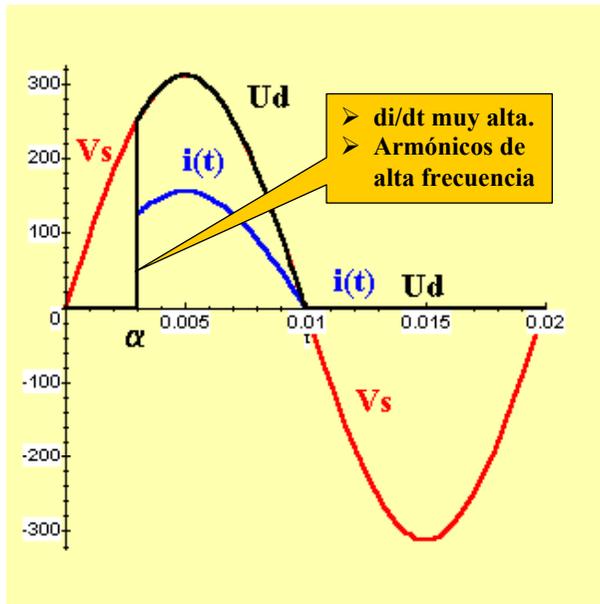
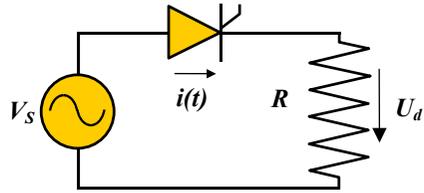
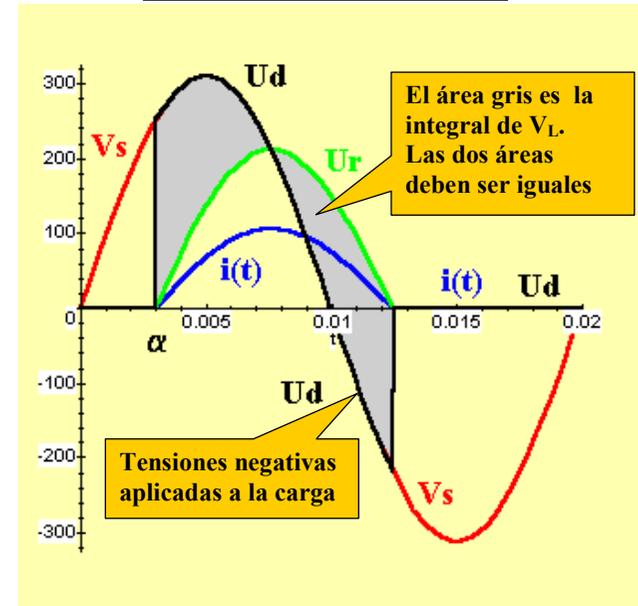
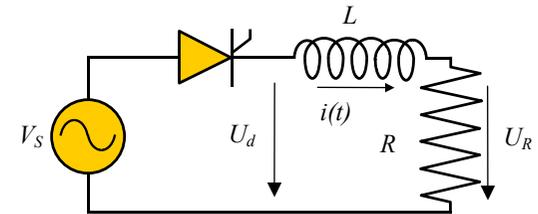


**RECTIFICADOR CONTROLADO MONOFÁSICO.
Carga Resistiva**



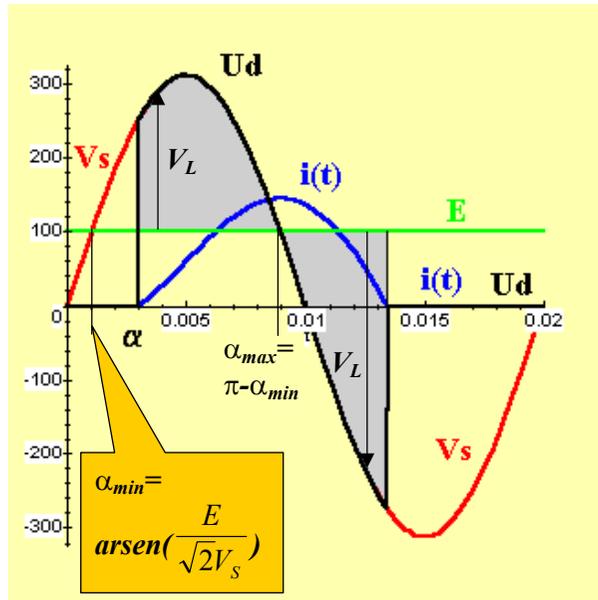
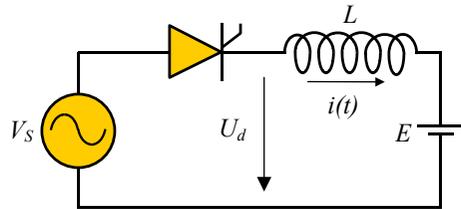
Carga Resistiva

**RECTIFICADOR CONTROLADO MONOFÁSICO.
Carga Resistiva e Inductiva**



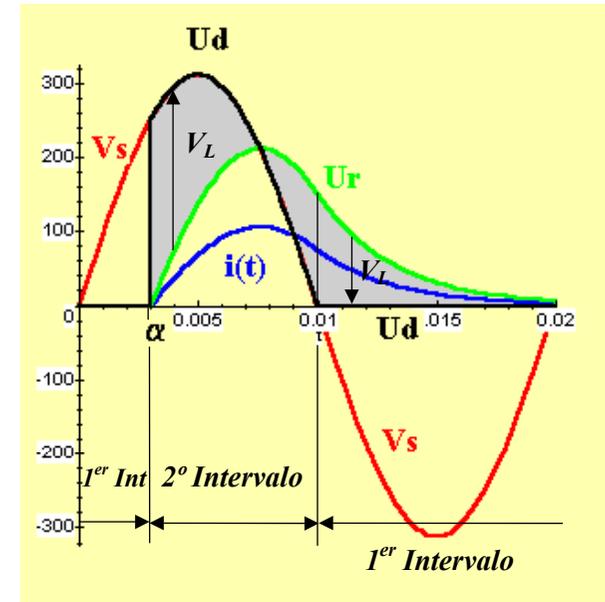
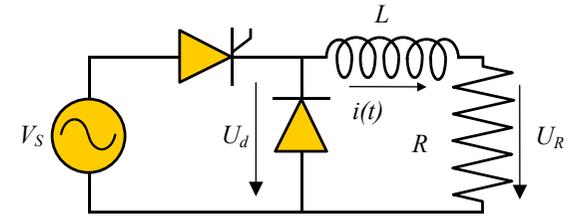
Carga Resistiva e Inductiva

