

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

LABORATORIO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS I

---

## Rectificadores de media onda y onda completa

---

*Profesor*

Ing. Juan Pablo VIZCARDO ZUNIGA

*Alumno*

Edison ABADO ANCCO

*Código*

145012

*Correo*

145012@unsaac.edu.pe

14 de agosto de 2021

## **Resumen**

Un diodo es un componente electrónico formado por la unión PN, y tiene la funcionalidad que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido, bloqueando el paso si la corriente circula en sentido contrario, esto hace que el diodo tenga dos posibles posiciones: una a favor de la corriente (polarización directa) y otra en contra de la corriente (polarización inversa). Los rectificadores de onda son circuitos con diodos que permiten convertir la corriente alterna en corriente continua. Atendiendo al tipo de rectificación, pueden ser de media onda, cuando solo se utiliza uno de los semiciclos de la corriente, o de onda completa, donde ambos semiciclos son aprovechados.

# 1. Obtenga las siguientes relaciones teóricas para el rectificador de media onda

## 1.1. Valor medio y eficaz de Tensión

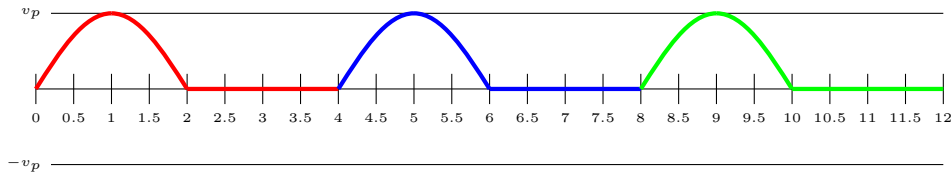
El valor medio desde el punto de vista matemático es la integral de una determinada señal en un periodo dividida sobre el mismo periodo:

$$v_m = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (1)$$

El valor eficaz o rms de una señal periódica de voltaje o de corriente es aquel que produce la misma potencia media que una señal dc sobre carga resistiva. La función matemática que define el valor eficaz de una señal es la siguiente:

$$v_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} \quad (2)$$

Dado que para una onda senoidal, y una rectificación de onda tendrá la forma:



su ecuación es:

$$f(t) = \begin{cases} v_p \sin(\omega t) & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ 0 & \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases} \quad (3)$$

El valor medio de la tensión de carga  $v_m$  está dado por:

$$v_m = \frac{v_p}{\pi} \quad (4)$$

El valor eficaz  $v_{ef}$  estará dado por:

$$v_{ef} = \frac{v_p}{2} \quad (5)$$

Cuando se considere la tensión umbral del diodo  $V_k$ , y esta sea  $v_k \ll v_m$ , entonces la tensión promedio estará dado por:

$$v_m = \frac{v_p - v_k}{\pi} \quad (6)$$

El valor eficaz  $v_{ef}$  estará dado por:

$$v_{ef} = \frac{v_p - v_k}{2} \quad (7)$$

## 1.2. Valor medio y eficaz de Corriente

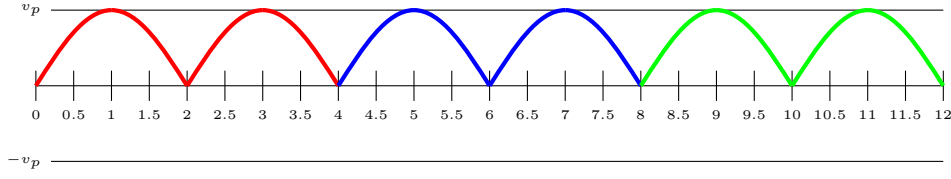
Por la ley de Ohm, la corriente media está dada por:

$$i_m = \frac{v_m}{R_L} \quad (8)$$

Y la corriente eficaz estará dado por:

$$i_{ef} = \frac{v_{ef}}{R_L} \quad (9)$$

## 2. Obtenga las siguientes relaciones teóricas para el rectificador de onda completa



cuya ecuación es:

$$v(t) = |v_p \sin(\omega t)| \quad (10)$$

### 2.1. Valor medio y eficaz de Tensión

El valor medio de la tensión de carga  $v_0$  está dado por:

$$v_m = 2 \frac{v_p}{\pi} \quad (11)$$

El valor eficaz  $v_{ef}$  estará dado por:

$$v_{ef} = \frac{v_p}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

Cuando se considere la tensión umbral del diodo  $V_k$ , y esta sea  $v_k \ll v_m$ , entonces la tensión promedio estará dado por:

$$v_m = 2 \frac{v_p - 2v_k}{\pi} \quad (13)$$

El valor eficaz  $v_{ef}$  estará dado por:

$$v_{ef} = \frac{v_p - 2v_k}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

