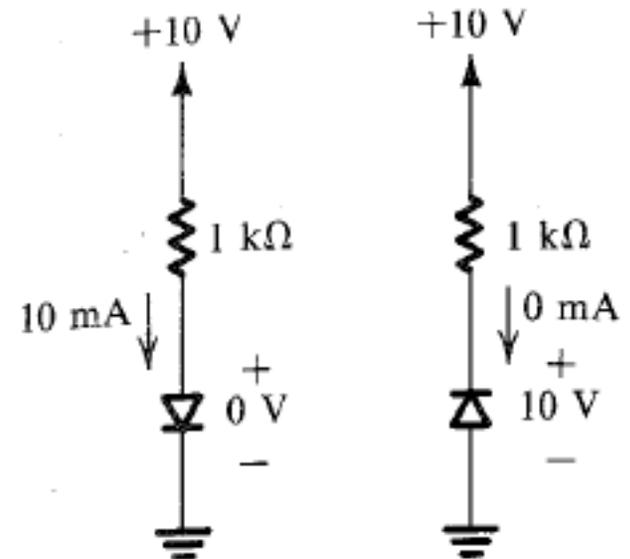
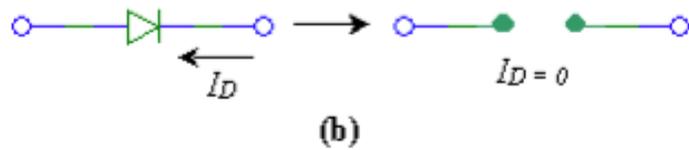
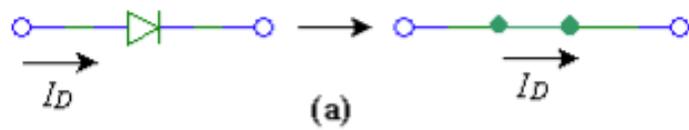
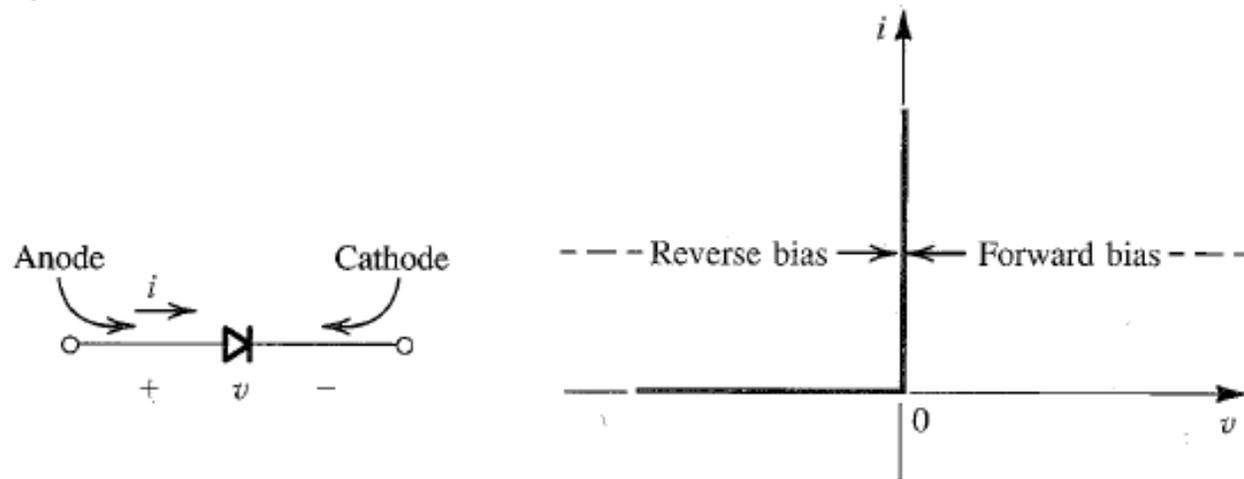
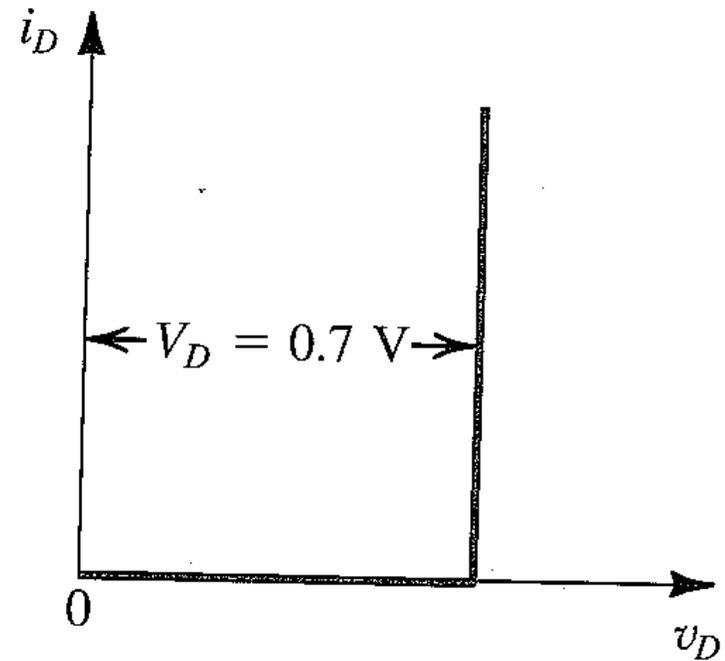
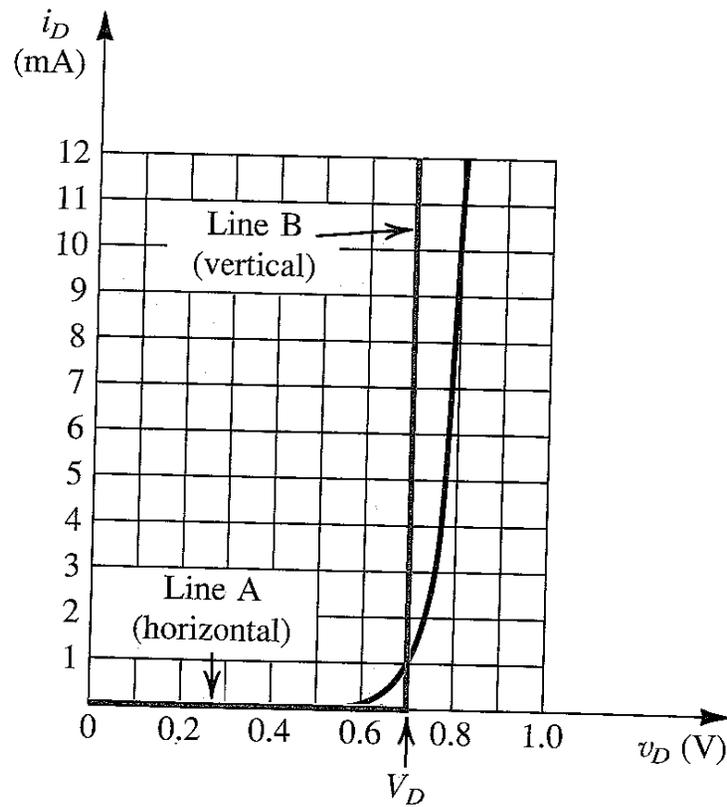


DIODOS

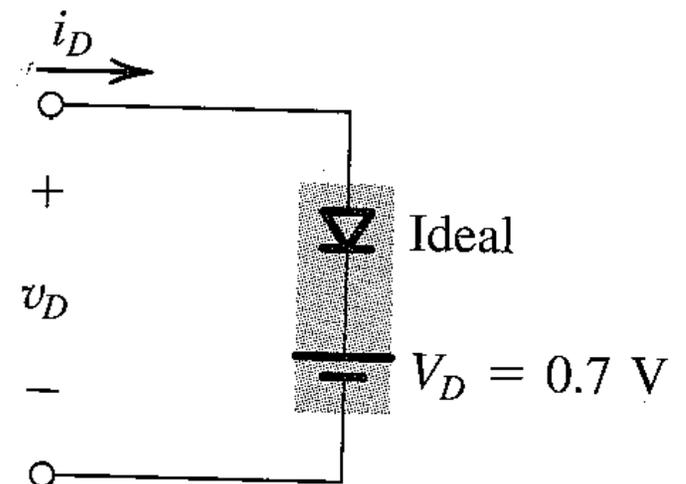
EL DIODO IDEAL



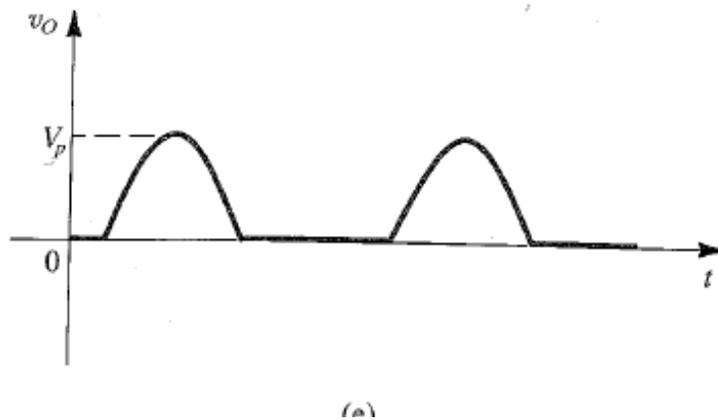
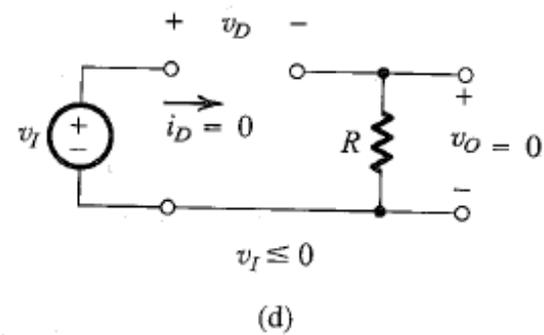
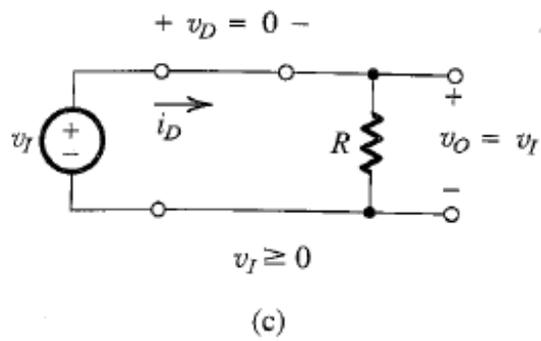
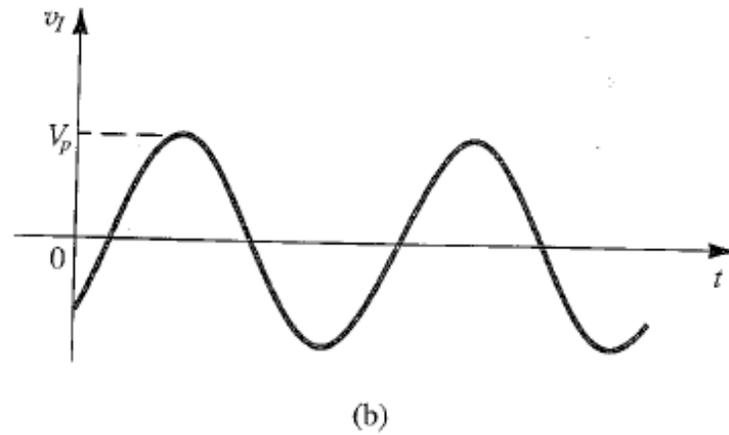
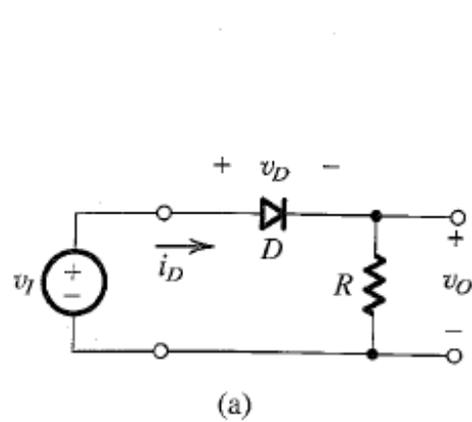
EL MODELO DE VOLTAJE CONSTANTE



