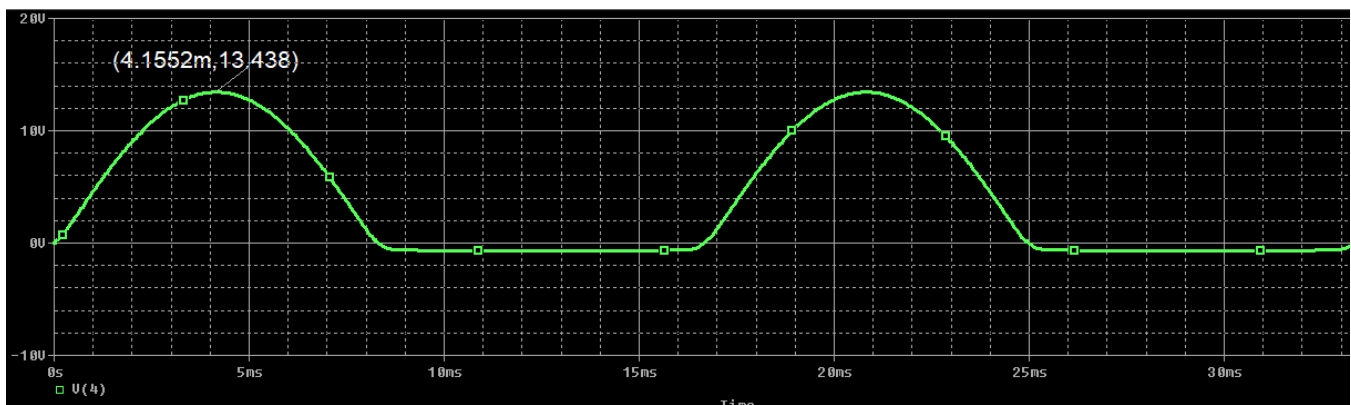
$$V_{IP} = 14.142V \quad ; \quad V_{IDC} = 0V \quad ; \quad V_{IRMS} = 10V$$



**Figura 3.3.** Voltaje en el resistor de carga ( $V_0$ )

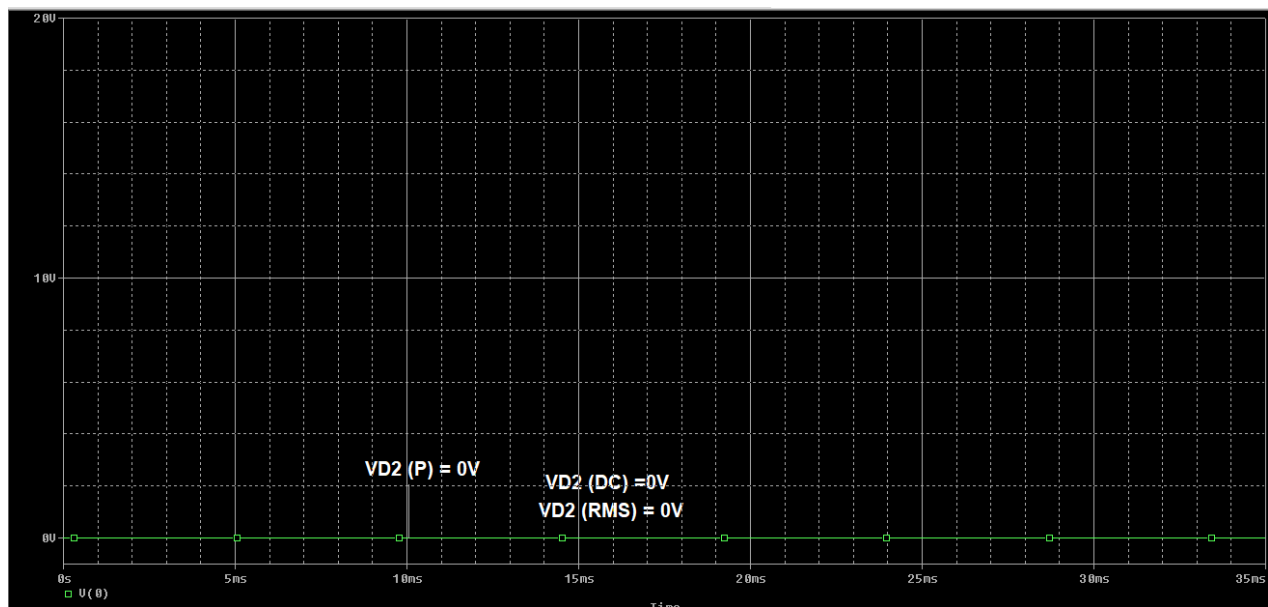
$$V_{OP} = 12.733V \quad ; \quad V_{ODC} = 8.106V \quad V_{ORMS} = 9.003V$$

Para el diodo 1:



