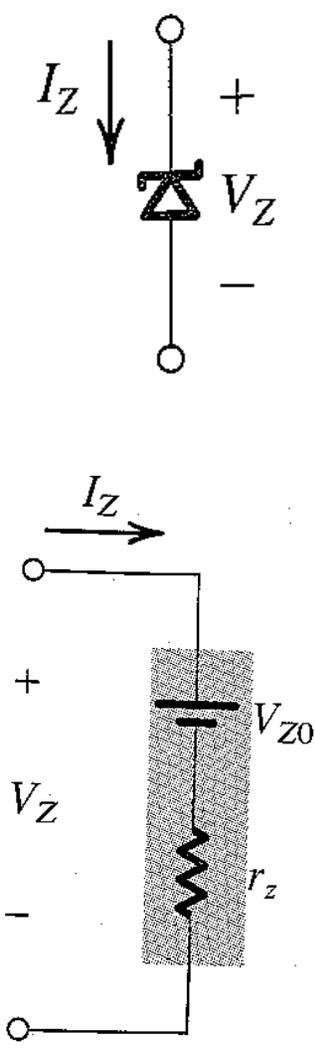
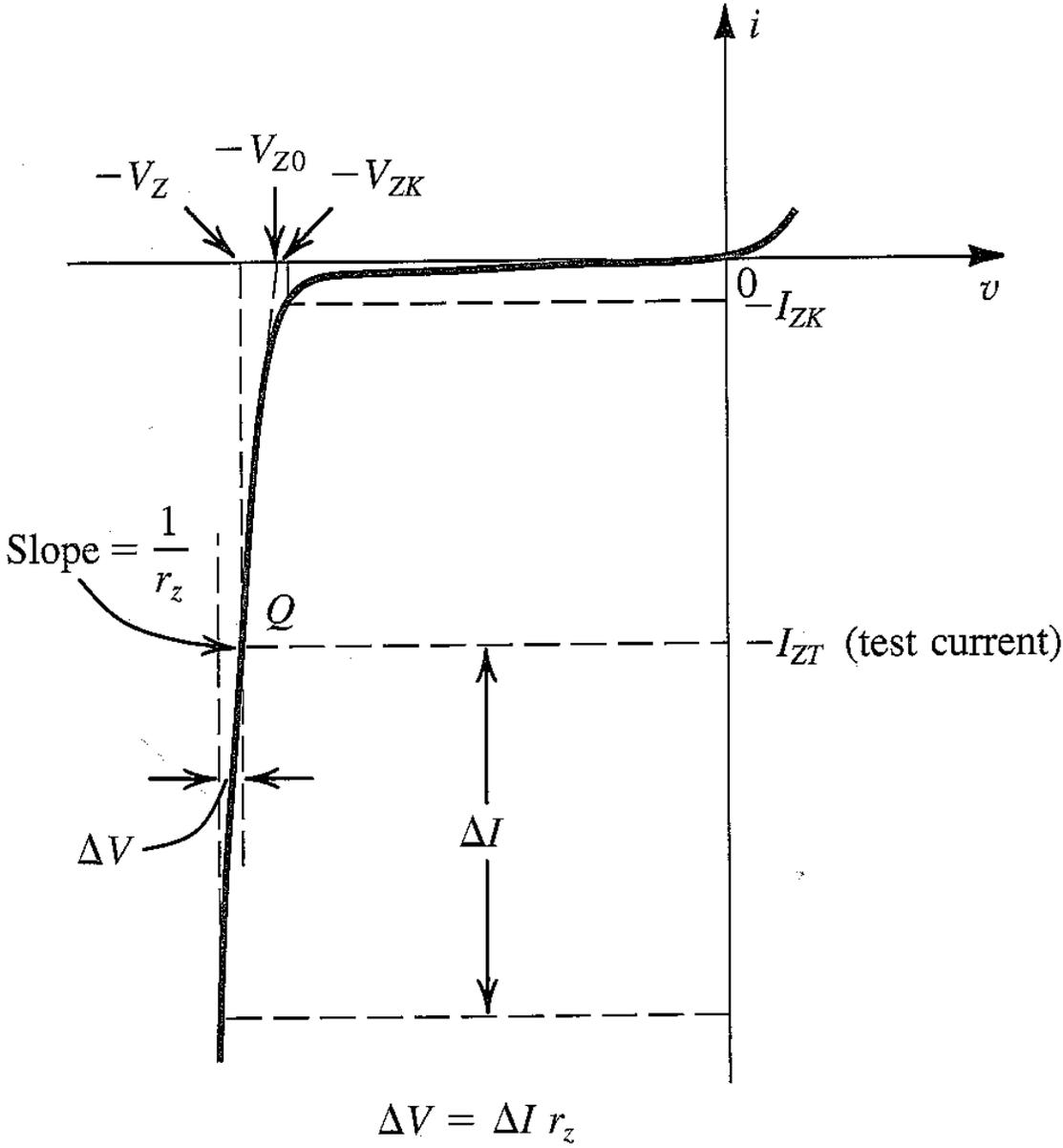


# EL DIODO ZENER



## PARAMETROS DEL DIODO ZENER

$V_{Z0}$ : Fuente de voltaje en el modelo del zener.

$V_{ZK} - I_{ZK}$  : El fabricante especifica un valor de voltaje del zener identificado como el voltaje de rodilla para una corriente dada.

$V_Z - I_{ZT}$  : El fabricante especifica un voltaje de zener donde el dispositivo ya está operativo en la región de zener para una corriente dada  $I_{ZT}$ .  
Los valores  $V_Z - I_{ZT}$  definen el punto Q en la gráfica.

