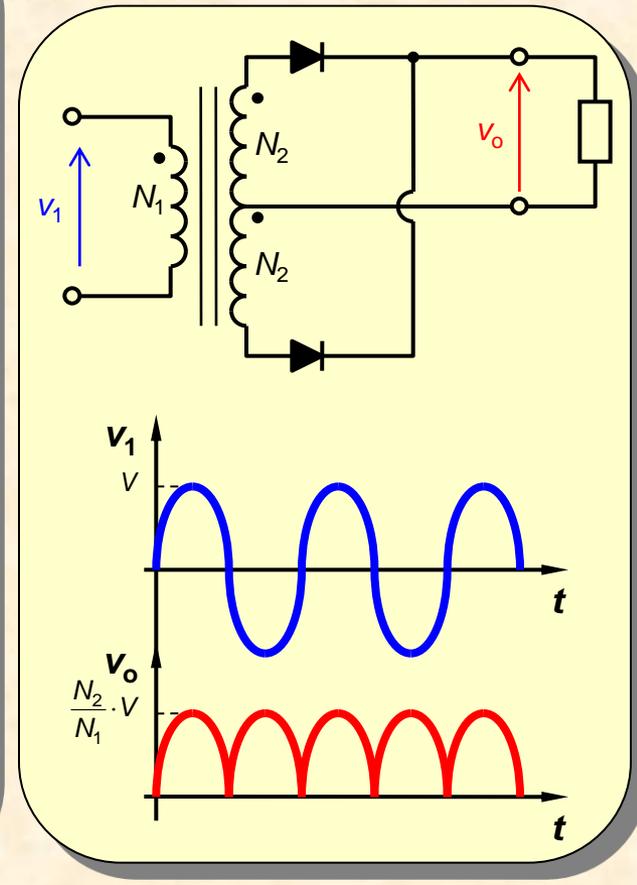
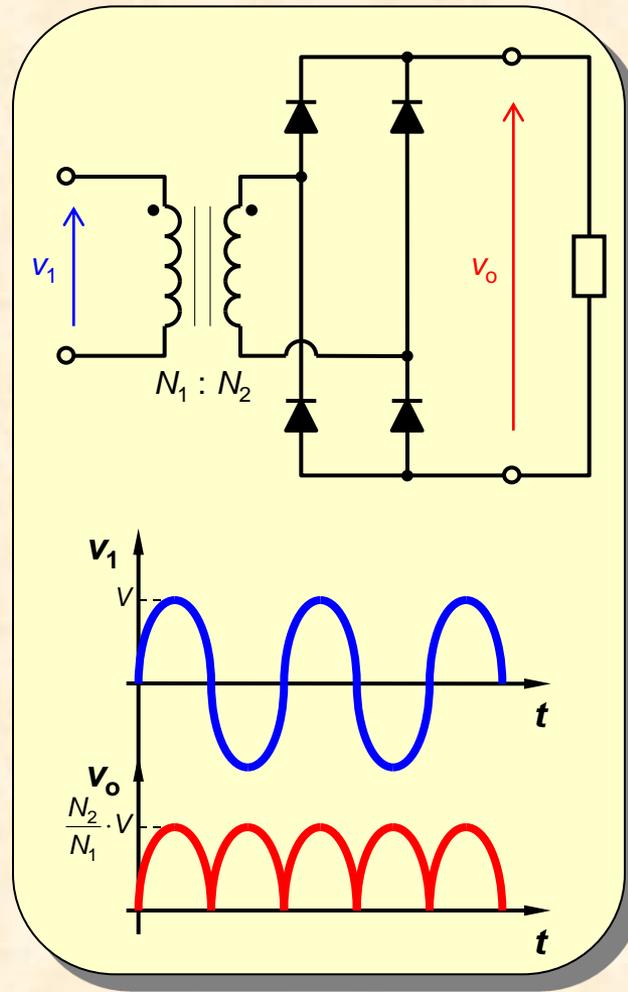
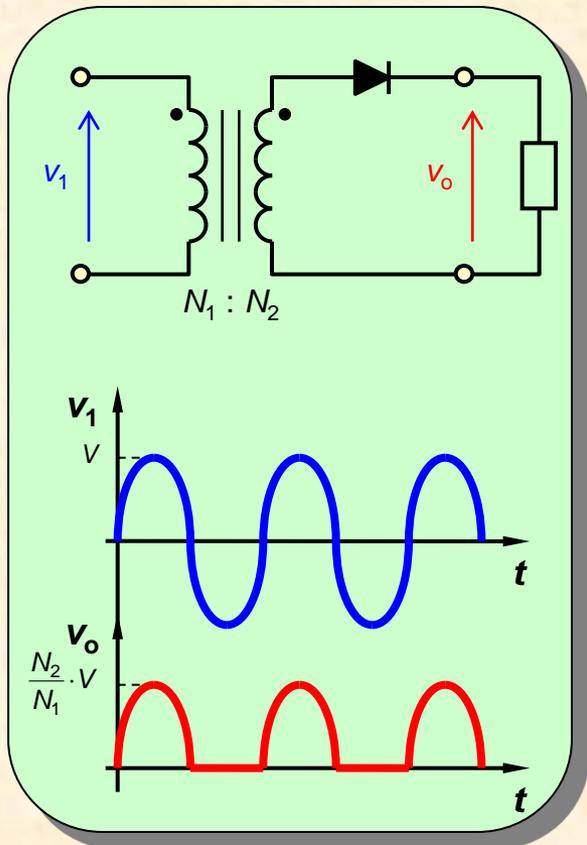


FUENTES NO REGULADAS DE CC

Cátedra: Electrónica Analógica I

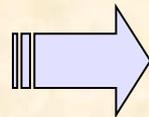
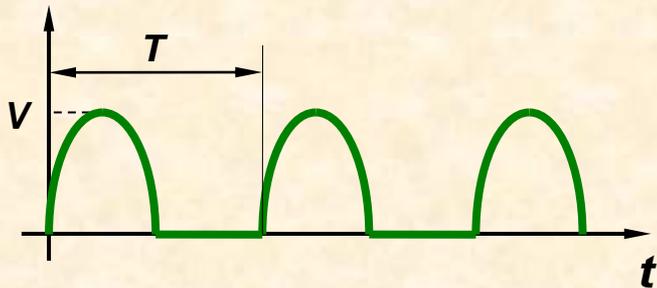
RECTIFICADOR

Convierte la tensión alterna suministrada por la red en una tensión pulsada unidireccional, con valor medio no nulo.

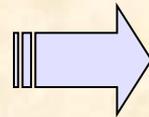
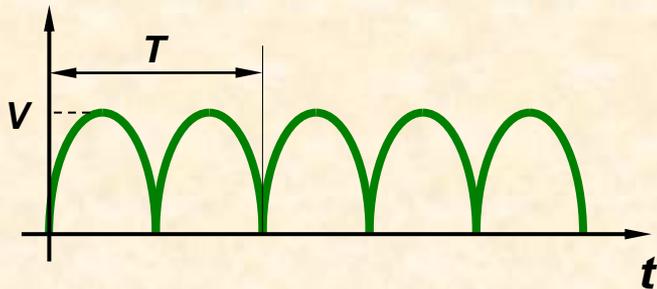


RECTIFICADOR

- En la práctica, se utilizan casi exclusivamente los montajes rectificadores de doble onda, por sus mejores características.
- **Calidad de la tensión de salida** ⇒ análisis de Fourier
 - CC (valor medio) + ca (suma infinitos términos sinusoidales)



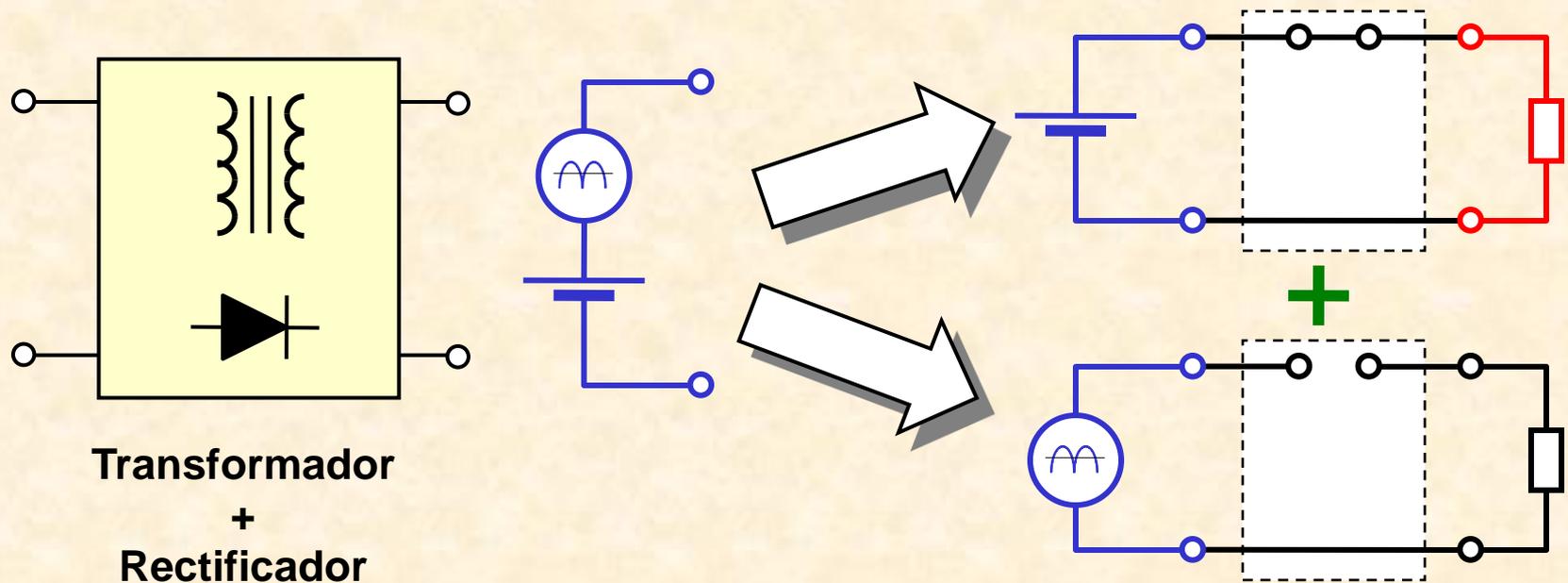
$$V_{cc} = \frac{V}{\pi}$$
$$V_{ca} = \frac{V}{2} \sin(\omega t) - \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} \frac{2V}{(n^2 - 1)\pi} \cos(n\omega t)$$



$$V_{cc} = \frac{2V}{\pi}$$
$$V_{ca} = -\frac{4V}{3\pi} \cos(2\omega t) - \frac{4V}{15\pi} \cos(4\omega t) - \dots$$