RECTIFICADOR CONTROLADO MONOFÁSICO.
Carga Inductiva y Fuente de Tensión



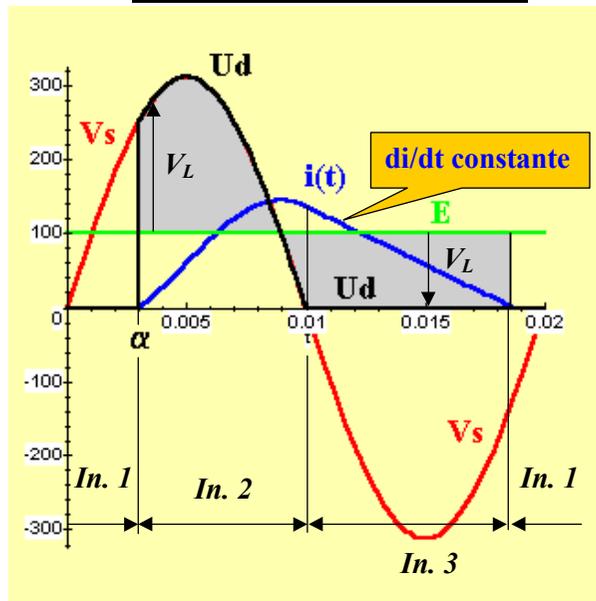
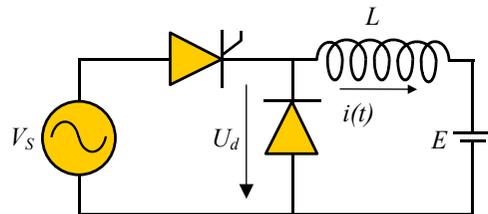
Carga Inductiva y Fuente de Tensión

RECTIFICADOR CONTROLADO MONOFÁSICO.
Carga Resistiva e Inductiva y Diodo de Libre Circulación



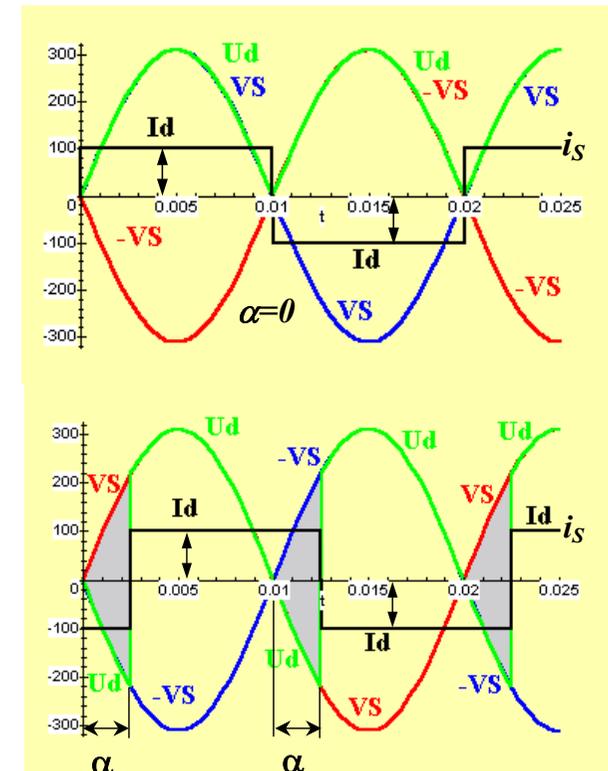
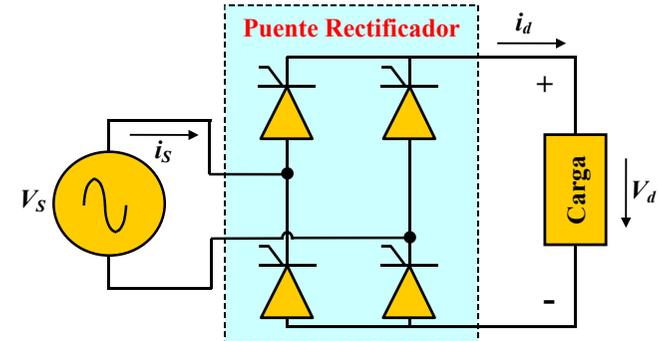
Carga Resistiva e Inductiva con Diodo de libre circulación

RECTIFICADOR CONTROLADO MONOFÁSICO.
 Carga Inductiva, Fuente de Tensión y Diodo de Libre Circulación



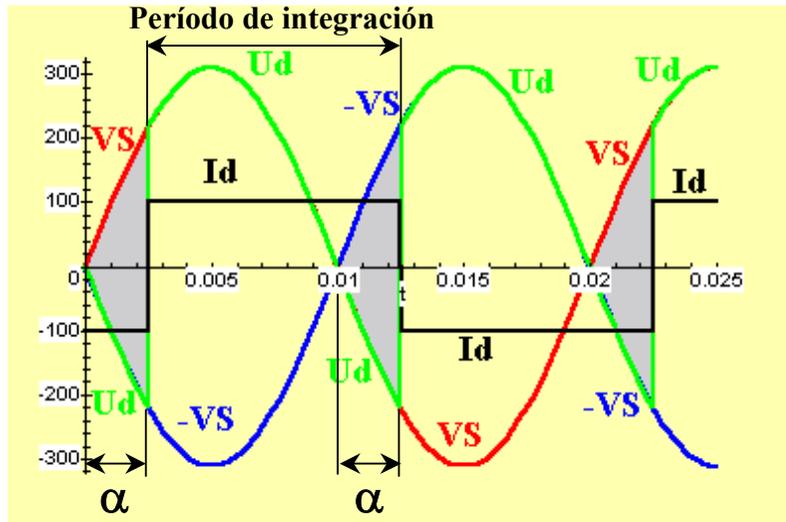
Carga inductiva y fuente de alimentación con Diodo de libre circulación

RECTIFICADOR PUENTE MONOFÁSICO
 Conmutación Ideal



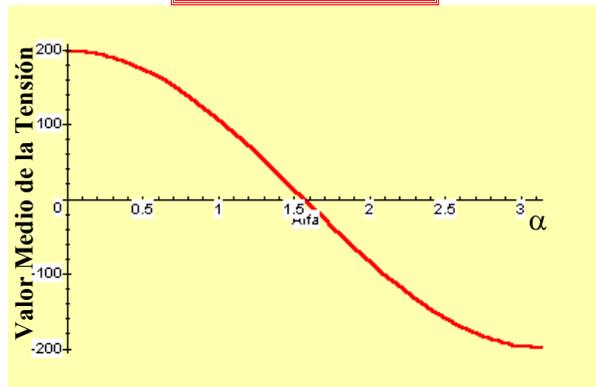
Puente Monofásico Controlado

RECTIFICADOR PUENTE MONOFÁSICO.
Valor Medio de la Tensión Rectificada



$$V_{da} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2}V_s \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_s \cdot \cos \alpha =$$

$$V_{da} = 0.9 \cdot V_s \cos \alpha$$



$$P = I_d \left(\frac{1}{T} \int_0^T v_d dt \right) = 0.9 \cdot I_d \cdot V_s \cdot \cos \alpha$$

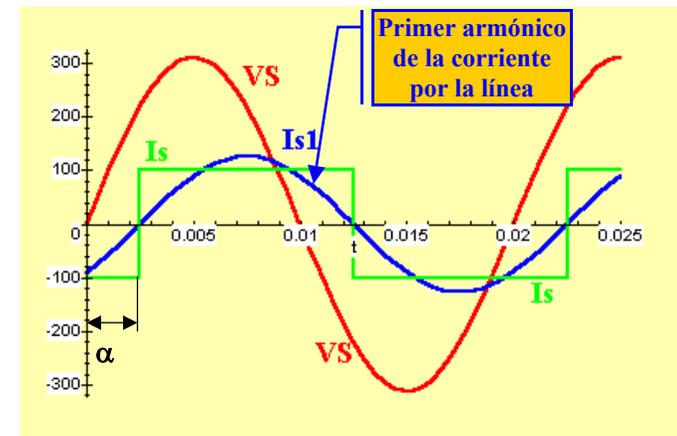
Puente Monofásico Controlado

RECTIFICADOR PUENTE MONOFÁSICO.
Efecto de α sobre la Componente Fundamental de I_s