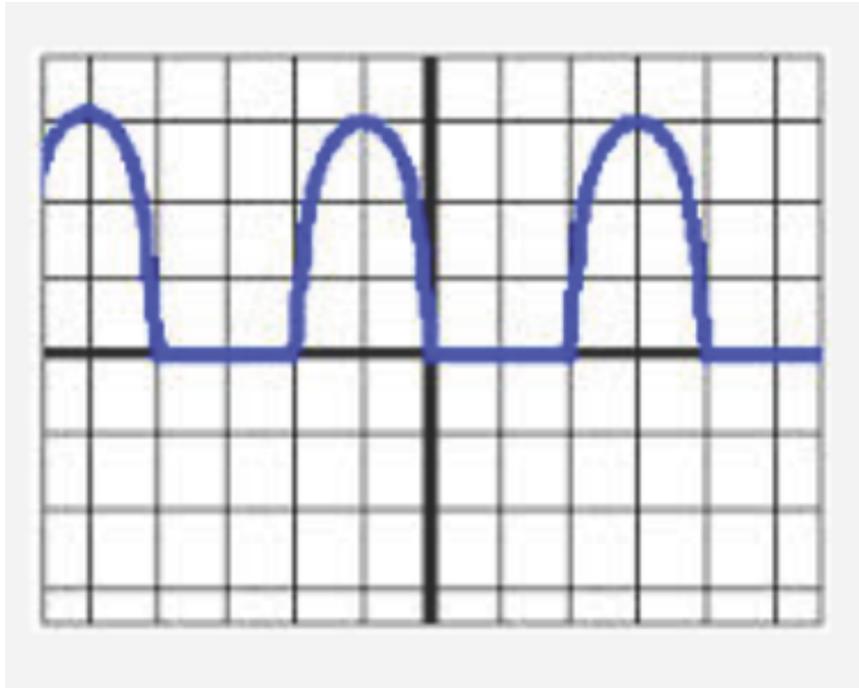
Con este modelo $V_D = 0,7$ V



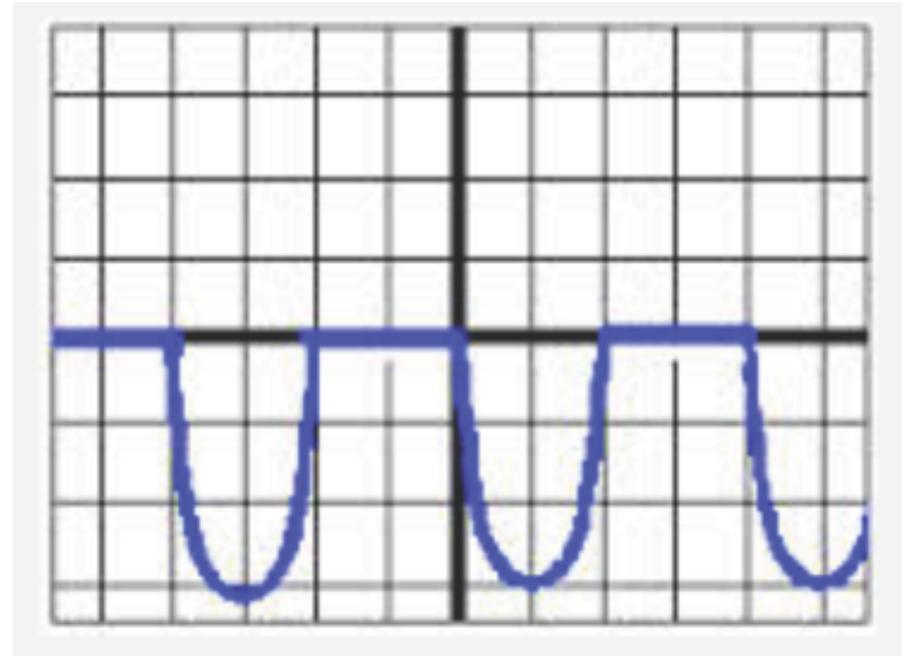
EL RECTIFICADOR



VOLTAJE EN LA CARGA Y EN EL DIODO

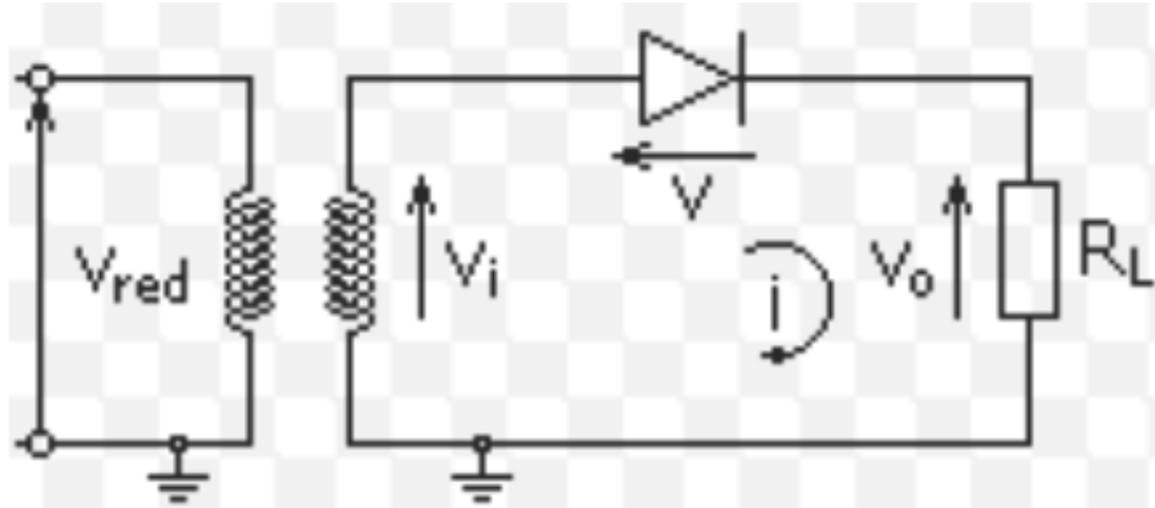


Voltaje en la carga

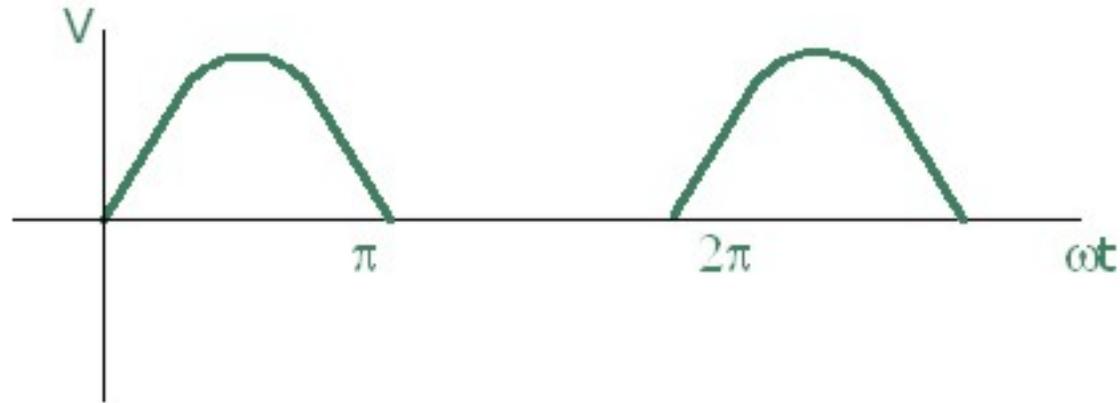


Voltaje en el diodo

RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA



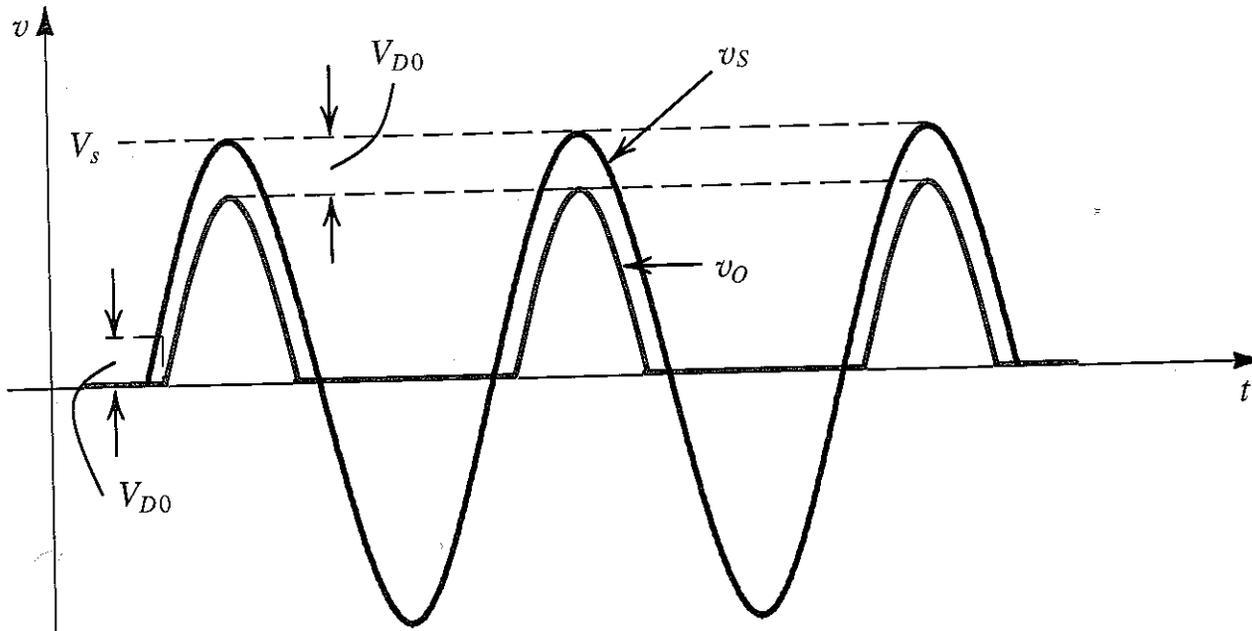
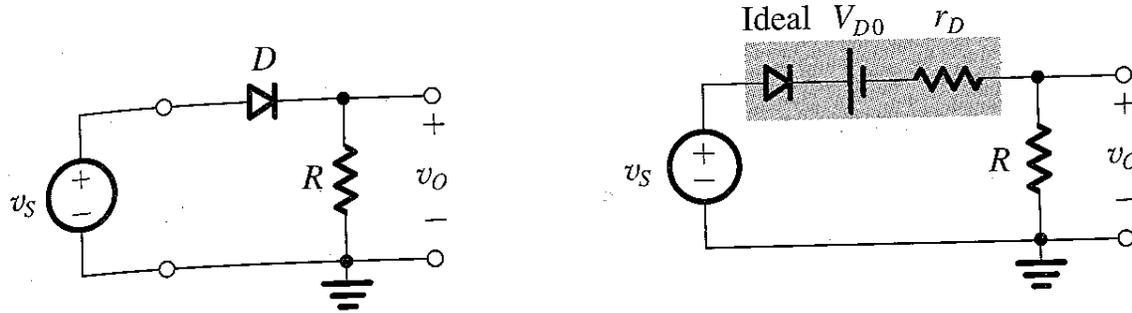
VALOR PROMEDIO Y VALOR EFICAZ



$$V_{prom} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (V_p \text{sen}\theta d\theta) = \frac{V_p}{2\pi} (-\cos\theta)_0^{\pi} = \frac{V_p}{\pi}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (V_p \text{sen}\theta)^2 d\theta} = \frac{V_p}{2}$$

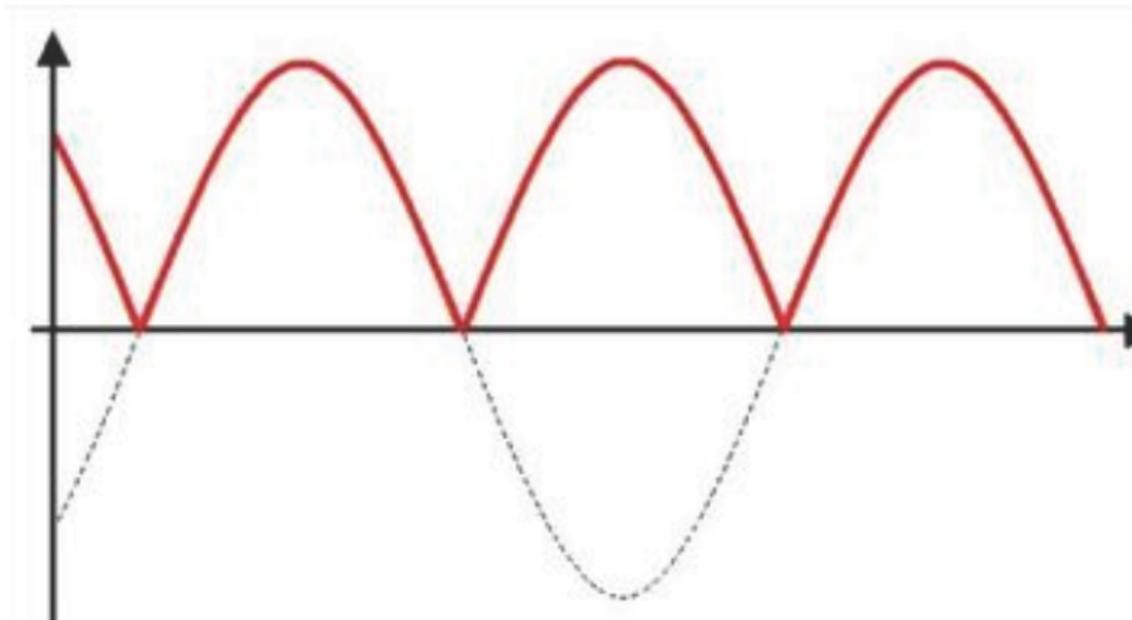
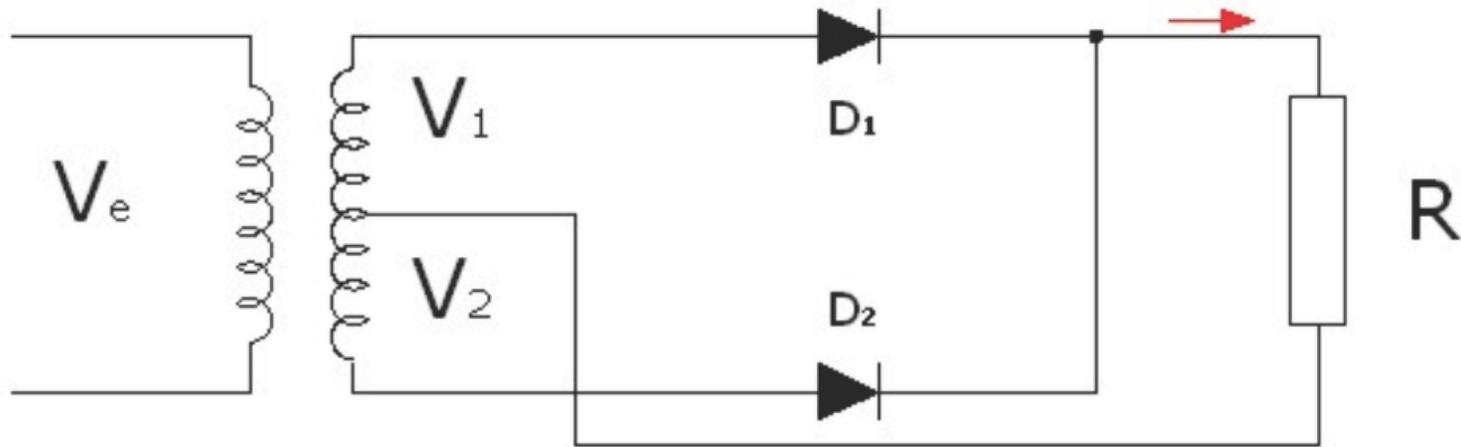
RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON EL DIODO REAL