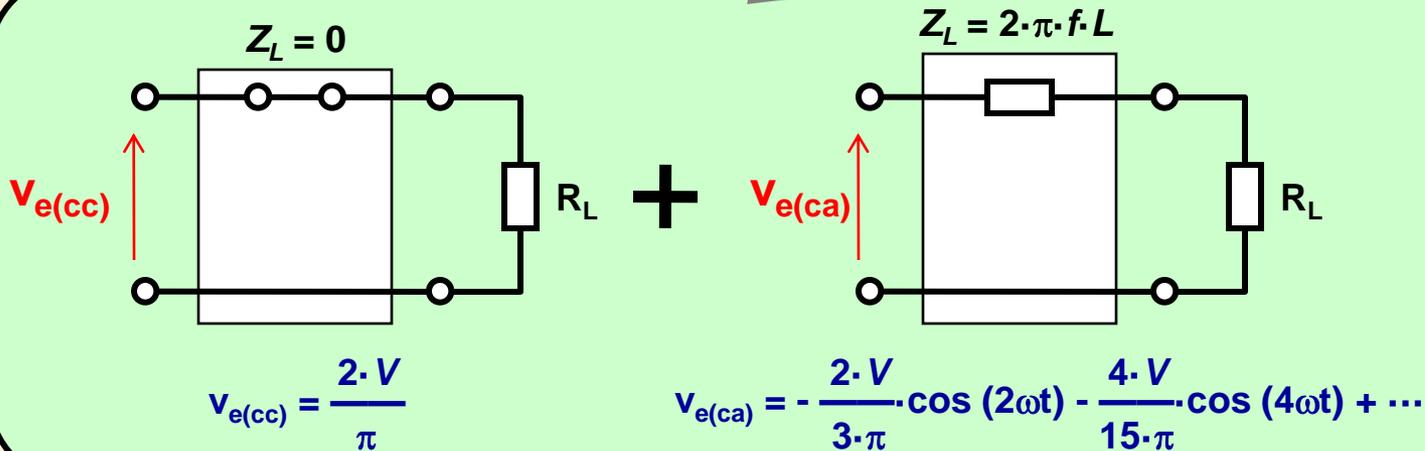
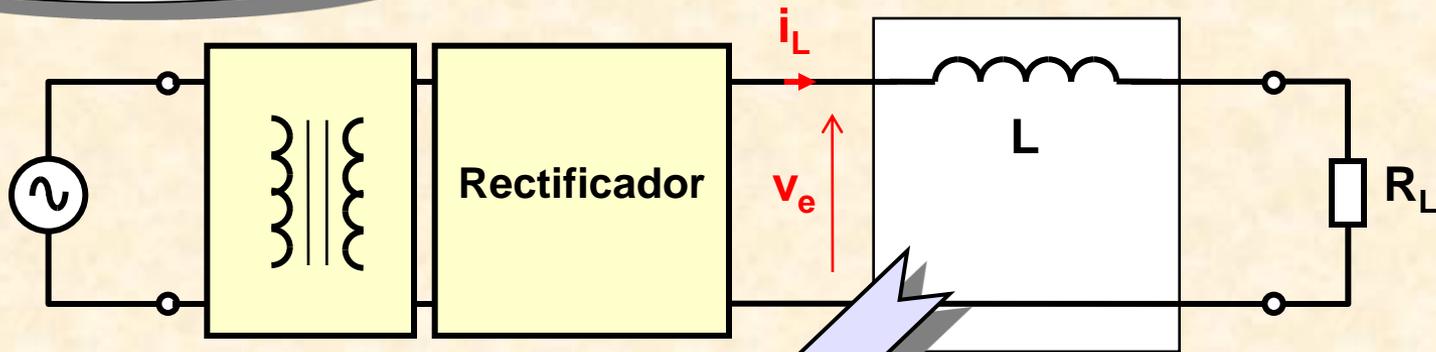
FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

- **Reducir la componente alterna en la salida del rectificador.**
- **Acción de filtrado "ideal":**
 - Permitir el paso de la componente continua hacia la carga
 - Impedir que la componente alterna llegue a la carga
- **Análisis aplicando el principio de superposición**
 - Sólo si comportamiento lineal



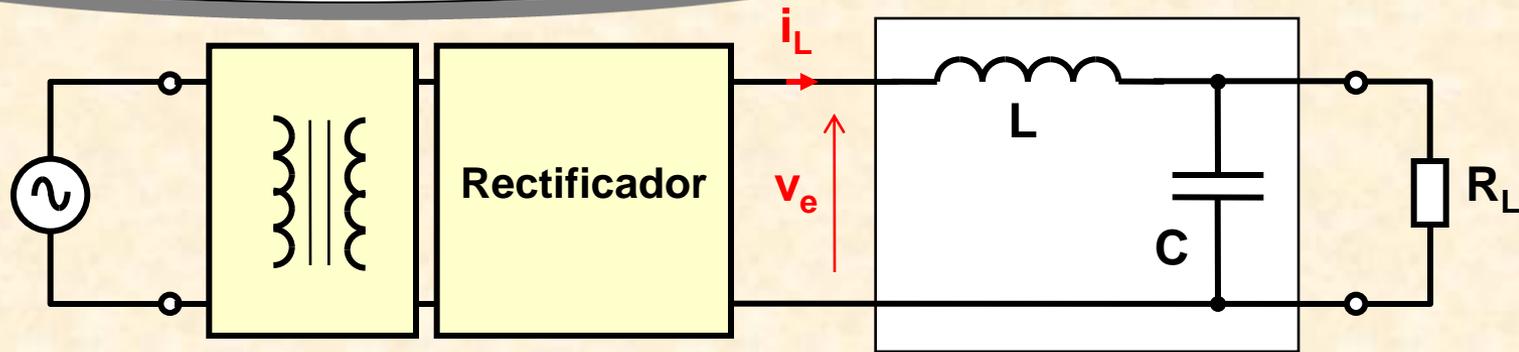
FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

Filtro con inductor



FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

Filtro con inductor y capacitor

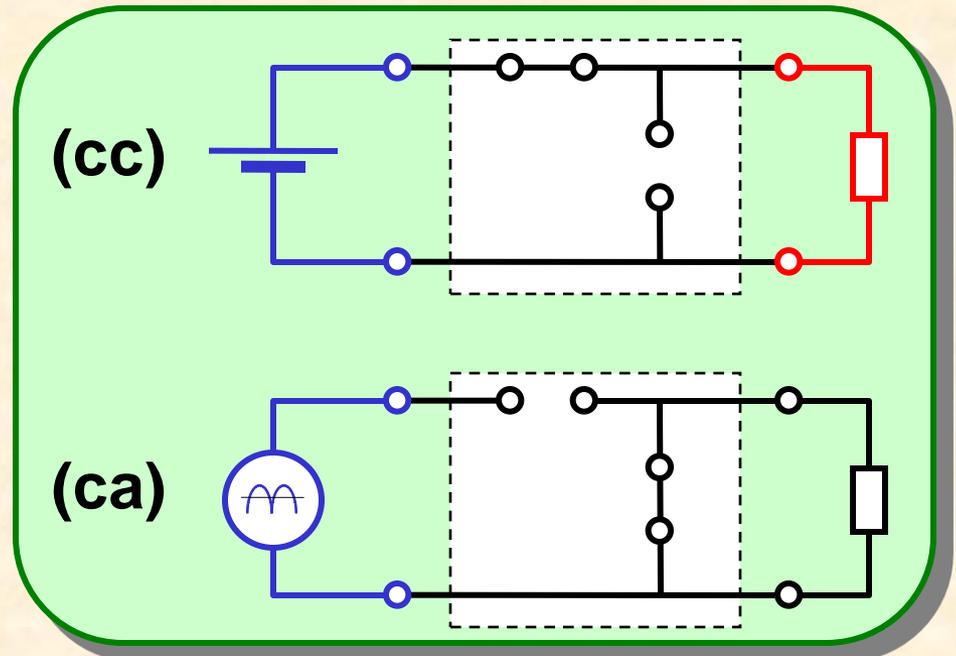


Mejora el funcionamiento.

- C contribuye a impedir que la componente ca llegue a la carga

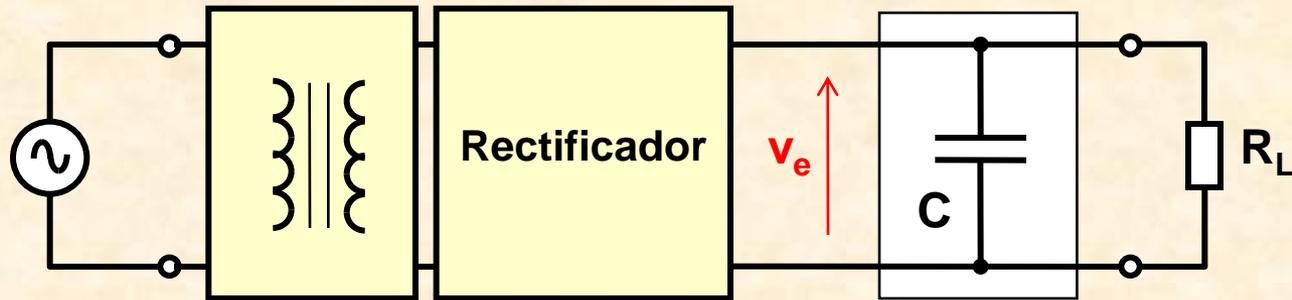
Elección de los valores de L y de C :

- $Z_{C(ca)} \ll R_L$
- $Z_{L(ca)} \gg Z_{C(ca)}$
- $i_L > 0$



FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

Filtro con capacitor



➤ Evita el uso de inductores

- Pesados y voluminosos para frecuencias de 50 / 100Hz.

