



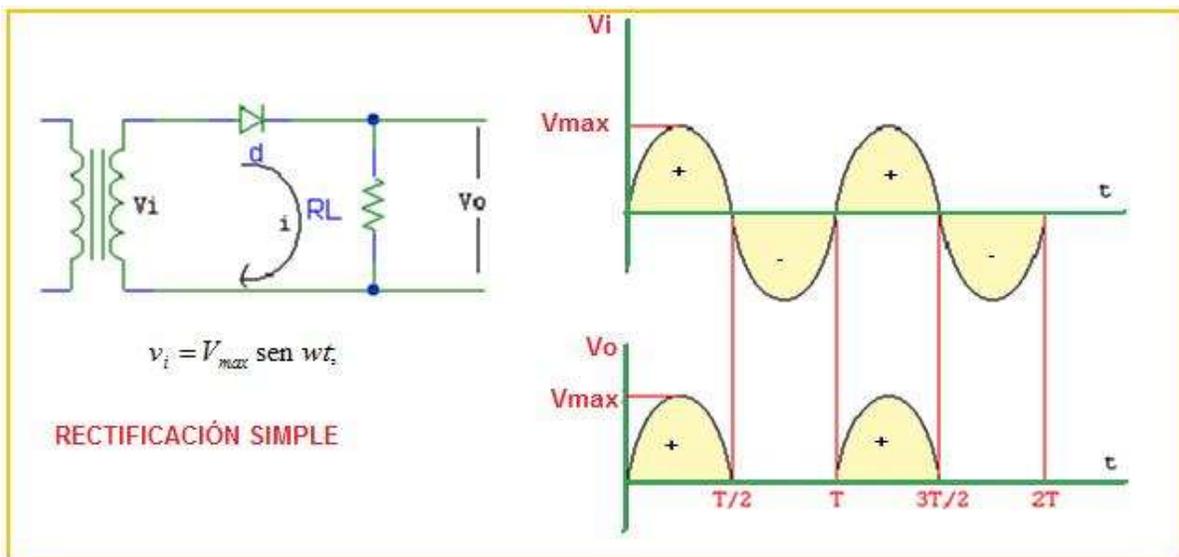
CURSO: SEMICONDUCTORES

UNIDAD 2: RECTIFICACIÓN - TEORÍA

PROFESOR: JORGE ANTONIO POLANÍA

1. RECTIFICACIÓN SIMPLE

Rectificación, es el proceso de convertir los voltajes o tensiones y corrientes alternas en corrientes continuas pulsatorias. La rectificación puede ser simple o puede ser completa. En la rectificación simple, solamente se transfiere al circuito de salida la mitad de la señal, ya sea la positiva o la negativa. En el circuito de la figura, tenemos rectificación positiva.



Cuando el voltaje de entrada V_i es superior al voltaje del diodo V_f el diodo conduce y por lo tanto en la salida aparece el voltaje de entrada, en este caso,

la alternancia positiva. Cuando el voltaje de entrada es negativo, esto es en la alternancia negativa, el diodo no conduce y se comporta como un circuito abierto, por lo tanto el voltaje en la salida es cero, o sea, se rectifica.

Voltaje de corriente continua: El voltaje de CC de una señal es el valor promedio de la amplitud. Para el caso de la señal de entrada V_i , la parte positiva y la negativa son iguales, entonces el valor de CC es cero $V_{icc} = 0$. Para la señal de salida rectificadora este valor ya no es cero. Matemáticamente se ha demostrado que su valor es igual a:

$$V_{occ} = V_{omax} / \pi$$

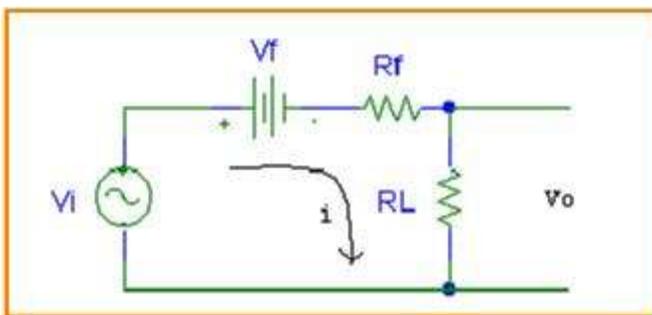
El voltaje de CA rms es igual a:

$$V_{orms} = V_{omax} / 2$$

EJEMPLO 1:

Si el rectificador simple se le aplica una señal $V_i = 10 \text{ sen } \omega t$ y los parámetros del diodo son: $V_f = 0$, $R_f = 50 \Omega$; $R_L = 1 \text{ k}$; $R_r = \infty$, determinar: El valor de corriente continua y el valor rms alterno de la salida.

En conducción:



Corriente y voltaje de salida máximo:

$$I_{omax} = (V_{imax} - V_f) / (R_f + R_L) = (10 - 0) / (1 \text{ k} + 50 \Omega) = 9,5 \text{ mA}$$

$$V_{omax} = I_{omax} * R_L = 9,5 \text{ V}$$

Voltaje de CC:

$$V_{\text{OCC}} = V_{\text{Omax}} / \pi = 9.5 / 3.14 = 3.0 \text{ V}$$

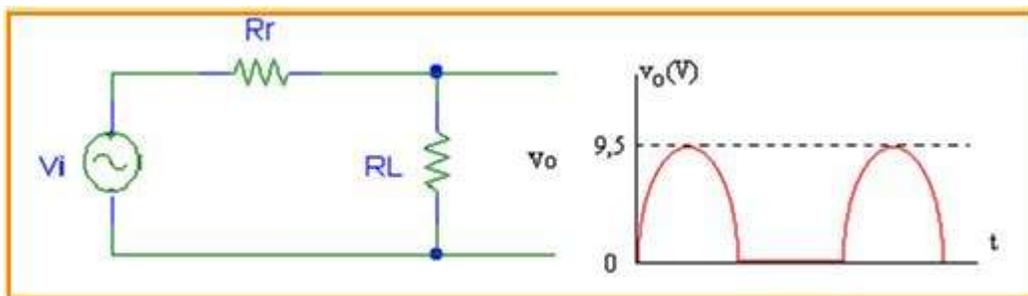
Voltaje de CA:

$$V_{\text{ORMS}} = V_{\text{Omax}} / 2 = 9.5 / 2 = 4.75 \text{ V}$$

En inverso:

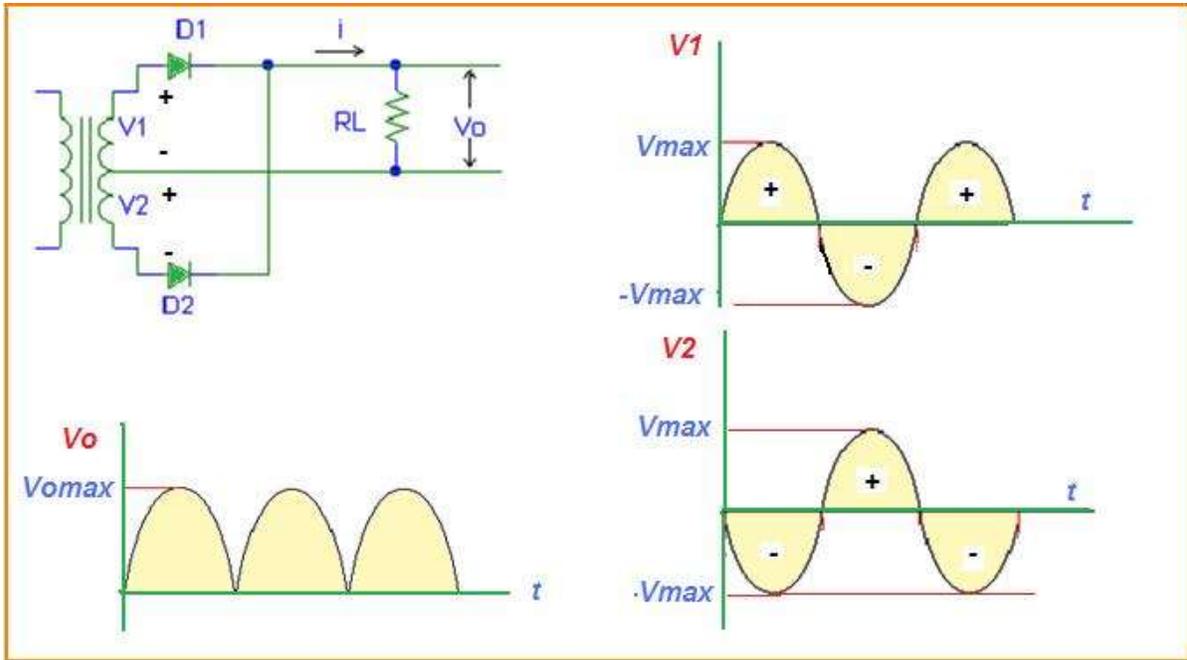
Si R_r es infinito, entonces la corriente es cero y por lo tanto su voltaje.

La señal de salida es la siguiente:



2. RECTIFICACIÓN COMPLETA

Básicamente consiste en dos rectificadores de media onda y una resistencia de carga común. Como v_1 y v_2 están desfasadas 180° , cada diodo conducirá durante medios ciclos alternos.



Como al diodo D1 se aplica la señal v_1 y al diodo D2 se aplica la señal v_2 , entonces, el diodo D1 conduce en la alternancia positiva en v_1 y D2 no conduce por la alternancia negativa en v_2 . En la alternancia negativa de v_1 , D1 no conduce y D2 conduce alternancia positiva en v_2 . Esto se repita indefinidamente. Las ecuaciones son:

Señal $v_1 = V_{max} \sin(\omega t)$, señal $v_2 = -V_{max} \sin(\omega t)$

$I_{max} = (V_{max} - V_f) / (R_f + R_L)$, corriente máxima o de pico

$V_{omax} = I_{max} R_L$ voltaje de salida máximo

$V_{occ} = 2 V_{omax} / \pi$ voltaje de salida de CC

$V_{orms} = V_{omax} / 1.41$ voltaje rms de CA

Nótese que el voltaje de salida de corriente continua es ahora el doble del rectificador sencillo.

EJEMPLO 2:

Comparar los valores de voltaje del rectificador simple del ejemplo anterior con la misma señal de entrada.

$$V_1 = 10 \text{ sen } \omega t \quad V_2 = -10 \text{ sen } \omega t, \quad V_{\text{max}} = 10$$

$$I_{\text{max}} = (V_{\text{max}} - V_f) / (R_f + R) = (10 - 0) / (50 + 1\text{K}) = 10 / 1.050 \text{ K} = 9.5 \text{ mA}$$

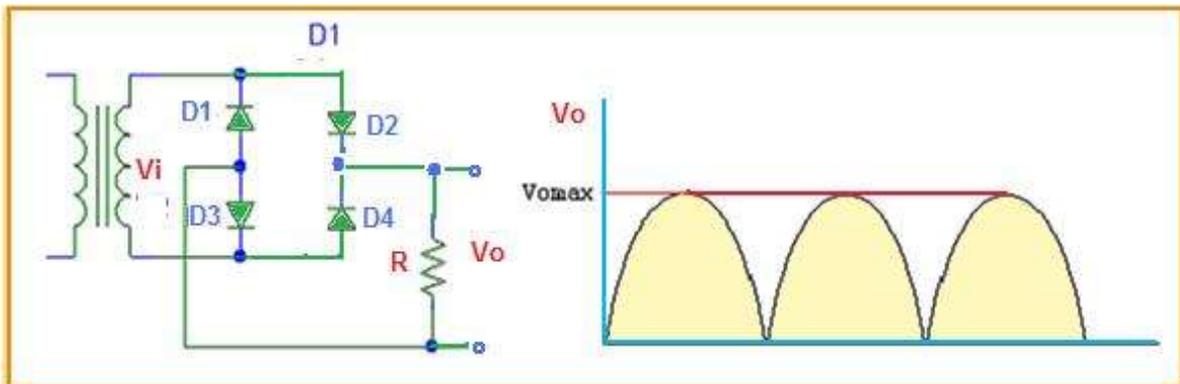
$$V_{\text{omax}} = I_{\text{max}} * R = 9.5 \text{ mA} * 1\text{K} = 9.5 \text{ V}$$

$$V_{\text{occ}} = 2 * V_{\text{omax}} / \pi = 2 * 9.5 / 3.14 = 6.0 \text{ V}$$

$$V_{\text{orms}} = V_{\text{omax}} / 1.41 = 6.7 \text{ V}$$

3. RECTIFICADOR EN PUENTE

Es otro rectificador de onda completa que usa cuatro diodos y un transformador sin punto medio, como el de la siguiente figura.