Selección del diodo:
Voltaje Pico Inverso
(PIV) y corriente pico

$$PIV = V_s$$

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL



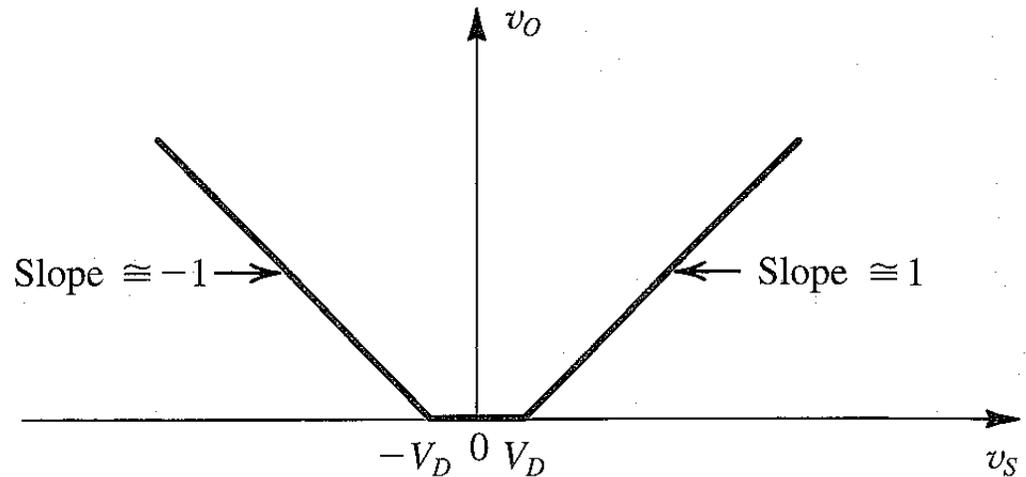
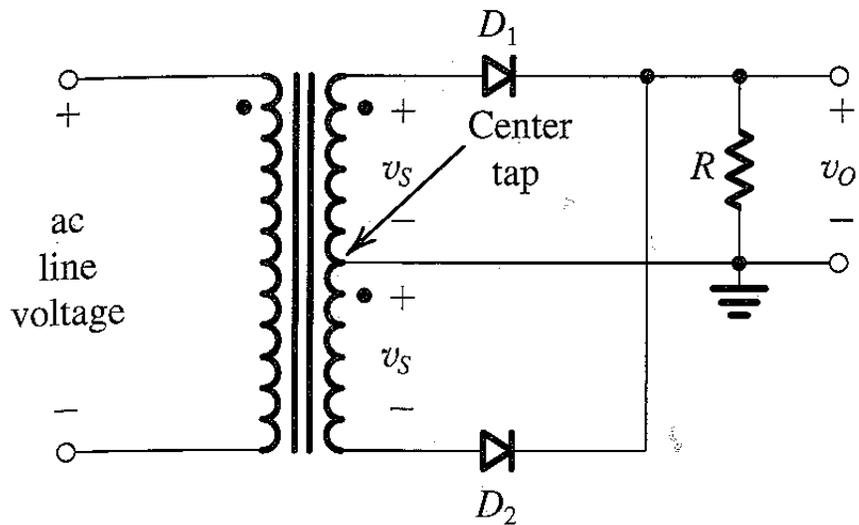
VALOR PROMEDIO Y VALOR EFICAZ



$$V_{prom} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (V_p \text{sen} \theta d\theta) = \frac{V_p}{\pi} (-\cos \theta)_0^{\pi} = \frac{2V_p}{\pi}$$

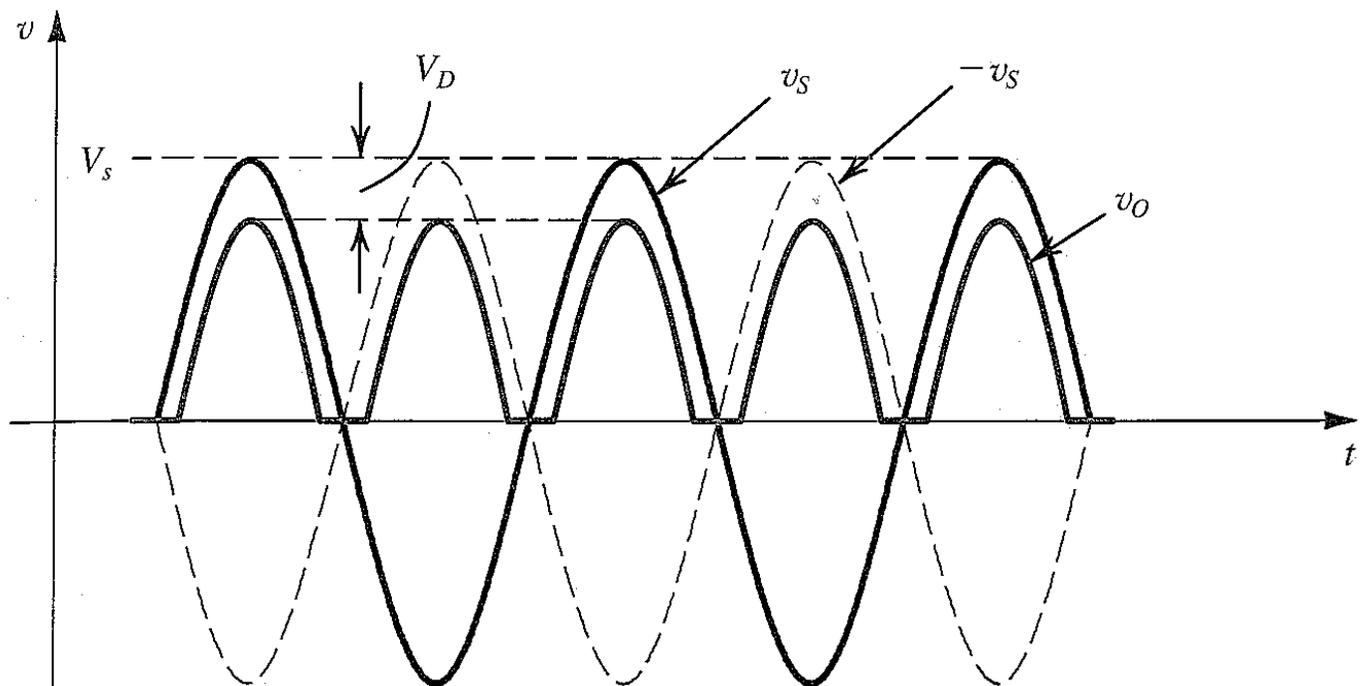
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (V_p \text{sen} \theta)^2 d\theta} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL CON EL DIODO REAL

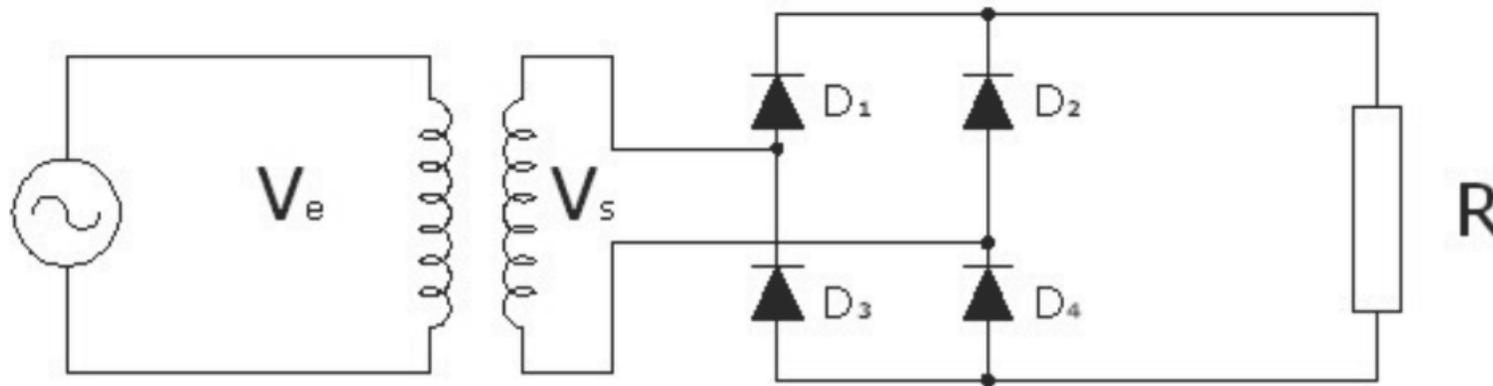
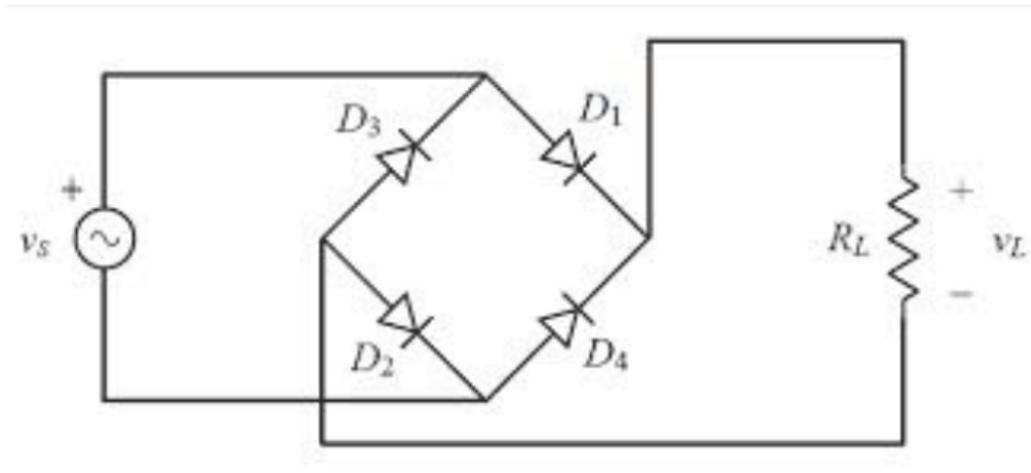


Voltaje Pico Inverso

$$PIV = 2V_s$$



RECTIFICADOR ONDA COMPLETA TIPO PUENTE



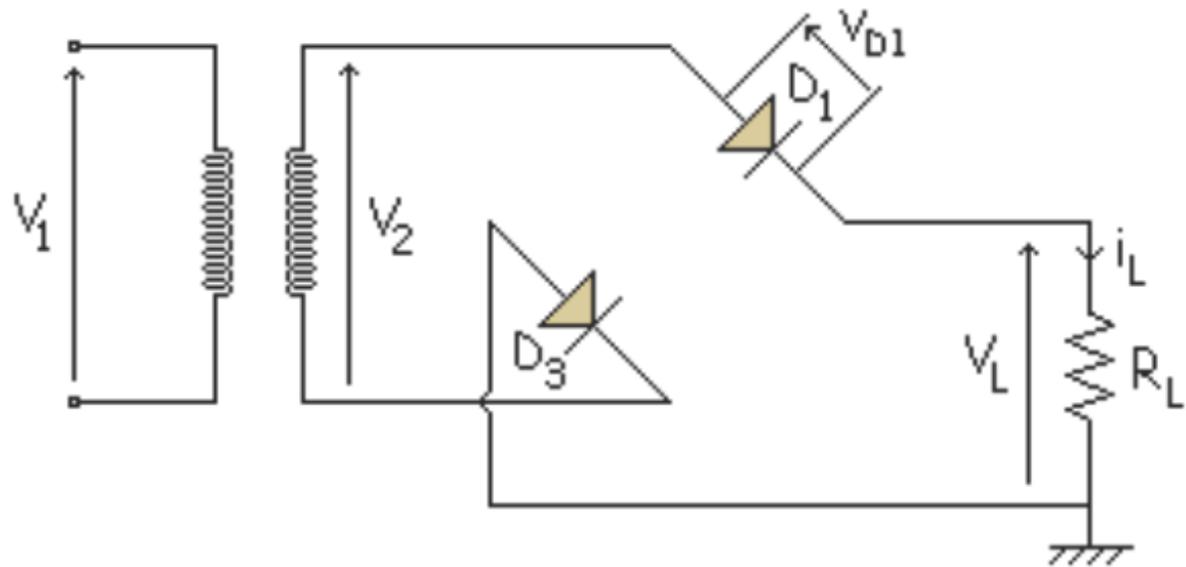
SECUENCIA DE CONDUCCIÓN DE LOS DIODOS DEL PUENTE

Semiciclo positivo:

D_1 ON

D_3 ON

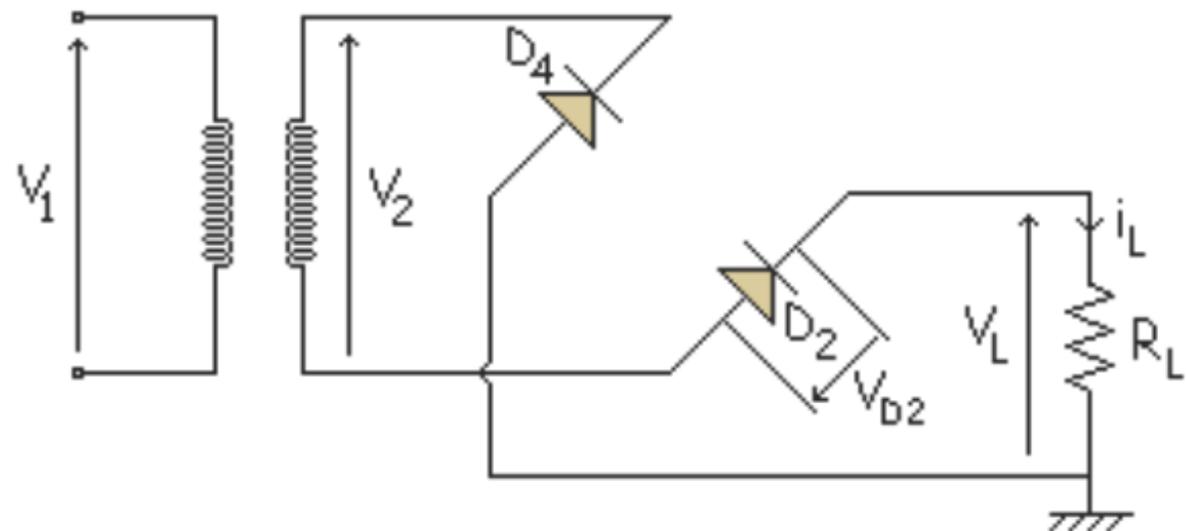
$$i_L = \frac{V_L}{R_L} = 34.5 \text{ mA}$$