$r_Z$ : Resistencia dinámica o resistencia incremental del zener en el punto de operación Q. Se cumple que  $\Delta V = r_Z \Delta I$

$P_Z \text{ max}$  : El fabricante especifica la potencia máxima que determina la corriente máxima que puede circular por el dispositivo.

Si  $V_{Z0}$  es el punto en el cual la línea recta definida por  $1/r_Z$  intersecta el eje horizontal, el zener se puede modelar con una fuente de voltaje  $V_{Z0}$  en serie con una resistencia  $r_Z$ . 
$$V_Z = V_{Z0} + r_Z I_Z.$$

## **PRÁCTICA N° 3**

### **EL DIODO ZENER. REGULADORES DE VOLTAJE**

- \* Familiarizar al estudiante con el uso de los manuales de los fabricantes de diodos zener para entender y manejar sus especificaciones
- \* Familiarizar al estudiante con la visualización de la característica corriente-voltaje de diodos zener utilizando el osciloscopio en la modalidad X-Y.
- \* Realizar un análisis detallado del rectificador de onda completa con filtro capacitivo y regulador con zener, utilizando el osciloscopio como herramienta fundamental para llevar a cabo las mediciones.

# HOJA DE DATOS DEL ZENER 1N4732A

## Electrical Characteristics T<sub>a</sub> = 25°C unless otherwise noted

Device	V <sub>Z</sub> (V) @ I <sub>Z</sub> (Note 1)			Test Current I <sub>Z</sub> (mA)	Max. Zener Impedance			Leakage Current		Non-Repetitive Peak Reverse Current I <sub>ZSM</sub> (mA) (Note 2)
	Min.	Typ.	Max.		Z <sub>Z</sub> @I <sub>Z</sub> (Ω)	Z <sub>ZK</sub> @ I <sub>ZK</sub> (Ω)	I <sub>ZK</sub> (mA)	I <sub>R</sub> (μA)	V <sub>R</sub> (V)	
1N4728A	3.135	3.3	3.465	76	10	400	1	100	1	1380
1N4729A	3.42	3.6	3.78	69	10	400	1	100	1	1260
1N4730A	3.705	3.9	4.095	64	9	400	1	50	1	1190
1N4731A	4.085	4.3	4.515	58	9	400	1	10	1	1070
1N4732A	4.465	4.7	4.935	53	8	500	1	10	1	970
1N4733A	4.845	5.1	5.355	49	7	550	1	10	1	890
1N4734A	5.32	5.6	5.88	45	5	600	1	10	2	810
1N4735A	5.89	6.2	6.51	41	2	700	1	10	3	730
1N4736A	6.46	6.8	7.14	37	3.5	700	1	10	4	660
1N4737A	7.125	7.5	7.875	34	4	700	0.5	10	5	605
1N4738A	7.79	8.2	8.61	31	4.5	700	0.5	10	6	550
1N4739A	8.645	9.1	9.555	28	5	700	0.5	10	7	500
1N4740A	9.5	10	10.5	25	7	700	0.25	10	7.6	454
1N4741A	10.45	11	11.55	23	8	700	0.25	5	8.4	414
1N4742A	11.4	12	12.6	21	9	700	0.25	5	9.1	380

## HOJA DE DATOS DEL ZENER 1N4743A

Device	$V_Z$ (V) @ $I_Z$ (Note 1)			Test Current $I_Z$ (mA)	Max. Zener Impedance			Leakage Current		Non-Repetitive Peak Reverse Current $I_{ZSM}$ (mA) (Note 2)
	Min.	Typ.	Max.		$Z_Z$ @ $I_Z$ ( $\Omega$ )	$Z_{ZK}$ @ $I_{ZK}$ ( $\Omega$ )	$I_{ZK}$ (mA)	$I_R$ ( $\mu$ A)	$V_R$ (V)	
1N4743A	12.35	13	13.65	19	10	700	0.25	5	9.9	344
1N4744A	14.25	15	15.75	17	14	700	0.25	5	11.4	304
1N4745A	15.2	16	16.8	15.5	16	700	0.25	5	12.2	285
1N4746A	17.1	18	18.9	14	20	750	0.25	5	13.7	250
1N4747A	19	20	21	12.5	22	750	0.25	5	15.2	225
1N4748A	20.9	22	23.1	11.5	23	750	0.25	5	16.7	205
1N4749A	22.8	24	25.2	10.5	25	750	0.25	5	18.2	190
1N4750A	25.65	27	28.35	9.5	35	750	0.25	5	20.6	170
1N4751A	28.5	30	31.5	8.5	40	1000	0.25	5	22.8	150
1N4752A	31.35	33	34.65	7.5	45	1000	0.25	5	25.1	135
1N4753A	34.2	36	37.8	7	50	1000	0.25	5	27.4	125
1N4754A	37.05	39	40.95	6.5	60	1000	0.25	5	29.7	115
1N4755A	40.85	43	45.15	6	70	1500	0.25	5	32.7	110
1N4756A	44.65	47	49.35	5.5	80	1500	0.25	5	35.8	95
1N4757A	48.45	51	53.55	5	95	1500	0.25	5	38.8	90
1N4758A	53.2	56	58.8	4.5	110	2000	0.25	5	42.6	80