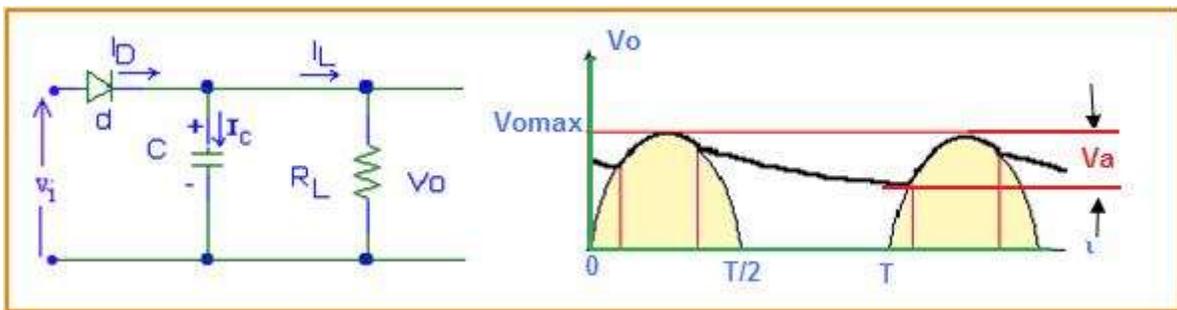
En la alternancia positiva conducen los diodos D2 y D3 y en la alternancia negativa, conducen D4 y D1.

si $V_i = V_{\text{max}} \text{ sen } \omega t$, entonces,

$$I_{\text{max}} = (V_{\text{max}} - 2V_f) / (2R_f + R) \text{ porque ahora conducen dos diodos. } V_{\text{omax}} = I_{\text{max}} * R$$

4. FILTRACIÓN EN RECTIFICACIÓN SIMPLE

Es el proceso de reducir las componentes alternas que tienen la corriente continua pulsatoria de un rectificador. Los filtros más utilizados son los filtros capacitivos, como el de la figura, en donde se coloca un condensador polarizado en paralelo con la resistencia de carga. En la filtración el voltaje de corriente continua aumenta más.



Entre 0 y $T/2$ el diodo conduce, el condensador se carga hasta un valor V_{omax} . Entre $T/2$ y T (alternancia negativa) el diodo no conduce, entonces el condensador se descarga lentamente dependiendo del valor de la R y del C (al producto RC se le denomina constante de tiempo) como se observa en la figura anterior.

Cuando el diodo no conduce, es como si no existiera el diodo porque hay circuito abierto, solo queda conectada la resistencia al condensador y por lo tanto las corrientes son iguales.

$I_c = I_{occ}$ (corriente de salida de CC)

El condensador se descarga un valor V_a (ver figura) cuyo valor es igual a:

$$V_a = I_{occ} / (f * C) \text{ y}$$

el valor del voltaje de salida de CC es igual a:

$$V_{occ} = V_{omax} - V_a/2 \text{ y además } V_{occ} = I_{occ} * R$$

$$\text{reemplazando, } V_{omax} - I_{occ} / (2 * f * C) = I_{occ} * R$$

$$\text{factorizando, } V_{omax} = I_{occ} (R + 1 / (2 * f * C))$$

Estas ecuaciones se entienden mejor con un ejemplo.

EJEMPLO 3:

Si $V_i = 12 \text{ sen } \omega t$, donde la frecuencia $f = 60 \text{ Hz}$, $R = 10\text{K}$, $C = 20 \text{ uF}$, entonces,

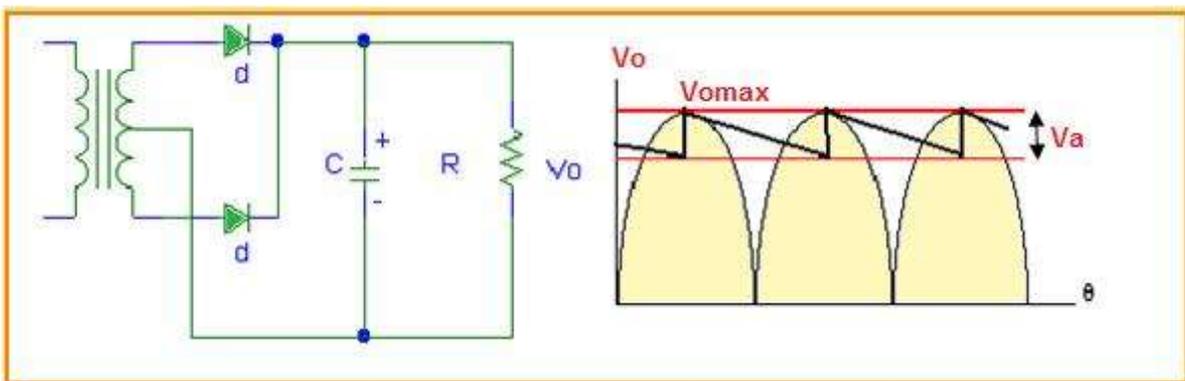
$$V_{\text{omax}} = 12 \text{ V}$$

$$V_{\text{omax}} = I_{\text{oc}} (10\text{K} + 1/(2 \cdot 60 \cdot 20 \cdot 10^{-6})) = I_{\text{oc}} (10000 + 416) = 10416 I_{\text{oc}}$$

$$I_{\text{oc}} = 12 / 10416 = 1.15 \cdot 10^{-3} = 1.15 \text{ mA}$$

$$V_{\text{oc}} = I_{\text{oc}} \cdot R = 1.15 \text{ mA} \cdot 10 \text{ K} = 11.5 \text{ V}$$

5. FILTRACIÓN EN RECTIFICACIÓN COMPLETA



El valor de V_a se reduce a la mitad, esto es:

$$V_a = I_{\text{oc}} / (2 \cdot f \cdot C)$$

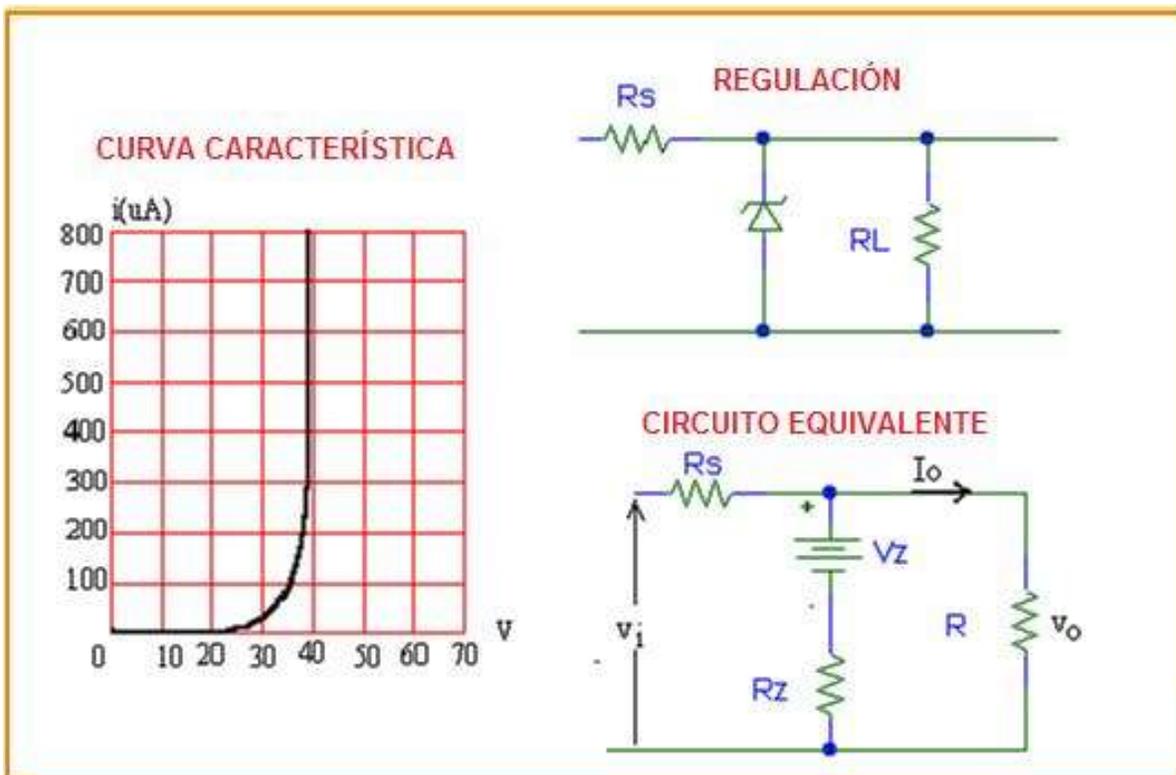
6. REGULACIÓN - DIODO ZENER

La salida de un filtro no es igual para varios valores de resistencia de carga y esto se debe a que su resistencia de salida no es cero. La regulación de voltaje se define de la siguiente manera:

$$\%R = \frac{\text{Voltaje sin carga} - \text{Voltaje con carga}}{\text{Voltaje con carga}}$$

El elemento electrónico semiconductor que nos permite regular el voltaje se denomina "diodo zéner". Es un diodo que funciona en forma inversa y en donde el voltaje permanece casi constante al variar su corriente.

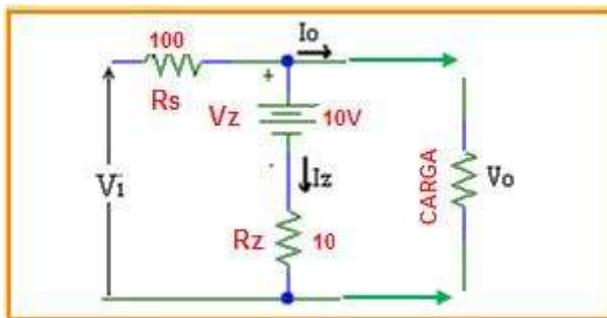
En la figura se tiene la curva característica del diodo Zener. En ella se observa que existe para cualquier corriente un voltaje aproximadamente constante. Este voltaje se llama "voltaje zener". En la figura $V_z = 40V$



Un sencillo regulador de voltaje con diodo Zener consiste de una resistencia en serie con el Zener y estos elementos a su vez en paralelo con la resistencia de carga R. El voltaje V_i es la salida de corriente directa del rectificador con filtro. La función del regulador es mantener V_o (voltaje de salida) casi constante con cambios en V_i (voltaje de entrada) o I_o (corriente de salida). La región de operación el diodo Zener (circuito equivalente) consiste de una combinación en serie de una fuente de voltaje constante V_z y una pequeña resistencia R_z . El siguiente ejemplo ilustra la operación.

EJEMPLO 4:

Una carga consume una corriente que varía de 10mA a 100mA a un voltaje nominal de 10V. El regulador consiste de $R_s = 100\Omega$ y un diodo Zener representado por $V_z = 10V$, $I_z = 10\text{ mA}$ y $R_z = 10\Omega$. Para $I_o = 10\text{ mA}$, determinar el voltaje de salida y el correspondiente voltaje de salida.



Voltaje de salida:

$$V_o = V_z + I_z R_z = 10 + (10\text{ mA})(10) = 10 + 100\text{ mV} = 10.1\text{ V}$$

Voltaje de entrada:

$$V_i = V_o + R_s I_s, \text{ donde } I_s = I_z + I_o$$

$$V_i = 10.1 + 100 * 20\text{ mA} = 10.1 + 2 = 12.1\text{ V}$$

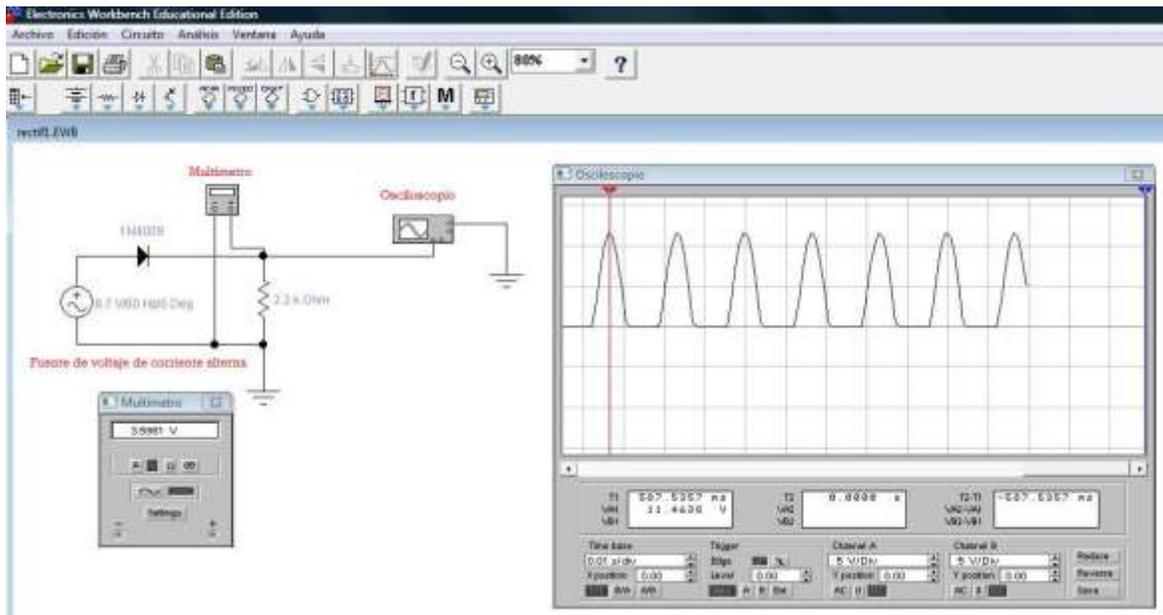
Nótese que aunque el voltaje de entrada es de 12.1 V el voltaje de salida se regula a aprox 10 V

