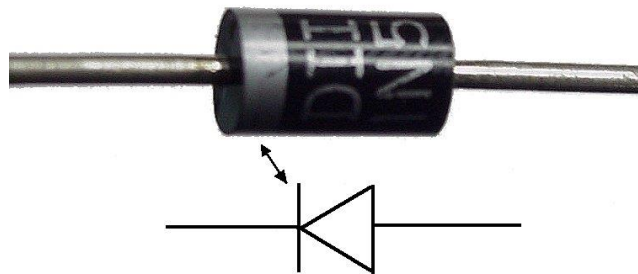
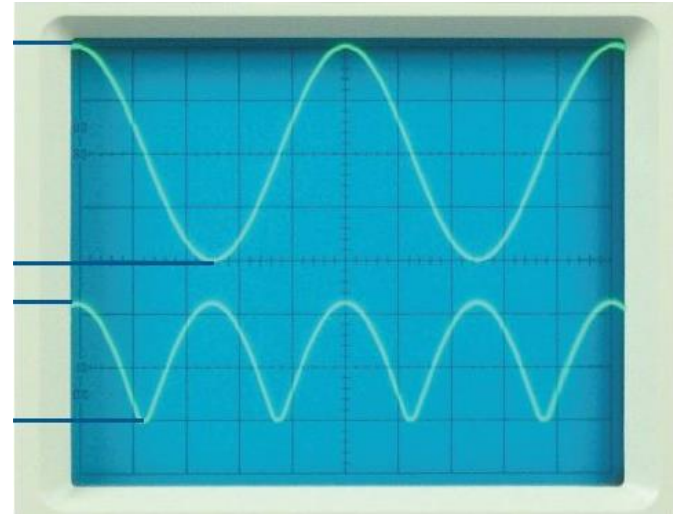
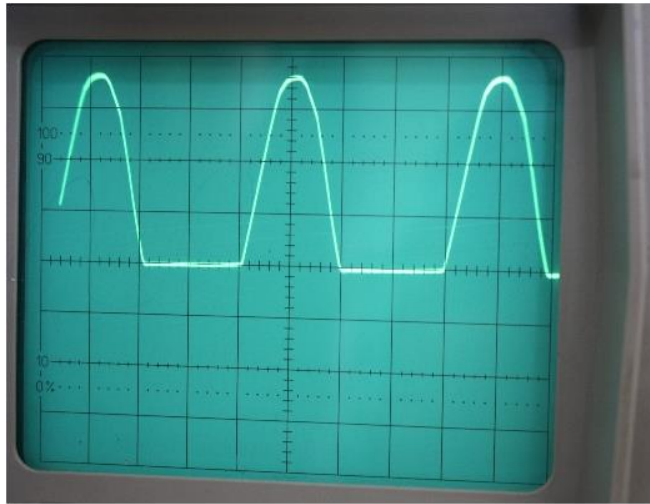


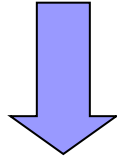
FUENTES NO REGULADAS DE CC



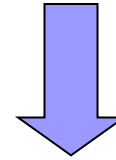
Saberes de los estudiantes al terminar esta unidad:

- **Estimar valores y seleccionar componentes utilizando el método aproximado de cálculo de fuentes de CC a capacitor de entrada.**
- **Calcular y seleccionar componentes de fuentes de CC a capacitor de entrada utilizando el método de Schade.**
- **Identificar en las hojas de datos y utilizar parámetros significativos para el diseño de fuentes de CC en diodos, capacitores, resistores, etc.**
- **Seleccionar componentes comerciales atendiendo a valores máximos, mínimos y tolerancias, manejando los márgenes habituales para el diseño.**

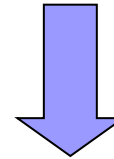
Circuitos electrónicos: se alimentan con continua (la famosa V_{cc})



Baterías o pilas
(equipos portátiles)

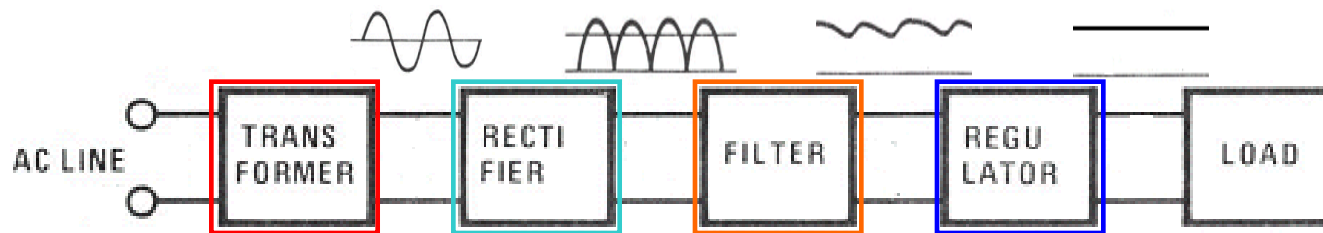


Conversión AC-DC a partir de
la red de distribución de 220V

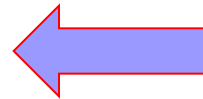


Fuentes de
alimentación

Bloques de una fuente típica



**convierte nivel de tensión,
provee aislación galvánica,
varios secundarios (+-12, 5, etc)**



**Las fuentes de
switching no precisan**

**convierte la sinusoide en
otra forma de onda que
tenga valor medio**

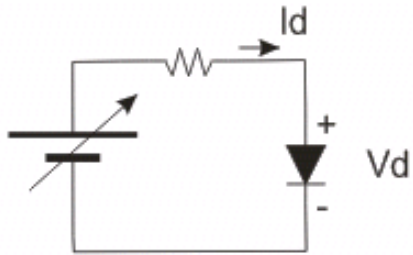
**atenúa los armónicos que
proviene de la etapa
anterior y se queda con el
valor medio**

**mejora las características de
la fuente (opcional)**

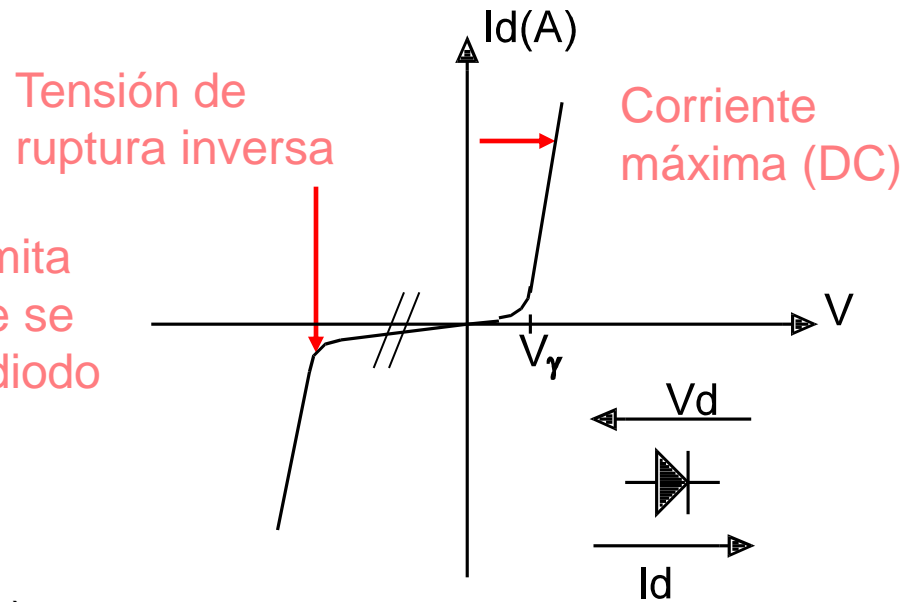
Objetivo: selección del transformador, diodos rectificadores y valores de los elementos para el filtro

Diodo rectificador de silicio, datos típicos

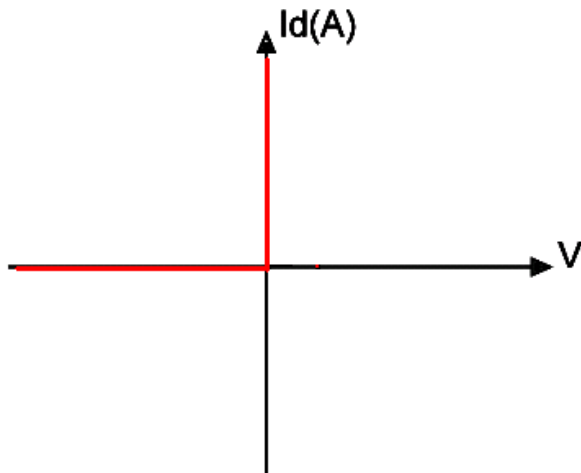
Polarizando en toda la curva:



Si no se limita
la corriente se
quema el diodo



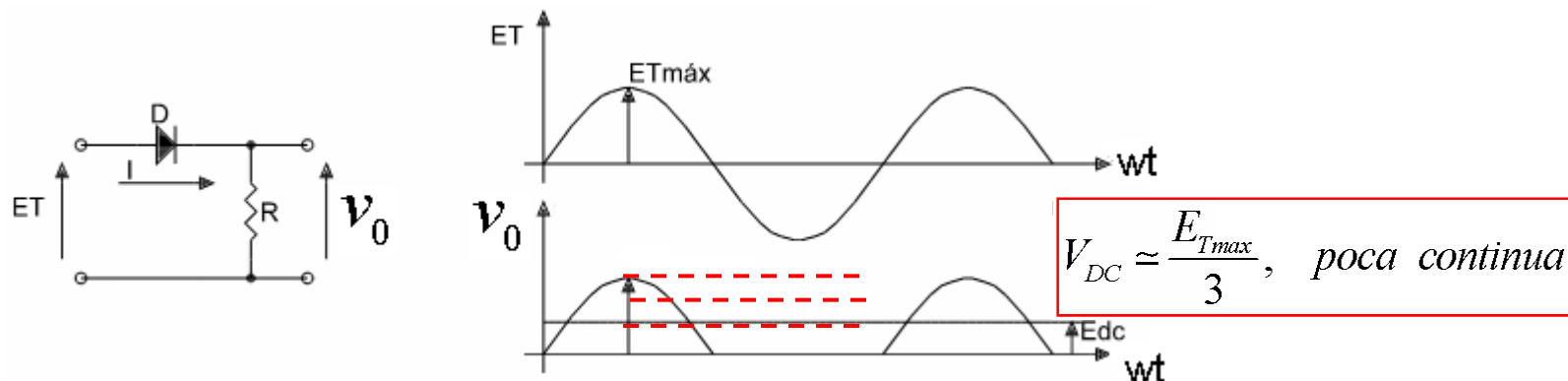
En rectificación (modelo simplificado):



Llave cerrada si $V_d > 0$

Llave abierta si $V_d < 0$

Rectificador de media onda:



Serie de Fourier de v_0 :

$$v_0(\omega t) = \frac{E_{Tmáx}}{\pi} + \frac{E_{Tmáx}}{2\pi} \cos(\omega t) - 2 \frac{E_{Tmáx}}{3\pi} \cos(2\omega t) \dots$$

TENSIÓN
CONTINUA EN
LA CARGA

$$V_{DC} = \frac{E_{Tmáx}}{\pi}$$

CORRIENTE
CONTINUA EN LA
CARGA

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R} = \frac{E_{Tmáx}}{\pi} \frac{1}{R}$$

CORRIENTE
CONTINUA EN EL
DIODO?

igual a la corriente
media en la carga
(están en serie)

$$I_{DC_diodo} = I_{DC} = \frac{E_{Tmáx}}{\pi R}$$

VALORES EFICACES:

$$v_{0ef}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} v_0^2(\omega t) d(\omega t)$$

$$v_{0ef} = \sqrt{\frac{E_{T\max}^2}{4}} = \frac{E_{T\max}}{2}$$

TENSIÓN EFICAZ EN LA CARGA

mayor que la comp. DC
pues RMS es DC + armónicos

CORRIENTE EFICAZ EN LA CARGA

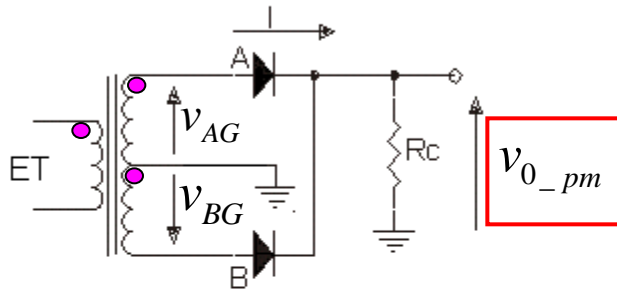
$$I_{0ef} = \frac{E_{T\max}}{2} \frac{1}{R}$$

CORRIENTE EFICAZ EN EL DIODO

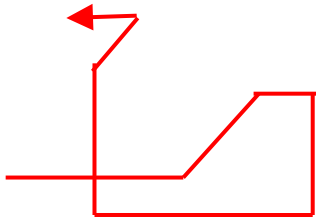
$$I_{ef_diodo} = \frac{E_{T\max}}{2R}$$

diodo en serie con la carga

ONDA COMPLETA CON PUNTO MEDIO



$$v_{BG} = -v_{AG} = E_T / n$$



Circuitos rectificadores de onda completa

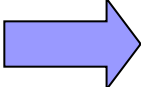
Serie de Fourier de v_0 (ambos casos):

$$v_0(t) = 2 \frac{E_{Tmax}}{\pi} - 4 \frac{E_{Tmax}}{3\pi} \cos(2\omega t) - 4 \frac{E_{Tmax}}{15\pi} \cos(4\omega t) \dots$$

$$V_{DC} = 2 \frac{E_{Tmáx}}{\pi} = 0.636 E_{Tmáx}$$

$$I_{DC} = \frac{2E_{Tmáx}}{\pi R}$$

Duplicué valor medio (resp. ½ onda)

v_{0ef} ? el de una senoide  $v_{0ef} = \frac{E_{Tmax}}{\sqrt{2}}$

Corriente media y eficaz en los diodos?

$$I_{DC_diodo} = \frac{E_{Tmax}}{\pi R}$$

$$I_{ef_diodo} = \frac{E_{Tmáx}}{2R}$$

cada diodo conduce la mitad del tiempo

igual que en el 1/2 onda

Circuitos rectificadores de onda completa

Más datos importantes para los diodos:

Corriente

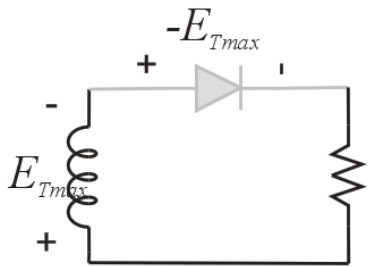
- Pico repetitiva (RRM)
- Pico no repetitiva (FSM)

Tensión

- Tensión pico repetitiva (RRM)
- No repetitiva (RSM)
- Tensión eficaz (RMS)

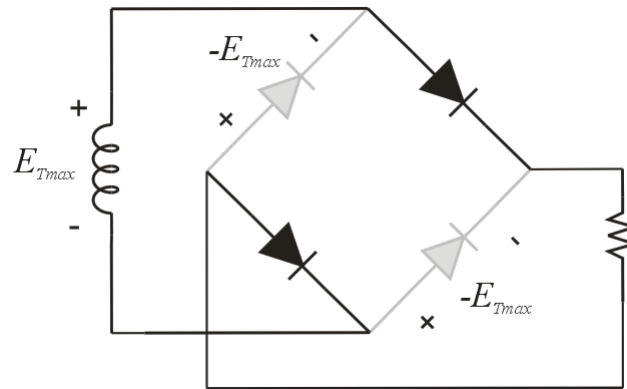
Tensión pico inversa:

Media onda



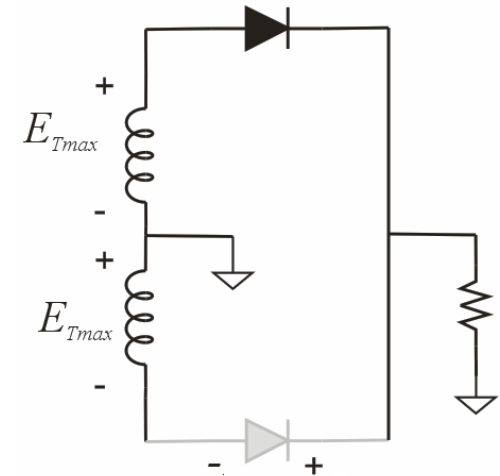
$$VRRM = -E_{Tmax}$$

Onda completa puente



$$VRRM = -E_{Tmax}$$

Onda completa punto 1/2



$$VRRM = V_A - V_K = -E_{Tmax} - (+E_{Tmax}) = -2E_{Tmax}$$

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.

For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N 5400	1N 5401	1N 5402	1N 5404	1N 5406	1N 5407	1N 5408	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}								
Working Peak Reverse Voltage	V _{RWM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
DC Blocking Voltage	V _R								
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current @ T _A = 105°C (Note 1)	I _O	3.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	200							A
Forward Voltage @ I _F = 3.0A	V _{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current @ T _A = 25°C	I _{RM}	10							μA
at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 150°C		100							
Typical Total Capacitance (Note 2)	C _T	50				25			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}	15							°C/W
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to +150							°C

- Notes:
1. Valid provided that leads are kept at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 2. Measured at 1.0MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. RoHS revision 13.2.2003. Glass and high temperature solder exemptions applied, see *EU Directive Annex Notes 5 and 7*.