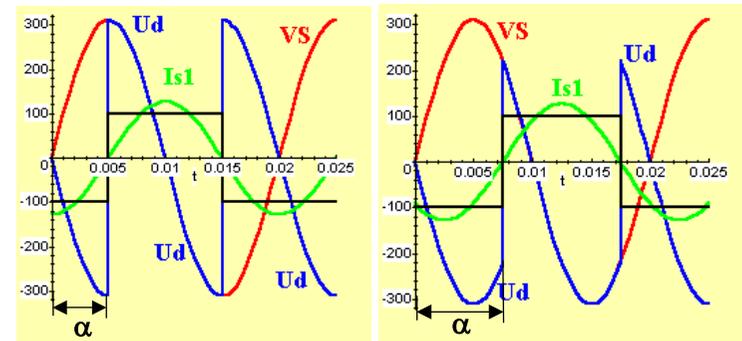
Desarrollando en serie de Fourier se obtiene para la componente fundamental de la corriente por la línea (I_{s1}):

$$I_{s1} = 0.9 \cdot I_d \quad (\text{Valor eficaz})$$

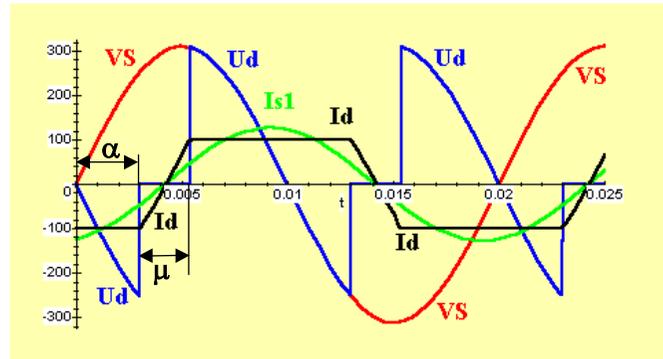
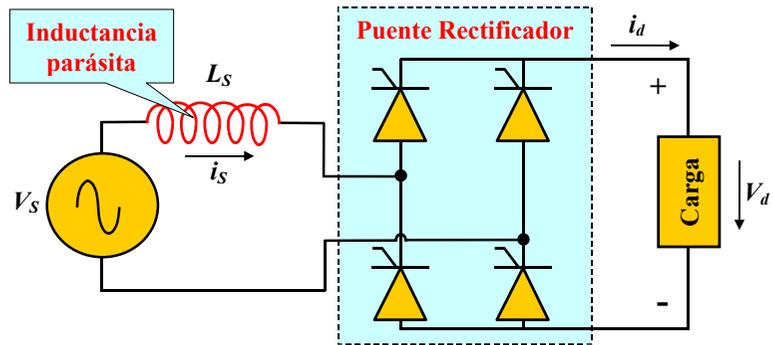
$$I_{s1M} = 0.9 \cdot \sqrt{2} \cdot I_d = 1.27 \cdot I_d \quad (\text{Valor de pico})$$



Para distintos valores de α :



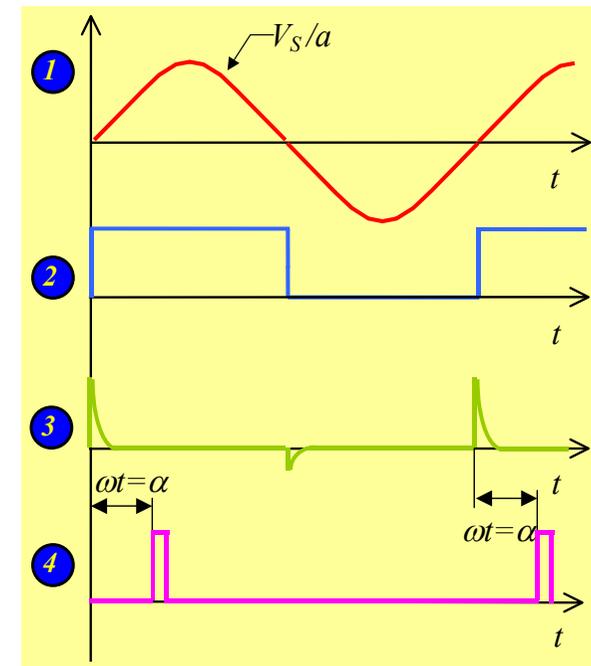
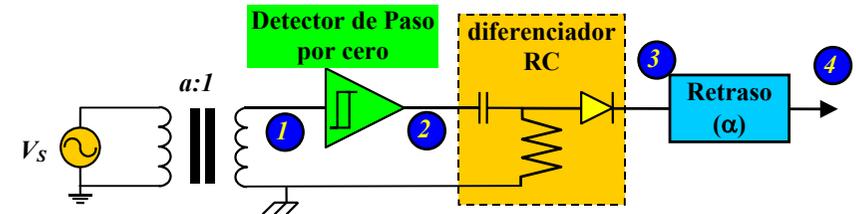
RECTIFICADOR PUENTE MONOFÁSICO. Comutación no Instantánea



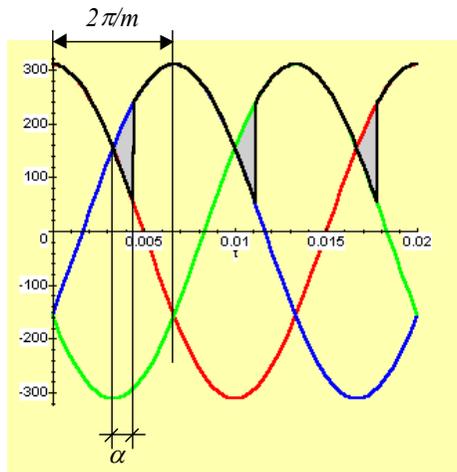
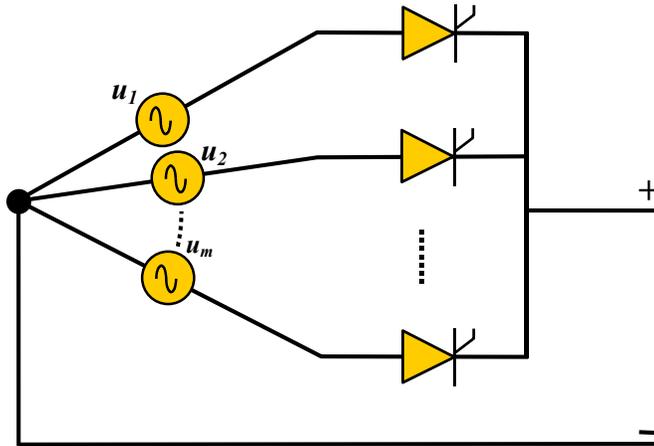
Puente Monofásico con conmutación no instantánea

SINCRONIZACIÓN DEL CIRCUITO DE DISPARO

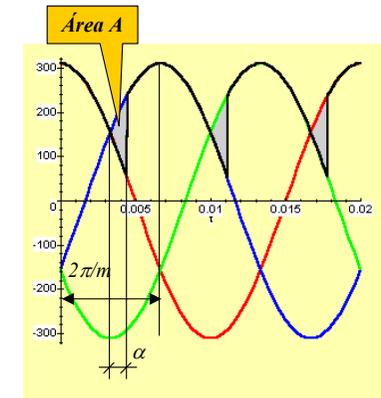
Sincronización del disparo con el paso por cero de V_s .



RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES



RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES Valor Medio de la Tensión Rectificada



$$U_{\alpha} = \frac{A}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{m}}^{\frac{\pi}{m} + \alpha} \left(U_M \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{m}\right) - U_M \cdot \cos\omega t \right) d\omega t =$$

$$U_{\alpha} = \frac{U_M \cdot m}{2\pi} \left[\text{sen}\left(\alpha - \frac{\pi}{m}\right) - \text{sen}\left(-\frac{\pi}{m}\right) - \text{sen}\left(\frac{\pi}{m} + \alpha\right) + \text{sen}\frac{\pi}{m} \right] =$$

$$U_{\alpha} = \frac{U_M \cdot m}{2\pi} \left(2 \text{sen}\frac{\pi}{m} + \text{sen}\left(\alpha - \frac{\pi}{m}\right) - \text{sen}\left(\frac{\pi}{m} + \alpha\right) \right)$$

Aplicando $\text{sen } p - \text{sen } q = 2 \cos \frac{1}{2}(p+q) \cdot \text{sen} \frac{1}{2}(p-q)$, resulta:

$$U_{\alpha} = \frac{U_M \cdot m}{2\pi} \left[2 \text{sen}\frac{\pi}{m} + 2 \cos \alpha \cdot \text{sen}\left(-\frac{\pi}{m}\right) \right] = U_M \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \text{sen}\frac{\pi}{m} (1 - \cos \alpha) =$$

$$U_{\alpha} = U_{ov} (1 - \cos \alpha)$$

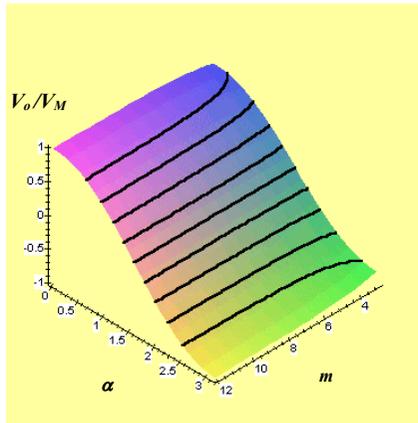
La tensión media a la salida del rectificador controlado será:

$$U_o = U_{ov} - U_{\alpha} = U_{ov} \cdot \cos \alpha$$

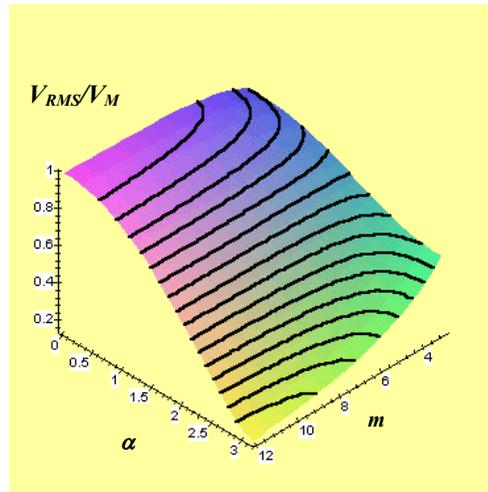
La Tensión Eficaz: $U_{rms} = U_M \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{m}{4\pi} \cdot \text{sen} \frac{2\pi}{m} \cdot \cos \alpha}$

Los Armónicos: $U_{ok} = U_o \cdot \frac{2}{k^2 \cdot m^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + k^2 \cdot m^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha}$

RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES
Valor Medio de la Tensión Rectificada

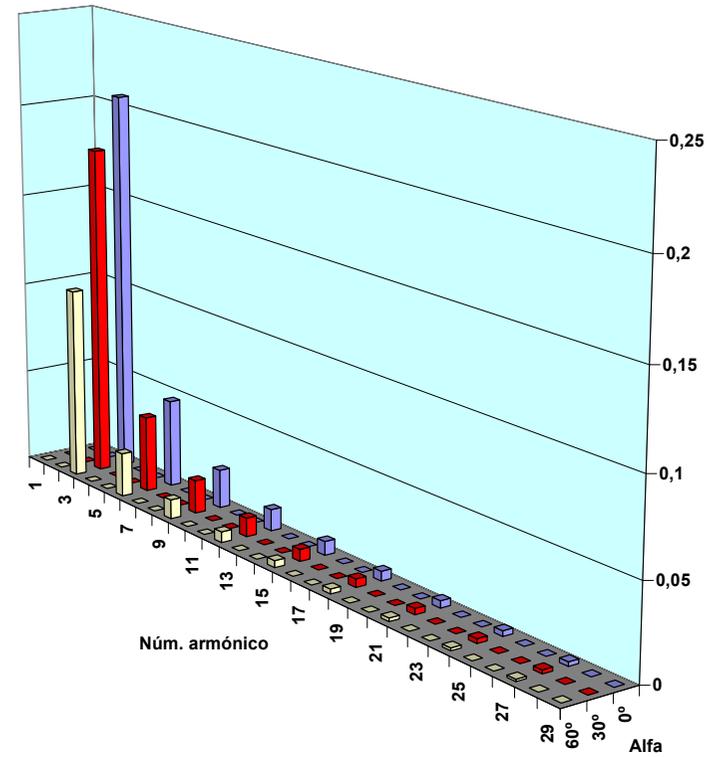


Tensión media rectificada en función del ángulo de disparo α y del número de fases m



Tensión eficaz rectificada en función del ángulo de disparo α y del número de fases m

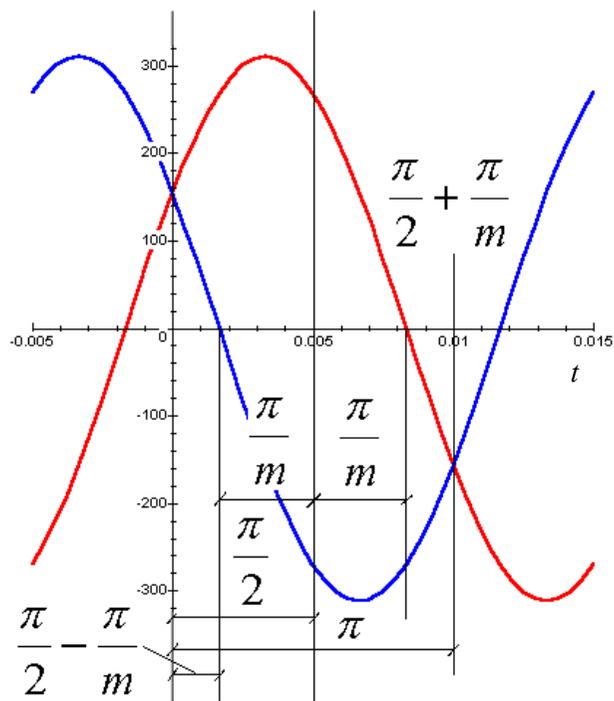
RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES
Armónicos de la Tensión Rectificada