### 2.2. Valor medio y eficaz de Corriente

Por la ley de Ohm, la corriente media está dada por:

$$\overline{i_m} = 2 \frac{\overline{v_m}}{R_L} \quad (15)$$

Y la corriente eficaz estará dado por:

$$i_{ef} = 2 \frac{v_{ef}}{R_L} \quad (16)$$

## 3. Armar el siguiente circuito para encontrar el voltaje umbral del diodo por defecto de LTSpice

Para poder ver el voltaje por defecto del diodo, nos fijamos en la figura (1), donde nos muestra una tensión  $v_k = 0,7177V$

## 4. Encontrar el voltaje umbral del diodo 1N4004

Una vez agregado la librería del diodo, la incluimos en nuestro esquemático y medimos la tensión entre ánodo y cátodo. Con ello podemos encontrar una tensión umbral  $v_k = 0,635V$  como se muestra en la figura (2)

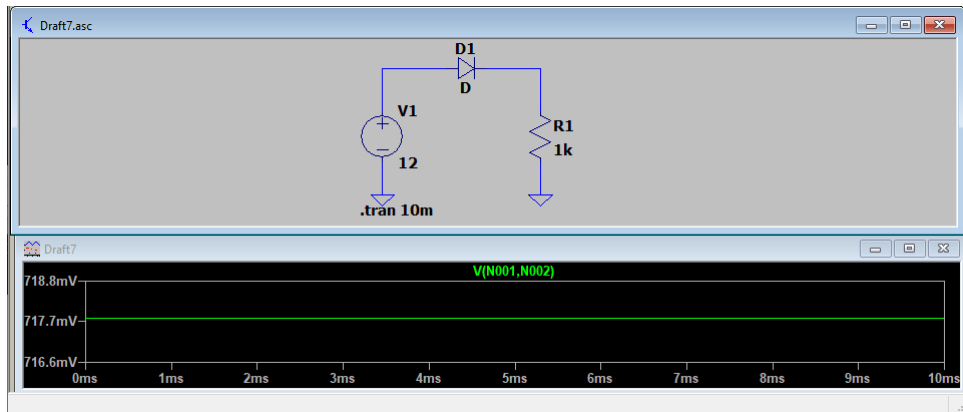


Figura 1: Tensión umbral por defecto del diodo el LTSpice

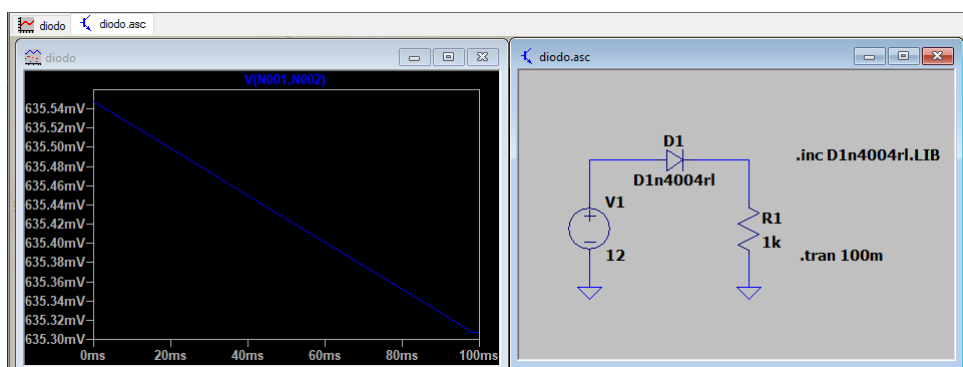


Figura 2: Tensión umbral del diodo D1n4004rl, en la imagen se muestra su valor con respecto al tiempo, pero coonsiderese la escala.

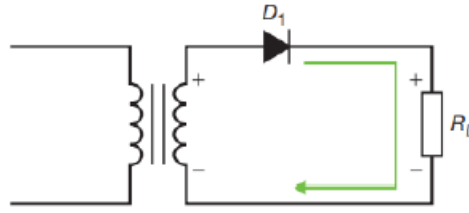


Figura 3: Enunciado de la pregunta 5.