Factor de zumbido, ripple o rizado

El factor de ripple o zumbido “r” cuantifica 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:

$$z = \frac{I_{ACef}}{I_{DC}} = \frac{V_{ACef}}{V_{DC}} \quad \text{Usualmente en \%} \quad \text{Fuente buena} \quad z \rightarrow 0$$

En términos generales podemos decir:

$$v_0(t) = v_{continua} + v_{armonicos} = V_{DC} + v_{AC}(t) \quad \Rightarrow \quad v_{AC}(t) = v_0(t) - V_{DC} \quad \Rightarrow$$

$$v_{ACef}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (v_0 - V_{DC})^2 d(\omega t)$$



$$v_{ACef}^2 = \left[\underbrace{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_0^2 d(\omega t)}_{v_{0ef}^2} - \underbrace{2 \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_0 V_{DC} d(\omega t)}_{-2V_{DC}^2} + \underbrace{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{DC}^2 d(\omega t)}_{V_{DC}^2} \right] = v_{0ef}^2 - V_{DC}^2$$

Para media onda era:

$$v_{0ef}^2 = \left(\frac{E_{T\max}}{2} \right)^2 \quad y \quad V_{DC}^2 = \left(\frac{E_{T\max}}{\pi} \right)^2$$

$$v_{ACef} = \sqrt{\left(\frac{E_{T\max}}{2} \right)^2 - \left(\frac{E_{T\max}}{\pi} \right)^2} = E_{T\max} \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{1}{\pi^2}} = 0.38E_{T\max}$$

$$z = \frac{0.38E_{T\max}}{\frac{E_{T\max}}{\pi}} = 121\%$$

Para onda completa: $z = 48\%$

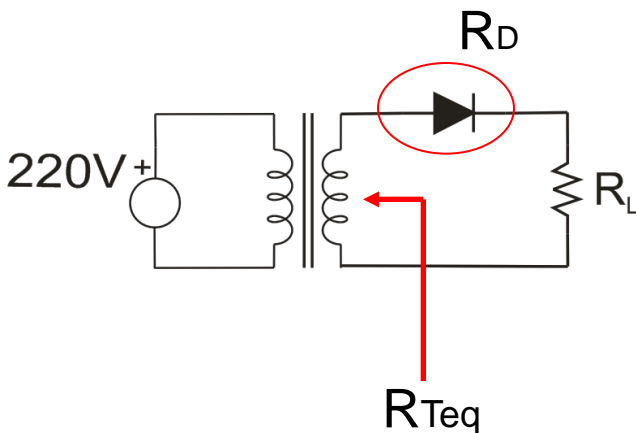
Mejora pero todavía tiene muchos armónicos...

Regulación de una fuente: Cuantifica la resistencia equivalente de salida en continua

Definición:

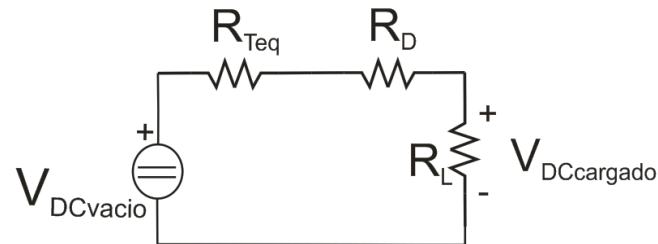
$$\text{Reg}(\%) = \frac{V_{DC\text{vacío}} - V_{DC\text{ plena carga}}}{V_{DC\text{vacío}}}$$

Ejemplo con un media onda:



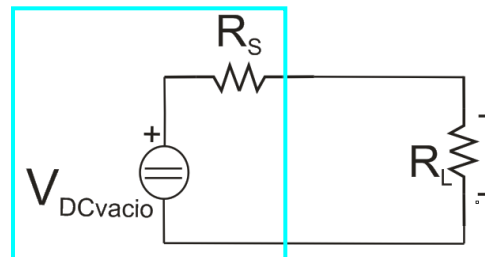
Tensión continua en vacío: $V_{DC\text{vacío}} = \frac{E_{T\text{max}}}{\pi}$

Cuando cargo con RL:



Circuito eq. de CC

$$\text{Reg}(\%) = \frac{R_s}{R_s + R_L}$$



Circuito eq Thevenin para la continua. R_s : res. eq. de la fuente.

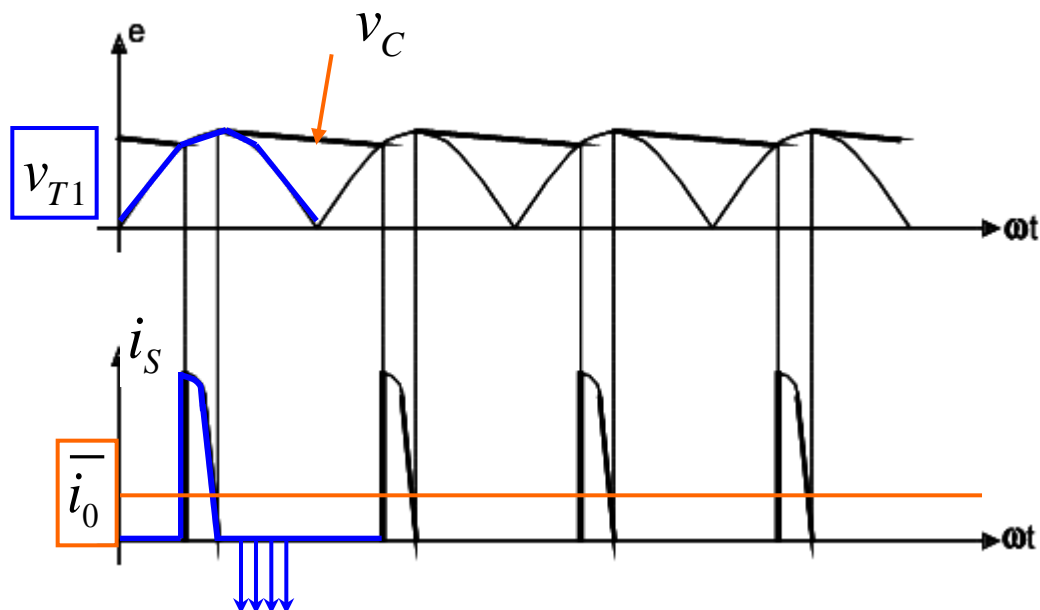
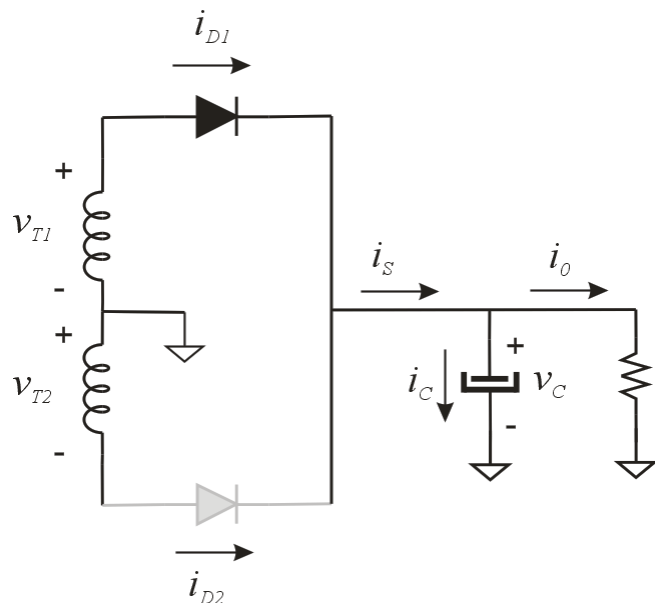


Problemas de los rectificadores básicos:

- Mucho contenido armónico de tensión comparado con la continua
- La tensión de salida se hace cero en algunos momentos

Agrego un elemento de almacenamiento: C (*bulk capacitor*)

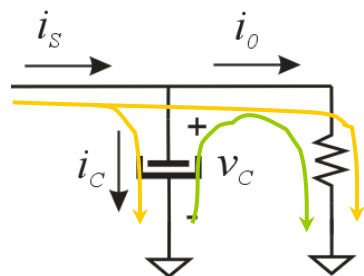
Rectificadores con filtro a capacitor de entrada



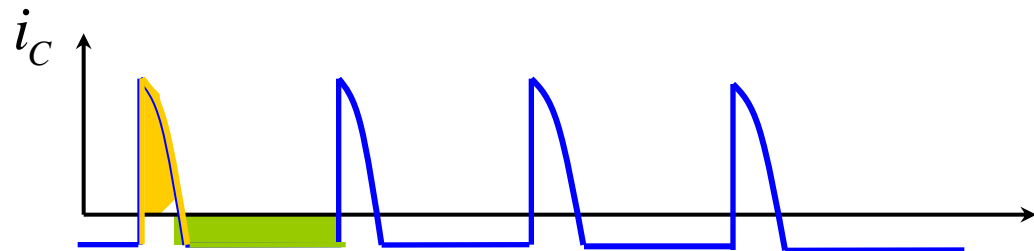
Corriente en el capacitor?

is tiene continua y armónicos

El valor medio de i_s : ¿dónde va a parar?



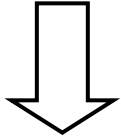
*diodo ON impedancia
casi pura capacitiva*



diodo OFF C se descarga x R

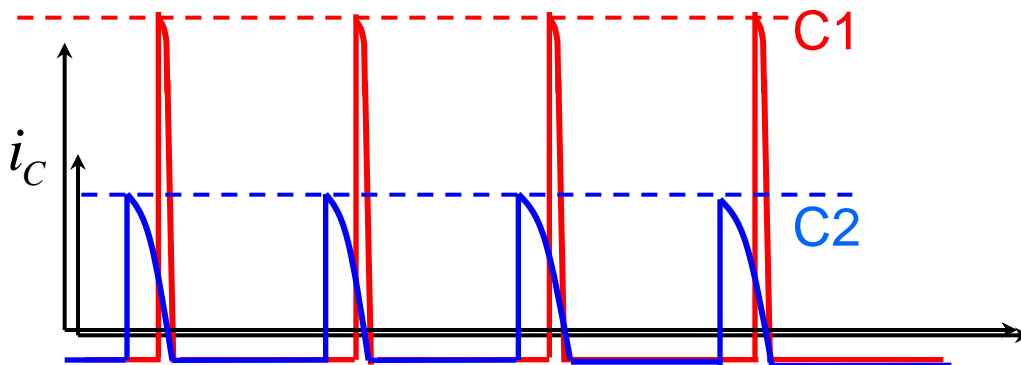
Valor del capacitor?