## CIRCUITOS PARA LA PRÁCTICA N° 3

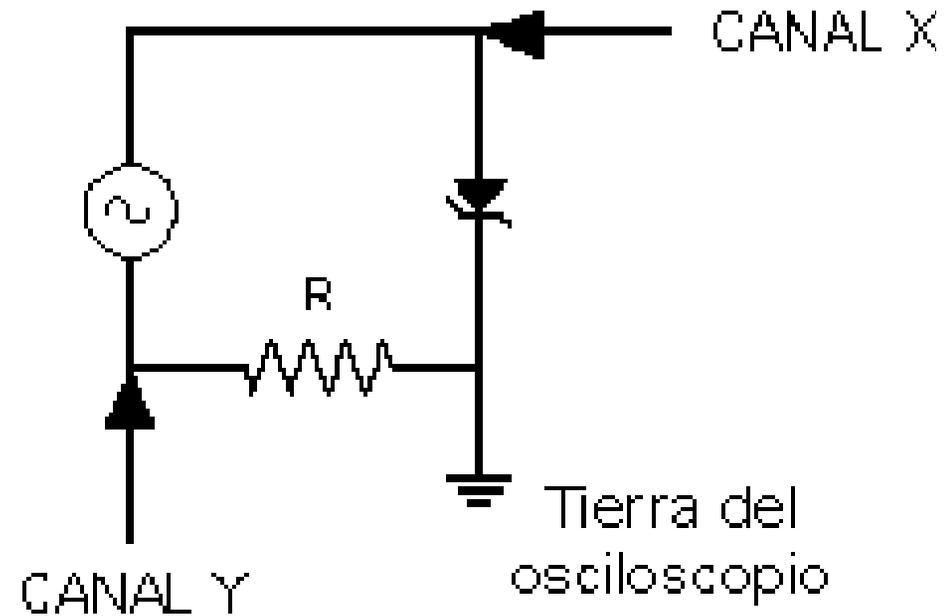
### CARACTERÍSTICA CORRIENTE VOLTAJE DEL ZENER.

#### Circuito

Zener 1N4732A 4,7V

$R = 510\Omega$  0,5W

Generador: Onda sinusoidal o triangular de 1kHz. La frecuencia puede ajustarse para mejorar la imagen.



## Preguntas sobre el circuito

Cuál es el modo de presentación en pantalla para poder observar la característica corriente-voltaje del dispositivo.

Por qué es importante que durante la realización de esta práctica el osciloscopio se encuentre **flotando**.

Qué canal se tiene que invertir para observar la gráfica con la polaridad correcta

Cuáles de las formas de onda producidas por el generador (sinusoidal, triangular o cuadrada) pueden utilizarse en esta práctica y cuál de ellas es la más conveniente para esta aplicación específica.

Qué mediciones va a realizar para determinar el voltaje de conducción y la resistencia dinámica del diodo.

## Mediciones

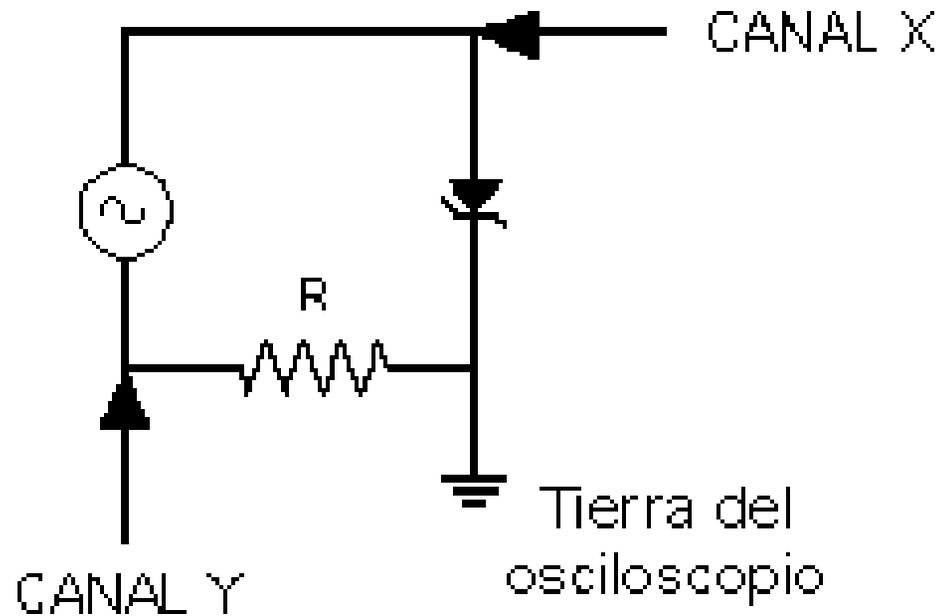
Voltaje de conducción

Voltaje de avalancha

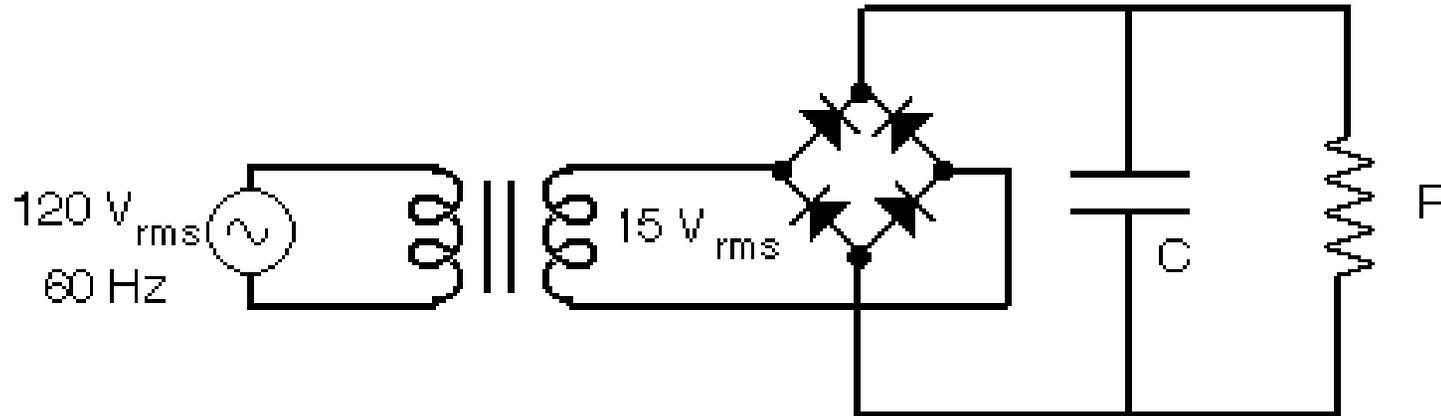
Resistencia dinámica en la  
región inversa

Resistencia dinámica en la  
región directa

Se colocan las escalas del osciloscopio para tener la mejor resolución posible.