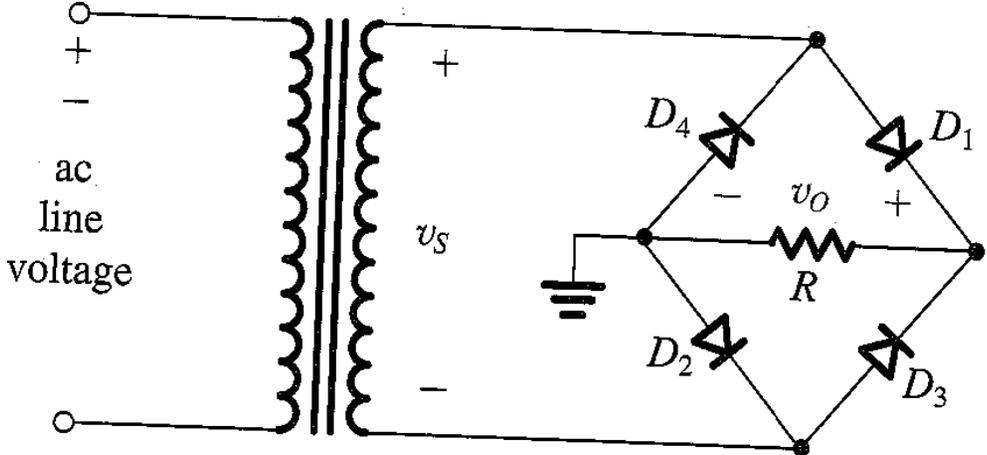
Semiciclo negativo:

D_2 ON

D_4 ON

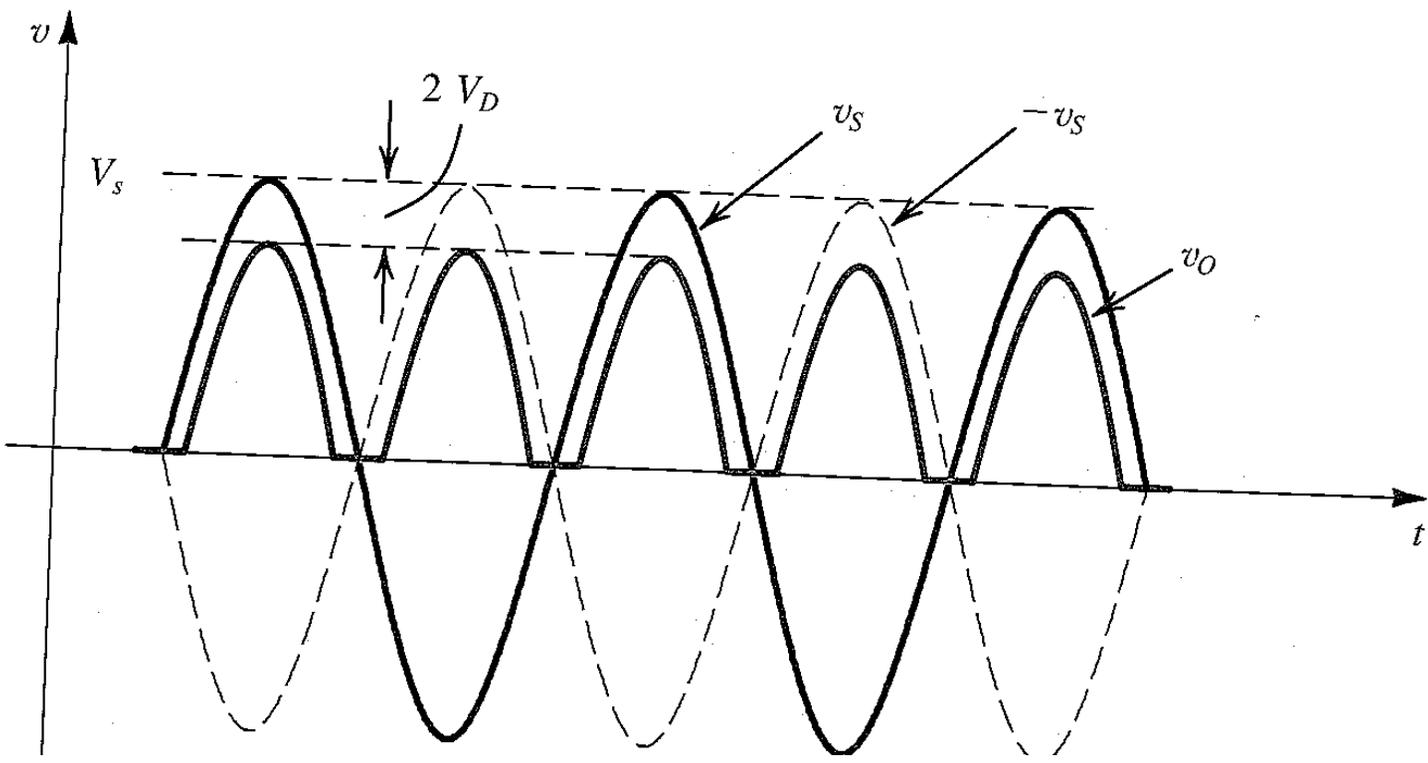


RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TIPO PUENTE CON EL DIODO REAL

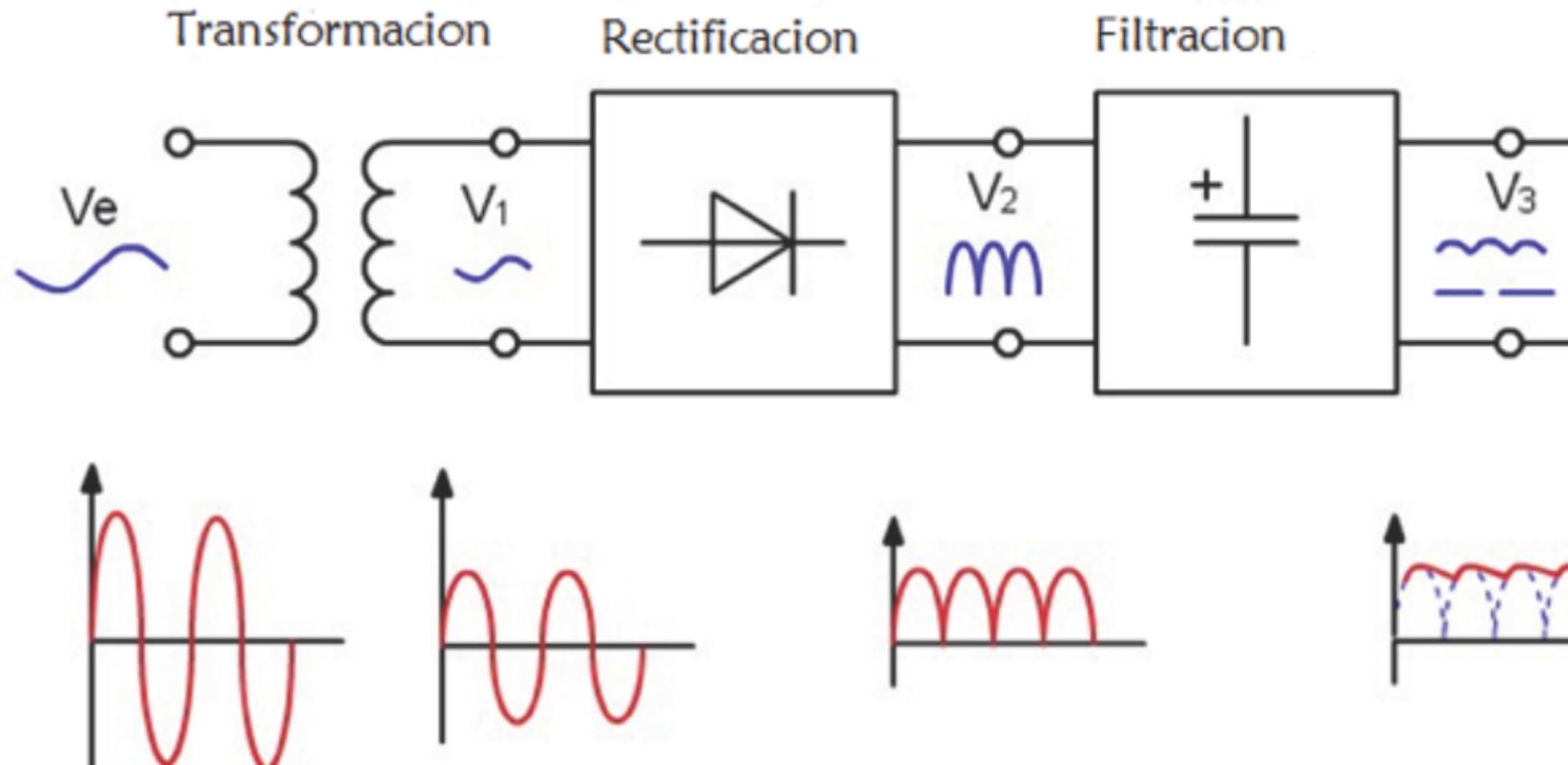


Voltaje Pico Inverso

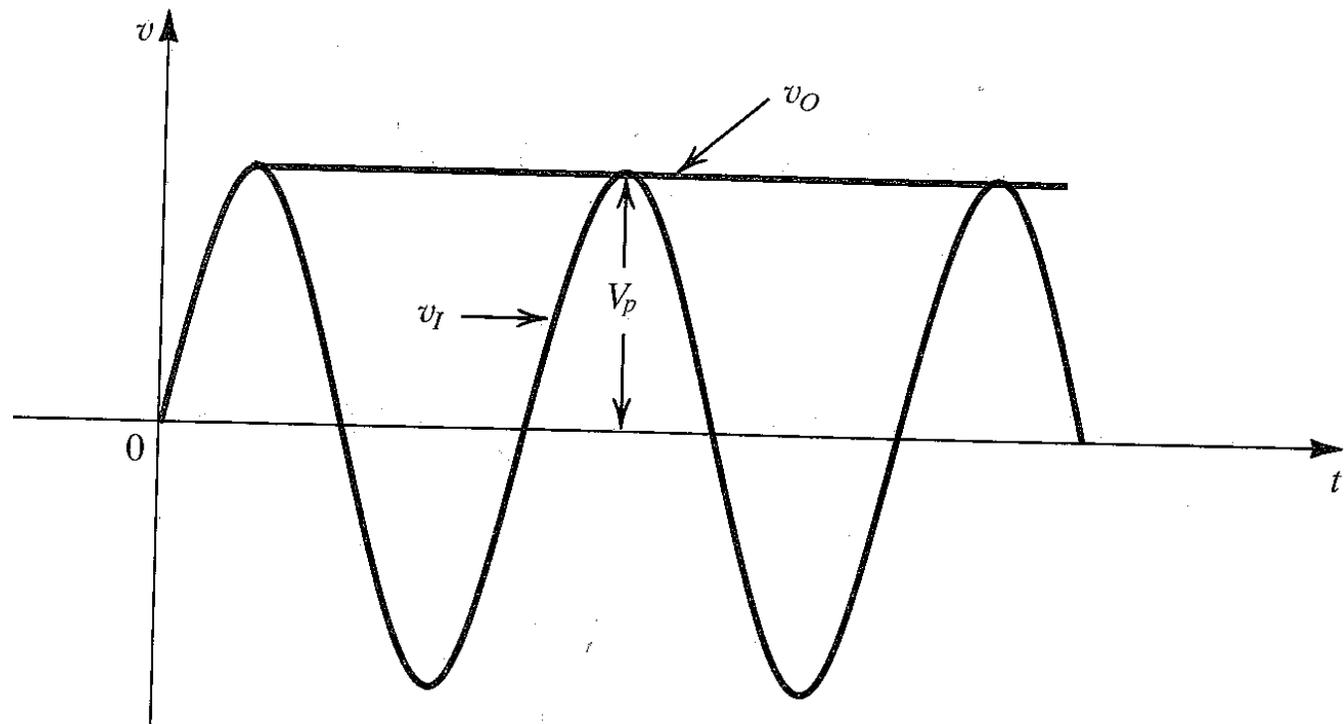
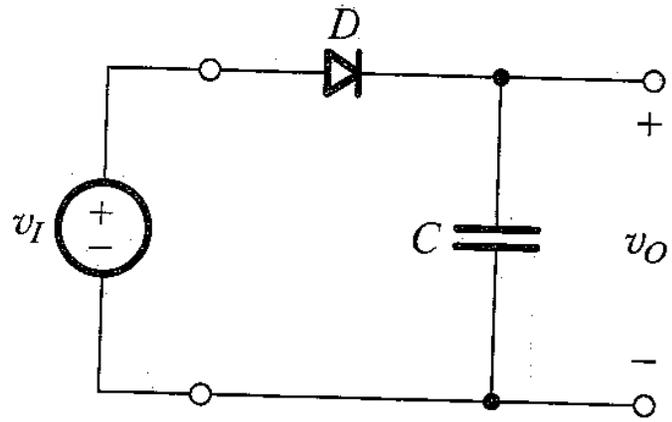
$$PIV = 2V_s$$