CURSO: SEMICONDUCTORES

UNIDAD 2: RECTIFICACIÓN - SIMULACIÓN

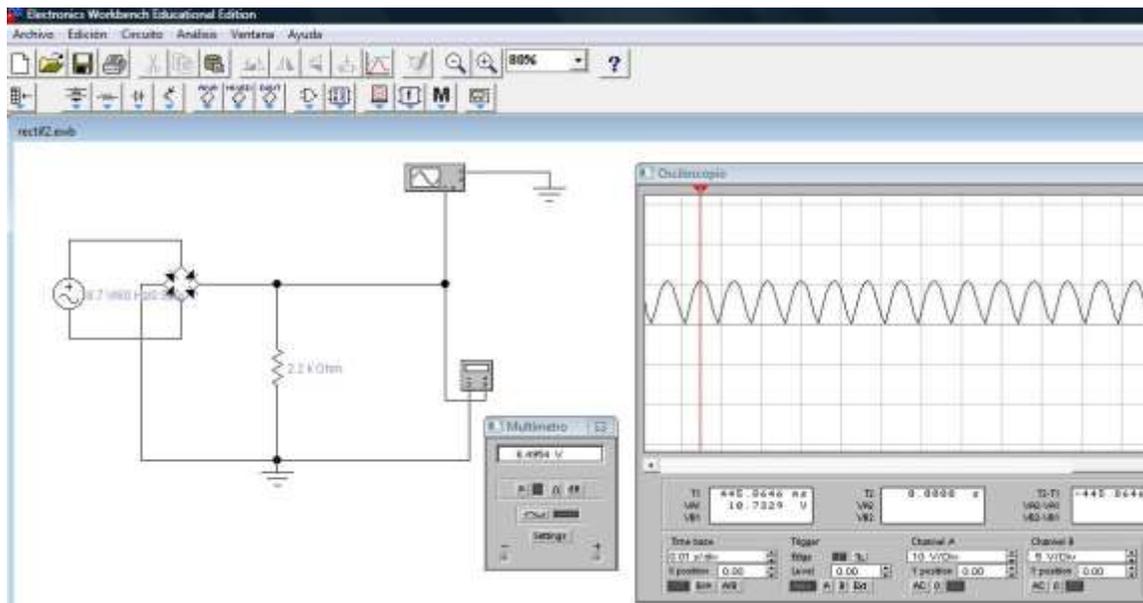
PASO 1: RECTIFICACIÓN SIMPLE

Conecte la fuente de corriente alterna de la librería de fuentes, con los valores indicados, el diodo 1N4009 y una resistencia de carga de 2.2 Kohmios. Conecte un osciloscopio y el multímetro de la librería de instrumentos como se indica en la figura. Arranque la simulación y observe la señal de salida, compárela con la señal de entrada habiendo conectado previamente el osciloscopio a la entrada. Qué opina sobre la señal de salida. El multímetro tiene que estar en modo voltaje (V) y en modo directo (--). Anote el valor leído de voltaje de corriente continua. Cuál era el voltaje de corriente continua de la entrada?. Concluya.

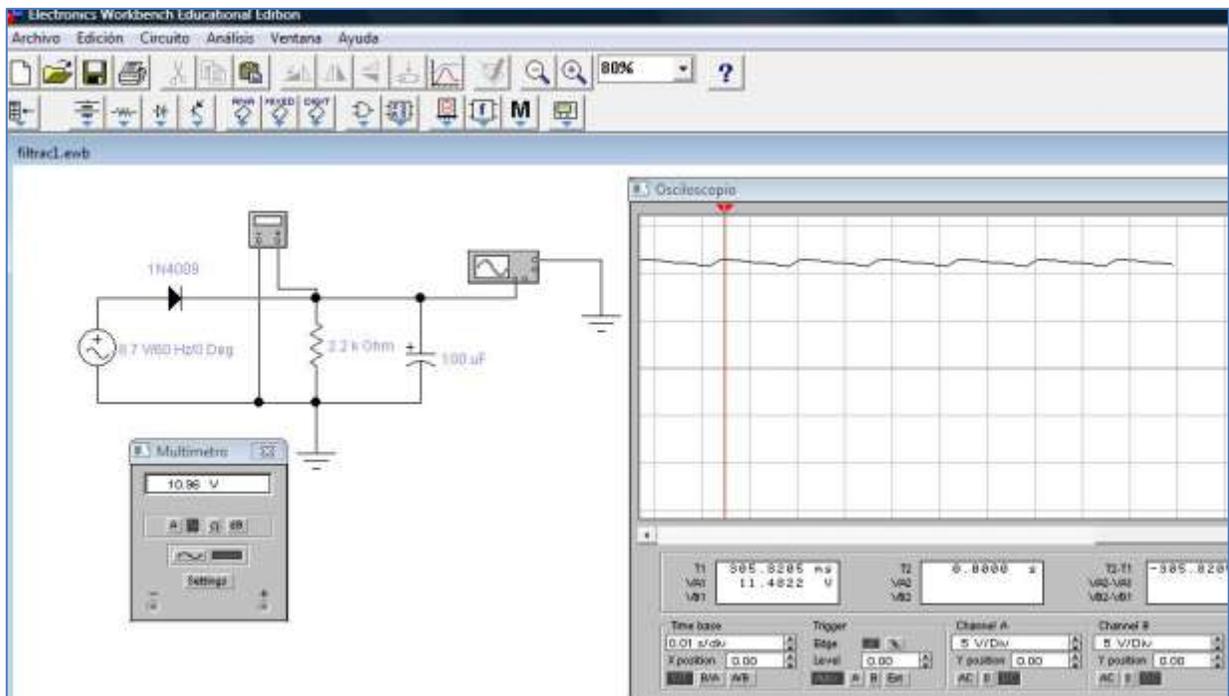


PASO 2: RECTIFICACIÓN DOBLE

Repetir la simulación anterior con el rectificador completo en puente (cuatro diodos). Observe ahora la señal alterna de salida y el valor medido de corriente continua.