## CIRCUITO RECTIFICADOR TIPO PUENTE CON FILTRO



Cuatro diodos 1N4004

Condensador de  $100\ \mu\text{F}$ ,  $50\text{V}$

Resistencia de  $1\text{k}\Omega$   $0,5\text{W}$

Resistencia de  $10\Omega$  (o menor)  $0,5\text{W}$

## **Preguntas sobre el circuito**

Defina Regulación de carga y Regulación de línea

Explique brevemente cómo funciona este circuito y cuál es su objetivo fundamental. Haga un esquema de las formas de onda de voltaje y corriente que espera observar en el secundario del transformador, en los diodos y en la resistencia de carga, indicando los tiempos de interés.

Determine el valor del voltaje de rizado y del factor de rizado, el valor pico de la corriente por los diodos, la potencia promedio entregada a la carga, la potencia promedio consumida por los diodos y la potencia aparente total manejada por el transformador para los valores indicados por su profesor.

Utilizando los valores indicados por su profesor, realice la simulación interactiva del circuito en MULTISIM, usando el osciloscopio Tektronix de la sección de instrumentos virtuales, a fin de observar en la pantalla las formas de onda indicadas anteriormente y obtener los valores requeridos.

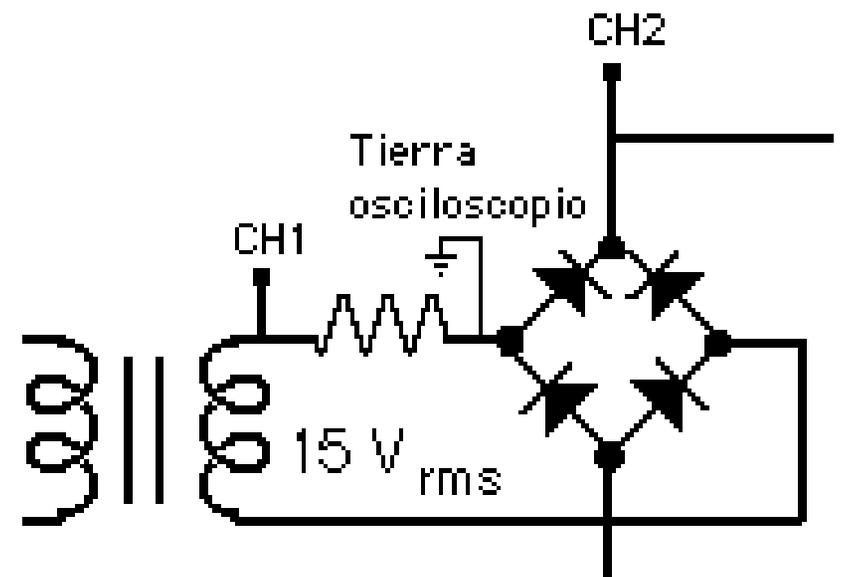
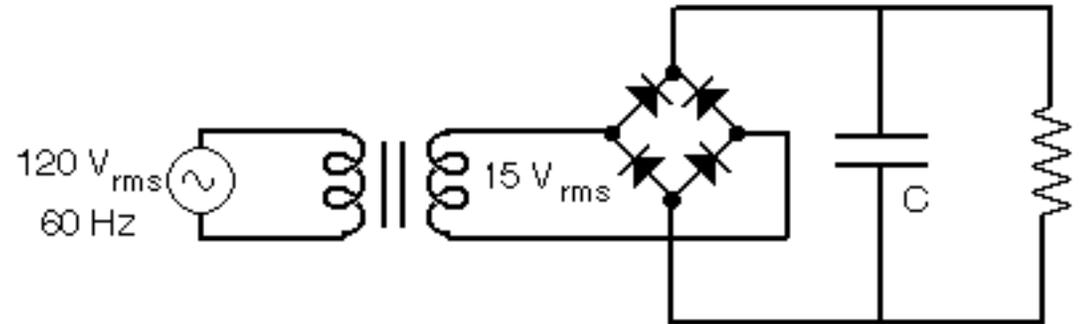
## Mediciones

Formas de onda a la entrada del rectificador y sobre el condensador y la carga

Forma de onda de la corriente en el transformador, simultáneamente con el voltaje en uno de los diodos

Cambiar el condensador

Desconectar la carga



**ATENCIÓN: PARA ÉSTE Y TODOS LOS DEMÁS EXPERIMENTOS CON VARIAC, SUBIR Y BAJAR EL VOLTAJE DEL VARIAC LENTAMENTE**

# FUENTE REGULADA: CIRCUITO RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON FILTRO CAPACITIVO Y REGULADOR BÁSICO CON DIODO ZENER

