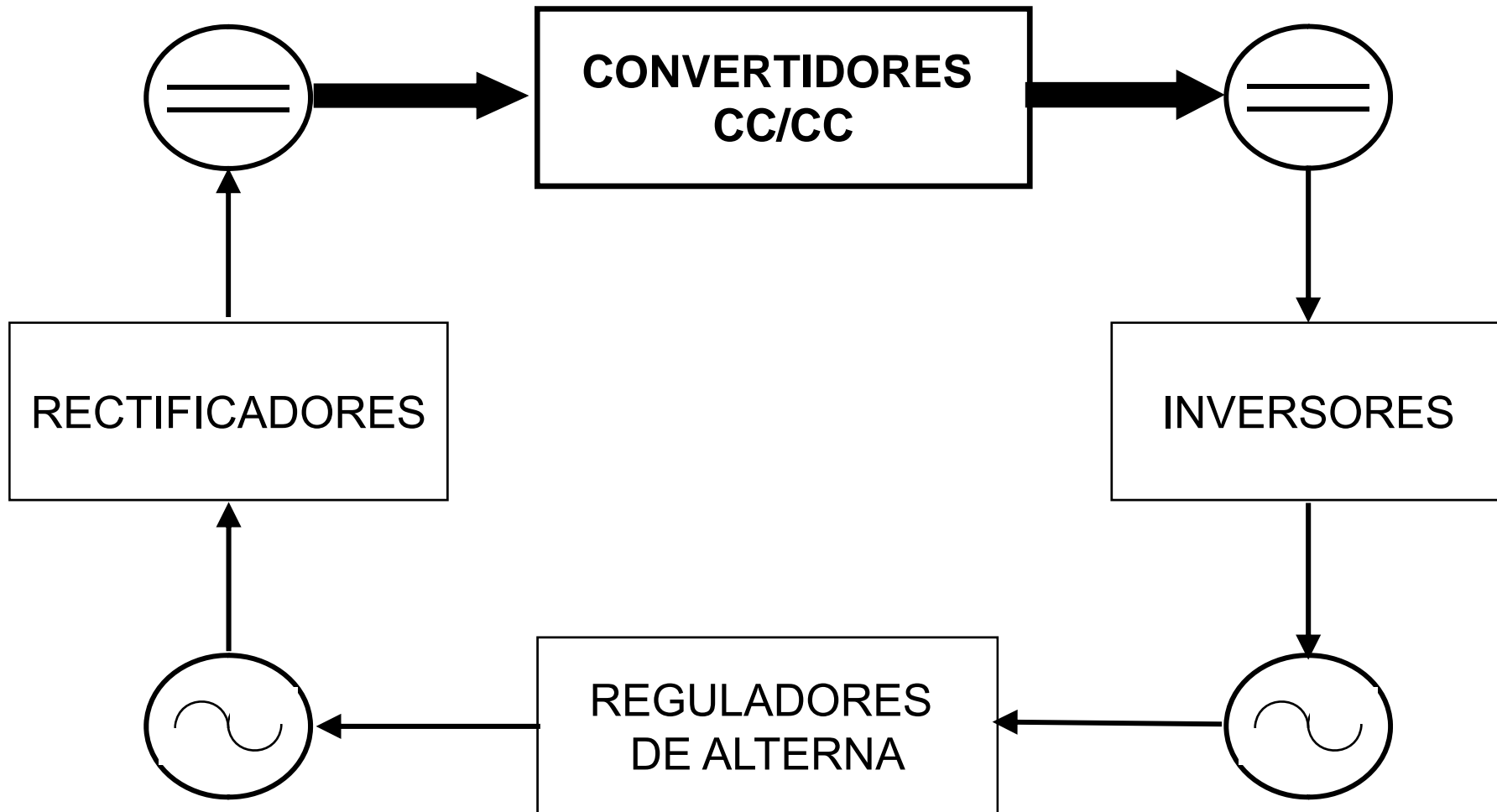




# *Conversión CC/CC*

Tema 5

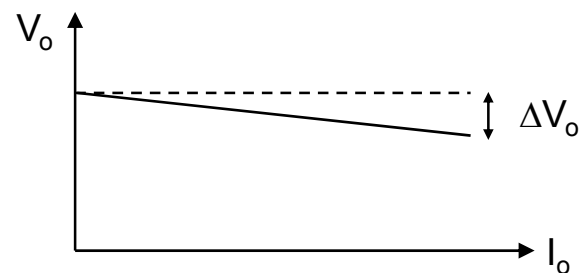
# SITUACIÓN DENTRO DE LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA



## PARÁMETROS TÍPICOS:

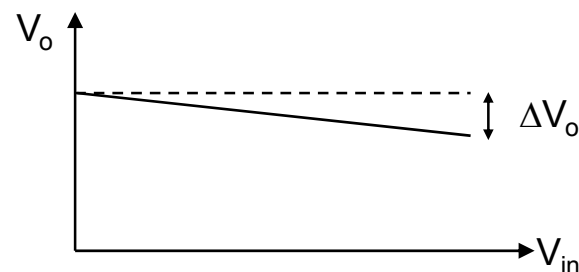
- Regulación de carga

$$\frac{\Delta V_o}{V_o}$$



- Regulación de línea

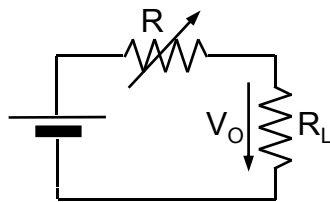
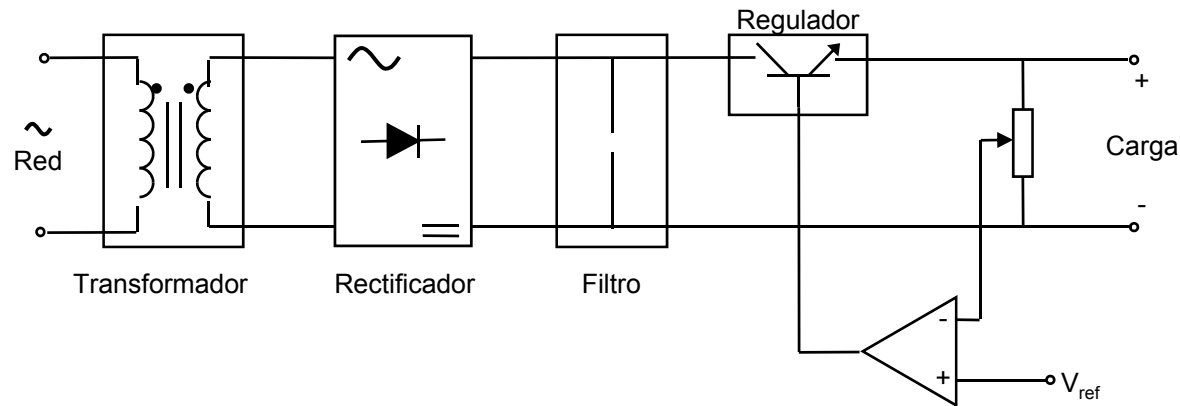
$$\frac{\Delta V_o}{V_o}$$



- Regulación de cruce en convertidores multisalida: Cómo varía la tensión de salida cuando se modifica el nivel de carga de otra salida diferente

- Rizado

# FUENTES DE ALIMENTACIÓN LINEAL



Circuito Equivalente

## LINEALES:

### Ventajas:

- Robustas
- Diseño Simple
- Pocos componentes
- Mejor Fiabilidad
- Carga Mínima=0

### Inconvenientes:

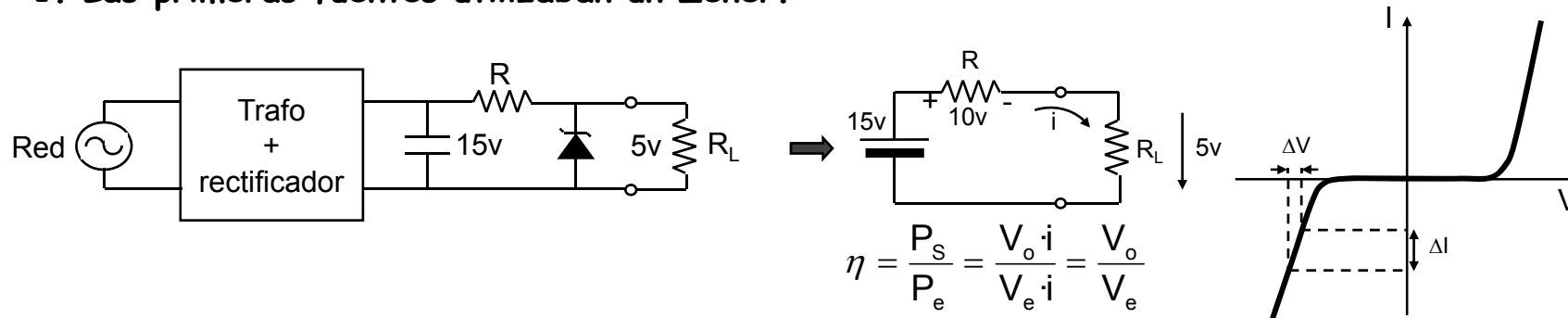
- Pesadas
- Voluminosas
- Bajo Rendimiento
- Evacuación de calor