Ideal: muy grande pero:



- ❑ Ocupan mucho espacio
- ❑ Costo
- ❑ Toma corriente pulsada de la red (contaminación + armónicos en el trafo)
- ❑ Calentamiento (trafo + capacitor)

Para una RL dada (o I_{DC} dada) si $C1 > C2$:



Pulsos de corriente
muy altos x el C

La corriente pulsada
también la tienen que
soportar los diodos

Necesitamos criterios de
elección del valor de C

Debemos analizar cómo dependen del valor de C los valores característicos de la fuente

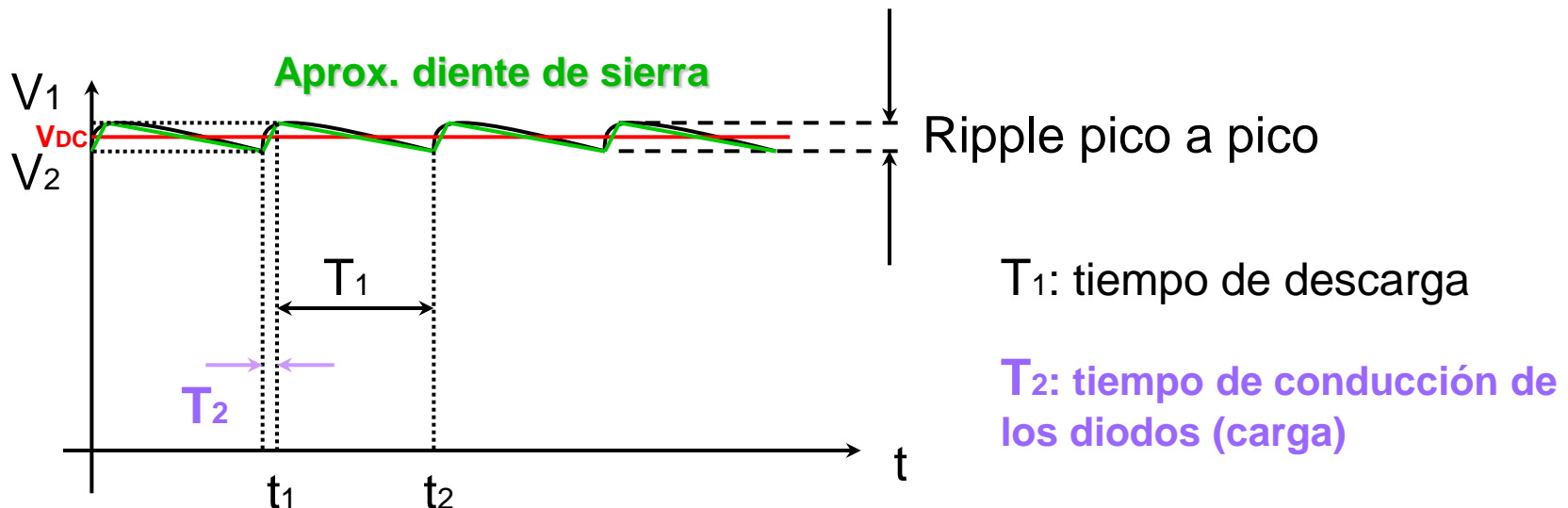
Dos enfoques:

- Aproximado (fuentes “pequeñas”). No tenemos mucha libertad de elección de los elementos.
- Usando el método de Schade (fuentes “grandes”, donde hay que afinar el lápiz)

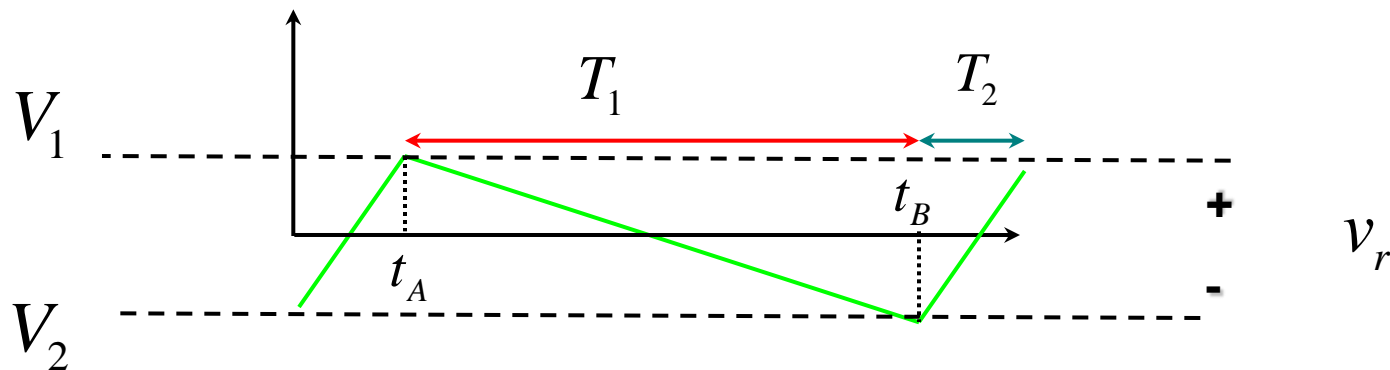
Debemos determinar para una condición dada de carga :

- VDC (valor medio de tensión a la salida)
- Factor de zumbido
- Regulación

Consideramos tensión a la salida casi constante (amplitud del ripple mucho menor que el valor medio)



Aproximación conceptual



$$v_r = V_1 - V_2 = \Delta V_C = \frac{\Delta Q_C}{C} = \frac{I_{DC} T_1}{C} = \frac{I_{DC} (T_{red} / 2 - T_2)}{C} \simeq \frac{I_{DC} T_{red}}{2C} = \frac{I_{DC}}{2f_{red} C}$$

Diodos conducen
un tiempo corto

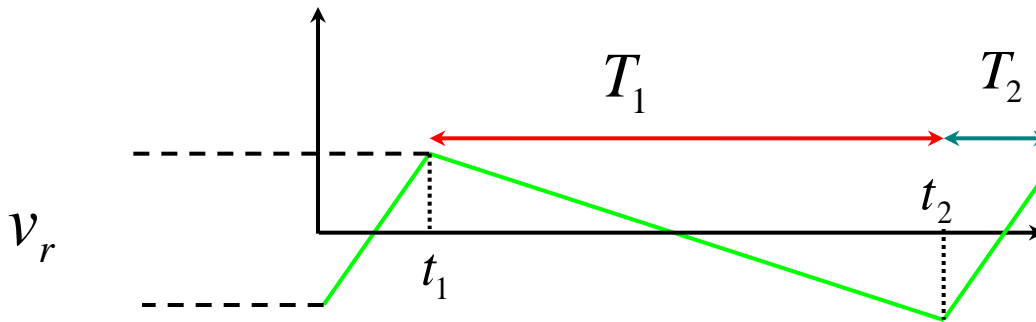
Tensión media (con la carga conectada):

$$V_{DC} = V_1 - \frac{v_r}{2} = E_{T_{\max}} - \frac{I_{DC}}{4f_{red} C}$$

$$V_{DC} = E_{T_{\max}} - \frac{I_{DC}}{4f_{red} C}$$

**Depende de la carga
que conectemos**

Factor de zumbido $z = \frac{v_{ACef}}{V_{DC}}$



Valor eficaz de la triangular:

$$v_{ACef} = \frac{v_r}{2\sqrt{3}} =$$

No depende de T_1 y T_2

$$z = \frac{v_{ACef}}{V_{DC}} = \frac{1}{4\sqrt{3}} \left(\frac{T_{red}}{\tau} \right)$$

Regulación

$$\text{Reg}(\%) = \frac{V_{DC\text{vacío}} - V_{DC\text{ plena carga}}}{V_{DC\text{vacío}}}$$

$$V_{DC\text{vacío}} = E_{T\text{max}}$$

Con la carga conectada
tengo una tensión media:

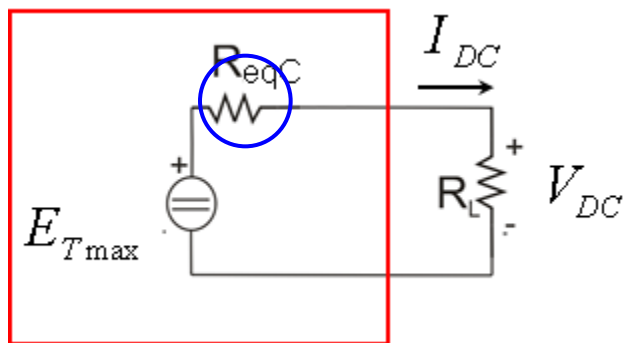
$$V_{DC\text{ plena carga}} = E_{T\text{max}} - \frac{I_{DC}}{4f_{red}C} = E_{T\text{max}} - \frac{V_{DC\text{ plena carga}} / R_L}{4f_{red}C} \quad V_{DC\text{ plena carga}} \left(1 + \frac{1}{4R_L f_{red}C} \right) = E_{T\text{max}}$$

$$V_{DC\text{ plena carga}} = \frac{E_{T\text{max}}}{\left(1 + \frac{1}{4R_L f_{red}C} \right)} = \frac{E_{T\text{max}}}{\left(1 + \frac{T_{red}}{4\tau} \right)}$$

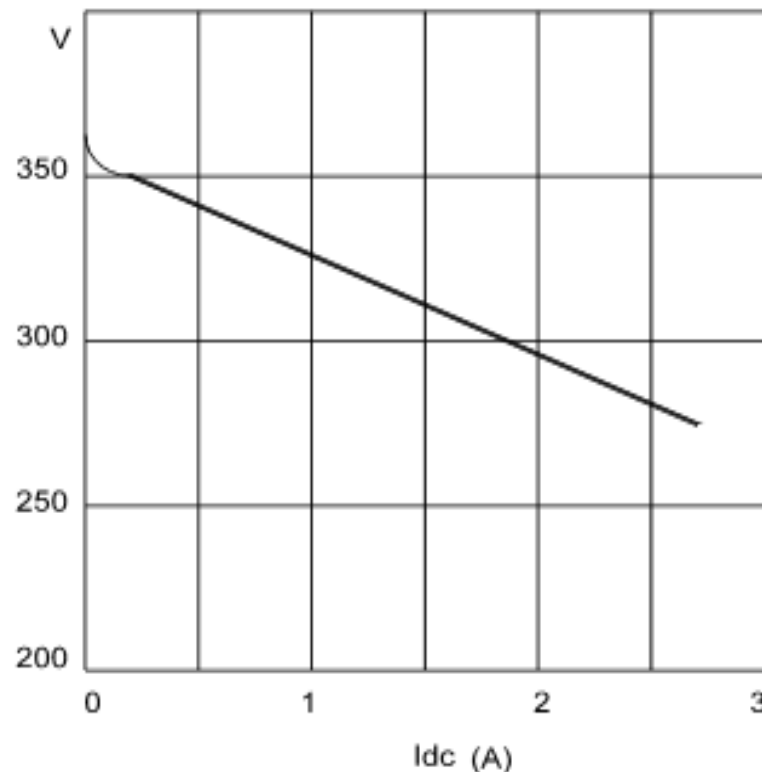
$$\text{Reg}(\%) = \frac{V_{DC\text{vacío}} - V_{DC\text{ plena carga}}}{V_{DC\text{vacío}}} = \frac{E_{T\text{max}} - \left(\frac{E_{T\text{max}}}{\left(1 + \frac{T_{red}}{4\tau} \right)} \right)}{E_{T\text{max}}} = \frac{T_{red}}{4\tau}$$

Circuito equivalente Thevenin en continua:

$$V_{DC} = E_{T_{\max}} - \left(\frac{1}{4f_{red}C} \right) I_{DC} = E_{T_{\max}} - R_{eq} I_{DC}$$

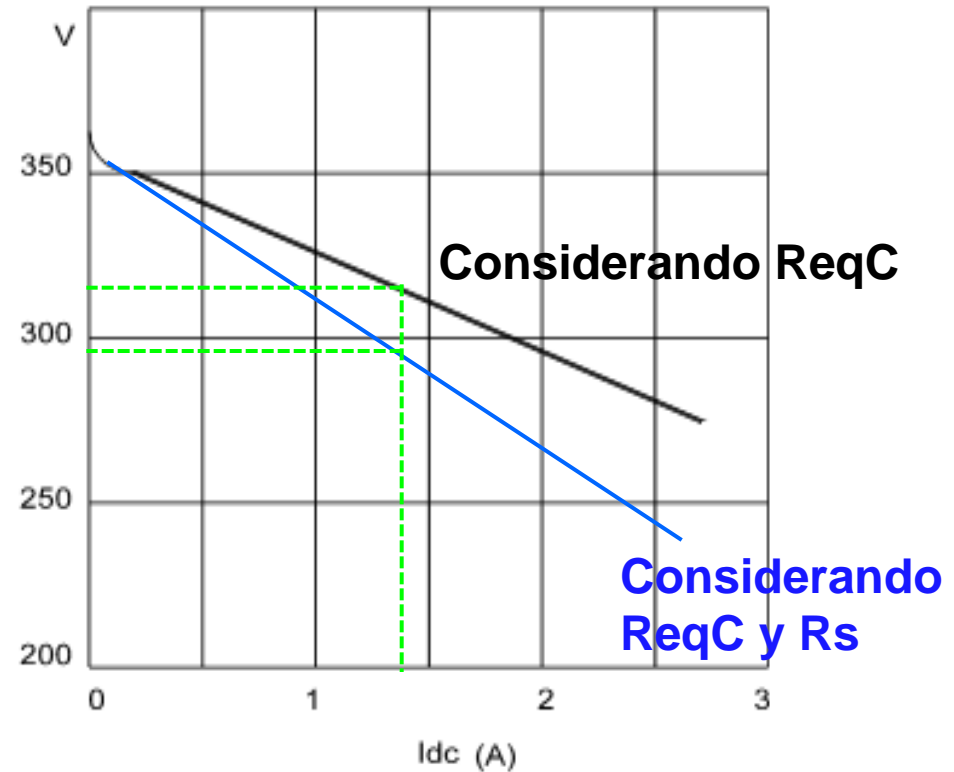
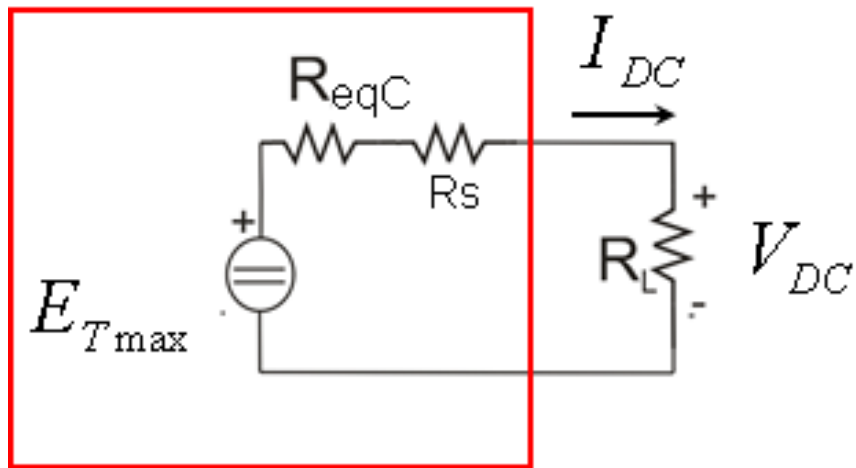


Mientras + chico el C la fuente tiene peor regulación (además de que el zumbido aumenta)



Regulación de tensión del circuito puente monofásico de onda completa con filtro de entrada a capacitor.

Si además tengo en cuenta la resistencia galvánica de los bobinados del transformador:

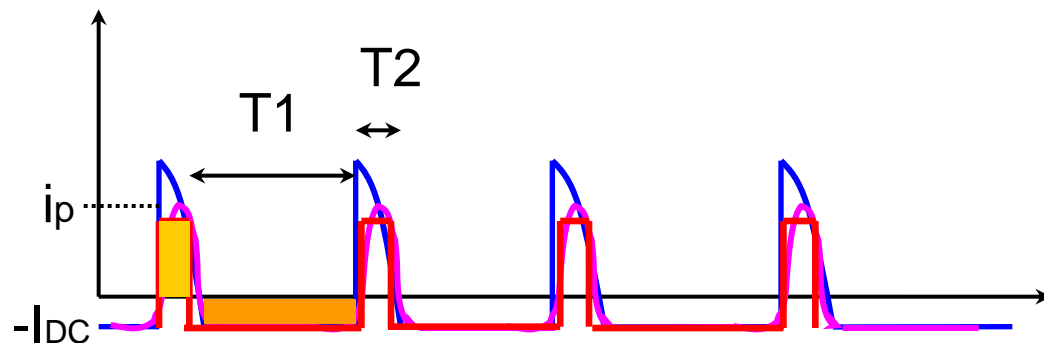


$$V_{DC} = E_{T\max} - (R_{eqC} + R_s) I_{DC}$$

Regulación de tensión del circuito puente monofásico de onda completa con filtro de entrada a capacitor.