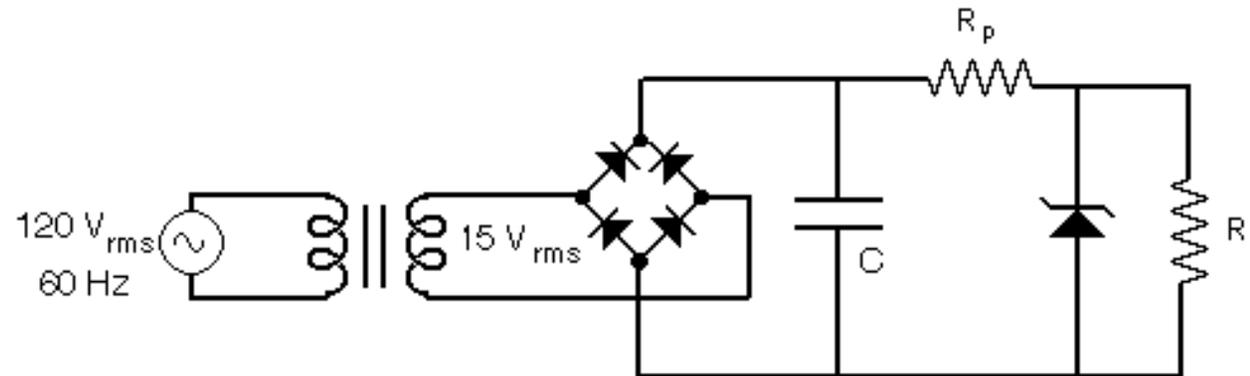
$$R = 510\Omega$$

$$C = 100\mu\text{F}$$

$$R_p = 150\Omega$$

Zener 1N4743A

Cuatro diodos 1N4004 o un puente rectificador encapsulado



## **Preguntas sobre el circuito**

Explique brevemente cómo funciona este circuito y cuál es su objetivo fundamental. Haga un esquema de las formas de onda del voltaje y de la corriente que espera observar en la entrada del circuito, en el condensador y en la resistencia de carga, indicando los tiempos de interés.

Determine los voltajes máximo y mínimo en el condensador, la potencia disipada por la resistencia de protección del zener  $R_p$ , y la máxima potencia que va a disipar el diodo zener. Calcule también los voltajes máximo y mínimo en la carga, el valor pico de la corriente por los diodos, la potencia promedio entregada a la carga, la potencia promedio consumida por los diodos y la potencia aparente total manejada por el transformador.

Realice la simulación interactiva del circuito en MULTISIM, usando el osciloscopio Tektronix de la sección de instrumentos virtuales a fin de observar en la pantalla las formas de onda indicadas anteriormente y obtener los valores requeridos.

## Mediciones

Voltaje de entrada al  
rectificador

Voltaje sobre el condensador y  
sobre la carga.

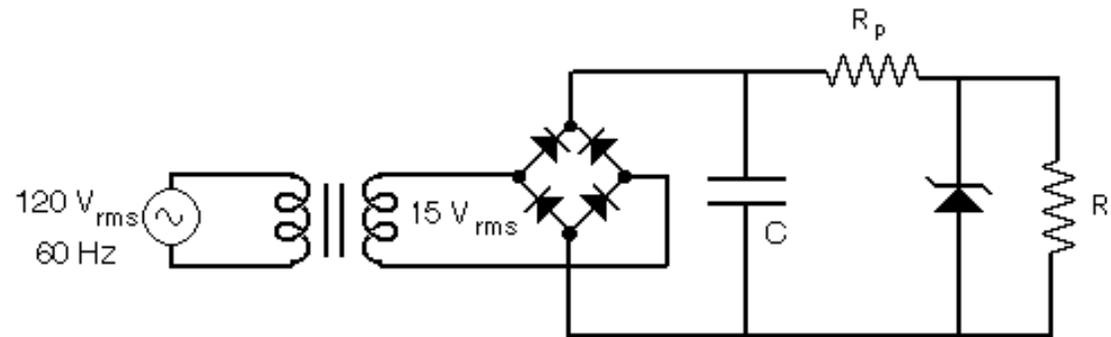
Voltajes máximos y mínimos a la entrada del rectificador, sobre el  
condensador y sobre la carga.

Corriente máxima por el zener cuando se desconecta la carga.

Voltaje máximo sin carga y a plena carga a fin de analizar la regulación de  
carga.

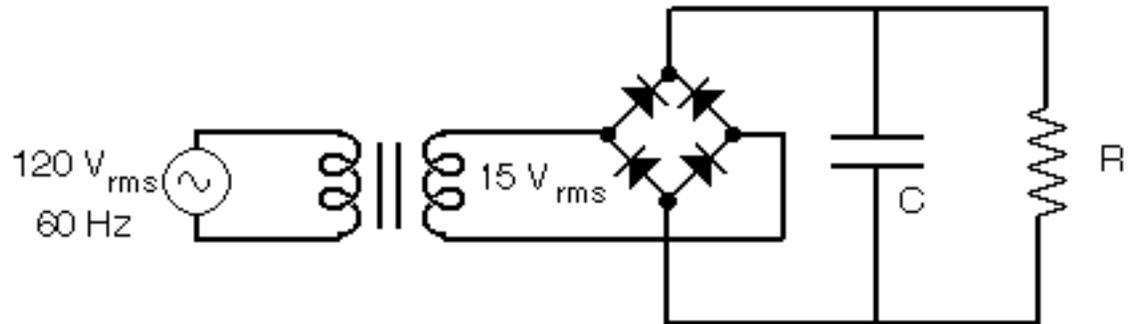
Voltajes máximo y mínimo a plena carga cuando la entrada varía  $\pm 5\%$  a fin  
de analizar la regulación de línea.

Voltaje de entrada para el cual el zener sale de la zona de regulación.