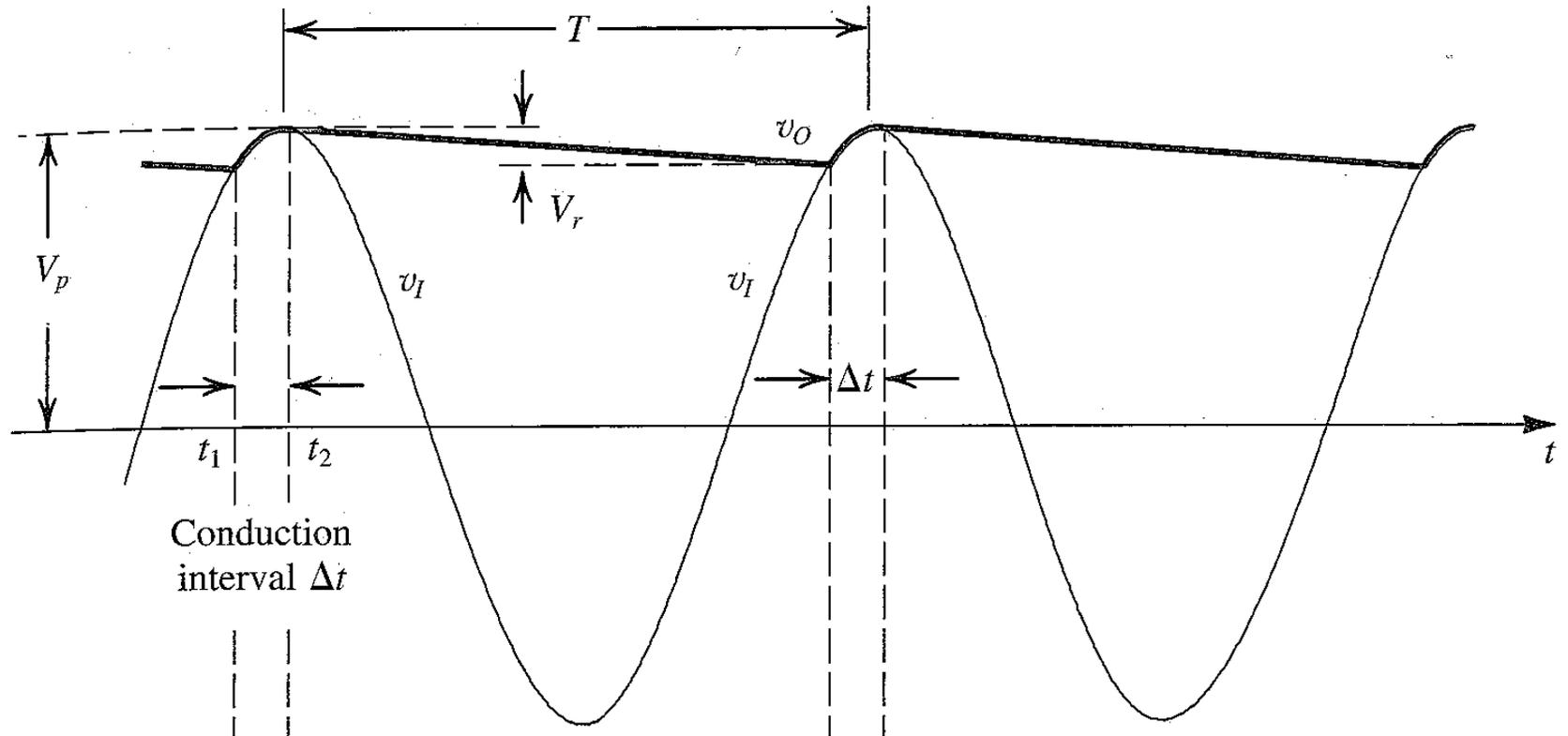
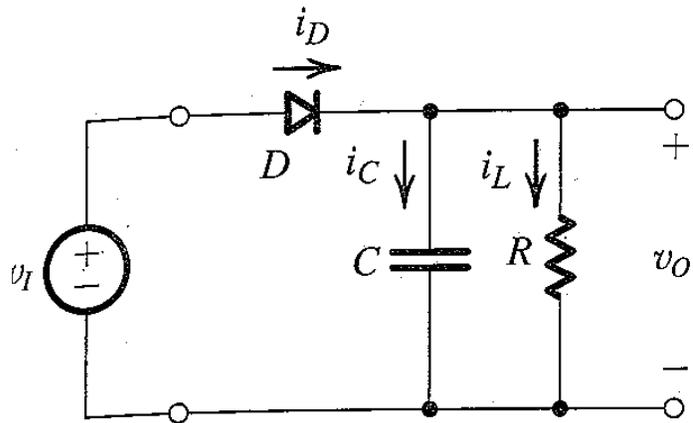
CIRCUITOS RECTIFICADORES CON FILTRO



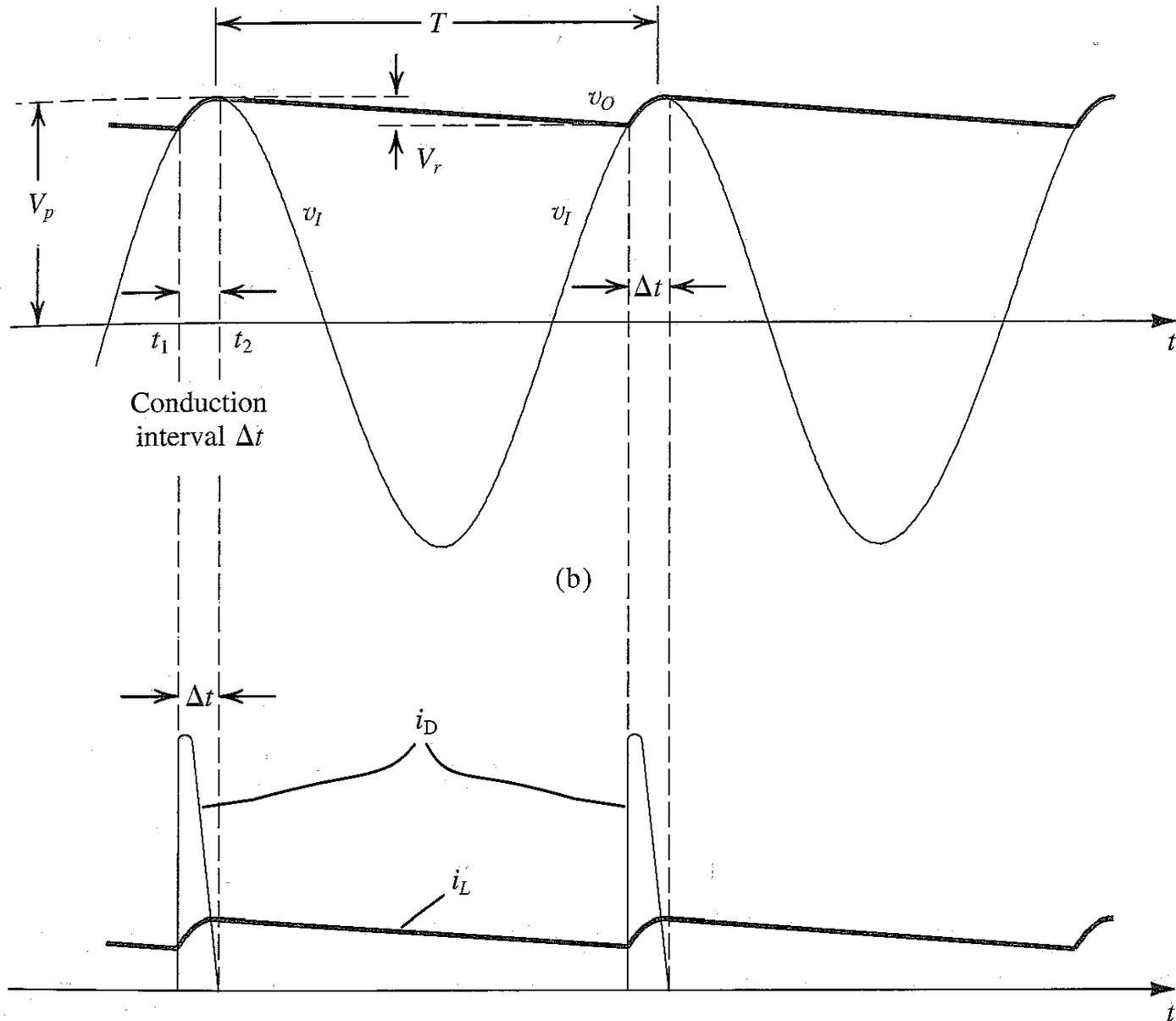
PRINCIPIO DE FILTRADO CAPACITIVO



RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON FILTRO CAPACITIVO



FORMAS DE ONDA DE LAS CORRIENTES



ANÁLISIS CUANDO EL DIODO CONDUCE

Corriente en la carga $i_L = v_O / R$

Corriente en el diodo $i_D = i_C + i_L = C \frac{dv_I}{dt} + i_L$

Para tener una señal DC es necesario que V_r sea mucho menor que V_p

Por lo tanto debe cumplirse $CR \gg T$

La corriente en R va a ser prácticamente constante $I_L = \frac{V_p}{R}$

ANÁLISIS CUANDO EL DIODO NO CONDUCE

Ecuación de descarga del condensador $v_O = V_p e^{-t/CR}$

Al finalizar el intervalo de descarga $V_p - V_r \approx V_p e^{-T/CR}$

Como $CR \gg T$, se puede aproximar a $e^{-T/CR} \approx 1 - T/CR$

Con lo cual se obtiene $V_r \approx V_p \frac{T}{CR}$

Esta ecuación se puede escribir también

$$V_r = \frac{V_p}{fCR}$$

$$V_r = \frac{I_L}{fC}$$

INTERVALO DE CONDUCCIÓN DEL DIODO

Considerando que el diodo deja de conducir cuando el voltaje llega a V_p , el tiempo de conducción Δt está dado por la expresión:

$$V_p \cos(\omega \Delta t) = V_p - V_r$$

Como $(\omega \Delta t)$ es un ángulo pequeño, puede usarse la aproximación

$$\cos(\omega \Delta t) \approx 1 - \frac{1}{2}(\omega \Delta t)^2$$

Por lo tanto

$$\omega \Delta t \approx \sqrt{2V_r / V_p}$$

CORRIENTE PROMEDIO Y MÁXIMA EN EL DIODO

Cuando el diodo conduce la carga entregada al condensador es

$$Q_{\text{supplied}} = i_{C_{\text{av}}} \Delta t$$

La corriente promedio en el condensador es

$$i_{C_{\text{av}}} = i_{D_{\text{av}}} - I_L$$

Cuando el diodo no conduce, el condensador se descarga

$$i_{C_{\text{av}}} = i_{D_{\text{av}}} - I_L$$

A partir de estas ecuaciones y las anteriores, la **corriente promedio** del diodo está dada por

$$i_{D_{\text{av}}} = I_L (1 + \pi \sqrt{2V_p/V_r})$$

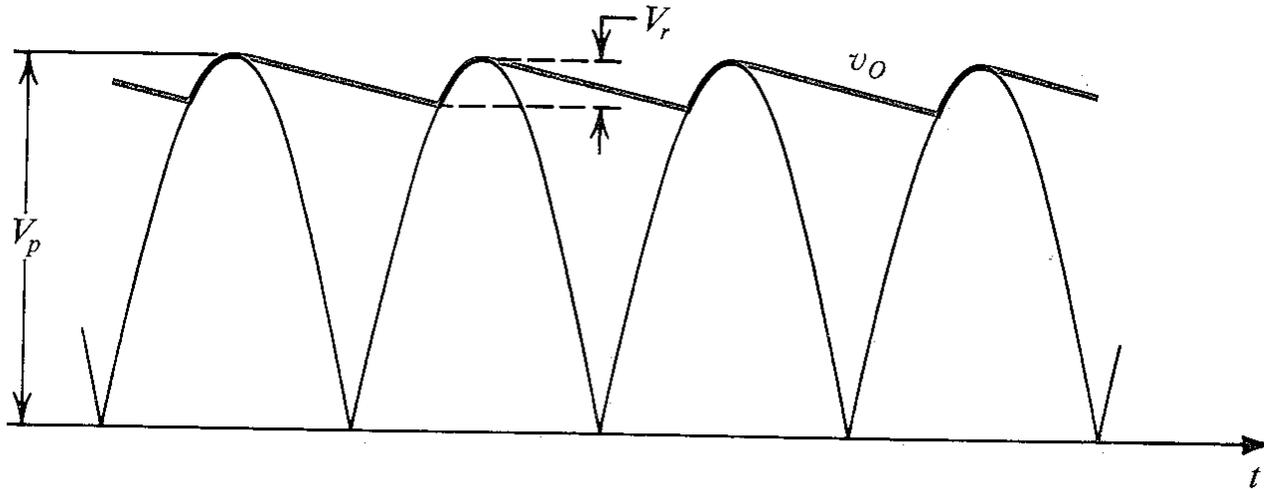
Puede deducirse que la **corriente máxima** en el diodo está dada por

$$i_{D_{\text{max}}} = I_L (1 + 2\pi \sqrt{2V_p/V_r})$$

Si $V_r \ll V_p$, $i_{D_{\text{max}}} \approx 2i_{D_{\text{av}}}$

la forma de onda de la corriente es triangular

APLICACIÓN AL RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA



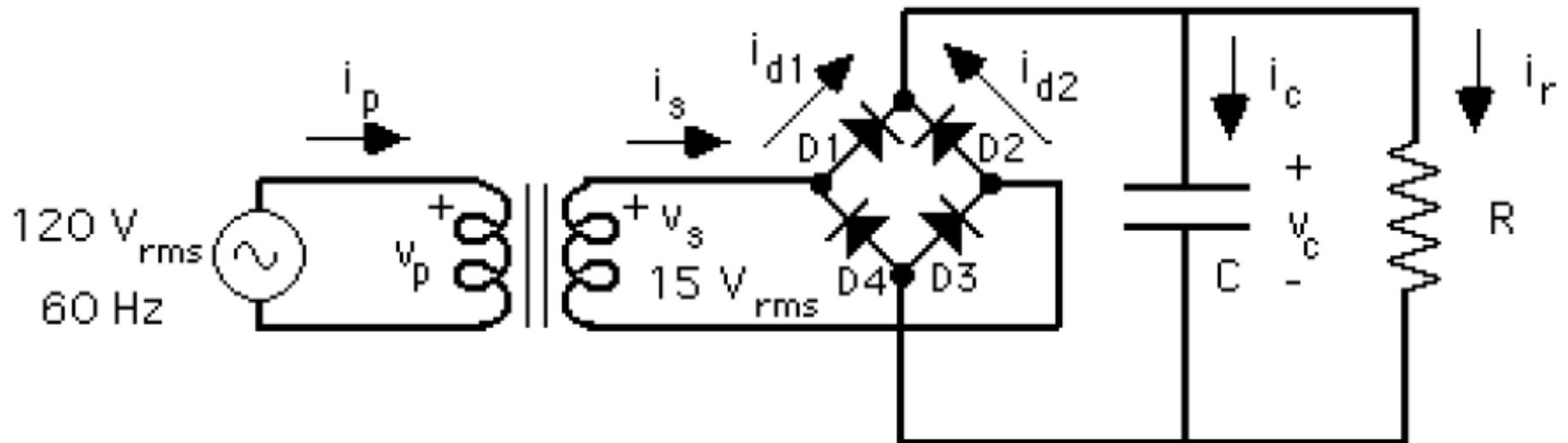
El período de descarga es ahora $T/2$ en lugar de T por lo tanto