Armónicos de la tensión rectificada en un rectificador **trifásico** en función del ángulo de disparo α

RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES

Funcionamiento como Rectificador y como Ondulador



Según el valor de α :

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m} \Rightarrow U_d \text{ siempre } > 0 \Rightarrow U_o > 0$$

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m} < \alpha < \frac{\pi}{2} \Rightarrow U_d \triangleleft 0 \Rightarrow U_o > 0$$

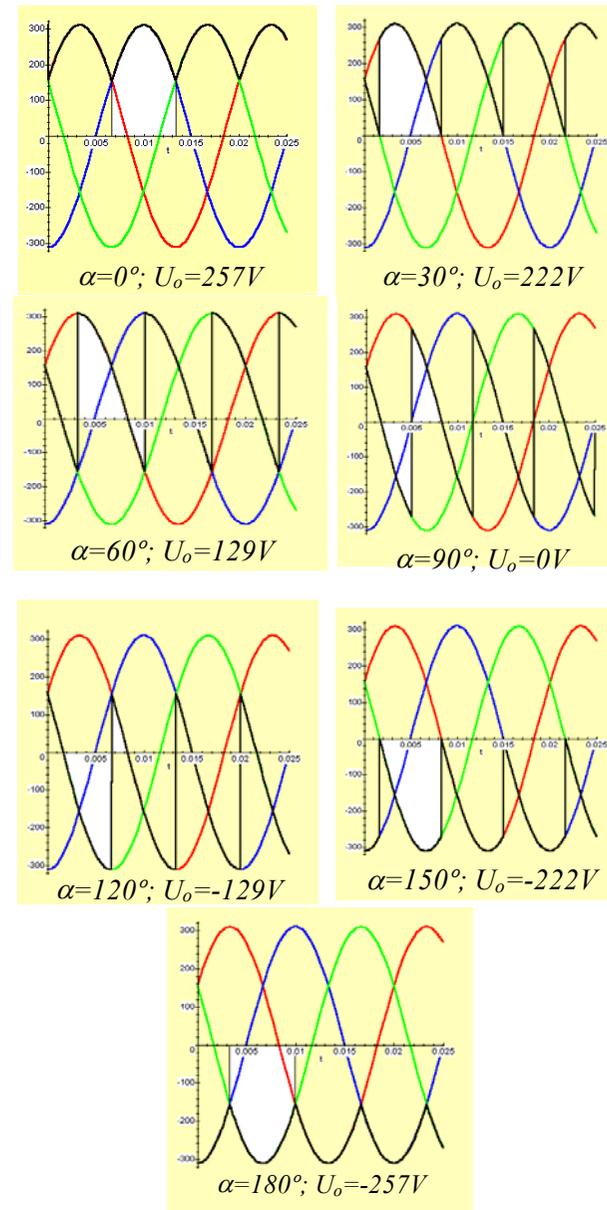
$$\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow U_d = 0$$

$$\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m} \Rightarrow U_d \triangleleft 0 \Rightarrow U_o < 0$$

$$\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m} < \alpha < \pi \Rightarrow U_d \text{ siempre } < 0 \Rightarrow U_o < 0$$

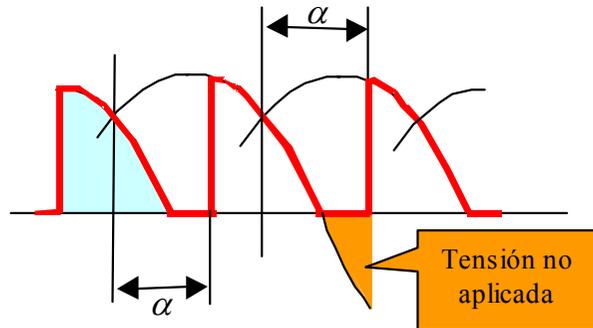
RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES

Funcionamiento como Rectificador y como Ondulador



RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES

Influencia de la Naturaleza de la Carga



La fórmula antes calculada:

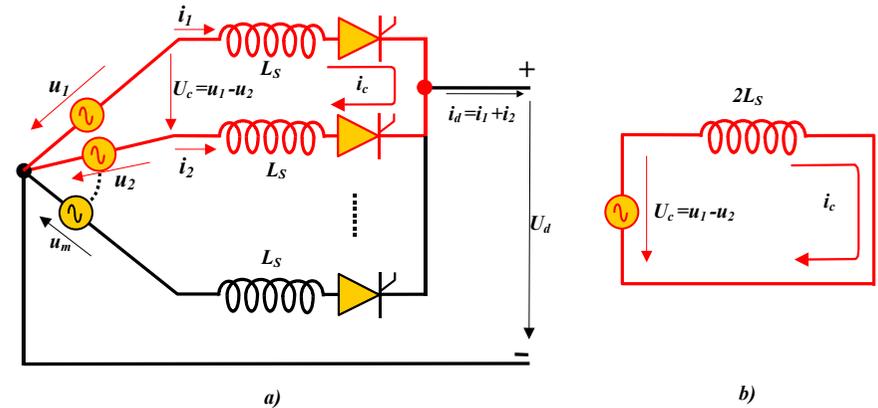
$$U_o = U_{ov} - U_\alpha = U_{ov} \cdot \cos \alpha$$

No es válida en el caso de cargas Resistivas o con diodos de libre circulación, ya que no se podrán aplicar tensiones negativas a la carga, en este caso, solo será aplicable si como vimos antes α está en el intervalo:

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m} \Rightarrow U_d \text{ siempre } > 0$$

RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES

Conmutación no Instantánea



a) Corrientes durante la conmutación no instantánea. b) Circuito equivalente.

$$u_c = u_2 - u_1 ; u_c = \sqrt{2} \cdot U_c \cdot \sin \omega t ; U_c = 2 \cdot \sin \frac{\pi}{m} \cdot U_f$$

$$2L_s \cdot \frac{di_c}{dt} = \sqrt{2} \cdot U_c \cdot \sin \omega t$$

$$i_c = \frac{\sqrt{2} \cdot U_c}{2\omega \cdot L_s} \int \sin \omega t \cdot d\omega t = \hat{I}_c (\cos \alpha - \cos \omega t)$$

$$\text{Dónde } \hat{I}_c = \frac{\sqrt{2} \cdot U_c}{2\omega \cdot L_s}$$

$$i_1 = I_d - i_2 = I_d - i_c, \text{ para } \omega t = \alpha + \mu, \quad i_1(\omega t = \alpha + \mu) = 0.$$