PASO 3: FILTRACIÓN DE RECTIFICACIÓN SIMPLE

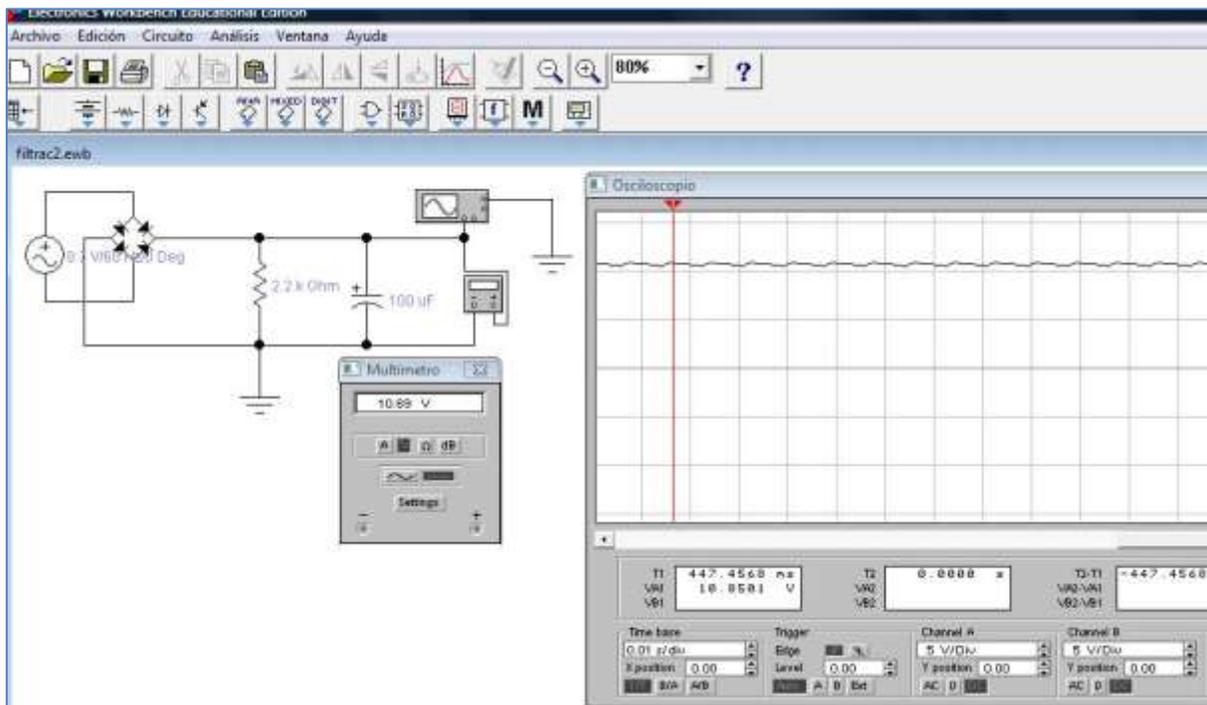


Esta simulación corresponde a la filtración simple que es el resultado de agregar un condensador polarizado (filtro) a la salida de un rectificador simple. Observe la

salida alterna y el valor continuo del voltaje, compárelo con lo obtenido en la rectificación simple.

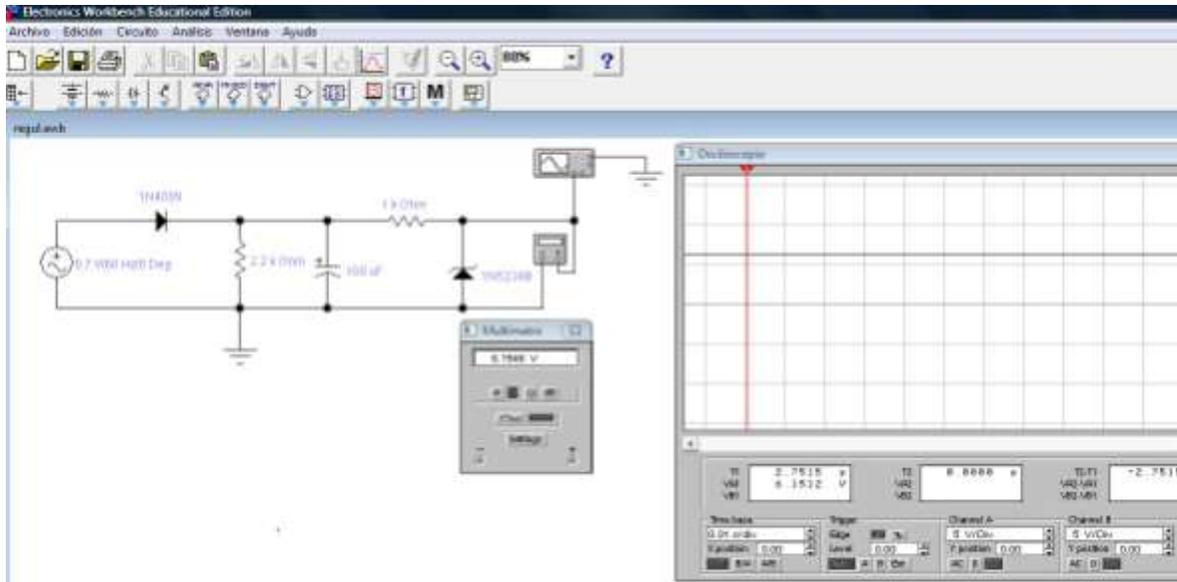
PASO 4: FILTRACIÓN DE RECTIFICACIÓN COMPLETA

Adicione a la simulación del rectificador completo el condensador de 100 μF y repita la simulación anterior. Compare resultados.



PASO 5: REGULACIÓN

Al filtro sencillo adicione un diodo zener 1N5234 de la librería Diodos como se indica en la figura. Observe la salida alterna y continua. Compare resultados y concluya. Repita la simulación con el filtro con rectificación completa.