## RESOLUCIÓN DE LOS CIRCUITOS DE LA PRÁCTICA 3

### RECTIFICADOR CON FILTRO



En el secundario del transformador  $V_{\max} = \sqrt{2} \times 15 V_{\text{rms}} = 21,21V$

En el condensador  $V_{C \max} = 21,21V - 1,4V = 19,81V$

Corriente máxima en la carga  $I_{R \max} = \frac{V_{C \max}}{R} = \frac{19,81V}{1k\Omega} = 19,81mA$

Cálculo de  $t_o$   $I_{R \max} = C \frac{\Delta V}{\Delta t} = C \frac{V_{\max} (1 - \text{sen} \omega t)}{\left(\frac{T}{4} + t_o\right)}$

Sustituyendo valores y arreglando términos:

$$\frac{I_{R_{\max}}}{C V_{\max}} = \frac{19,81mA}{100\mu F \times 19,81V} = 0,01000$$

$$0,01000 \left( \frac{T}{4} + t_o \right) = (1 - \text{sen} \omega t_o)$$

$$A = 0,01000 \left( \frac{T}{4} + t_o \right) \quad B = (1 - \text{sen} \omega t_o)$$

Aproximaciones sucesivas comenzando desde el valor  $t_o = 3\text{ms}$

$t_o$ (ms)	A	B	Diferencia
3	0,0717	0,09517	-0,0234
3,1	0,0727	0,07977	-0,00707
3,2	0,0737	0,06567	+0,00803
3,15	0,0732	0,07255	+0,00065

Por lo tanto  $t_o = 3,15ms$        $V_{min} = 19,81 \text{ sen } \omega t_o = 18,37V$

**Voltaje de rizado**       $V_r = V_{max} - V_{min} = 19,81V - 18,37V = 1,44V$

**Factor de rizado**       $F_r = \frac{V_r}{V_{max}} \times 100\% = \frac{1,44V}{19,81V} \times 100\% = 7,27\%$

**Valor pico de la corriente por los diodos**

$$I_{d \max} = C \omega V_{\max} \cos \omega t_o + I_{R \max}$$

$$I_{d \max} = 100\mu F \times (2\pi 60) \times 19,81V \cos\left(2\pi 60 \times 3,15 \times 10^{-3}\right) + 19,81mA = 299mA$$

Tiempo de conducción de los diodos

$$t_c = \frac{T}{4} - t_o = 4,17ms - 3,15ms = 1,02ms$$

## Potencia promedio en los diodos

$$P_{promd} = \frac{I_{d \max} V_d t_c}{T} = \frac{299mA \times 0,7V \times 1,02ms}{16,67ms} = 12,8mW$$

## Potencia aparente total en el secundario

$$I_{rmsd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_c} (I_{d \max})^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} 2(I_{d \max})^2 t_c}$$

$$I_{rmsd} = \sqrt{\frac{2 \times (0,299A)^2 \times 1,02ms}{16,67ms}} = 0,104A_{rms}$$

$$P_{aparente} = V_{rms_{sec}} I_{rmsd} = 1,57VA$$

**Potencia promedio en la carga:** Considerando que el voltaje en la carga permanece constante en 19,81V:

$$P_{prom_R} = \frac{(19,81V)^2}{1k\Omega} = 0,39W$$

## REGULADOR CON ZENER

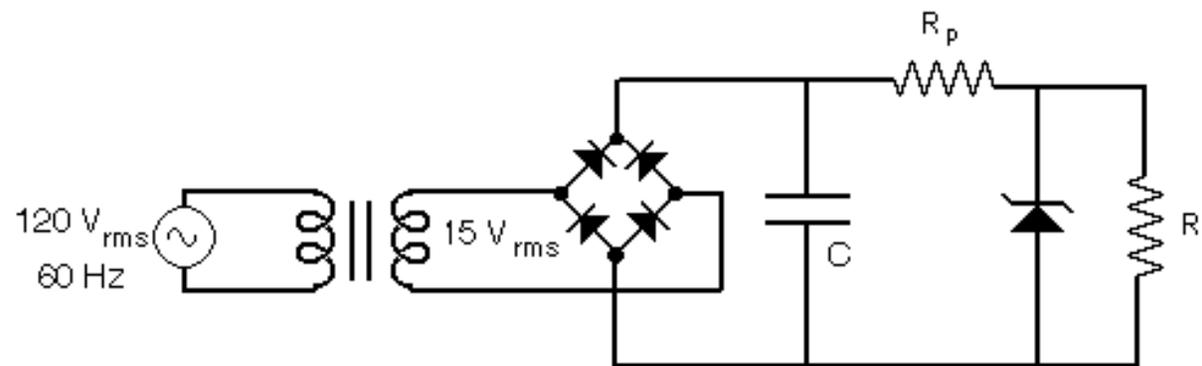
$$C=100\mu F$$

$$R_p=150\Omega$$

$$R=510$$

Zener 13V a 19mA

$$r_z=10\Omega$$



Modelo del zener

$$V_z = V_{z0} + i_z r_z \Rightarrow V_{z0} = V_z - i_z r_z = 13V - 19mA \times 0,01k\Omega = 12,81V$$

**Potencia máxima disipada por el zener:** Cuando  $V_{C_{\max}}=19,81V$

$$i_{z \max} = \frac{19,81V - 12,81V}{160\Omega} = 43,75mA$$

$$V_{z \max} = V_{z0} + i_{z \max} r_z = 12,81V + 43,75mA \times 10\Omega = 13,25V$$

$$P_{z \max} = V_{z \max} i_{z \max} = 13,25V \times 43,75mA = 0,58W$$

Puede utilizarse el zener previsto

**Corriente que tiene que suministrar el condensador**

Corriente en la carga cuando el voltaje del zener es 13V

$$I_{R \max} = \frac{13V}{510\Omega} = 25,49mA$$

Vamos a considerar  $I_{R \max}=30mA$

## Cálculo de $t_o$

$$I_{R_{\max}} = C \frac{\Delta V}{\Delta t} = C \frac{V_{\max}(1 - \text{sen}\omega t)}{\left(\frac{T}{4} + t_o\right)} \quad \frac{I_{R_{\max}}}{CV_{\max}} = \frac{30\text{mA}}{100\mu\text{F} \times 19,81\text{V}} = 0,01515$$

$$0,01515 \left(\frac{T}{4} + t_o\right) = (1 - \text{sen}\omega t_o) \quad A = 0,01515 \left(\frac{T}{4} + t_o\right) \quad B = (1 - \text{sen}\omega t_o)$$