Voltaje de rizado:
$$V_r = \frac{V_p}{2fCR}$$

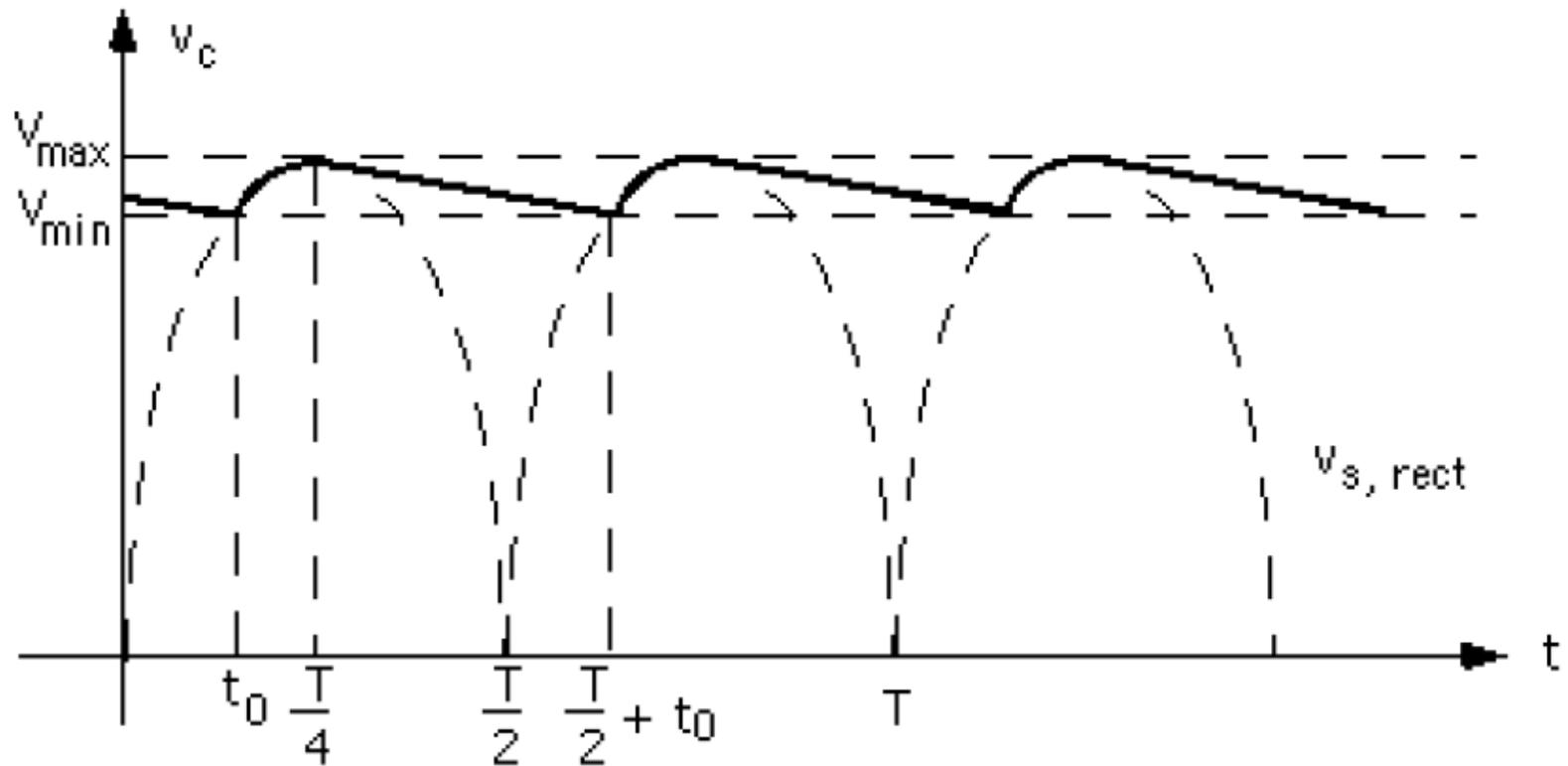
Corriente promedio en los diodos
$$i_{D_{av}} = I_L(1 + \pi\sqrt{V_p/2V_r})$$

Corriente máxima en los diodos
$$i_{D_{max}} = I_L(1 + 2\pi\sqrt{V_p/2V_r})$$

RECTIFICADOR ONDA COMPLETA CON FILTRO CAPACITIVO



FORMA DE ONDA EN LA CARGA R



ECUACIONES

Relación entre V_{\max} y V_{\min}

$$V_{\min} = V_{\max} \text{ sen } \omega t_0$$

Voltaje de rizado

$$V_r = V_{\max} - V_{\min} = V_{\max} (1 - \text{sen } \omega t_0)$$

Factor de rizado

$$\begin{aligned} F_r &= \frac{V_r}{V_{\max}} \times 100\% = \frac{V_{\max} (1 - \text{sen } \omega t_0)}{V_{\max}} \times 100\% = \\ &= (1 - \text{sen } \omega t_0) \times 100\% \end{aligned}$$

ANÁLISIS CUANDO LOS DIODOS CONDUCEN

En todo condensador $i_c = C \frac{dv}{dt}$

Si los diodos son ideales $v_c = V_{\max} \text{sen } \omega t$

Corriente en el condensador $i_c = C \omega V_{\max} \text{cos } \omega t$

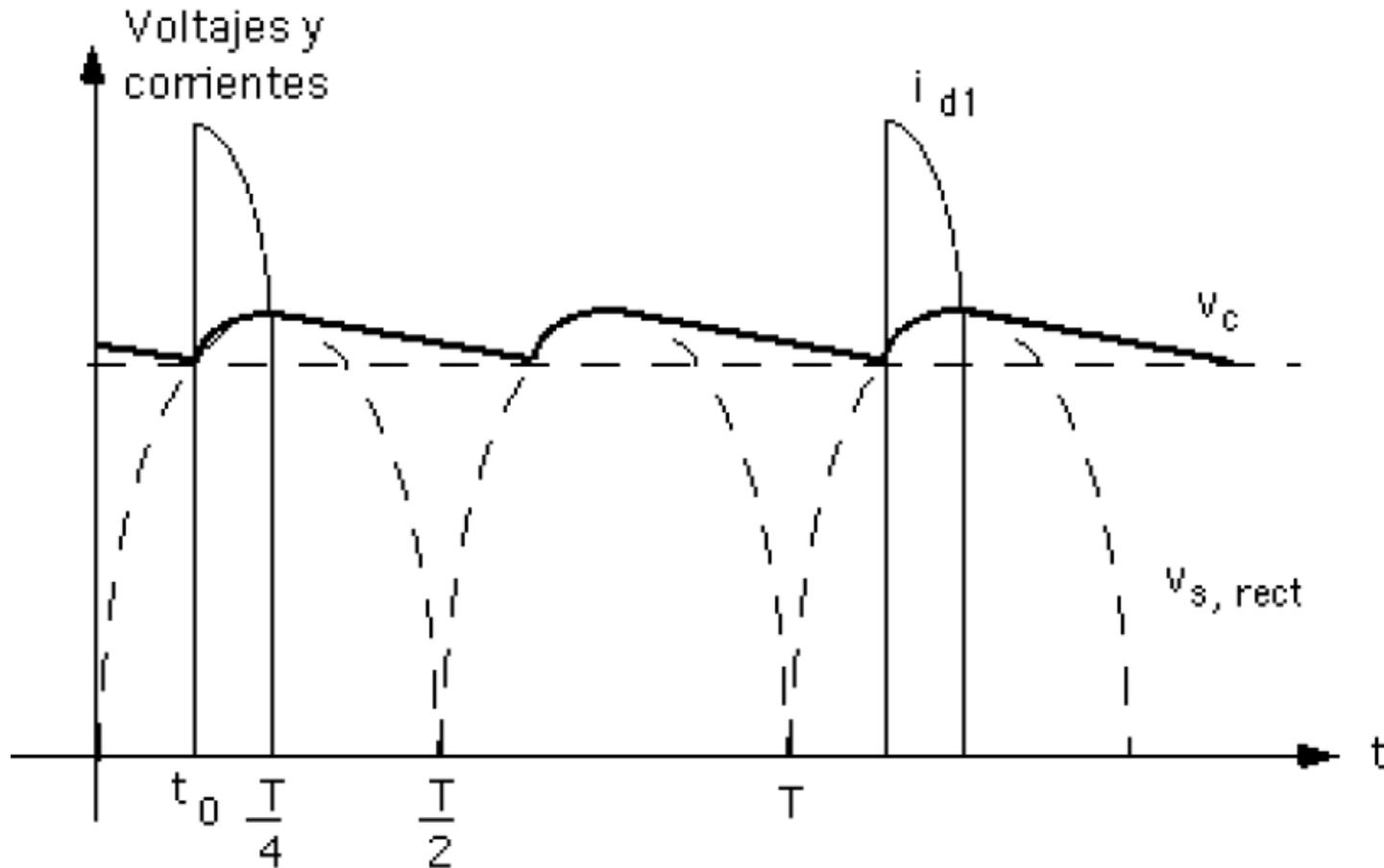
La corriente en los diodos y en el secundario del transformador es la suma de la corriente en el condensador mas en la resistencia:

$$i_s = C \omega V_{\max} \text{cos } \omega t + i_r$$

La corriente en la resistencia varía mucho más lentamente que en el condensador por lo que suponemos que se mantiene constante:

$$i_s = C \omega V_{\max} \text{cos } \omega t + I_R$$

FORMA DE ONDA DE LA CORRIENTE EN LOS DIODOS CICLO POSITIVO



Tiempo de conducción de los diodos $t_c = \frac{T}{4} - t_0$

FORMA DE ONDA DE LA CORRIENTE EN LOS DIODOS CICLO NEGATIVO

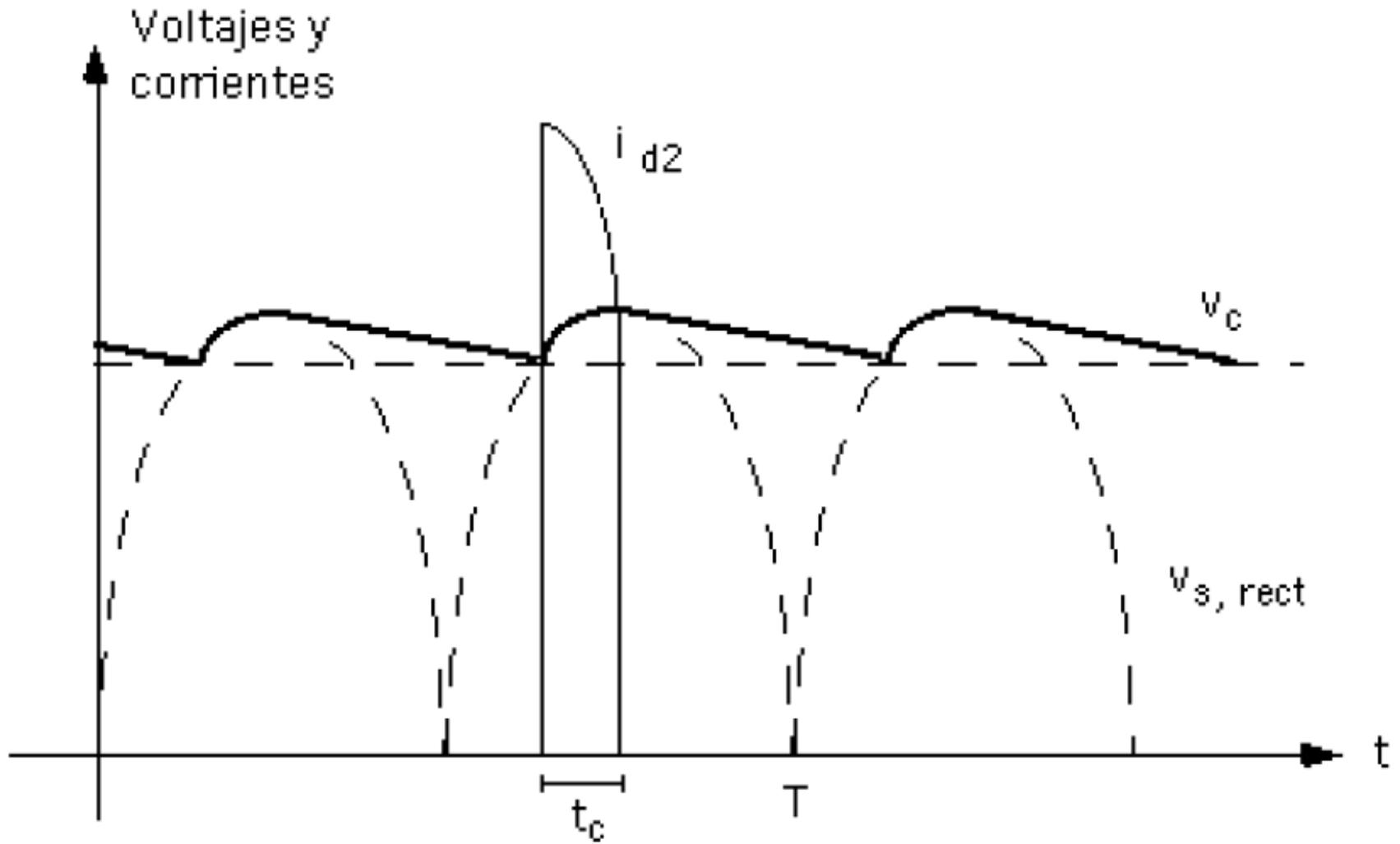
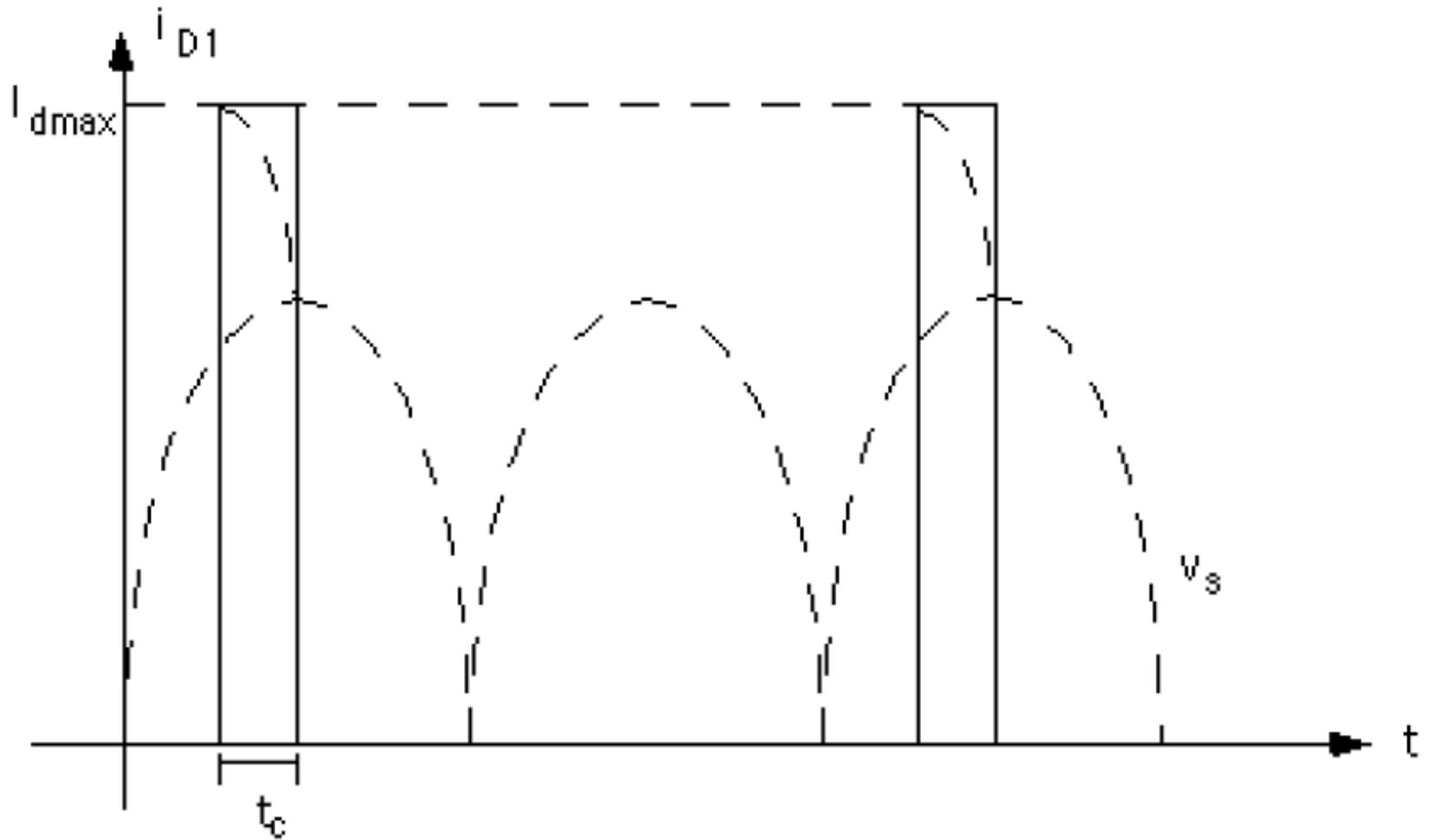
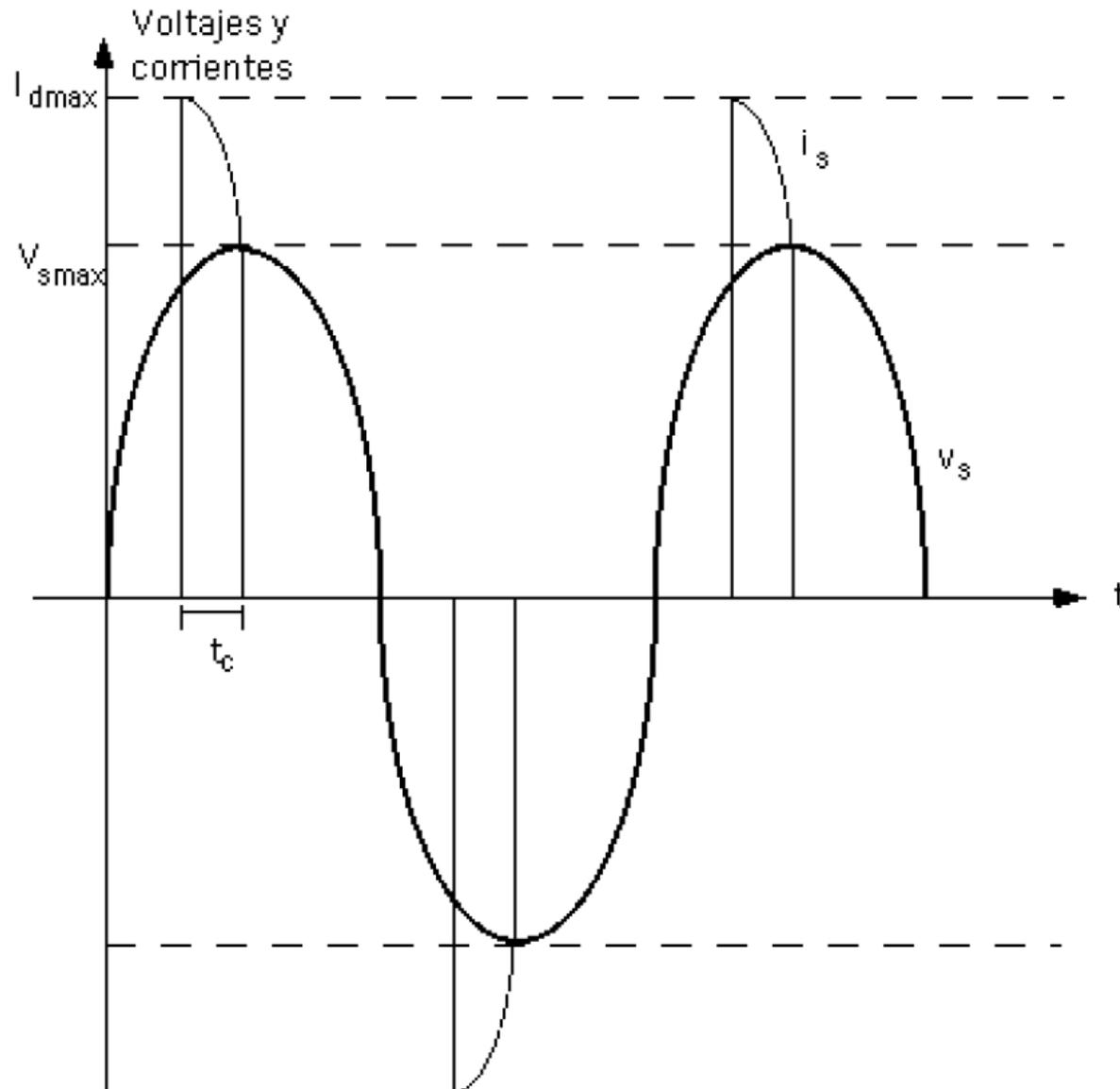


DIAGRAMA SIMPLIFICADO PARA LA CORRIENTE POR LOS DIODOS



$$I_{dmax} = C \omega V_{max} \cos \omega t_0 + I_{Rmax}$$

FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE EN EL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR



CORRIENTE Y POTENCIA PROMEDIO EN LOS DIODOS

Ecuación de valor promedio:

$$I_{d\text{prom}} = \frac{1}{T} \int_0^t i(t) dt$$

Aplicando la expresión:

$$I_{d\text{prom}} = \frac{I_{d\text{max}} t_c}{T}$$

Ecuación potencia promedio:

$$P_{d\text{prom}} = \frac{1}{T} \int_0^t i(t)v(t) dt$$

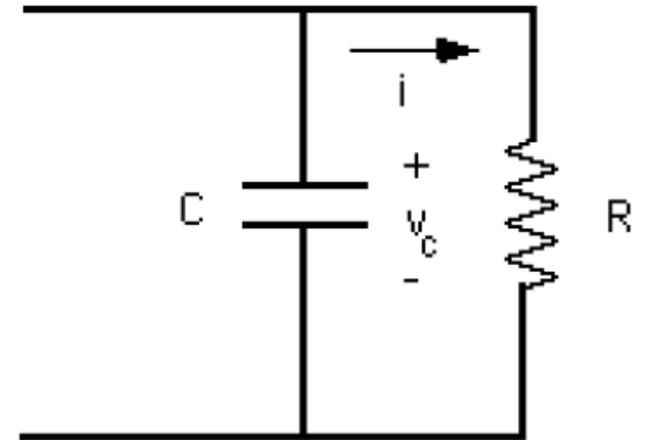
Aplicando la expresión:
(aquí tenemos que suponer un V_d constante, distinto de cero)

$$P_{d\text{prom}} = \frac{I_{d\text{max}} V_d t_c}{T}$$

ANÁLISIS CUANDO LOS DIODOS NO CONDUCCEN

Consideramos que la corriente en la carga permanece prácticamente constante, por lo que la descarga del condensador es lineal.

$$I_{rmax} = C \frac{\Delta V}{\Delta t}$$



La variación de voltaje es el voltaje de rizado V_r

Del diagrama se observa que $\Delta t = \frac{T}{2} + t_0 - \frac{T}{4} = \frac{T}{4} + t_0$

La variación de voltaje es el voltaje de rizado V_r

Por lo tanto:
$$I_{rmax} = C \frac{V_{max} - V_{min}}{\frac{T}{4} + t_0} = C \frac{V_{max} (1 - \text{sen } \omega t_0)}{\frac{T}{4} + t_0}$$

EJEMPLO

Se tiene un rectificador de onda completa con filtro capacitivo conectado a un transformador cuyo voltaje de salida es 15 Vrms y la frecuencia de línea es 60 Hz. La máxima corriente de carga es 50 mA.

Determine el valor del condensador C para que el factor de rizado sea de 5%.

$$V_{\max} = 15V_{rms} = 15\sqrt{2}V_p = 21,21V_p$$

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

$$Frizado = \frac{V_r}{V_{\max}} = 0,05 \quad V_r = 0,05 \times 19,81 = 0,99V$$

$$V_r = V_{\max} - V_{\min} = 0,99V \quad V_{\min} = 19,81V - 0,99V = 18,82V$$

$$V_{\min} = V_{\max} \operatorname{sen} \omega t_0 \qquad \operatorname{sen} \omega t_0 = \frac{V_{\min}}{V_{\max}} = \frac{18,82V}{19,81V} = 0,95$$

$$\operatorname{arcsen}(0,95) = \omega t_0$$

EN RADIANTES

$$1,25 = 2\pi(60\text{Hz})t_0 \qquad t_0 = \frac{1,25}{2\pi 60 \left(\frac{1}{\text{seg}} \right)} = 3,32\text{ms}$$

$$T = 1/(60\text{Hz}) = 16,6\text{ms} \qquad \frac{T}{2} = 8,3\text{ms} \qquad \frac{T}{4} = 4,17\text{ms} \qquad \frac{T}{4} + t_0 = 7,49\text{ms}$$

$$I_{R\max} = C \frac{V_r}{\frac{T}{4} + t_0} = 50\text{mA} \qquad C = \frac{(50\text{mA})(7,49\text{ms})}{0,99V} = 378,28\mu\text{F}$$

El condensador C tiene que ser electrolítico

METODO APLICADO AL RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

Para los valores que se tengan de V_{\max} y V_r , lo cual define el V_{\min} correspondiente, la ecuación anterior solo difiere en el tiempo en el que no conduce el diodo, el cual ahora es un semiperíodo mas largo, es decir.

$$\Delta t = \frac{T}{2} + \frac{T}{4} + t_o = \frac{3T}{4} + t_o$$

Por lo tanto, la ecuación para la corriente de carga máxima es:

$$I_{r \max} = C \frac{V_{\max}(1 - \sin \omega t_0)}{\frac{3T}{4} + t_o}$$

Las expresiones para la corriente máxima, la corriente promedio y la potencia promedio en cada diodo son las mismas.

EJEMPLO MEDIA ONDA APLICANDO EL PROCEDIMIENTO 1

Se tiene un rectificador de media onda con $V_p = 100 \text{ V}$ $f = 60 \text{ Hz}$ y una resistencia de carga $R = 10 \text{ k}\Omega$. Encuentre el valor del condensador para que el voltaje de rizado sea de 2V . Determine también el tiempo de conducción del diodo, su corriente máxima y su corriente pico.