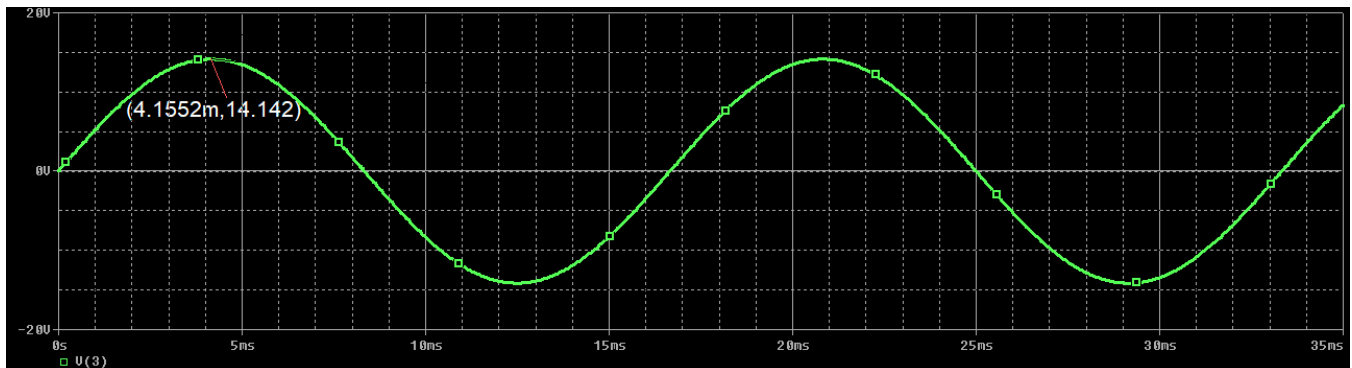
**Figura 3.4.** Voltaje en la salida de D1.

Para el diodo 2:



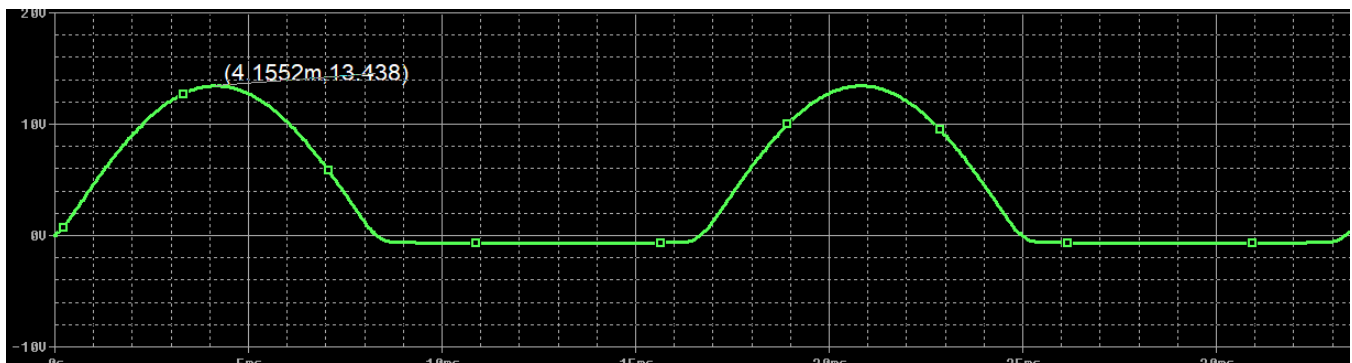
**Figura 3.5.** Voltaje en la salida de D2.

Para el diodo 3:



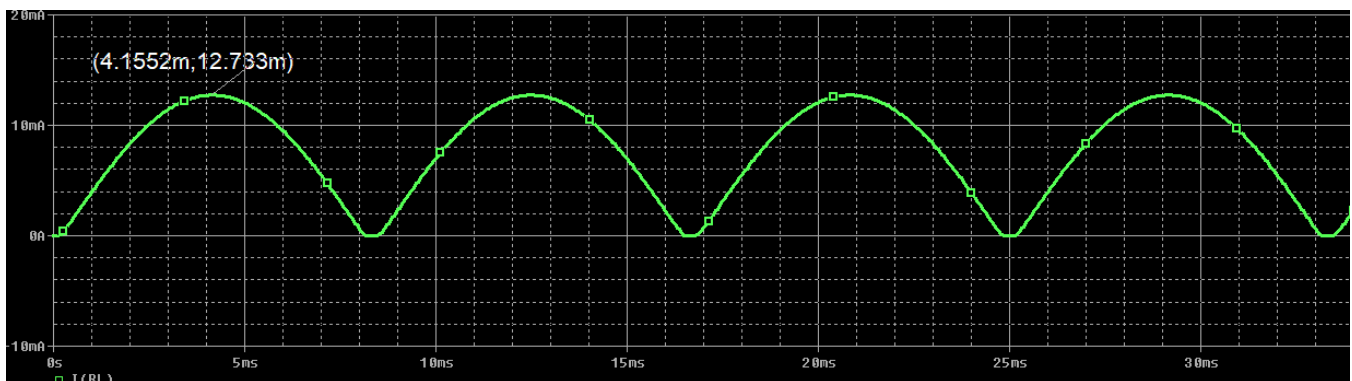
**Figura 3.6.** Voltaje en la salida de D3.

Para el diodo 4:



**Figura 3.7.** Voltaje en la salida de D4.

### 3.3. Corriente en resistencia de carga



**Figura 3.8.** Corriente pico máxima en la resistencia de carga

$$I_{RL\ DC} = \frac{2I_{p\ max}}{\pi} = \frac{2(12.733m)}{\pi} = 8.106mA$$

Simulación	$V_{I\ P}$	$V_{O\ P}$	$V_{I\ DC}$	$V_{O\ DC}$	$V_{I\ RMS}$	$V_{O\ RMS}$	$I_{RL\ DC}$	$I_{P\ max}$
Rectificador de onda completa	14.142V	12.7.33V	0V	8.106V	10V	9.003V	8.106mA	12.733mA

**Tabla 1.** Valores de simulación Pico, DC y RMS de entrada (Vi) y Salida (Vo), así como la corriente en la carga.