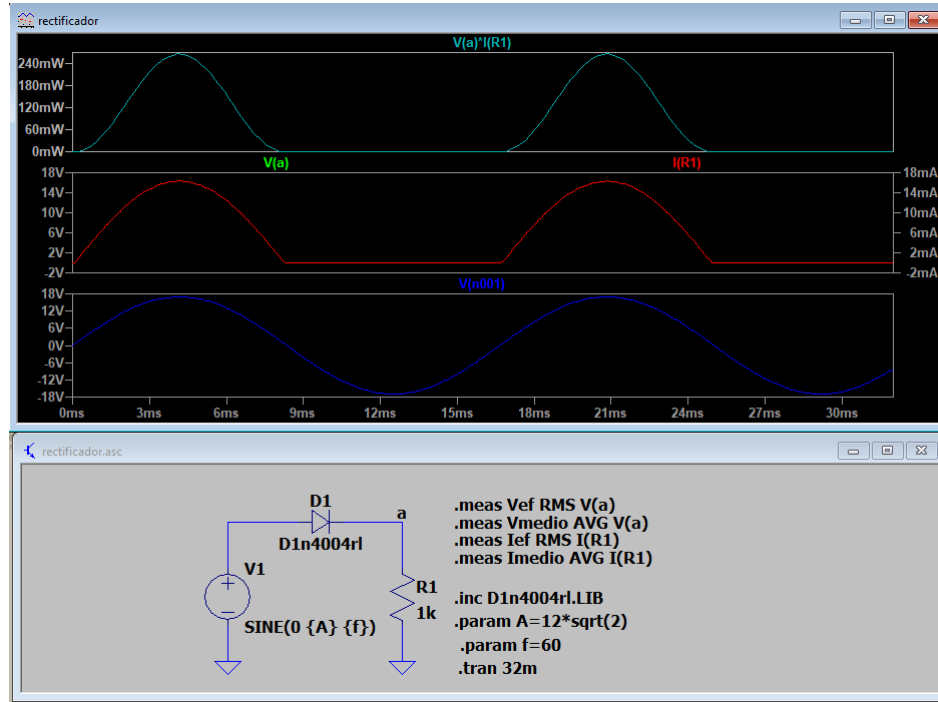


Figura 4: Gráfico del rectificador de media onda para la pregunta 5, usando la directiva `.meas`. Se puede ver valores de Tensión, corriente y **potencia**.

## 5. Para el siguiente circuito rectificador de media onda

Dado el circuito de la figura (3), podemos hallar los valores pedidos usando la directiva `.meas` como se muestra en la figura (4)

Viendo en la ventana de **error** Log veremos lo siguiente:

- $v_{L,m,lab}$ :  $AVG(v(a))=6.86744$  FROM 0 TO 0.032
- $v_{L,ef,lab}$ :  $RMS(v(a))=7.78817$  FROM 0 TO 0.032
- $i_{L,ef,lab}$ :  $RMS(i(r1))=0.119818$  FROM 0 TO 0.032
- $i_{L,m,lab}$ :  $AVG(i(r1))=0.105653$  FROM 0 TO 0.032

Todos estos valores están dados en el S.I. de unidades.

### 5.1. Análisis teórico

Se tiene como entrada una señal de  $v_i = V_{i_{RMS}} \sqrt{2} \sin(2\pi ft)$ , como dato tenemos  $V_{i_{RMS}} = 12V$  y  $f = 60Hz$ , para los valores en la carga tendríamos lo siguiente:

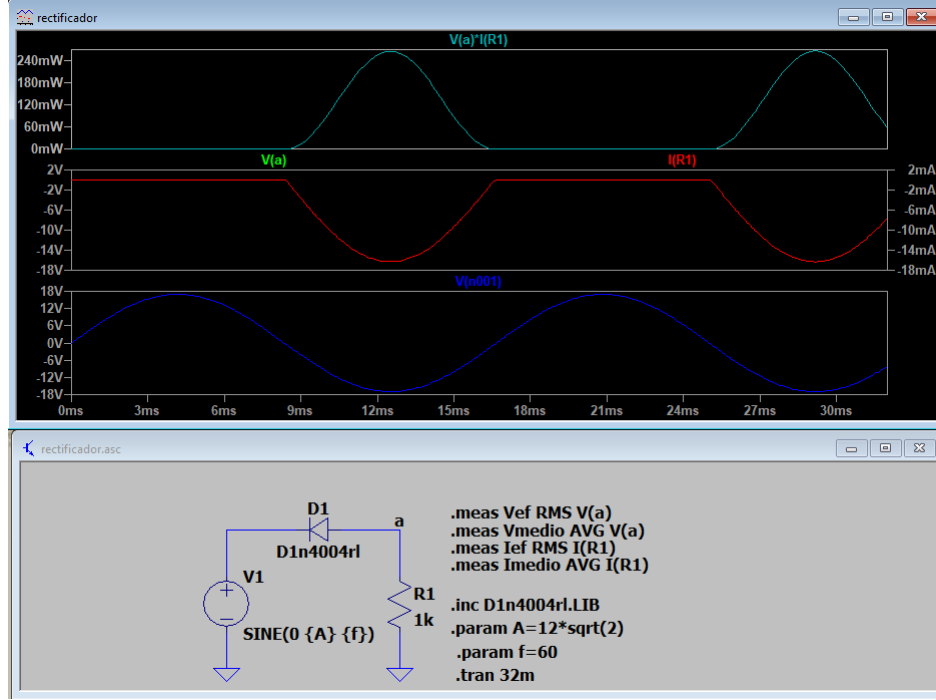


Figura 5: Gráfico del rectificador de media onda con el diodo invertido para la pregunta 6, usando la directiva `.meas`. Se puede ver valores de Tensión, corriente y **potencia**.

$$v_{L,m,teorico} = 2 \frac{V_{i_{RMS}} \sqrt{2} - 2v_k}{\pi} = 2 \left( \frac{9\sqrt{2} - 2(0,635)}{\pi} \right) = 7,29433V \quad (17)$$

$$v_{L,ef,teorico} = \frac{V_{i_{RMS}} \sqrt{2} - 2v_k}{\sqrt{2}} = \frac{9\sqrt{2} - 2(0,635)}{\sqrt{2}} = 8,10197V \quad (18)$$

$$i_{L,ef,teorico} = \frac{v_{L,ef,teorico}}{R_L} = \frac{8,10197}{65} = 8,16778mA \quad (19)$$

$$i_{L,m,teorico} = \frac{v_{L,m,teorico}}{R_R} = \frac{7,29433}{65} = 5,19977mA \quad (20)$$

Por lo que el error experimental con respecto al teórico está dado por:

$$\varepsilon_{v_{L,m}} \% = \left| \frac{v_{L,m,lab} - v_{L,m,teorico}}{v_{L,m,teorico}} \right| = \left| \frac{5,19977 - 5,30879}{5,19977} * 100 \right| = 2,0966 \% \quad (21)$$

$$\varepsilon_{v_{L,ef}} \% = \left| \frac{v_{L,ef,lab} - v_{L,ef,teorico}}{v_{L,ef,teorico}} \right| = \left| \frac{8,24671 - 8,16778}{8,16778} * 100 \right| = 0,96636 \% \quad (22)$$

$$\varepsilon_{i_{L,ef}} \% = \left| \frac{i_{L,ef,lab} - i_{L,ef,teorico}}{i_{L,ef,teorico}} \right| = \left| \frac{8,24671m - 8,16778m}{8,16778m} * 100 \right| = 0,96636 \% \quad (23)$$

$$\varepsilon_{i_{L,m}} \% = \left| \frac{i_{L,m,lab} - i_{L,m,teorico}}{i_{L,m,teorico}} \right| = \left| \frac{5,19977m - 5,30879m}{5,19977m} * 100 \right| = 2,0966 \% \quad (24)$$

## 6. Para el circuito anterior, invertir el sentido del diodo, visualizar la forma de onda de voltaje en la carga.

Para ello tan solo invertimos el diodo, y simulamos en el mismo circuito. El resultado se verá en la figura (5)

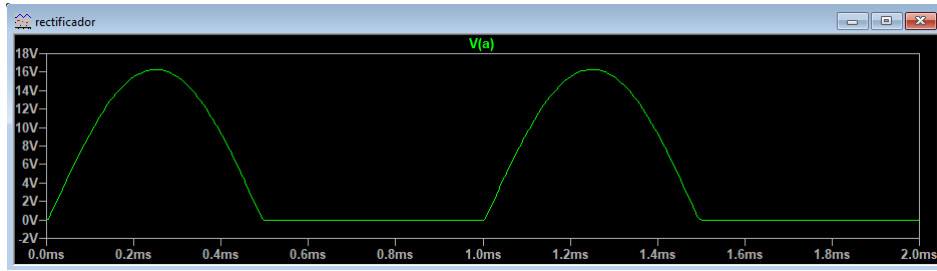


Figura 6: Gráfico de tensión para  $1KHz$  con Stop Time de  $2m$  segundos.