➤ Análisis más complejo

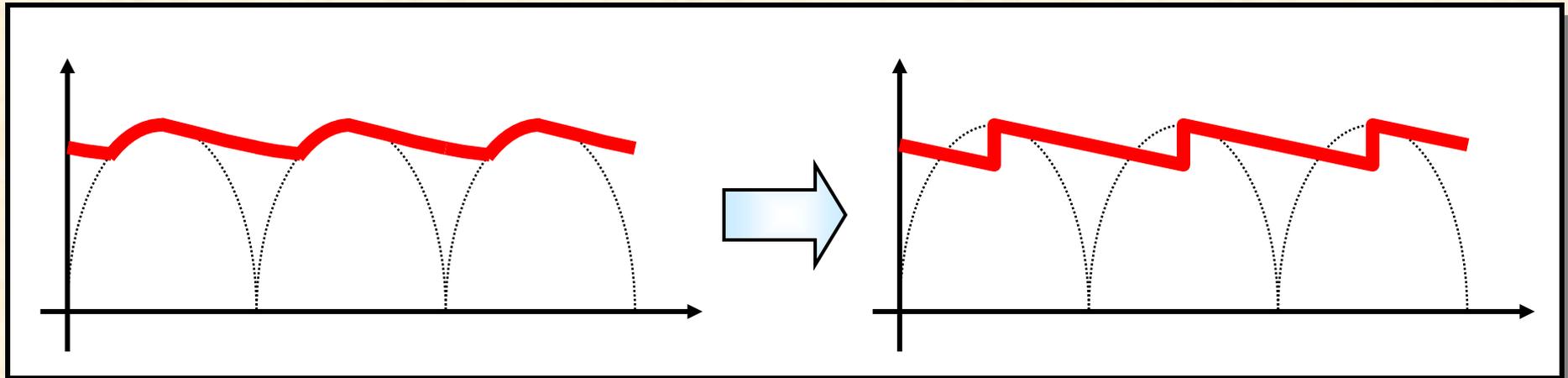
- La evolución de corrientes y tensiones en el circuito da lugar a instantes en los que todos los diodos del rectificador no conducen (están inversamente polarizados) → Comportamiento no lineal.
- No es posible aplicar el principio de superposición

FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

Filtro con capacitor

Análisis

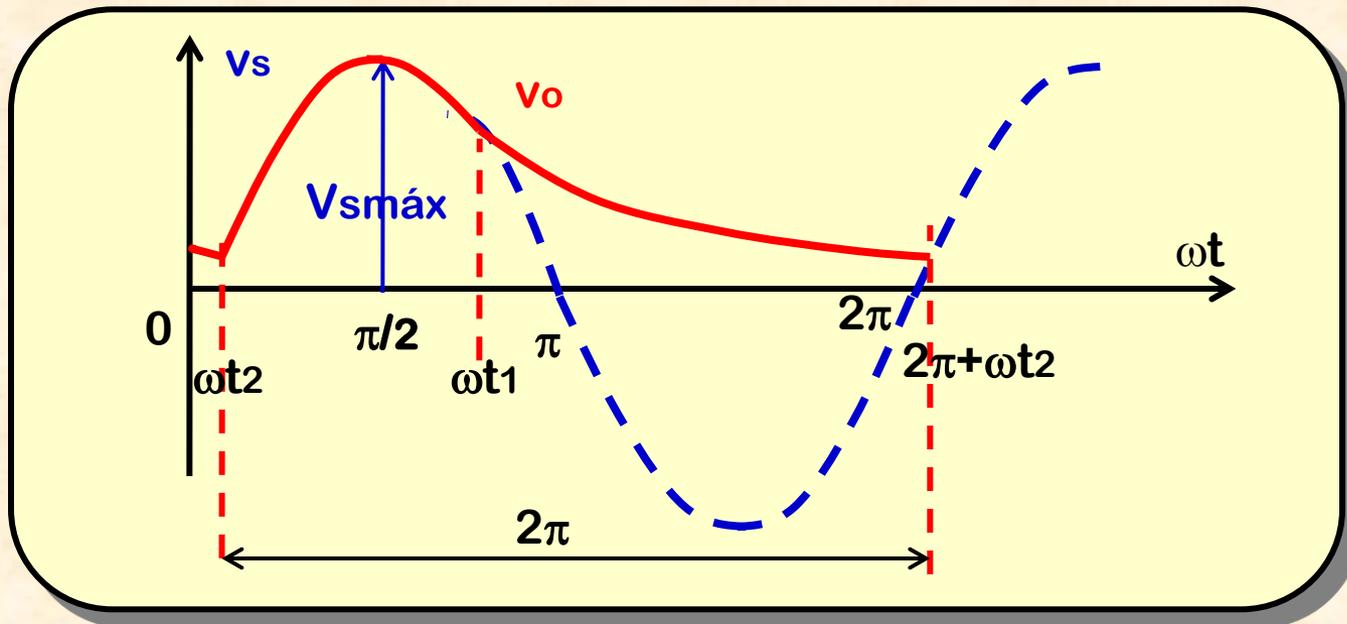
- **Tensión de salida: exponencial y senoidal**
 - Un análisis detallado resultaría complicado
- **Aproximación por onda triangular → simplifica cálculos**
 - Considera descarga lineal del condensador ($R_L \cdot C \gg T/2$)
 - Supone carga instantánea de C cuando los diodos conducen.



FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

Filtro con capacitor

Análisis

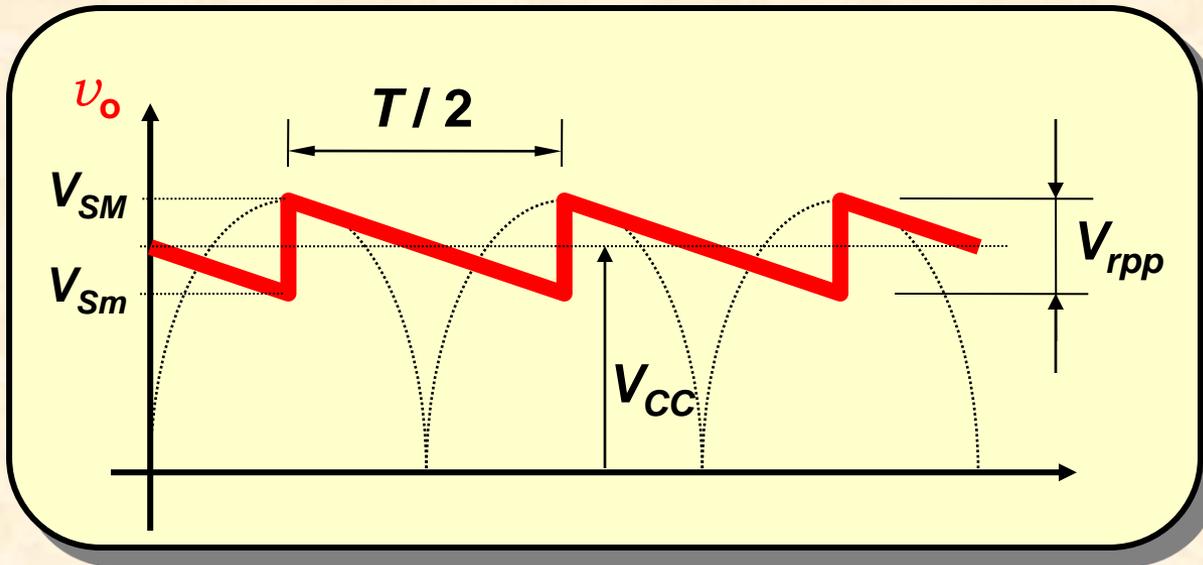


$$V_{occ} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_{\omega t_2}^{\omega t_1} V_{smáx} \sin \omega t \, d\omega t + \int_{\omega t_1}^{2\pi + \omega t_2} V_{smáx} \sin \omega t_1 e^{-\frac{\omega t - \omega t_1}{\omega RLC}} \, d\omega t \right]$$

$$\frac{V_{occ}}{V_{smáx}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{1 + (\omega RLC)^2 (1 - \cos(\omega t_1 - \omega t_2))}$$

FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

Filtro con capacitor



- **El valor de V_r suele ser conocido**
 - Limitado por las especificaciones
 - Permite calcular el valor de C
 - Hay que tener en cuenta las tolerancias ($\pm 20\%$)

➤ **Se define el factor de rizado como:**

$$FR = \frac{V_{r(RMS)}}{V_{CC}} = \frac{\frac{V_{rpp}}{2\sqrt{3}}}{V_{CC}} = \frac{1}{4\sqrt{3} f R_L C}$$

Análisis

Supone descarga de C a corriente constante y carga instantánea.

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_{CC} \Delta T}{C}$$

$$\Delta V = V_{rpp} = \frac{I_{CC} T/2}{C}$$

$$V_{CC} = V_{sm\acute{a}x} - \frac{V_{rpp}}{2}$$

$$V_{rpp} = \frac{I_{CC}}{2 f C} = \frac{V_{CC}}{2 f R_L C}$$

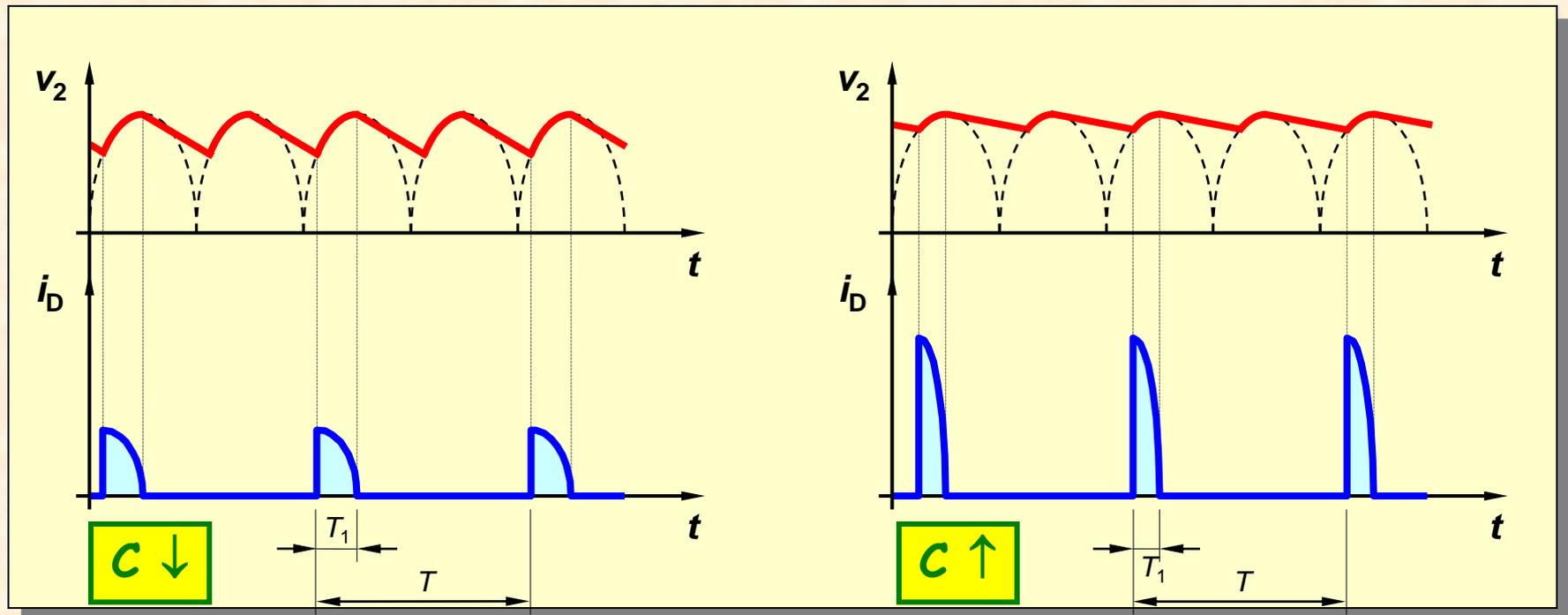
FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

Filtro con capacitor

Análisis

➤ Consideraciones importantes:

- La tensión en la carga tiene un rizado menor cuanto mayor es la capacidad del filtro involucrado.
- Una mayor capacidad provoca un menor intervalo de conducción de los diodos → mayores "picos" de corriente en ellos



FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

Filtro con capacitor

Análisis

➤ **Acerca de los picos de corriente en los diodos:**

- Son de difícil evaluación. Suelen considerarse entre 5 y 20 veces mayores que la corriente media en la carga.
- Es importante comprobar que no superen la I_{FRM} de los diodos.
- El instante más peligroso es la primera conexión de la fuente, ya que el condensador completamente descargado → pico de corriente más elevado.
- Además, un menor intervalo de conducción de los diodos provoca un aumento de la corriente eficaz → mayor calentamiento del trafo.