Aproximación conceptual

Estimando corriente pico en C

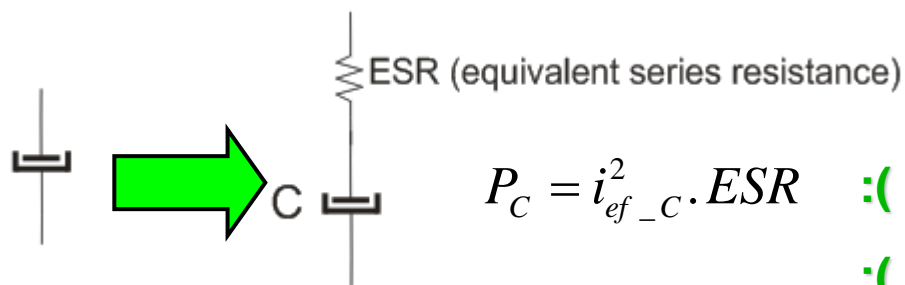


La inductancia de dispersión del trafo (L_d)
simetriza el pulso, aproximo por rectángulo:

$$I_{DC} T_1 = i_p T_2 \Rightarrow i_p = I_{DC} \frac{T_1}{T_2}$$

C grande: corrientes
pico altas

Y ojo con la ESR:

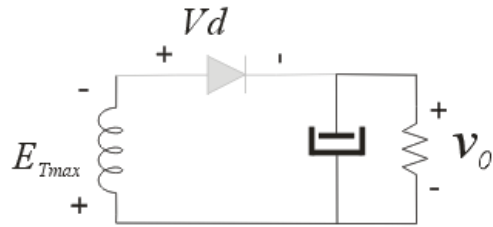


$$P_C = i_{ef_C}^2 \cdot ESR$$

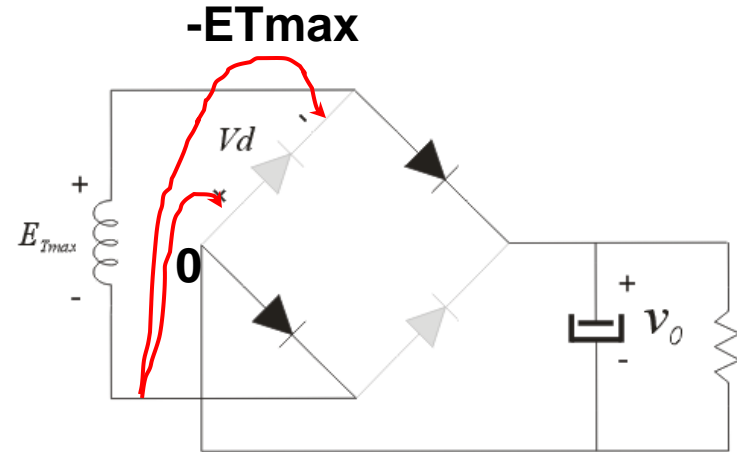
:(**Calentamiento**

:(**Evaporación del electrolito**

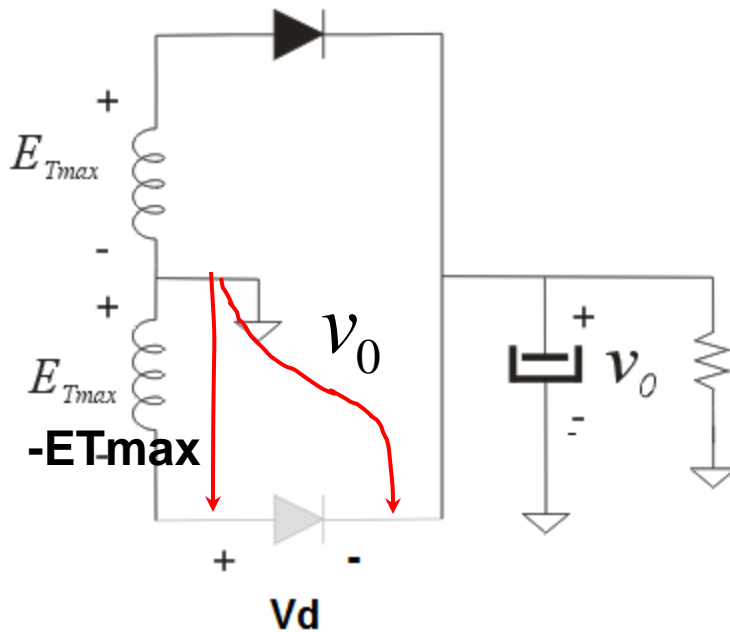
Tensión pico inversa en los diodos



$$Vd = V_A - V_K = -E_{Tmax} - (v_0) \approx -2E_{Tmax}$$



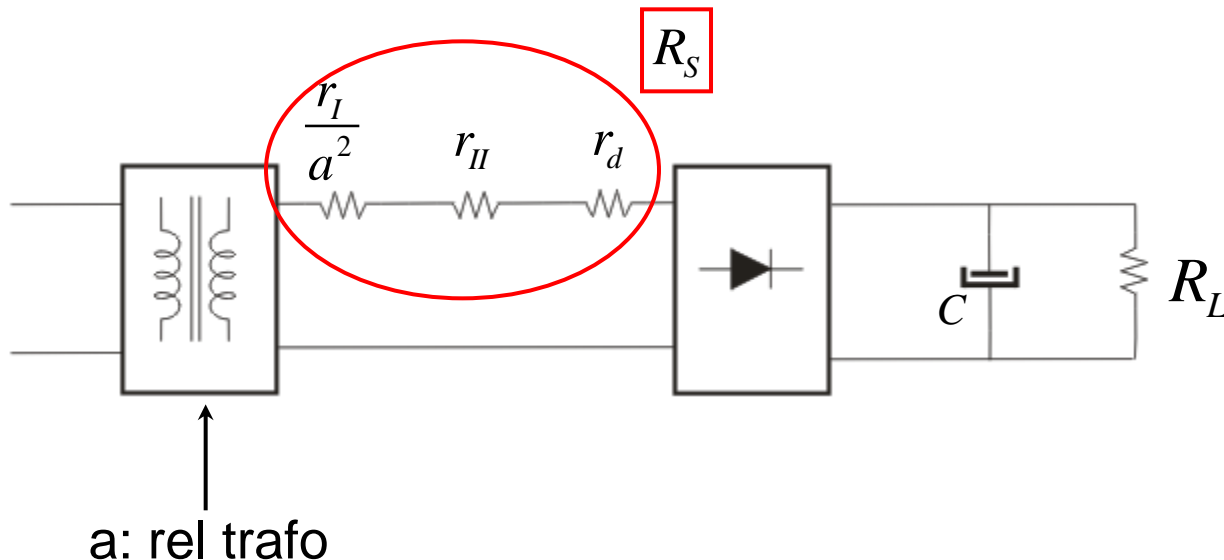
$$Vd = V_A - V_K = 0 - E_{Tmax} = -E_{Tmax}$$



$$Vd = V_A - V_K = (-E_{Tmax}) - (v_0) \approx -2E_{Tmax}$$

- ❑ Resolución numérica parametrizada del circuito (Schade, 1943 pero se sigue utilizando)
- ❑ Permite seleccionar C y los diodos en función de zumbido, y corrientes (medias y eficaces por los diodos)

Las curvas trabajan en base al siguiente modelo circuital:



Los gráficos trabajan con los parámetros:

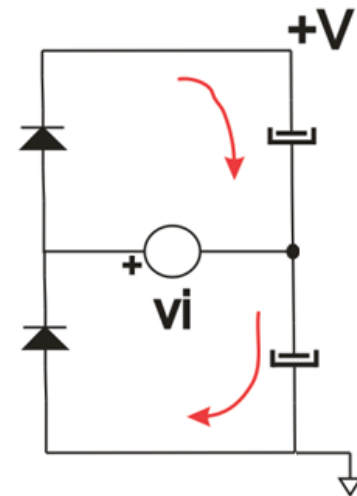
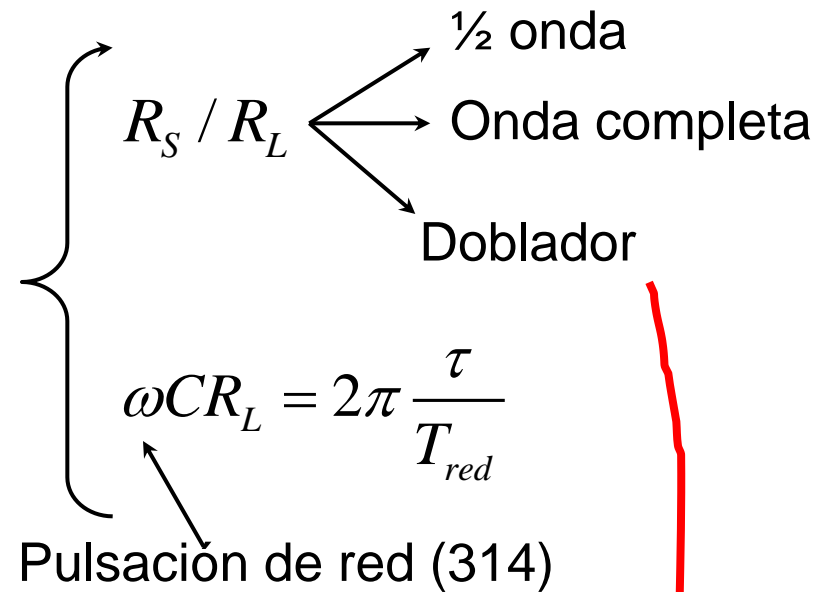
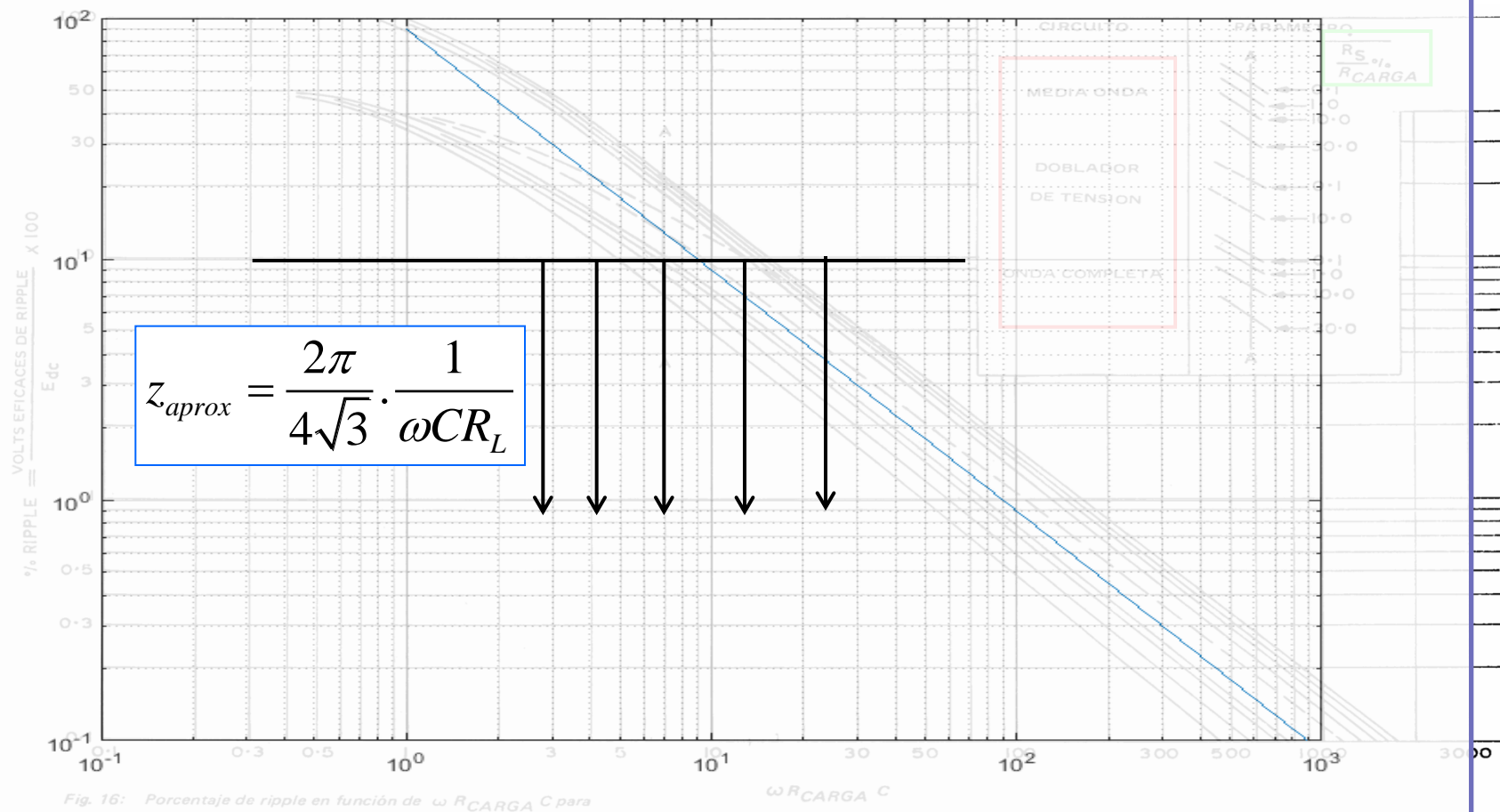


Gráfico Eef_ripple/V_{DC}

Selecciona C en función del zumbido



$\frac{T}{T_{red}}$ chico \Rightarrow ripple grande

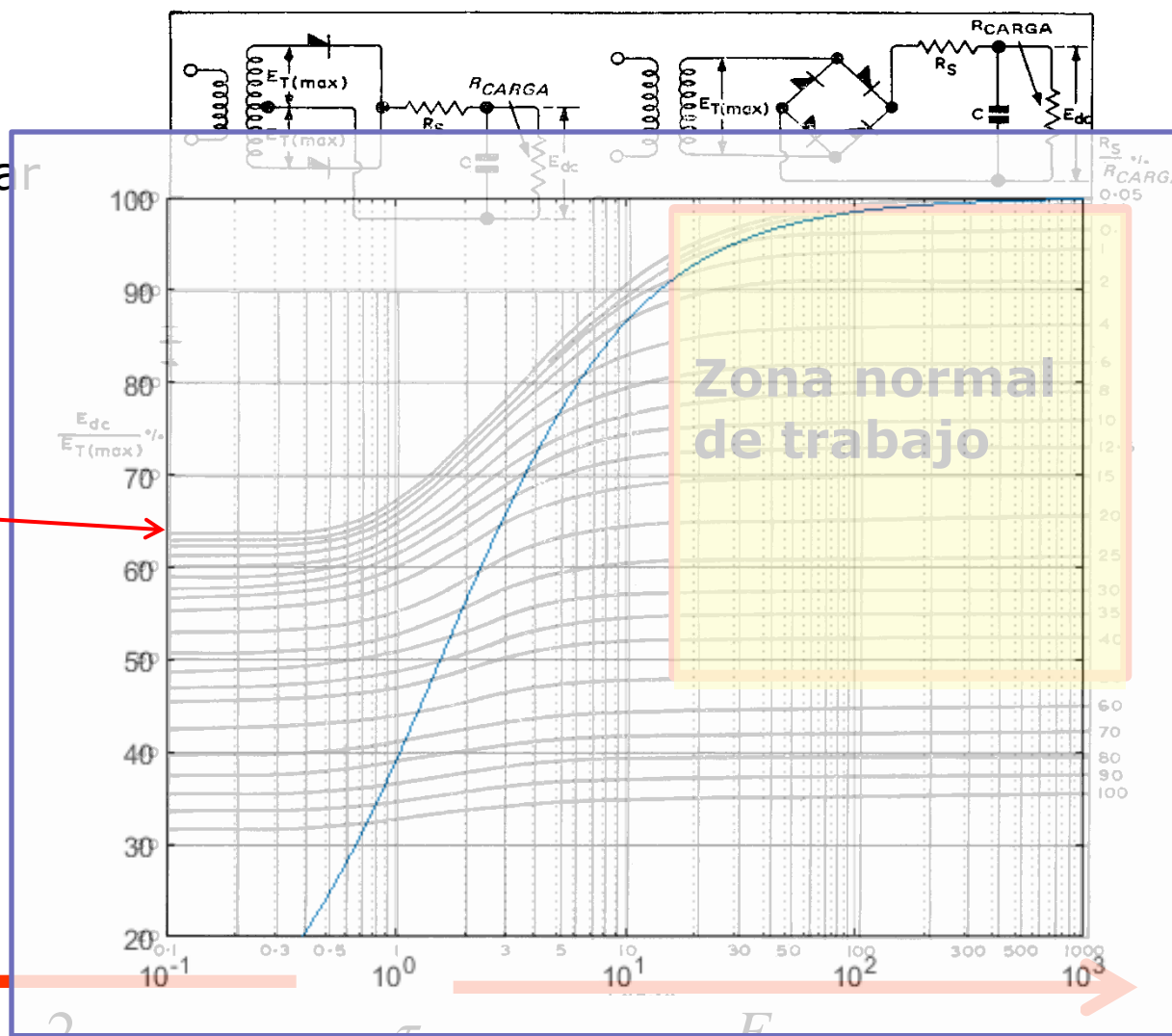
$\frac{\tau}{T_{red}}$ grande \Rightarrow ripple chico

Gráfico V_{DC}/E_{Tmax}

Selecciona tensión secundaria del trafo en función de V_{DC} (compensar V_{gamma})

$$E_{DC} = 2E_{Tmax}/\pi = 64\% E_{Tmax}$$

$$\left. \frac{V_{DC}}{E_{Tmax}} \right|_{aprox} = \frac{1}{1 + \frac{\pi}{2(\omega C R_L)}}$$



$$\frac{\tau}{T_{red}} \text{ chico} \Rightarrow \frac{E_{DC}}{E_{Tmax}} \rightarrow \frac{2}{\pi} = 64\% \quad \frac{\tau}{T_{red}} \text{ grande} \Rightarrow \frac{E_{DC}}{E_{Tmax}} \rightarrow 100\%$$