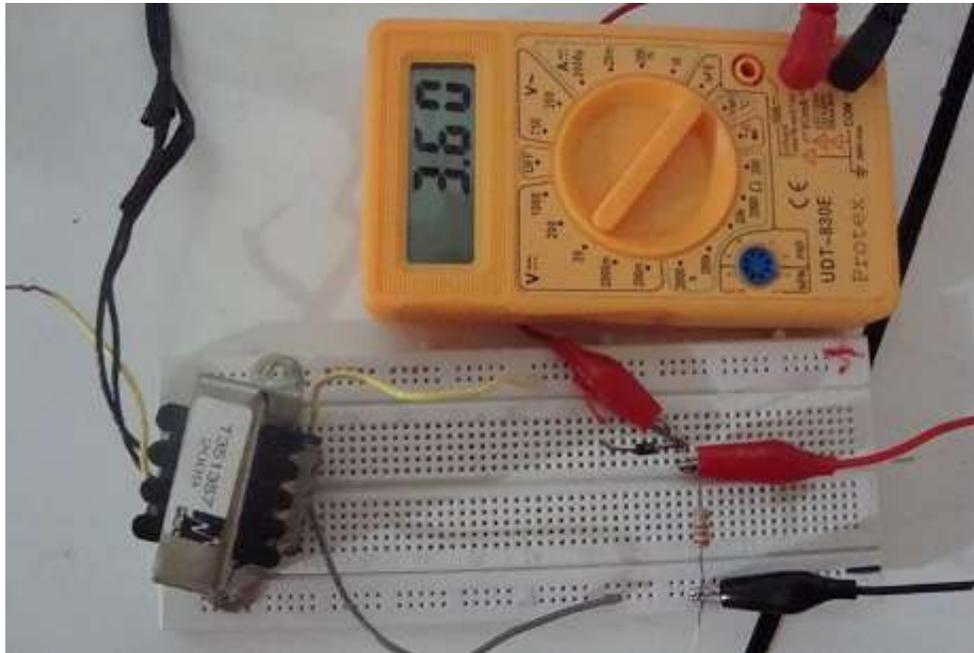


CURSO: SEMICONDUCTORES

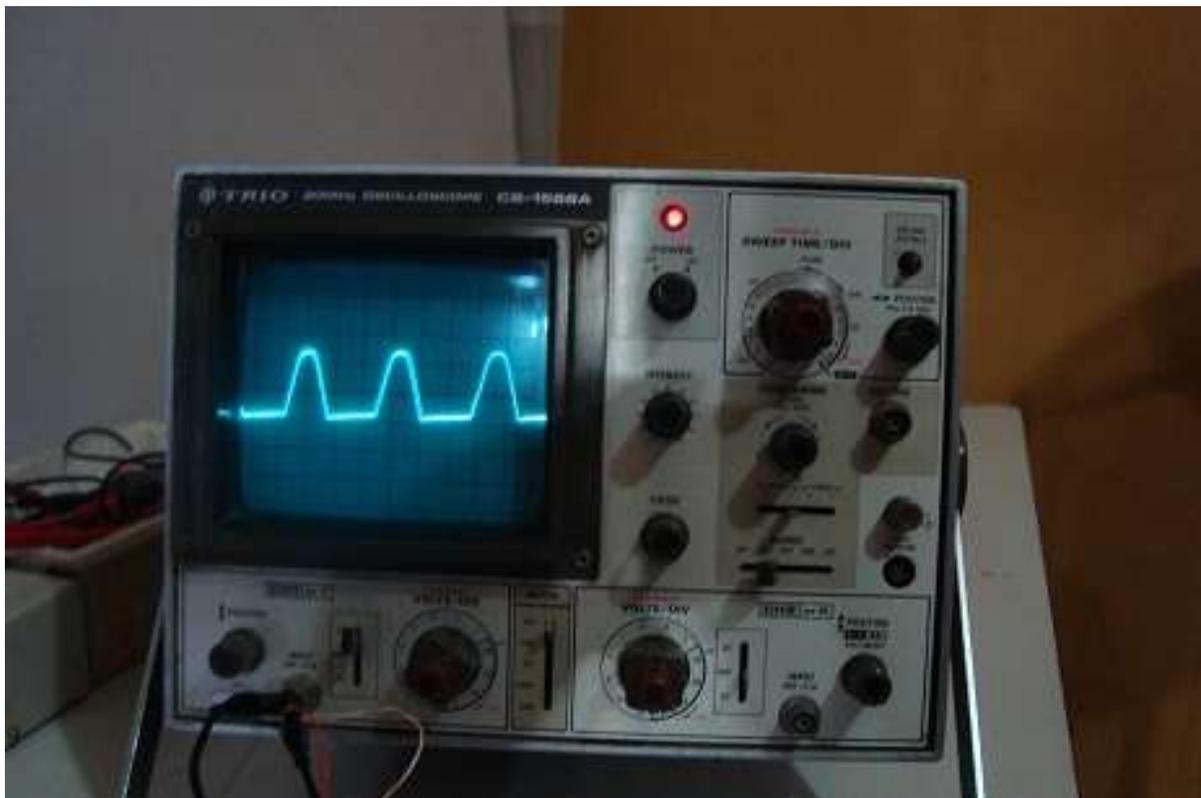
UNIDAD 2: RECTIFICACIÓN - LABORATORIO

PASO 1: RECTIFICACIÓN SIMPLE

Conecte la fuente de corriente alterna es decir el transformador de 9v, el diodo 1N4009 y una resistencia de carga de 2.2 Kohmios. Conecte el multímetro en los terminales del resistor como se muestra en la figura. El multímetro tiene que estar en modo voltaje (V) y en modo directo (--). anote el valor leído de voltaje de corriente continua y compare con la simulación. Cuál era el voltaje de corriente continua de la entrada?. Concluya