➤ **Conclusión: no se debe usar un capacitor de excesivo valor para proteger los diodos.**

- Se evita un aumento innecesario de volumen y costo.
- Menores problemas con la corriente en los diodos y en el transformador.

Fuentes no reguladas de cc

Problema:

Diseñar una fuente no regulada, a capacitor de entrada, cuyos datos son:

- V_{dc} : tensión continua de salida = 18V
- I_{dc} : corriente continua en la carga = 2A
- $r\%$: ripple o zumbido máximo permitido $\leq 5\%$
- $R\%$: regulación por variación de la corriente de carga $\leq 30\%$

DETERMINAR:

- El **circuito rectificador** más adecuado
- El **capacitor de filtro** (capacidad, tensión nominal de trabajo V_{dc} , Tolerancia %, corriente eficaz a través del capacitor)
- **Diodos rectificadores** (corriente nominal que circula a través del rectificador IFAV, corriente pico repetitiva IFRM, corriente pico inicial o de encendido IFSM, tensión de pico inversa VRRM)
- **Transformador** (Corriente eficaz a través del secundario, Tensión eficaz del secundario, Régimen de VA del secundario)

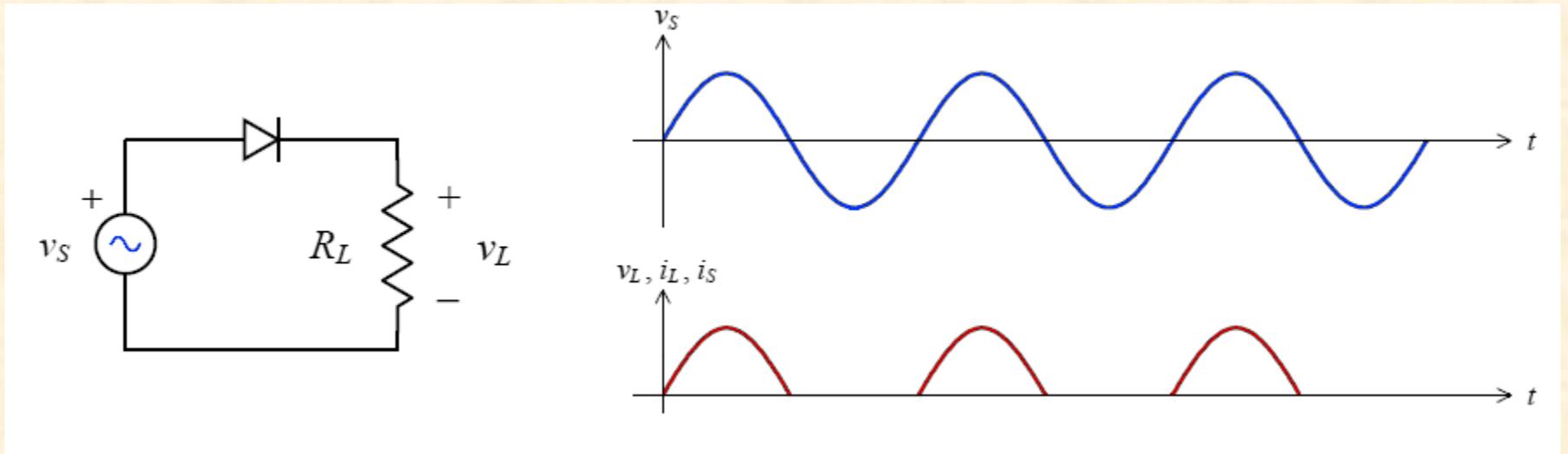
Para este problema tenemos 3 opciones de circuito :

- Rectificador de media onda

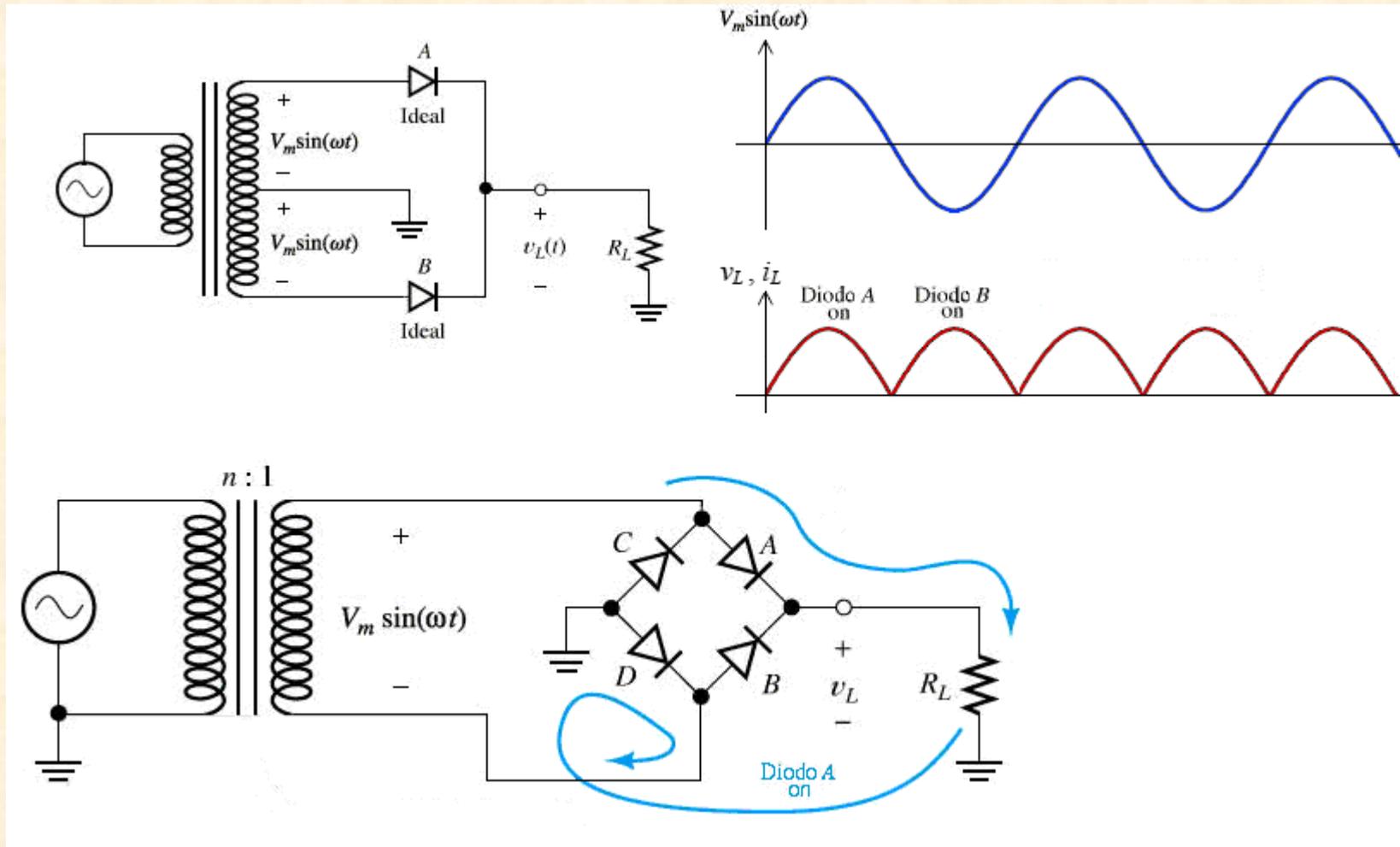
- Rectificador de onda completa con punto medio

- Rectificador de onda completa en puente

CIRCUITO RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA



CIRCUITOS RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA



Elección del circuito rectificador más adecuado

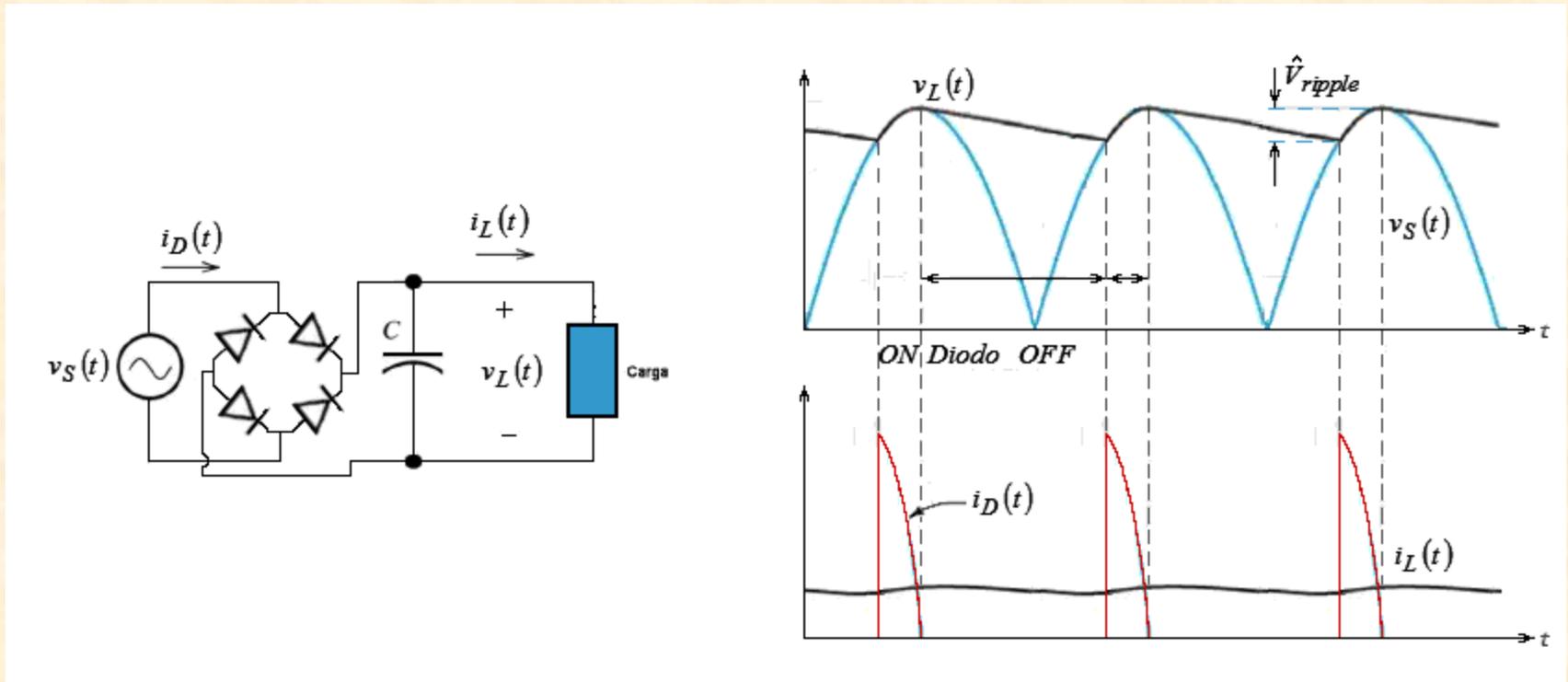
	1/2 onda	Onda completa
Tensión media de salida	$V_{O_{MO}} = \frac{V_{O_{m\acute{a}x}}}{\pi}$	$V_{O_{OC}} = 2 \frac{V_{O_{m\acute{a}x}}}{\pi}$
Tensión eficaz	$V_{O_{efMO}} = \frac{V_{O_{m\acute{a}x}}}{2}$	$V_{O_{efOC}} = \frac{V_{O_{m\acute{a}x}}}{\sqrt{2}}$
Factor de ripple: $r = \frac{I_{ca\ ef}}{I_{cc}}$	$r_{MO} = \sqrt{\frac{\pi^2}{4} - 1} = 1,21$ (más alterna que continua)	$r = \sqrt{\frac{\pi^2}{8} - 1} = 0,48$