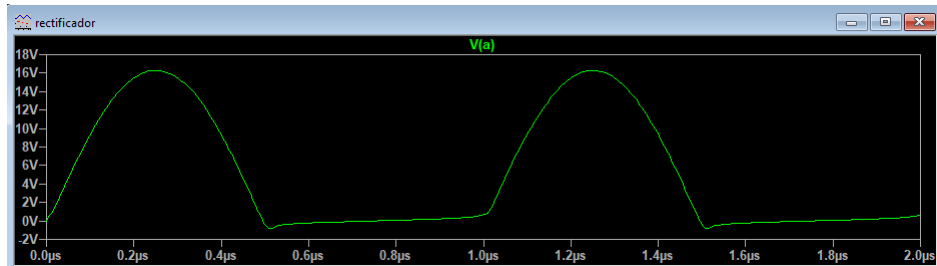


Figura 7: Gráfico de tensión para  $1MHz$  con Stop Time de  $2u$  segundos.

## 7. Para el circuito anterior, variar la frecuencia de la señal alterna por $1KHz$ y luego $1MHz$ y visualizar las formas de onda del voltaje en la carga.

Para ello, tan solo variamos la frecuencia, y para que las ventanas de visualización muestren claramente la onda, variamos el Stop Time de nuestra ventana de configuración de la simulación. Para este caso, para  $1KHz$  se puso  $2m$  segundos (ver figura (6)), y para  $1MHz$  se puso  $1u$  segundo (ver figura (7)). Se puede notar que para una señal algo grande de  $1MHz$  se puede ver que la señal de salida se deforma un poco, esto debido al diodo que se está usando, que está diseñado para tensiones altas, pero frecuencias bajas.

## 8. Para el siguiente circuito rectificador de onda completa

Vemos el circuito de la figura (8), para ello se asume un transformador de  $220V / 9V$  ( $60Hz$ ), 4 diodos  $1N4004$  y una carga  $RL$  de  $65\ \Omega$ .

Armamos el circuito, usamos las directivas `.meas` para los valores pedidos, seteamos los parámetros de la simulación, separamos ventanas, y obtendremos el gráfico de la figura (9)

Para hallar los valores que pide el enunciado, debido a que usamos la directiva `.meas`, tan solo vemos la ventana de **SPICE Error Log**, y vemos los valores que muestra.

- $v_{medio}$ :  $AVG(v(a))=6.86744$  FROM 0 TO 0.032
- $v_{ef}$ :  $RMS(v(a))=7.78817$  FROM 0 TO 0.032
- $i_{ef}$ :  $RMS(i(r1))=0.119818$  FROM 0 TO 0.032

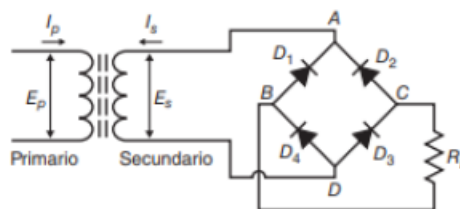


Figura 8: Circuito de onda completa para el enunciado 8.