Valor del condensador $C = \frac{V_p}{V_r f R} = \frac{100}{2 \times 60 \times 10 \times 10^3} = 83.3 \mu\text{F}$

Tiempo de conducción $\omega \Delta t = \sqrt{2 \times 2 / 100} = 0.2 \text{ rad}$

Corriente en la carga $I_L = 100 / 10 = 10 \text{ mA}$

Corriente promedio $i_{D_{\text{av}}} = 10(1 + \pi \sqrt{2 \times 100 / 2}) = 324 \text{ mA}$

Corriente máxima $i_{D_{\text{max}}} = 10(1 + 2\pi \sqrt{2 \times 100 / 2}) = 638 \text{ mA}$

EJEMPLO MEDIA ONDA APLICANDO EL PROCEDIMIENTO 2

La ecuación para determinar el valor del condensador es:

$$I_{r \max} = C \frac{V_{\max}(1 - \operatorname{sen}\omega t_0)}{\frac{3T}{4} + t_0}$$

$$V_{\min} = V_{\max} - V_r = 98 = V_{\max} \operatorname{sen}\omega t_0 = 100 \operatorname{sen}\omega t_0$$

$$\operatorname{sen}\omega t_0 = 0,98 \quad \omega t_0 = 1,37 \operatorname{rad} \quad t_0 = \frac{1,37}{2 \times 3,14 \times 60} = 0,00364 \operatorname{s} = 3,64 \operatorname{ms}$$

$$T = \frac{1}{60} = 0,01667 \operatorname{s} = 16,67 \operatorname{ms} \quad \frac{3T}{4} = 12,5 \operatorname{ms}$$

$$\frac{3T}{4} + t_0 = 16,14 \operatorname{ms} \quad I_{r \max} = \frac{100 \operatorname{V}}{10 \operatorname{k}\Omega} = 10 \operatorname{mA}$$

$$C = I_{r \max} \frac{\left(\frac{3T}{4} + t_0\right)}{V_{\max}(1 - \operatorname{sen}\omega t_0)} = 10 \operatorname{mA} \frac{16,14 \operatorname{ms}}{100 \operatorname{V}(1 - 0,98)} = 80,7 \mu\operatorname{F}$$

Tiempo de conducción: $\Delta t = \frac{T}{4} - t_0 = \frac{16,67ms}{4} - 3,64ms = 0,53ms$

Para comprobar resultados: $\omega\Delta t = 2 \times 3,14 \times 60 \times 0,53 = 0,2rad$

Corriente máxima por el diodo:

$$I_{D\max} = C\omega V_{\max} \cos\omega t_0 + I_{R\max}$$

$$I_{D\max} = 80 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 60 \times 100V \cos 1,37 + 10mA = 611,52mA$$

$$I_{Dprom} = \frac{I_{D\max}\Delta t}{T} = \frac{611,52mA \times 0,53ms}{16,67ms} = 19,44mA$$

EJEMPLO ONDA COMPLETA APLICANDO EL PROCEDIMIENTO 1

$$V_s = 20 \text{ V}$$

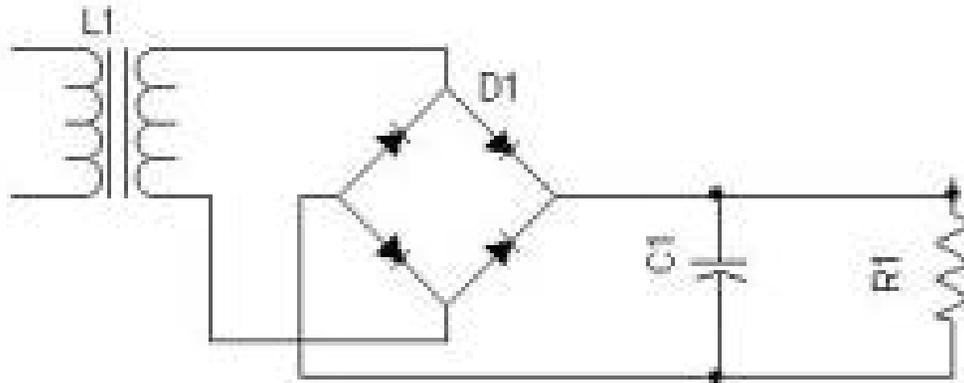
$$R_1 = 200 \ \Omega$$

$$V_r = 2 \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

Hallar C_1

Hallar $I_{D_{\max}}$



$$V_r = \frac{V_p}{2fCR}$$

$$C_1 = \frac{V_p}{2fRV_r} = \frac{20\text{V}}{2 \times 60 \times 200 \times 2\text{V}} = 416,66 \mu\text{F}$$

$$i_{D_{\max}} = I_L (1 + 2\pi \sqrt{V_p / 2V_r})$$

$$i_{D_{\max}} = \frac{20\text{V}}{200\Omega} \left(1 + 2\pi \sqrt{\frac{20\text{V}}{2 \times 2\text{V}}} \right) = 1,5 \text{ A}$$

$$i_{D_{\text{av}}} = I_L (1 + \pi \sqrt{V_p / 2V_r})$$

$$i_{D_{\text{av}}} = \frac{20\text{V}}{200\Omega} \left(1 + \pi \sqrt{\frac{20\text{V}}{2 \times 2\text{V}}} \right) = 0,7 \text{ A}$$

EJEMPLO ONDA COMPLETA APLICANDO EL PROCEDIMIENTO 2

$$V_{\min} = V_{\max} - V_r = 20V - 2V = 18V \quad I_{r \max} = \frac{20V}{200\Omega} = 100mA$$

$$V_{\min} = 18V = V_{\max} \text{sen}\omega t_0 = 20 \text{sen}\omega t_0 \quad \text{sen}\omega t_0 = \frac{18}{20} = 0,9 \quad \omega t_0 = 1,12 \text{rad}$$

$$t_0 = \frac{1,12}{2 \times 3,14 \times 60} = 2,97 \text{ms} \quad \frac{T}{4} + t_0 = 7,135 \text{ms} \quad t_c = \frac{T}{4} - t_0 = 1,196 \text{ms}$$

$$I_{r \max} = C \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\frac{T}{4} + t_0} \quad C = \frac{I_{r \max} \left(\frac{T}{4} + t_0 \right)}{V_r} = \frac{100mA \times 7,135 \text{ms}}{2} = 356,75 \mu F$$

$$I_{D \max} = C \omega V_{\max} \cos \omega t_0 + I_{R \max} = 356,75 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 60 \times 20 \cos 1,12 + 0,1A = 1,27A$$

$$I_{D \text{prom}} = \frac{I_{D \max} \Delta t}{T} = \frac{1,27A \times 1,196 \text{ms}}{16,67 \text{ms}} = 91,11 \text{mA}$$

EJERCICIOS

Análisis completo de un rectificador de media onda sin filtro

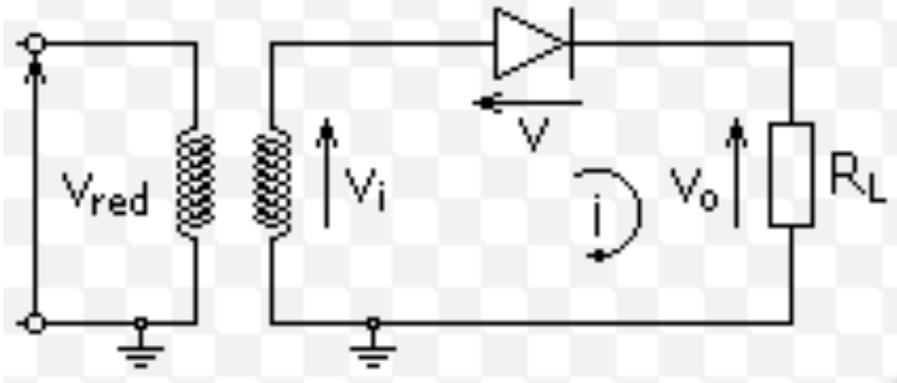
En el circuito se tiene:

$$V_{\text{prim}} = 120 \text{ Vrms}$$

$$V_{\text{sec}} = 15 \text{ Vrms}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$R_L = 390 \Omega, 2 \text{ W}$$



$$V_{\text{secpico}} = 15\sqrt{2} \text{ V} = 21,21 \text{ V} \quad V_{\text{RLpico}} = 21,21\text{V} - 0,7 \text{ V} = 20,51\text{V}$$

$$V_{\text{RLprom}} = V_{\text{RLpico}} / \pi = 20,51\text{V} / \pi = 6,53\text{V} \quad V_{\text{RLrms}} = V_{\text{RLpico}} / 2 = 10,26\text{V}$$

$$I_{\text{RLpico}} = V_{\text{RLpico}} / R_L = 20,51\text{V} / 390\Omega = 52,6\text{mA}$$

$$I_{\text{RLprom}} = V_{\text{RLprom}} / R_L = 6,53\text{V} / 390\Omega = 16,74\text{mA}$$

$$I_{RLrms} = V_{RLrms} / R_L = 10,26V / 390\Omega = 26,3mA$$

$$P_{RL} = V_{RLrms} \times I_{RLrms} = 10,26V \times 26,3 mA = 269,83 mW$$

$$P_{aparente_{sec}} = V_{rms_{sec}} \times I_{rms_{sec}} = 15V \times 26,3mA = 394,5 mVA$$

La potencia promedio en el diodo está dada por $P_{dprom} = \frac{1}{T} \int_0^t i(t)v(t)dt$

Como el voltaje en el diodo es constante, la expresión queda:

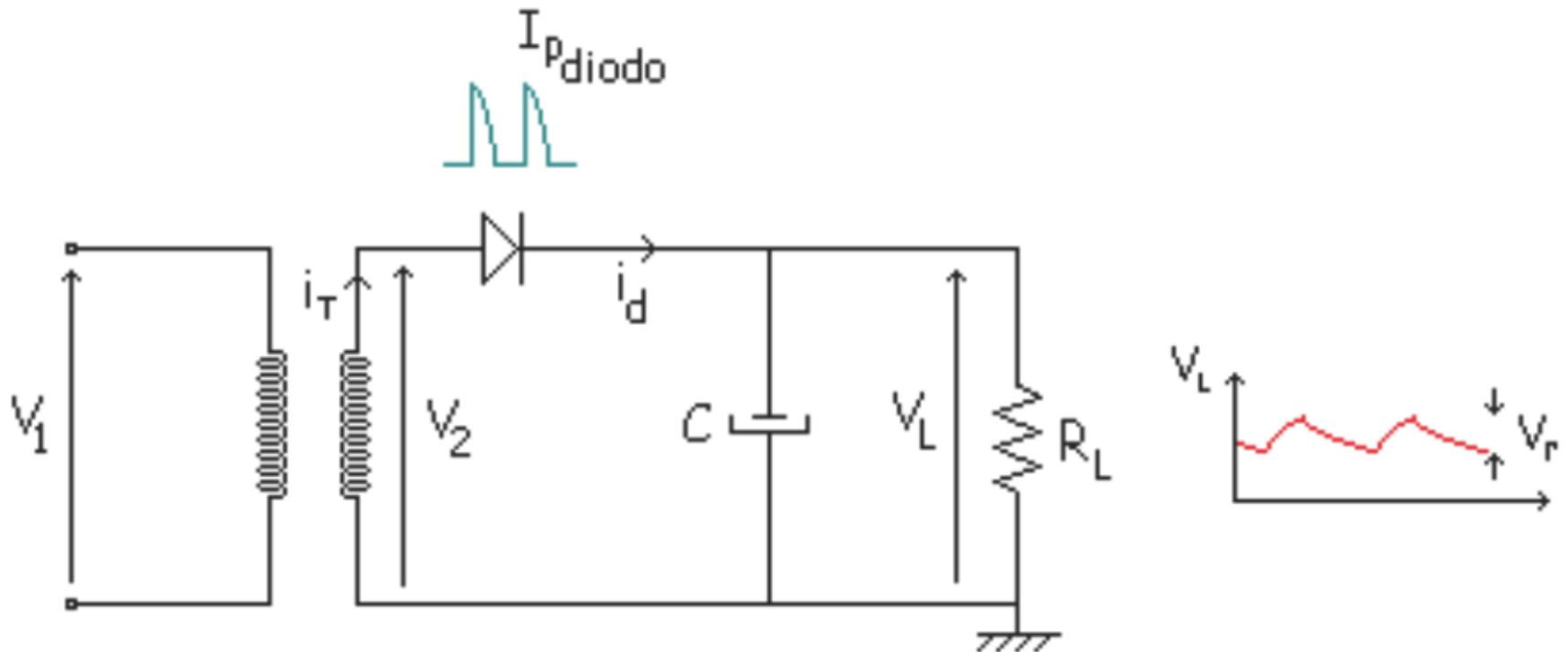
$$P_d = V_d \times I_{dprom} \quad \text{Pero } I_{dprom} = I_{RLprom} \quad \text{por lo tanto}$$

$$P_d = 0,7V \times 16,74mA = 11,72 mW$$

Análisis completo de un rectificador de media onda con filtro

Para el circuito anterior, seleccionar un condensador para $F_r = 10\%$ si $V_2 = 15V_{rms}$

$$F_r = \frac{V_r}{V_{max}} \times 100\%$$



En el condensador: $V_{\max} = 20,51V$

$$V_{RLpico} = 20,51V = V_{\max}$$

$$V_r = F_r \times V_{\max}/100 = 2,051V$$

$$V_{\min} = V_{\max} - V_r = 18,46V$$

$$V_{\min} = V_{\max} \sin \omega t_0$$

$$t_0 = (1/\omega) \arcsin V_{\min}/V_{\max} = 2,97 \text{ ms}$$

$$I_{r \max} = C \frac{V_{\max} (1 - \sin \omega t_0)}{\frac{3T}{4} + t_0}$$

$$I_{RLpico} = V_{RLpico} / R_L = 20,51V / 390\Omega = 52,6mA$$

$$\Delta t = t_0 + 3T/4 = 15,47 \text{ ms}$$

Sustituyendo en la fórmula :

$$C = \frac{I_{r \max} \left(\frac{3T}{4} + t_0 \right)}{V_r} = 396,67 \mu F$$

Valor disponible : $470 \mu F$

¿Cuál es el valor del factor de rizado para este condensador?

$$I_{r \max} = C \frac{V_{\max} (1 - \text{sen} \omega t_0)}{\frac{3T}{4} + t_0} \quad 52,6 \text{mA} = 470 \mu\text{F} \frac{20,51 \text{V} (1 - \text{sen} \omega t_0)}{12,5 \text{ms} + t_0}$$

$$0,00546(12,5 + t_0) = 1 - \text{sen}(0,377 t_0)$$

to	A	B
3ms	0,08456	0,09517
3,1ms	0,08511	0,07977
3,05ms	0,08483	0,08731
3,07ms	0,08494	0,08425

Por lo tanto $t_0 = 3,07 \text{ms}$ $V_{\min} = V_{\max} \text{sen} \omega t_0 = 18,78 \text{V}$

$$V_r = V_{\max} - V_{\min} = 1,73 \text{V} \quad F_r = \frac{V_r}{V_{\max}} 100\% = 8,43\%$$

Corriente pico por el diodo $I_{d \max} = C \omega V_{\max} \cos \omega t_0 + I_{R \max} = 1,51A$

Potencia en la carga RL: $P_{RL} = \frac{(20,51V)^2}{390\Omega} = 1,08W$

Tiempo de conducción $t_c = \frac{T}{4} - t_o = 1,1ms$

Potencia diodo: $P_d = \frac{I_{d \max} V_d t_c}{T} = \frac{0,7V \times 1,51A \times 1,1ms}{16,67ms} = 69,7mW$

Corriente rms
secundario transformador
Es monopolar $I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{(I_{d \max})^2 t_c}{T}} = 0,39A$

Potencia aparente secundario transformador

$$P_{aparente_{sec}} = V_{rms_{sec}} I_{rms_{sec}} = 15V \times 0,39A = 5,82VA$$