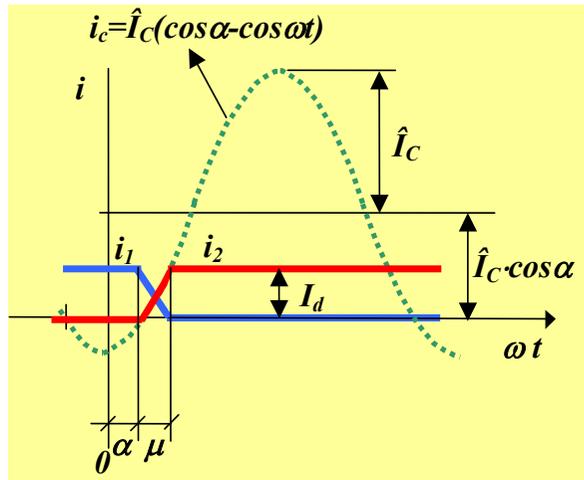
Como: $i_c(\alpha + \mu) = I_d$ será:

$$i_c(\alpha + \mu) = I_d = \hat{I}_c \cdot (\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu))$$

$$\cos(\alpha + \mu) = \cos \alpha - \frac{I_d}{\hat{I}_c}$$

RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES

Comutación no Instantánea



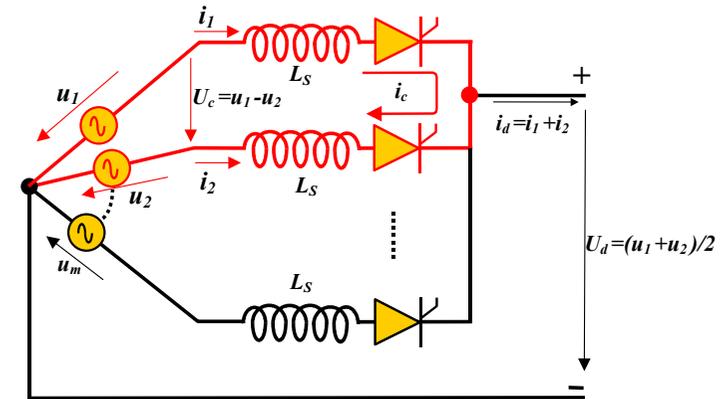
Representación gráfica de la ecuación que rige la conmutación no instantánea de un rectificador polifásico:

$$i_c = \frac{\sqrt{2} \cdot U_c}{2\omega \cdot L_s} \int_{\alpha}^{\omega t} \text{sen } \omega t \cdot d\omega t = \hat{I}_c (\cos \alpha - \cos \omega t)$$

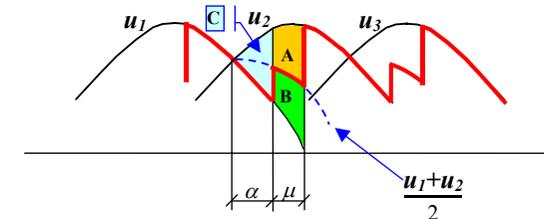
Válida para: $\alpha \leq \omega t \leq \alpha + \mu$

RECTIFICADORES POLIFÁSICOS SIMPLES

Comutación no Instantánea



Circuito equivalente durante la conmutación no instantánea.



de la figura, se deduce que las áreas A y B son iguales y que:

$$A + B + C = U_{\alpha} + 2U_x \text{ donde:}$$

$$U_{\alpha} = U_{ov} \cdot (1 - \cos \alpha) \equiv \text{Área C}$$

$$U_{\alpha} + 2U_x = U_{ov} [1 - \cos(\alpha + \mu)] \equiv \text{Áreas A+B+C}$$

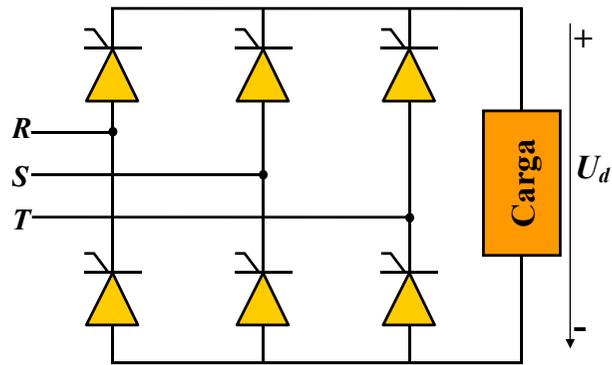
$$2U_x = U_{ov} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu)]$$

$$U_o = U_{ov} - U_{\alpha} - U_x =$$

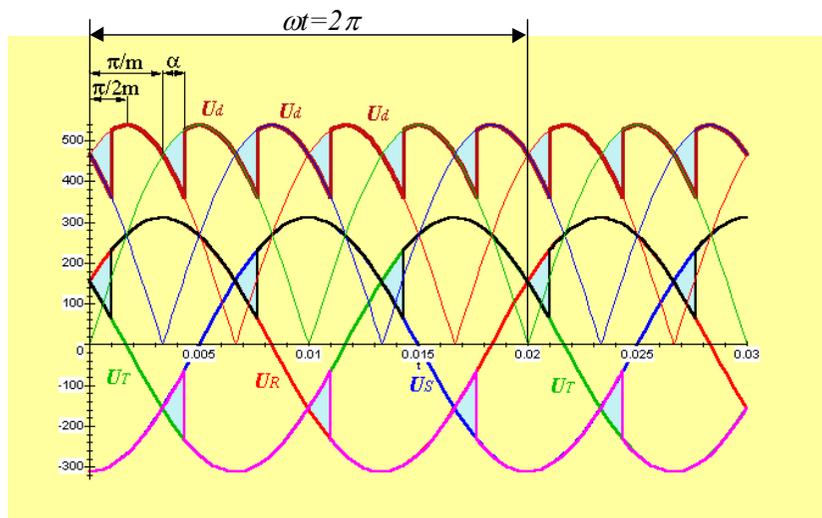
$$U_o = U_{ov} \left[1 - (1 - \cos \alpha) - \frac{1}{2} (\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu)) \right] =$$

$$U_o = \frac{1}{2} U_{ov} [\cos \alpha + \cos(\alpha + \mu)]$$

RECTIFICADOR PUENTE POLIFÁSICO

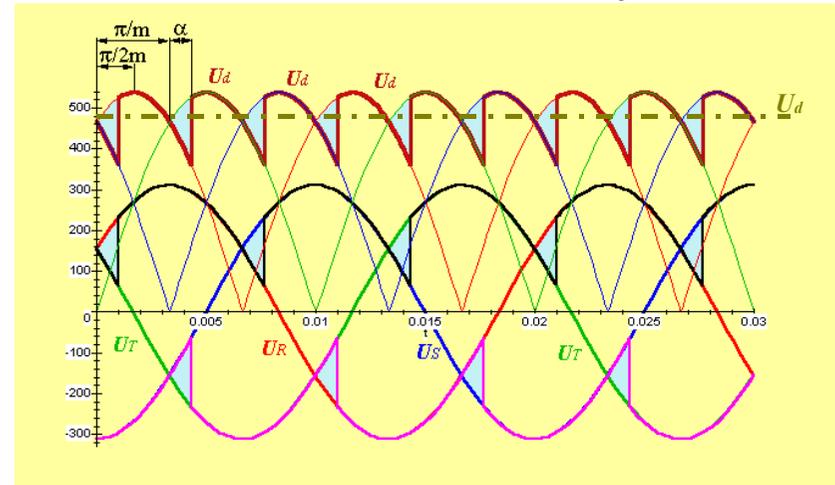


Puente Trifásico



Tensiones en un Puente Rectificador Trifásico con Ángulo de Disparo α

RECTIFICADOR PUENTE POLIFÁSICO Valor Medio de la Tensión Rectificada



$$U_d = \frac{1}{\left(\frac{2\pi}{2m}\right)} \int_{\alpha}^{\alpha+\frac{\pi}{m}} U_c d(\omega t) = \frac{m}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\frac{\pi}{m}} U_c d(\omega t)$$

$$U_c = 2U_M \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{m}\right) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2m}\right)$$