¿Qué ventajas se obtienen al trabajar con un rectificador de onda completa?

Con el solo hecho de agregar un diodo, se obtiene:

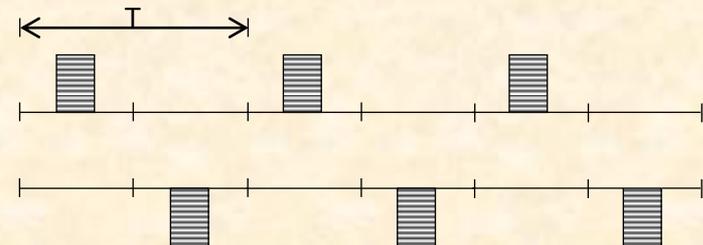
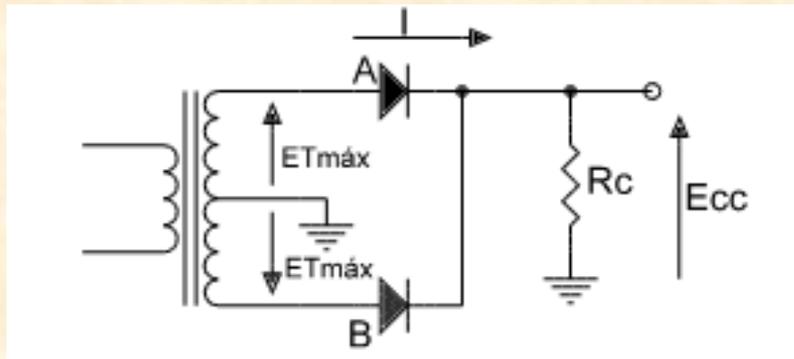
- *El doble de tensión media en onda completa que en media onda*
- *Un 41% más de tensión eficaz*
- *Una mejora en el factor de ripple de 1,21 a 0,48*

Elección del circuito rectificador más adecuado



COMPARACIÓN DE LAS CORRIENTES POR LOS DIODOS DE AMBOS CIRCUITOS DE ONDA COMPLETA

CIRCUITO CON PUNTO MEDIO:

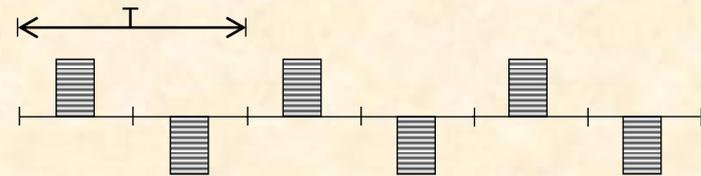
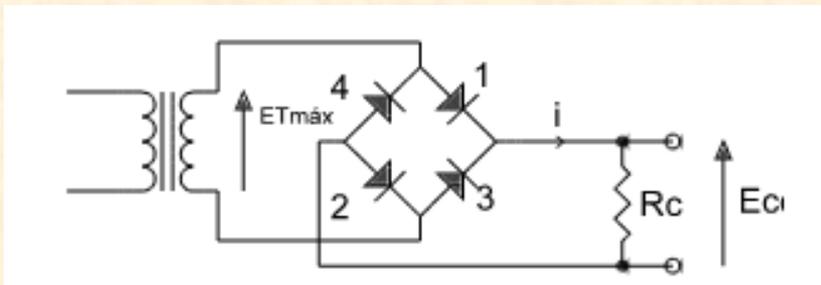


CORRIENTE EN CADA RAMA DEL BOBINADO SECUNDARIO

- Una componente de cc (valor medio no nulo)
- Componentes de todas las armónicas: pares e impares (las impares en fase y las pares en contrafase)

COMPARACIÓN DE LAS CORRIENTES POR LOS DIODOS DE AMBOS CIRCUITOS DE ONDA COMPLETA

CIRCUITO PUENTE:



CORRIENTE EN EL BOBINADO SECUNDARIO

- No hay componente de cc (valor medio nulo)
- Las armónicas pares se anulan, sólo quedan las impares (I_1, I_3, I_5 , etc)

RÉGIMEN DE POTENCIA DE LOS SECUNDARIOS

$$S_{II} [\text{VA}] = V_{efII} \cdot I_{efII} \quad \text{Potencia aparente del secundario}$$

$$2 \cdot V_{efII \text{ Puente}} = V_{efII \text{ PtoMedio}}$$

$$I_{efII \text{ Puente}} = \sqrt{2} \cdot I_{efII \text{ PtoMedio}}$$

$$2 \cdot V_{efII \text{ Puente}} \cdot I_{efII \text{ Puente}} = V_{efII \text{ PtoMedio}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{efII \text{ PtoMedio}}$$

$$2 \cdot S_{\text{Puente}} = \sqrt{2} \cdot S_{\text{PtoMedio}}$$

$$S_{\text{PtoMedio}} = \sqrt{2} \cdot S_{\text{Puente}} = 1,41 \cdot S_{\text{Puente}}$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

Procedimiento de diseño

- 1) Determine el valor de E_{dc} y R_{CARGA} .
- 2) Asuma un valor de R_s (normalmente entre 1 y 10% de R_{CARGA})
- 3) Calcular R_s/R_{CARGA} .
- 4) Calculo de C: del gráfico de porcentaje de ripple versus $\omega R_{CARGA} C$, determine el valor de $\omega R_{CARGA} C$ requerido para reducir el ripple al valor deseado y con la $(R_s/ R_{CARGA})\%$ determinada en (3). Despejar C.
- 5) Determine la razón $E_{dc}/E_{T(MAX)}$.
- 6) Determine $E_{T(MAX)}$ y $E_{T(RMS)}$ que debe ser aplicado al circuito.
- 7) Determine el valor máximo de voltaje que deben resistir los semiconductores.
- 8) Determine el valor eficaz de la corriente por los rectificadores y el capacitor.
- 9) Calcule la corriente pico repetitiva.
- 10) Decida que rectificadores va a utilizar.
- 11) Verifique la corriente inicial de encendido I_{on} dada por $E_{T(MAX)}/R_s$. Si el valor excede la corriente máxima permitida por el diodo, se debe aumentar el valor de R_s y se debe repetir el procedimiento de diseño.
- 12) Diseñe un transformador y ajuste R_s Recuerde que R_s incluye la resistencia del diodo a corriente media, la resistencia de los devanados del transformador, etc.

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

- 1) Determine el valor de E_{dc} y R_{CARGA} .

$$E_{dc} = 18V \qquad R_c = \frac{V_o}{I_o} = \frac{18V}{2A} = 9 \Omega \Rightarrow \underline{R_c = 9 \Omega}$$

- 2) Asuma un valor de R_S (normalmente entre 1 y 10% de R_{CARGA})

$$R_S = 0,9 \Omega$$

- 3) Calcule R_S/R_{CARGA} .

$$\frac{R_S}{R_C} \% = \frac{0,9}{9} 100 = 10 \%$$

- 4) Del gráfico de porcentaje de ripple versus $\omega R_{CARGA} C$, determine el valor de $\omega R_{CARGA} C$ requerido para reducir el ripple al valor deseado y con la $(R_S/R_{CARGA})\%$ determinada en (3). Calcule el valor de C.