Gráfico: I_{pk} repetitivo/ I_{DC}

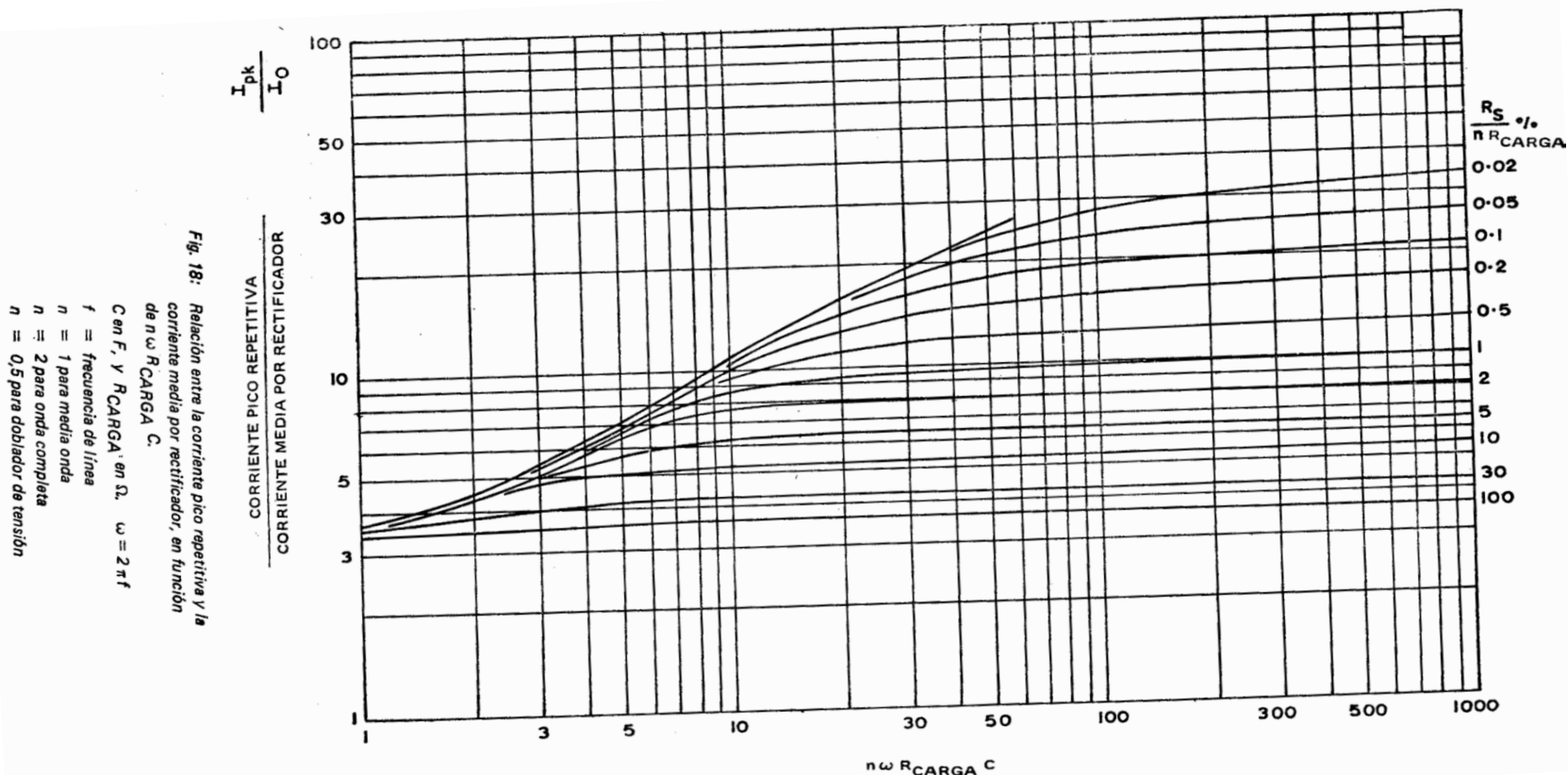


Gráfico: I_{ef_diodo}/I_{DC}

Indica la corriente eficaz que circulará por los diodos

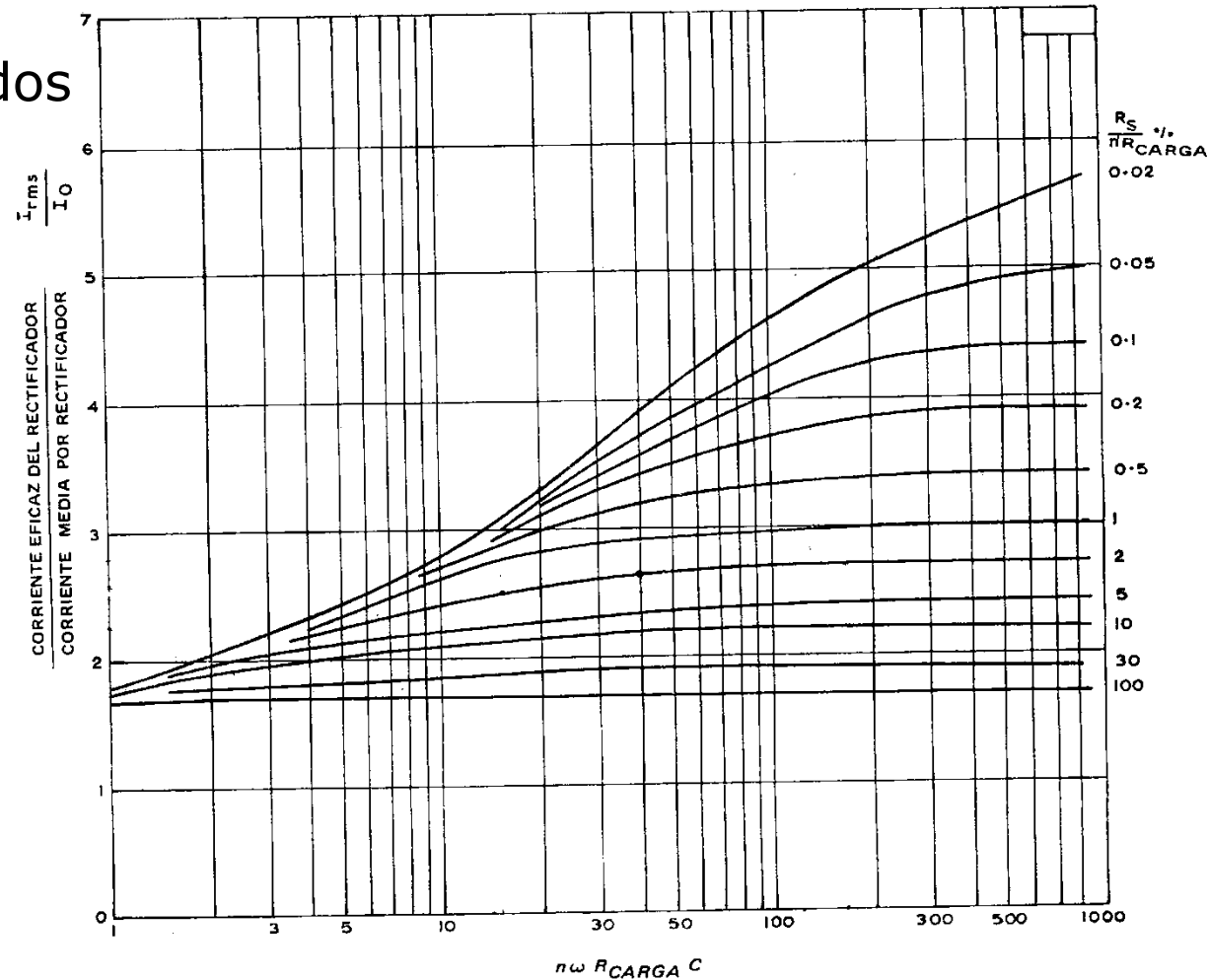


Fig. 17: Relación entre la corriente eficaz del rectificador y la corriente media por rectificador, en función de $n\omega R_{CARGA} C$.

C en F, y R_{CARGA} en Ω

$n = 1$ para media onda

$n = 2$ para onda completa

$n = 0,5$ para doblador de tensión.

Lineamientos de diseño para rectificadores con filtro a capacitor de entrada

Las especificaciones nos serán dadas en términos de:

V_{DC} : tensión continua de salida

I_{DC} : corriente continua en la carga

$z\%$: ripple o zumbido máximo permitido

$R\%$: regulación por variación de la corriente de carga

Debemos especificar:

☐ El capacitor de filtrado, considerando:

1. Valor de la capacidad teniendo en cuenta la tolerancia
2. Tensión de trabajo
3. Corriente eficaz a través del capacitor, que para circuitos de onda

caps en //

Completa se calcula por definición:

$$\frac{1}{T} \int (i_{D1} + i_{D2})^2 dt = \frac{1}{T} \int (i_{cap} + i_0)^2 dt$$

$$I_{ef\ cap} = \sqrt{I_{efT}^2 - I_{DC}^2} = \sqrt{2I_{efD}^2 - I_{DC}^2}$$

☐ El circuito rectificador más adecuado (1/2 onda, doble onda) y los diodos, considerando:

4. Corriente nominal que circula a través del rectificador (IFAV)
5. Corriente pico repetitiva (IFRM)
6. Corriente pico inicial o de encendido (IFSM)
7. Tensión de pico inverso (VRRM)

☐ El transformador

8. Corriente eficaz por el secundario (para calibre del alambre) $I_{ef\ sec} = \sqrt{2}I_{efD}$

9. Tensión eficaz del secundario (para relación de vueltas) $E_{ef\ sec} = \sqrt{2}E_{T\ max}$

10. Potencia aparente (para tamaño del núcleo) $S_{sec} = I_{ef\ sec} E_{ef\ sec}$