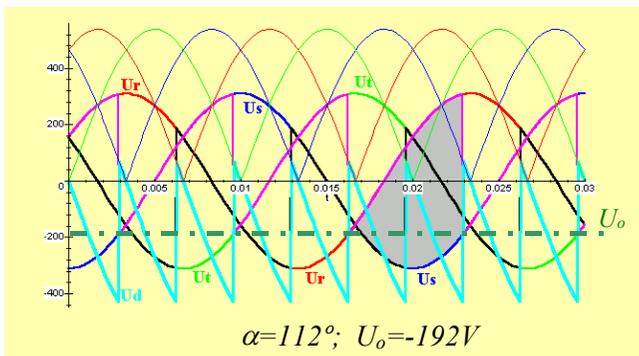
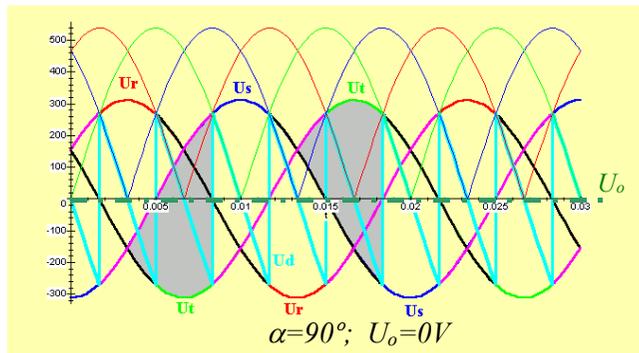
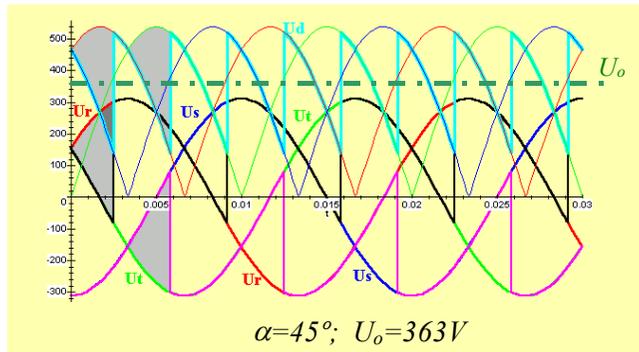
$$U_d = \frac{m}{\pi} 2U_M \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{m}\right) \int_{\alpha}^{\alpha+\frac{\pi}{m}} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2m}\right) d(\omega t)$$

$$U_d = \frac{4m}{\pi} U_M \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{m}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{2m}\right) \cos(\alpha)$$

$$\text{Si } m=3, \quad U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_M \cos(\alpha) = 1.65 U_M \cos(\alpha)$$

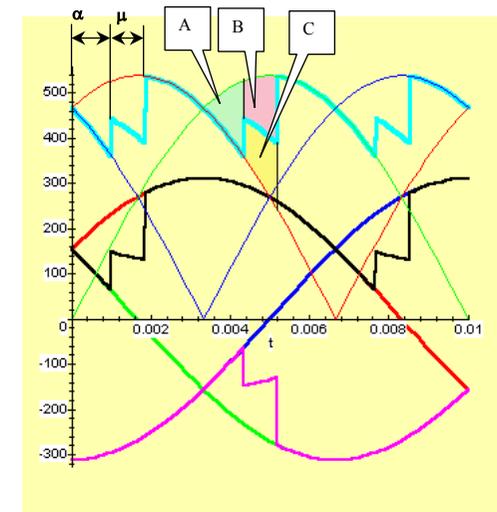
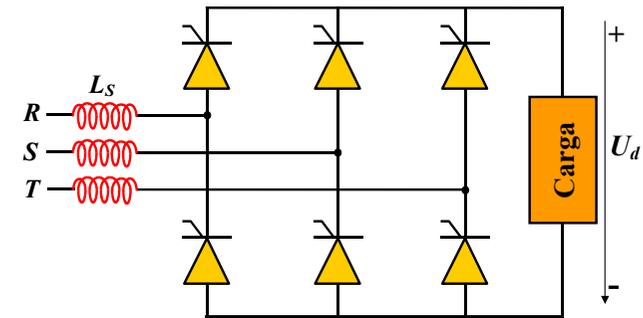
RECTIFICADOR PUENTE POLIFÁSICO

Funcionamiento como Rectificador y como Ondulador



RECTIFICADOR PUENTE POLIFÁSICO

Conmutación no Instantánea



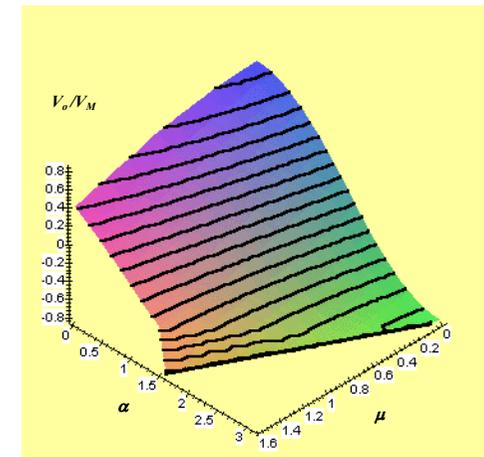
Igual que en el caso del rectificador simple será:

$$U_o = \frac{1}{2} U_{ov} [\cos \alpha + \cos(\alpha + \mu)]$$

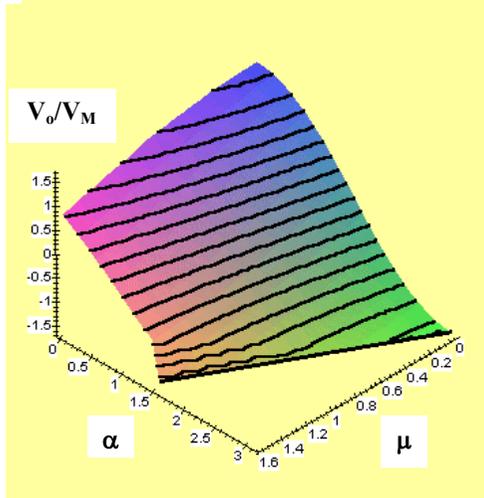
Para el puente trifásico será:

$$U_{ov} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_M \cos(\alpha) = 1.65 U_M \cos(\alpha)$$