$$(r\% \leq 5\%)$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

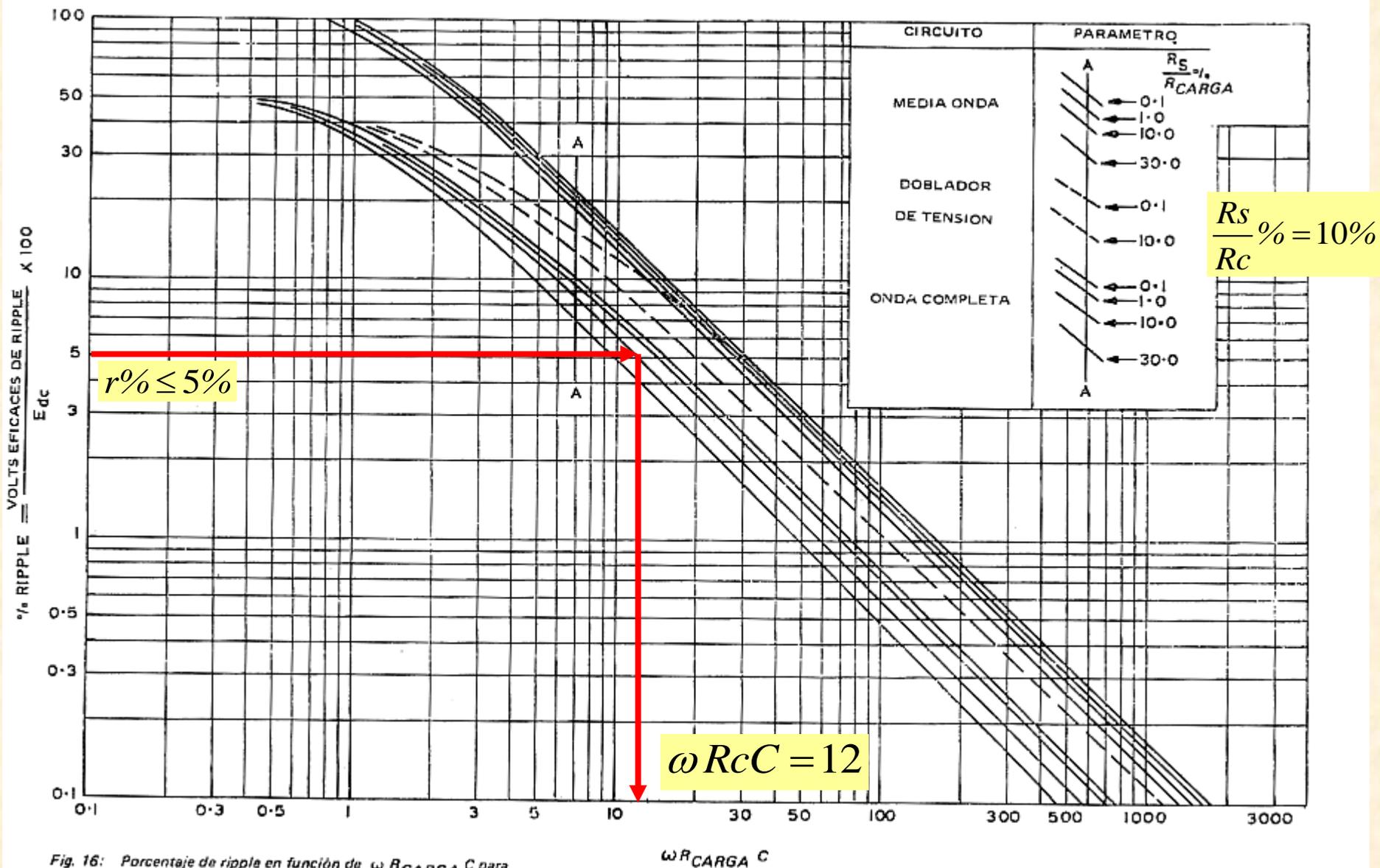


Fig. 16: Porcentaje de ripple en función de $\omega R_{CARGA} C$ para

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

$$\omega R_c C = 12$$

- 4) • **Cálculo inicial de C:**

$$\omega R_c C = 12 \quad \Rightarrow \quad C_{\text{mín}} = \frac{12}{2\pi f \cdot R_c} = \frac{12}{2\pi 50 \cdot 9\Omega} = 4244 \mu F$$

- **Tolerancia 20%:**

$$C = 4244 \mu F / 0.8 = 5305 \mu F$$

- **Valor Comercial:**

$$C = 5305 \mu F = 2 \times 3300 \mu F = 6600 \mu F$$

$$\omega R_c C = 2\pi 50 \cdot 9 \cdot 6600 \mu F = 18,66$$

$$18,66 \cdot 0,8 = 15$$

Caso peor

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

5) Determine la razón E_{dc}/E_T (MAX).

$\frac{R_s}{R_c} \% = 10 \%$

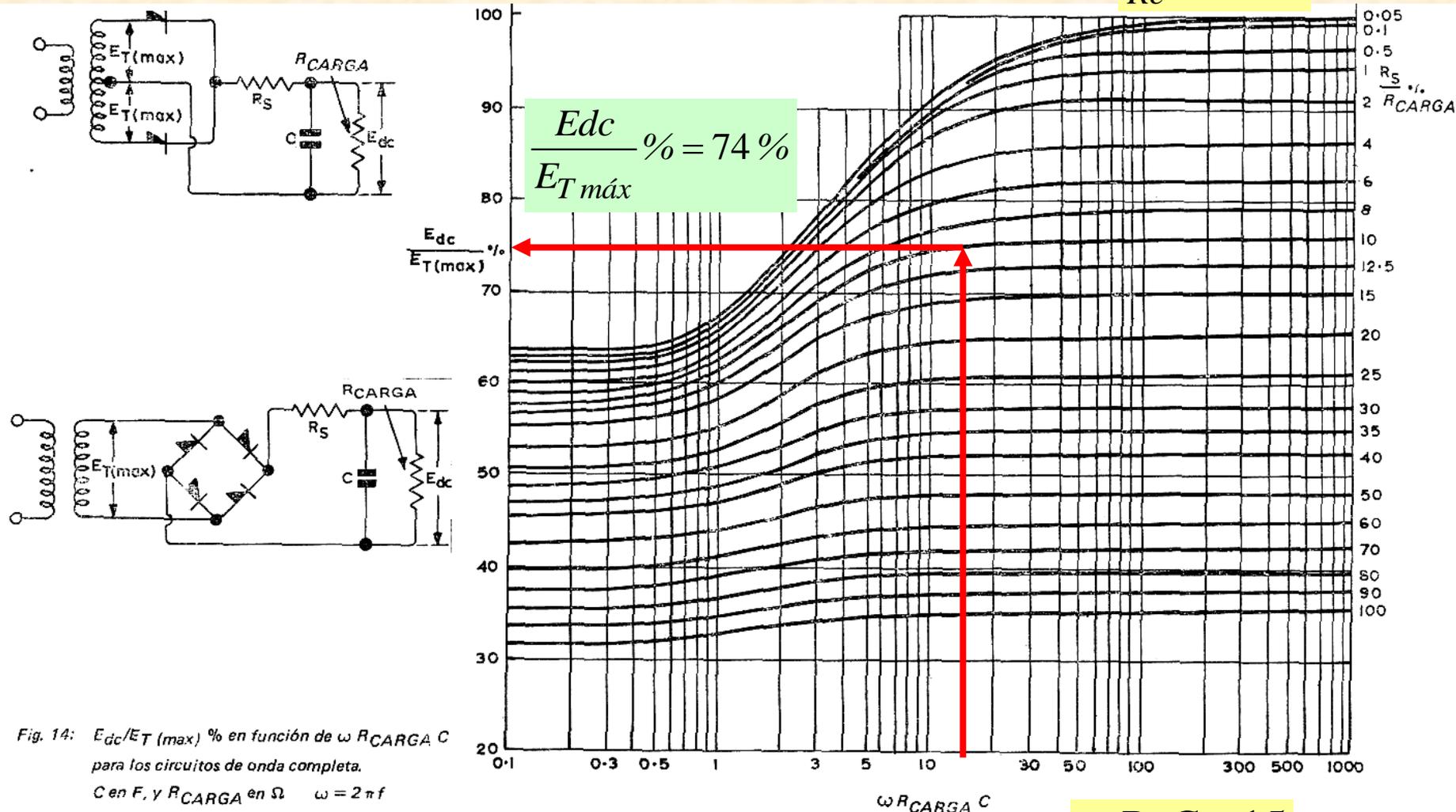


Fig. 14: E_{dc}/E_T (max) % en función de $\omega R_{CARGA} C$ para los circuitos de onda completa. C en F, y R_{CARGA} en Ω $\omega = 2\pi f$

$\omega R_c C = 15$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

- 6) Determine $E_{T(MAX)}$ y $E_{T(RMS)}$ que debe ser aplicado al circuito.

$$\frac{E_{dc}}{E_{T\text{ máx}}} \% = 74 \%$$

$$E_{T\text{ máx}} = \frac{E_{dc}}{0.74} = \frac{18V}{0.74} = 24.3V \Rightarrow +2V_{\gamma} \Rightarrow E'_{T\text{ máx}} = 25,7V$$

$$E_{T\text{ ef}} = \frac{E'_{T\text{ máx}}}{\sqrt{2}} = \frac{25,7V}{\sqrt{2}} \cong 18V \Rightarrow E_{T\text{ ef}} = 18V$$

- 7) Determine el valor máximo de tensión que deben resistir los semiconductores.

V_{RRM} = Tensión pico inversa repetitiva en los diodos (Repetitive Peak Reverse Voltaje)

$$E'_{T\text{ máx}} = 26V \Rightarrow V_{RRM} = 26V$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

- 8) Determine el valor eficaz de la corriente por los rectificadores y el capacitor.
Utilizaremos las curvas que relacionan

$$\frac{I_{efD}}{I_{oD}} = f(n \omega R_c C) \quad \text{con} \quad \frac{R_s}{n R_c} \% \quad \text{como parámetro}$$

Onda completa: $n = 2 \Rightarrow n \cdot \omega \cdot R_c \cdot C \cong 30$

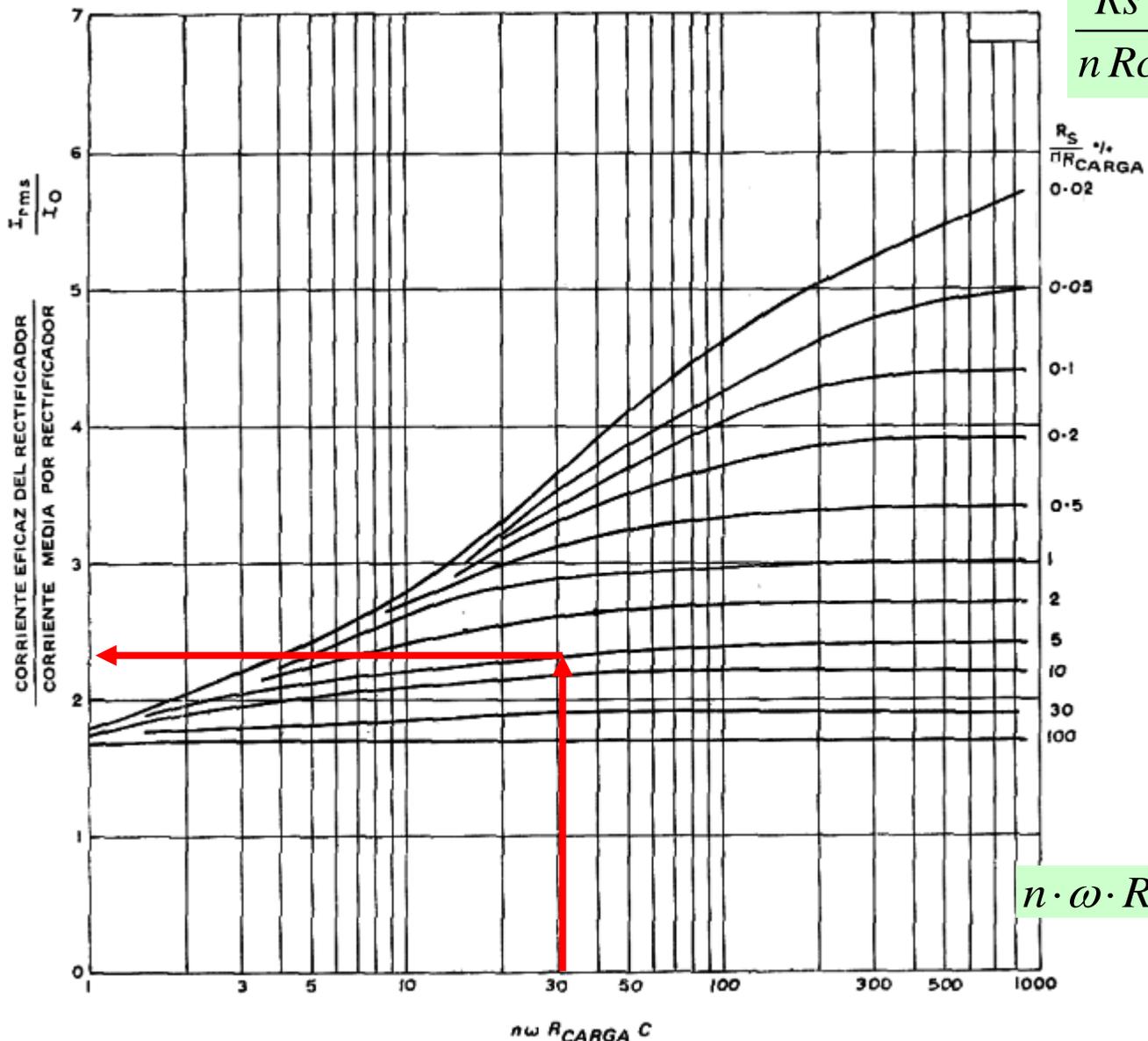
$$\frac{R_s}{n R_c} \% = \frac{0,9 \Omega}{2 \cdot 9 \Omega} 100 \cong 5 \% \Rightarrow \frac{R_s}{n R_c} \% = 5\%$$

$$I_{oD} = \frac{I_{dc}}{2} = \frac{2}{2} A = 1 A$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

$$\frac{R_s}{n R_c} \% = 5\%$$

$$\frac{I_{efD}}{I_{oD}} \cong 2.4$$



$$n \cdot \omega \cdot R_c \cdot C \cong 30$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