Aproximaciones sucesivas comenzando desde el valor  $t_o = 2,7\text{ms}$

$t_o$ (ms)	A	B	Diferencia
2,7	0,10401	0,14901	-0,04491
2,9	0,10712	0,11186	-0,00474
2,92	0,10742	0,10842	-0,00100
2,93	0,10758	0,10672	0,00085

Por lo tanto  $t_o = 2,93ms$        $V_{min} = 19,81 \text{ sen } \omega t_o = 17,7V$

**Voltaje de rizado**       $V_r = V_{max} - V_{min} = 19,81V - 17,7V = 2,11V$

**Factor de rizado**       $F_r = \frac{V_r}{V_{max}} \times 100\% = \frac{2,11V}{19,81V} \times 100\% = 10,65\%$

**Valor pico de la corriente por los diodos**

$$I_{d \max} = C \omega V_{max} \cos \omega t_o + I_{R \max}$$

$$I_{d \max} = 100\mu F \times (2\pi 60) \times 19,81V \cos\left(2\pi 60 \times 2,93 \times 10^{-3}\right) + 30mA = 365,7mA$$

Tiempo de conducción de los diodos

$$t_c = \frac{T}{4} - t_o = 4,17ms - 2,93ms = 1,24ms$$

## Potencia promedio en los diodos

$$P_{promd} = \frac{I_{d \max} V_d t_c}{T} = \frac{365,7 \text{mA} \times 0,7 \text{V} \times 1,24 \text{ms}}{16,67 \text{ms}} = 19,04 \text{mW}$$

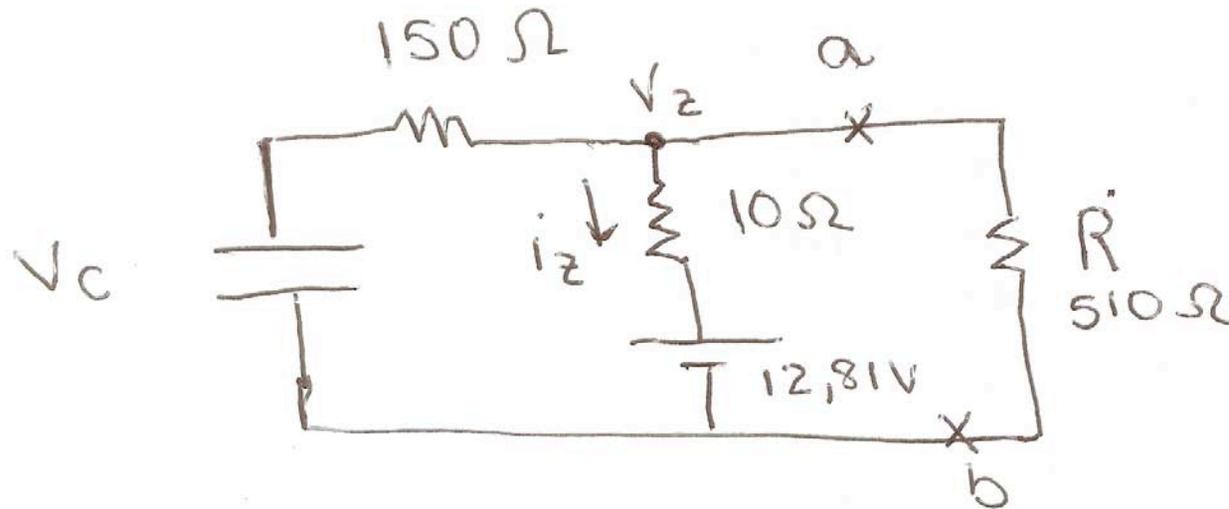
## Potencia aparente total en el secundario

$$I_{rmsd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_c} (I_{d \max})^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} 2(I_{d \max})^2 t_c}$$

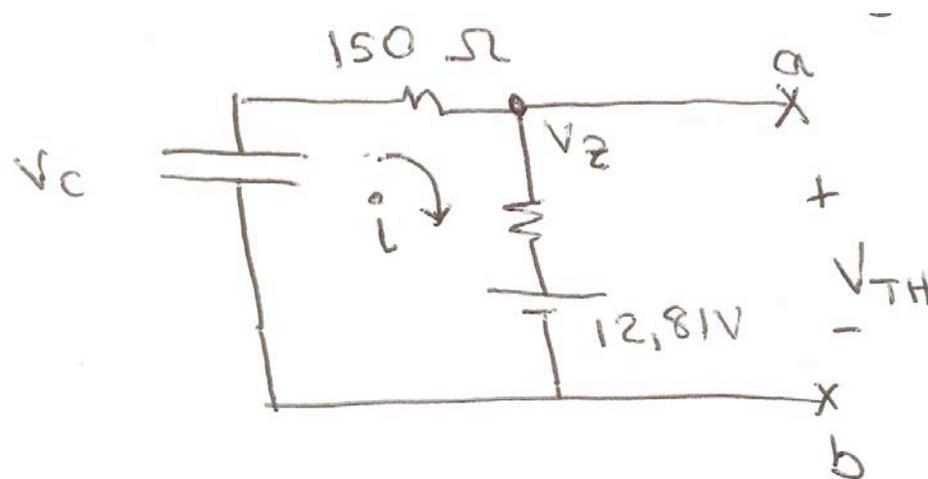
$$I_{rmsd} = \sqrt{\frac{2 \times (0,3657 \text{A})^2 \times 1,24 \text{ms}}{16,67 \text{ms}}} = 0,141 \text{A}_{rms}$$

$$P_{aparente} = V_{rms \text{sec}} I_{rmsd} = 2,12 \text{VA}$$

## Análisis del circuito con la carga está conectada



Para determinar el voltaje de salida, puede calcularse un circuito Thevenin equivalente entra a y b, y luego conectar la resistencia de carga de  $510\ \Omega$ .