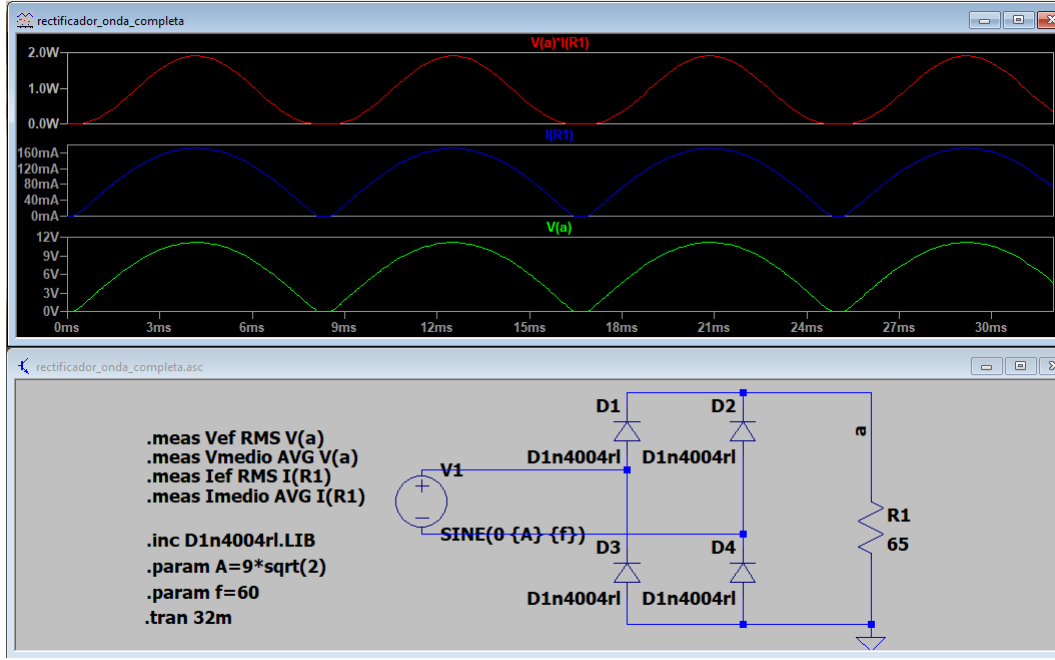


Figura 9: Simulación de un circuito de Onda completa.

- $i_{medio}$ :  $AVG(i(r1))=0.105653$  FROM 0 TO 0.032

### 8.1. Análisis teórico

Se tiene como entrada una señal de  $v_i = V_{i_{RMS}} \sqrt{2} \sin(2\pi ft)$ , como dato tenemos  $V_{i_{RMS}} = 9V$  y  $f = 60Hz$ ,  $R_L = 65\Omega$  para los valores en la carga tendríamos lo siguiente:

$$v_{L,m,teorico} = 2 \frac{V_{i_{RMS}} \sqrt{2} - 2v_k}{\pi} = 2 \frac{12\sqrt{2} - (2)0,635}{\pi} = 7,2943V \quad (25)$$

$$v_{L,ef,teorico} = \frac{V_{i_{RMS}} \sqrt{2} - 2v_k}{\sqrt{2}} = \frac{9\sqrt{2} - (2)0,635}{\sqrt{2}} = 8,4838V \quad (26)$$

$$i_{L,ef,teorico} = \frac{v_{L,ef,teorico}}{R_L} = \frac{8,4838}{65} = 130,52mA \quad (27)$$

$$i_{L,m,teorico} = \frac{v_{L,m,teorico}}{R_R} = \frac{7,2943}{65} = 112,22mA \quad (28)$$

Por lo que el error experimental con respecto al teórico está dado por:

$$\varepsilon_{v_{L,m}} \% = \left| \frac{v_{L,m,lab} - v_{L,m,teorico}}{v_{L,m,teorico}} \right| = \left| \frac{6,86744 - 7,2943}{7,2943} * 100 \right| = 5,8524 \% \quad (29)$$

$$\varepsilon_{v_{L,ef}} \% = \left| \frac{v_{L,ef,lab} - v_{L,ef,teorico}}{v_{L,ef,teorico}} \right| = \left| \frac{7,78817 - 8,4838}{8,4838} * 100 \right| = 8,1996 \% \quad (30)$$

$$\varepsilon_{i_{L,ef}} \% = \left| \frac{i_{L,ef,lab} - i_{L,ef,teorico}}{i_{L,ef,teorico}} \right| = \left| \frac{119,818m - 130,52m}{130,52m} * 100 \right| = 8,2056 \% \quad (31)$$

$$\varepsilon_{i_{L,m}} \% = \left| \frac{i_{L,m,lab} - i_{L,m,teorico}}{i_{L,m,teorico}} \right| = \left| \frac{105,653m - 112,22m}{112,22m} * 100 \right| = 5,9410 \% \quad (32)$$

Notamos que el error es más significativo que en el ejemplo 1, debido a que la tensión pico de la fuente tuvo una disminución.