- 8) Determine el valor eficaz de la corriente por los rectificadores y el capacitor.

$$\frac{I_{efD}}{I_{oD}} \cong 2.4 \quad \therefore \quad I_{efD} = 2.4 I_{oD} = 2.4 \frac{I_{dc}}{2} = 2.4 \frac{2}{2} \Rightarrow \quad I_{efD} = 2,4 \text{ A}$$

$$I_{efCAP} = \sqrt{I_{efT}^2 - I_{cc}^2} = \sqrt{2 I_{Def}^2 - I_{cc}^2}$$

$$I_{efCAP} = \sqrt{2 \cdot (2,4)^2 - (2)^2} \Rightarrow \quad I_{efCAP} = 2,74 \text{ A}$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

8) Calcule la corriente pico repetitiva.

Utilizaremos las curvas que relacionan

$$\frac{I_{pkD}}{I_{oD}} = f(n \omega R_c C) \text{ con } \frac{R_s}{n R_c} \% \text{ como parámetro}$$

$$\text{Onda completa: } n = 2 \Rightarrow n \cdot \omega \cdot R_c \cdot C \cong 30$$

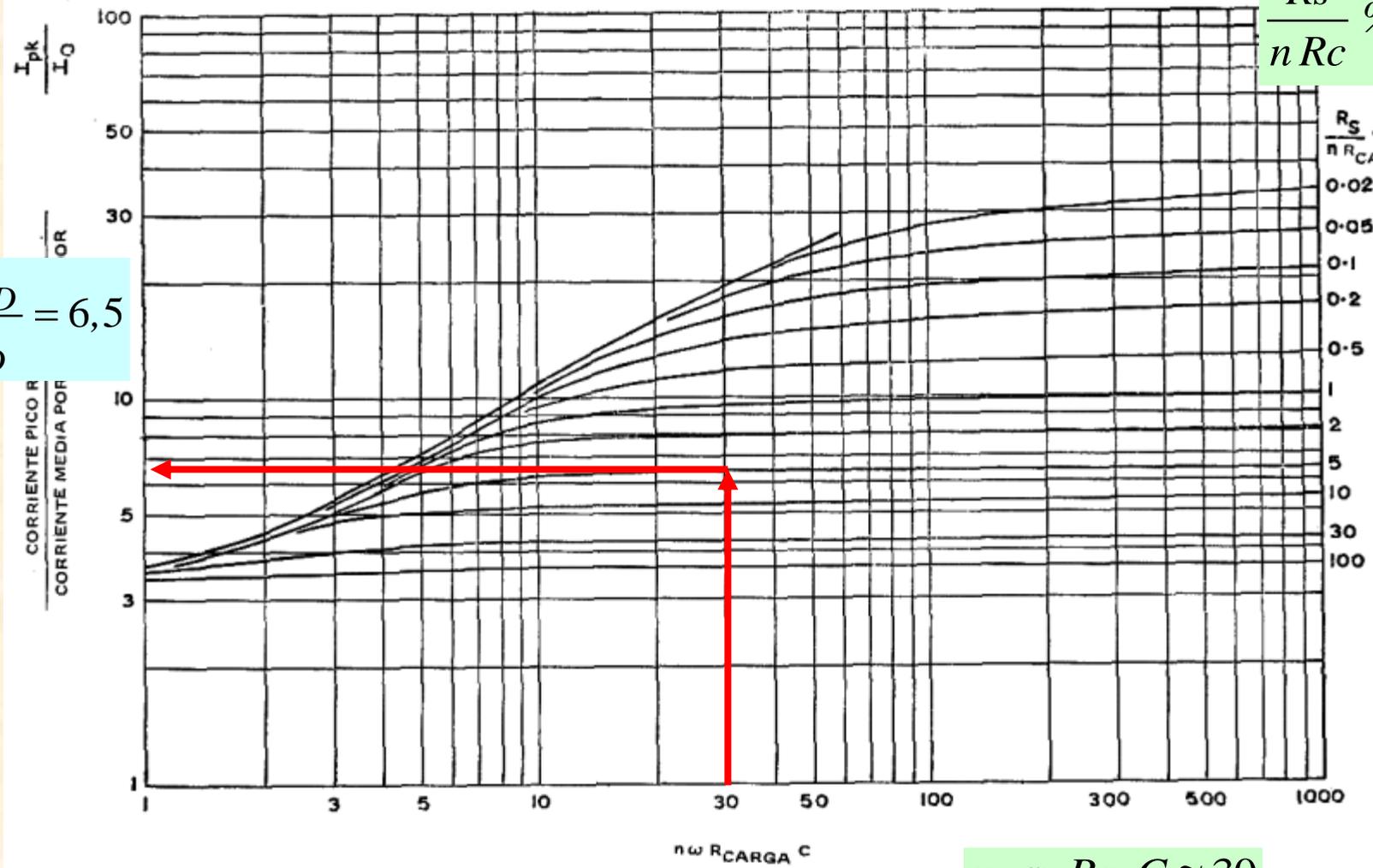
$$\frac{R_s}{n R_c} \% = \frac{0,9 \Omega}{2 \cdot 9 \Omega} 100 \cong 5\% \Rightarrow \frac{R_s}{n R_c} \% = 5\%$$

$$I_{oD} = \frac{I_{dc}}{2} = \frac{2}{2} A = 1 A$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

$$\frac{R_s}{n R_c} \% = 5\%$$

$$\frac{I_{pkD}}{I_{oD}} = 6,5$$



$$n \cdot \omega \cdot R_c \cdot C \cong 30$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

- 8) Calcule la corriente pico repetitiva.

$$\frac{I_{pkD}}{I_{oD}} = 6,5 \Rightarrow I_{pkD} = 6,5 \cdot 1A \quad \Rightarrow \quad I_{pkD} = 6,5 A$$

Y con $V_{RRM} = 26V$ $I_{oD} = 1 A$

- 9) Decida que rectificadores va a utilizar. **Rectificador elegido: ?**
- 10) Verifique la corriente inicial de encendido I_{on} dada por $E_T(\text{MAX})/R_S$. Si el valor excede la corriente máxima permitida por el diodo, se debe aumentar el valor de R_S y se debe repetir el procedimiento de diseño.

$$R_S = 0,9 \Omega \quad \Rightarrow \quad I_{on} = \frac{E_{T \text{ máx}}}{R_S} = \frac{26V}{0,9 \Omega} = 29 A$$

CÁLCULO CON CURVAS DE SCHADE

LA REGULACIÓN

La regulación se define como: $R\% = \frac{V_{dc\text{Mínima Carga}} - V_{dc\text{Plena Carga}}}{V_{dc\text{Mínima Carga}}} \cdot 100$

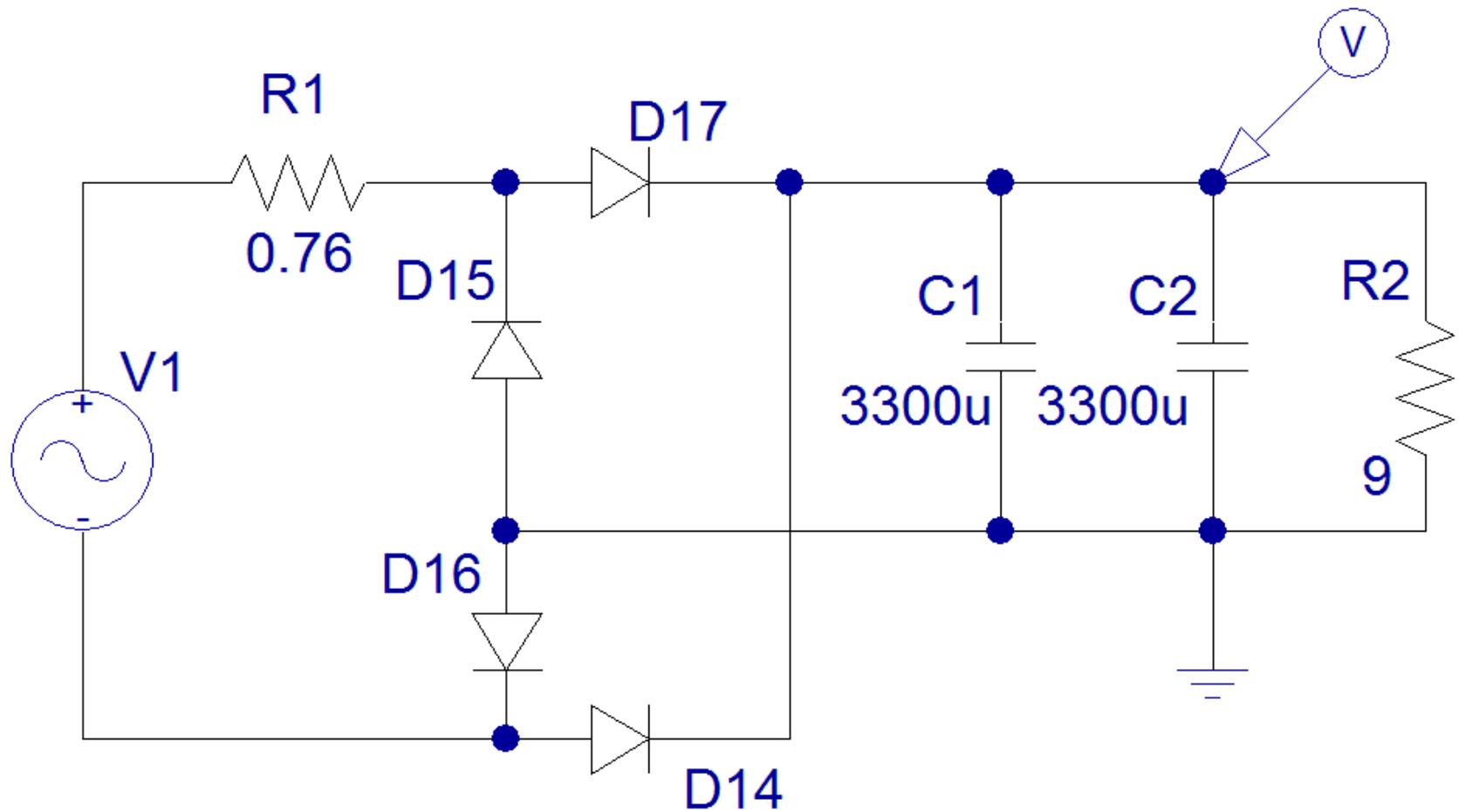
Condición de máxima carga: $R_c = \frac{18V}{2A} = 9\ \Omega \Rightarrow V_{O\text{Plena Carga}} = 18V$