Cuando el

voltaje del

condensador es  $V_{\min} = 17,7V$

$$i = \frac{17,7V - 12,81V}{160\Omega} = 30,56mA$$

$$V_{TH} = V_z = 12,81V + 30,56mA \times 0,01k\Omega = 13,12V$$

$$R_{TH} = 150\Omega // 10\Omega = 9,38\Omega$$

Corriente en la resistencia de carga para este circuito

$$i = \frac{13,12V}{510\Omega + 9,38\Omega} = 25,26mA$$

En el

$$V_z = 510\Omega \times i = 0,51K\Omega \times 25,26mA = 12,88V$$

modelo del zener:

$$i_z = \frac{12,88V - 12,81V}{10\Omega} = 7mA$$

Conclusión: Cuando el voltaje en el condensador es mínimo y la carga está conectada, el zener está en la zona de regulación y la corriente de zener es 7mA.

### **Análisis del circuito con el voltaje $V_{max}$ y la carga está conectada**

Cuando el voltaje del conensador es  $V_{max} = 19,81V$

$$i = \frac{19,81V - 12,81V}{160\Omega} = 43,75mA$$

$$V_{TH} = V_z = 12,81V + 43,75mA \times 0,01k\Omega = 13,25V$$

$$R_{TH} = 150\Omega // 10\Omega = 9,38\Omega$$

Corriente en la resistencia de carga para este circuito

$$i = \frac{13,25V}{510\Omega + 9,38\Omega} = 25,52mA$$

$$V_z = 510\Omega \times i = 0,51k\Omega \times 25,52mA = 13,01V$$

En el modelo del zener:

$$i_z = \frac{13,01V - 12,81V}{10\Omega} = 20mA$$

Conclusión: Cuando el voltaje en el condensador es máximo y la carga está conectada, el zener está en la zona de regulación y la corriente de zener es 20mA.

## Regulación de carga

$$R_C = \frac{V_{O_{Im\ ax}} - V_{O_{SC}}}{V_{O_{Im\ ax}}} \times 100\%$$

Voltaje del zener sin carga: 13,25V

Voltaje del zener a plena carga: 13,01V

$$R_C = \frac{13,25 - 13,01}{13,01} \times 100\% = 7,54\%$$

## Regulación de línea

Hay que calcular el voltaje de salida ( $V_z$ ) cuando el voltaje de entrada es el máximo nominal, cuando está 5% por encima del valor nominal y cuando está 5% por debajo del valor nominal.  $V_{max}=19,81V$

$$V_{max_{+5\%}} = 15V \sqrt{2} \times 1,05 - 1,4V = 20,87V$$

$$V_{max_{-5\%}} = 15V \sqrt{2} \times 0,95 - 1,4V = 18,75V$$

## Análisis del circuito con el voltaje $V_{\max+5\%}$ y la carga conectada

Thevenin cuando el voltaje del condensador es  $V_{\max+5\%} = 20,87V$

$$i = \frac{20,87 - 12,81V}{160\Omega} = 50,38mA$$

$$V_{TH} = V_Z = 12,81V + 50,38mA \times 0,01k\Omega = 13,31V$$

$$R_{TH} = 150\Omega // 10\Omega = 9,38\Omega$$

Corriente en la resistencia de carga para este circuito

$$i = \frac{13,31V}{510\Omega + 9,38\Omega} = 25,63mA$$

$$V_Z = 510\Omega \times i = 0,51k\Omega \times 25,63mA = 13,07V \quad V_O = V_Z = 13,07V$$

$$i_Z = \frac{13,07V - 12,81V}{10\Omega} = 26,33mA$$

En el modelo del zener:

### **Análisis del circuito con el voltaje $V_{\max.5\%}$ y la carga conectada**

Thevenin cuando el voltaje del condensador es  $V_{\max.5\%} = 18,75V$

$$i = \frac{18,75 - 12,81V}{160\Omega} = 37,13mA$$

$$V_{TH} = V_z = 12,81V + 37,13mA \times 0,01k\Omega = 13,18V$$

$$R_{TH} = 150\Omega // 10\Omega = 9,38\Omega$$

Corriente en la resistencia de carga para este circuito

$$i = \frac{13,18V}{510\Omega + 9,38\Omega} = 25,37mA$$

$$V_z = 510\Omega \times i = 0,51k\Omega \times 25,37mA = 12,94V$$

En el modelo del zener:

$$i_z = \frac{12,94V - 12,81V}{10\Omega} = 13,32mA$$

Con estos valores, el zener permanece dentro de la zona de regulación. Pero hay que analizar qué ocurre cuando el voltaje de entrada está 5% por debajo del valor nominal y el voltaje en el condensador alcanza el mínimo.

### **Regulación de línea**

$$R_{Linea} = \frac{13,07V - 12,94V}{13,01V} \times 100\% = 1\%$$

## Potencia máxima en la carga

Se calcula cuando el voltaje en el condensador es máximo y la carga está conectada, para voltaje de entrada nominal.

$$P_{RC} = \frac{(13,01V)^2}{510\Omega} = 0,332W$$

La resistencia de  $510\Omega$  puede ser de  $0,5W$