COMPARACIÓN ENTRE RECTIFICADORES Comutación no Instantánea



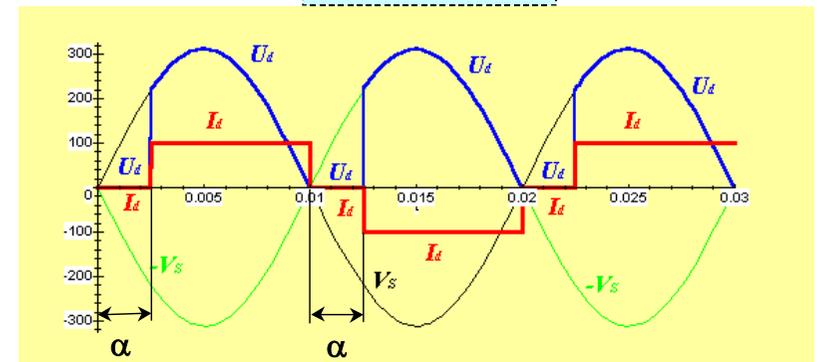
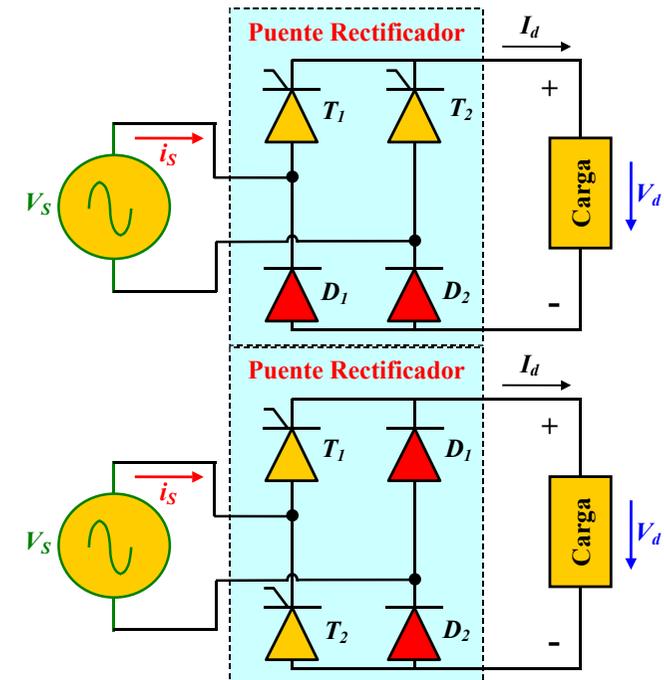
Rectificador Trifásico Simple



Rectificador Trifásico Puente

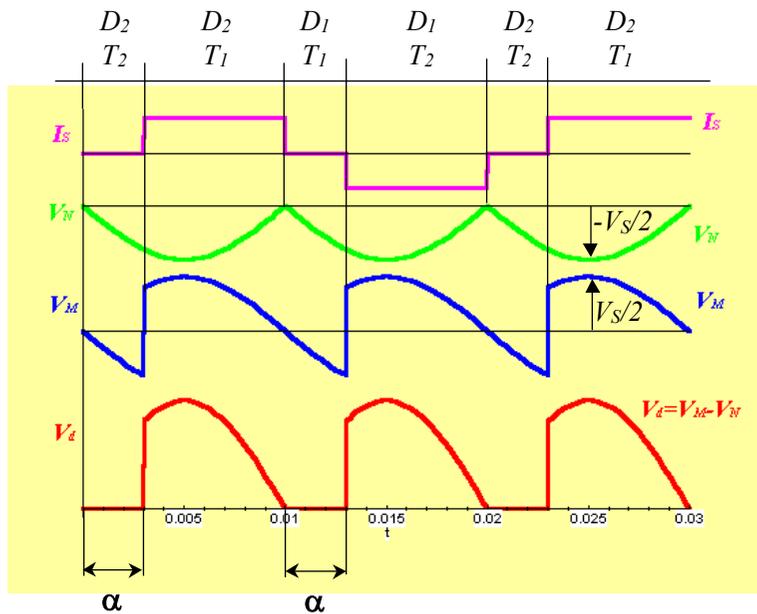
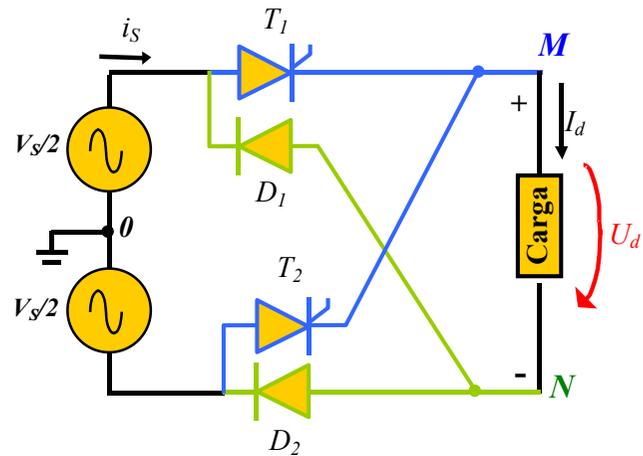
Tensión media rectificada en un rectificador trifásico en función del ángulo de disparo α y de la duración de la conmutación no instantánea μ

RECTIFICADORES SEMICONTROLADOS Puente Monofásico



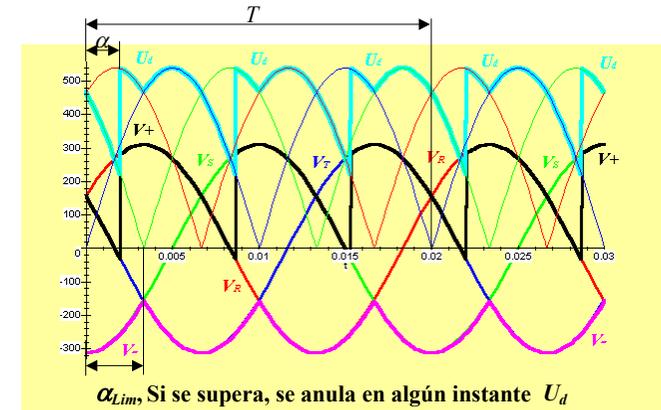
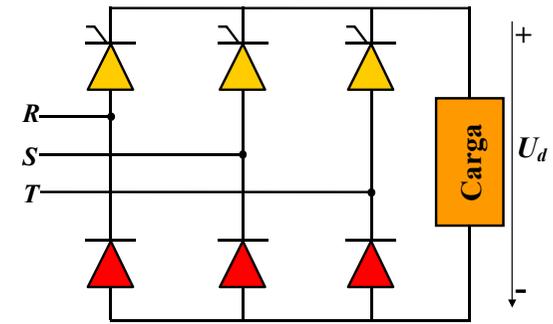
Puente Monofásico Semi-controlado

RECTIFICADORES SEMICONTROLADOS Puente Monofásico

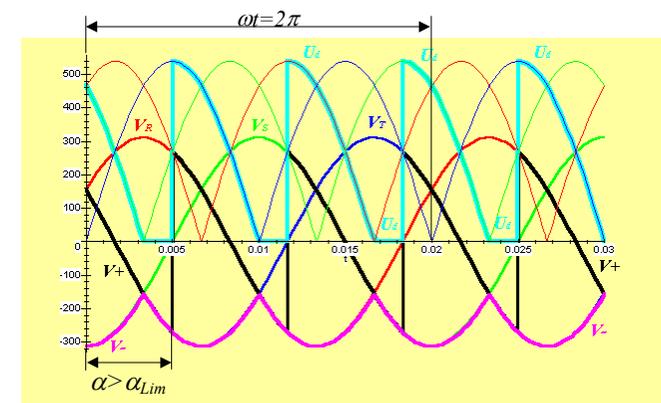


Puente Monofásico Semi-controlado

RECTIFICADORES SEMICONTROLADOS Puente Polifásico



α_{Lim} , Si se supera, se anula en algún instante U_d



Tensiones en un Puente Rectificador Trifásico semicontrolado con Ángulo de Disparo α