Condición de mínima carga: $R_{c\text{máx}} = \infty$ (Condición sin carga)

$$\Rightarrow V_{dc\text{Mínima Carga}} = E'_T\text{máx} = 26V$$

$$R\% = \frac{26V - 18V}{26V} \cdot 100 \cong 25\ \%$$

Circuito de ensayo



Evaluación del ripple

El factor de ripple “r” es la relación entre el valor eficaz de las componentes de alterna y el valor de continua en la carga, ya sea de tensión o de corriente:

$$r = \frac{I_{ef_{ca}}}{I_{dc}} = \frac{E_{ef_{ca}}}{E_{dc}}$$

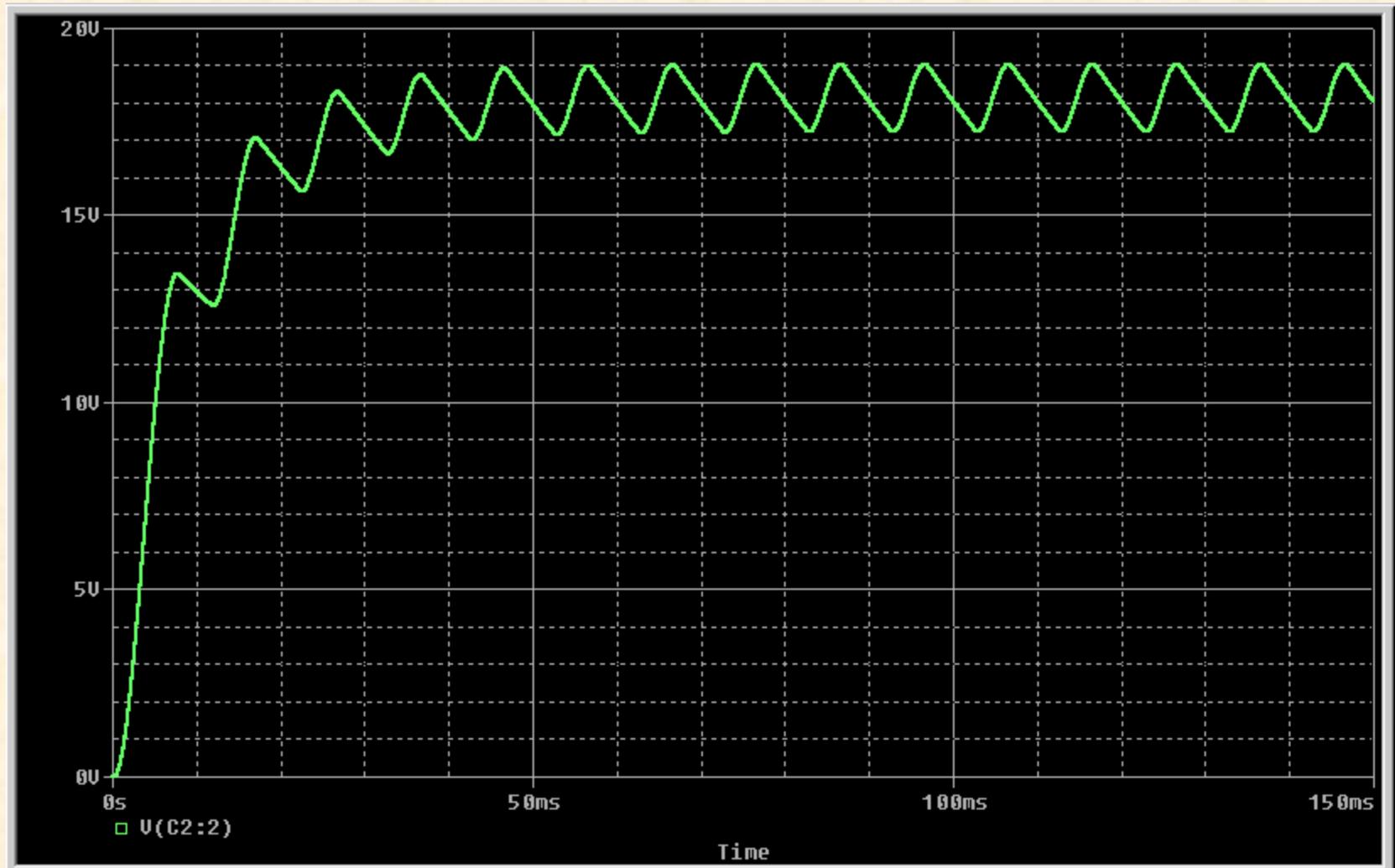
Como pedíamos un ripple del 5%: $\Rightarrow E_{ef_{ca}} = r \cdot E_{dc} = 0,05 \cdot 18 V = 0,9 V$

Introduciendo un pequeño error, podríamos admitir que el ripple es una onda triangular y que cumple:

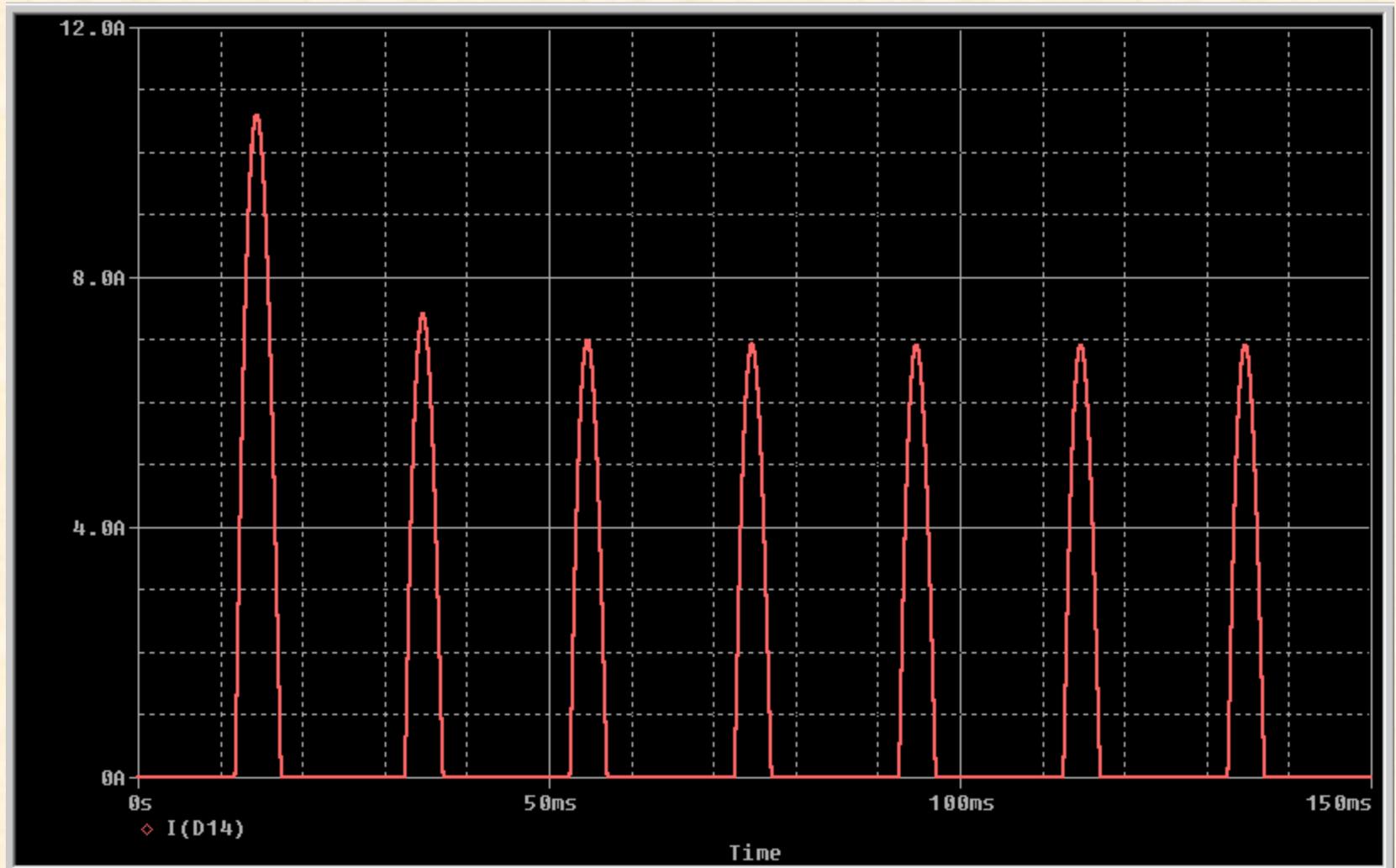
$$E_{ef_{ca}} = \frac{\hat{E}_{ripp}}{\sqrt{3}}$$

$$\Rightarrow \hat{E}_{ripp} = \sqrt{3} E_{ef_{ca}} = 1,73 \cdot 0,9 V = 1,56 V$$

Tensión en la carga



Corriente en los diodos



Trabajo dentro de la evaluación del curso

Diseñar una fuente no regulada, a capacitor de entrada, cuyos datos son:

- Vdc : tensión continua de salida= 240V
- Idc : corriente continua en la carga = 0,4A
- r% : ripple o zumbido máximo permitido $\leq 5\%$
- R% : regulación por variación de la corriente de carga $\leq 25\%$

DETERMINAR:

- El **capacitor de filtro** (capacidad, tensión nominal de trabajo Vdc, Tolerancia %, corriente eficaz a través del capacitor)
- **Diodos rectificadores** (corriente nominal que circula a través del rectificador IFAV, corriente pico repetitiva IFRM, corriente pico inicial o de encendido IFSM, tensión de pico inversa VRRM)
- **Realizar la simulación con SPICE**
- **Fecha de entrega 24 de abril de 2015**