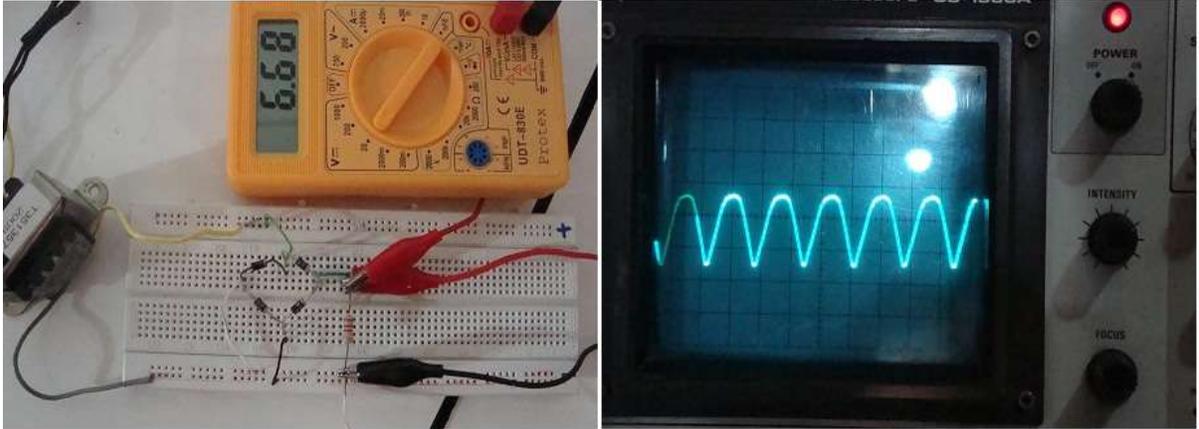


Únicamente a manera de ejemplo mostraremos como se observa la señal de salida en un osciloscopio. Los estudiantes utilizarán solamente el osciloscopio del simulador.



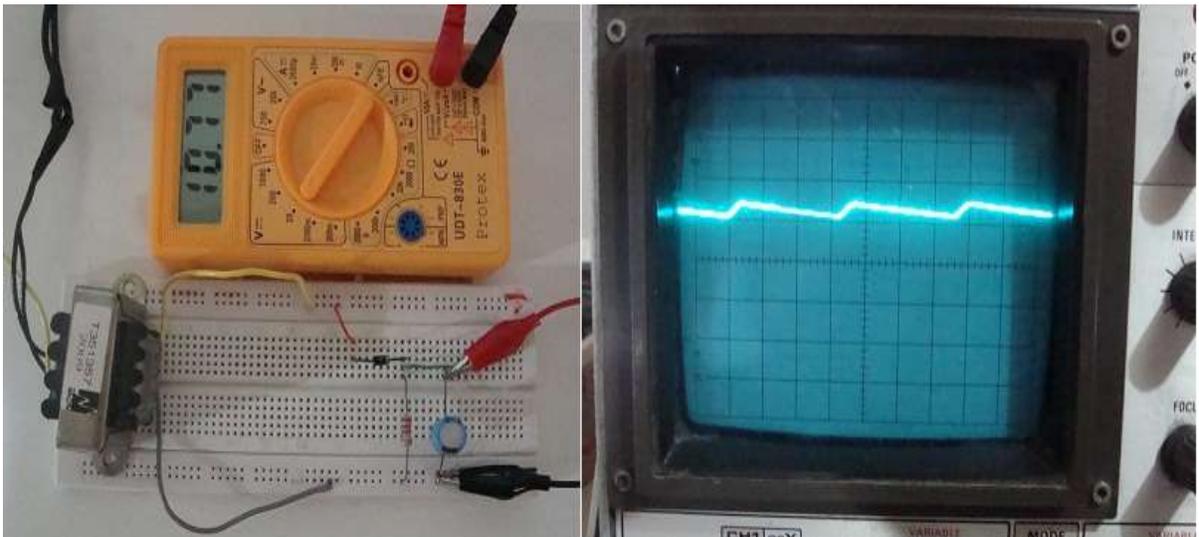
PASO 2: RECTIFICACIÓN DOBLE

Repetir el montaje anterior con el rectificador completo en puente (cuatro diodos). Observe ahora el valor medido de corriente continua. compare con el paso 1, la simulación y concluya.



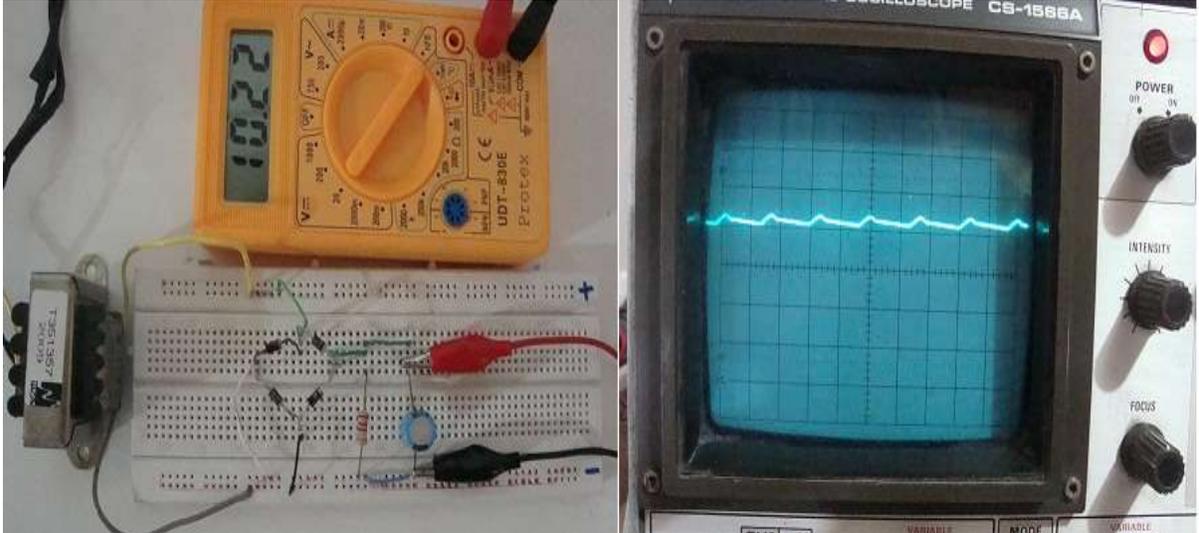
PASO 3: FILTRACIÓN DE RECTIFICACIÓN SIMPLE

Este paso corresponde a la filtración simple que es el resultado de agregar un condensador polarizado (filtro) a la salida de un rectificador simple. Observe el valor continuo del voltaje, compárelo con lo obtenido en la rectificación simple.



PASO 4: FILTRACIÓN DE RECTIFICACIÓN COMPLETA

Adicione al montaje del rectificador completo el condensador de 100 μF y repita el paso anterior. Compare resultados.



PASO 5: REGULACIÓN

Al filtro sencillo adicione un diodo zener 1N5234 como se indica en la figura. Observe la salida continua. Compare resultados y concluya. Repita la practica con el filtro con rectificación completa. Recuerde que el diodo zener trabaja en modo inverso.