**Ámbito de Utilización:** Potencias pequeñas y tensiones de entrada y salida muy próximas

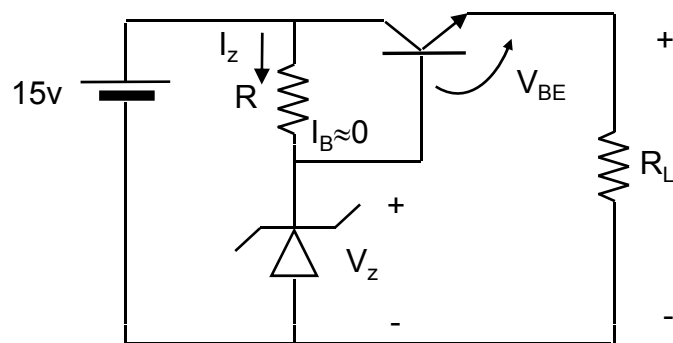
# FUENTES DE ALIMENTACIÓN LINEAL

## Ejemplos:

1. Las primeras fuentes utilizaban un Zener.



2. Mejorando el circuito

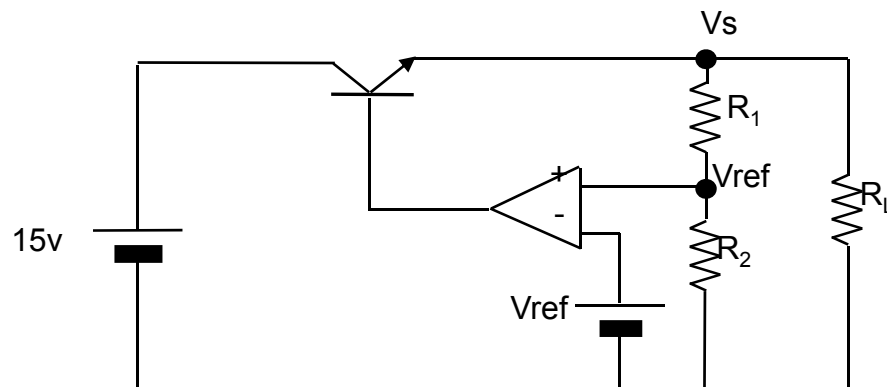


▪Inconveniente del circuito:

V<sub>z</sub> afectada por la entrada, no por la salida.

Si se varía la entrada, varía la polarización del Zener y por lo tanto la salida.

## 3. Nos aproximamos al regulador



$$V_{\text{ref}} = V_s \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

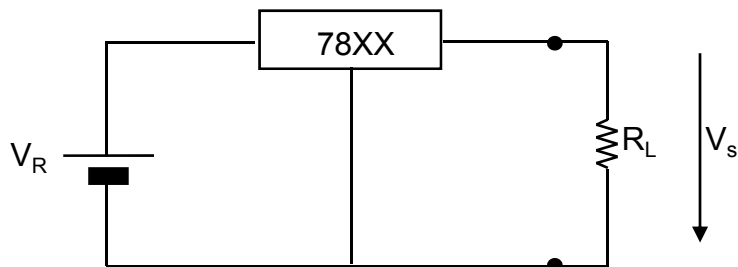
$$V_s = V_{\text{ref}} \left[ 1 + \frac{R_1}{R_2} \right]$$

### • Ventajas

- Conseguimos mas libertad ya que con cualquier  $V_{\text{ref}}$  puedo conseguir otra  $V_s$ , puesto que depende de otros parámetros.
- La mayor parte de la corriente de entrada circula por el transistor de potencia.
- Por el A.O. Circula la  $I_B$  del transistor.

# FUENTES DE ALIMENTACIÓN LINEAL

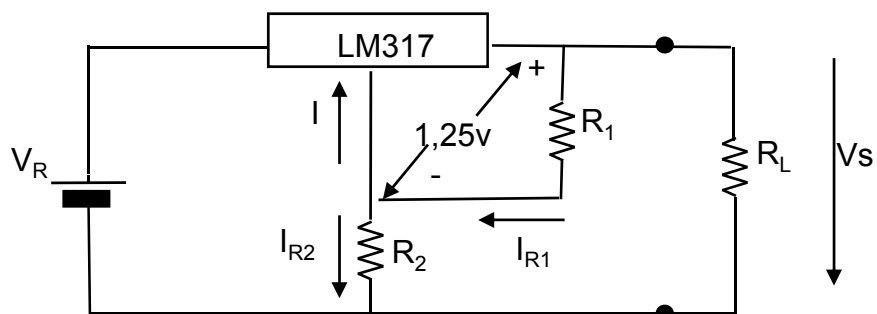
## 4. Regulador



$V_s$  es fija en función del integrado que pongamos.

Si utilizamos un integrado de una familia distinta a la 78XX, tendremos que emplear resistencias externas para fijar la  $V_s$ .

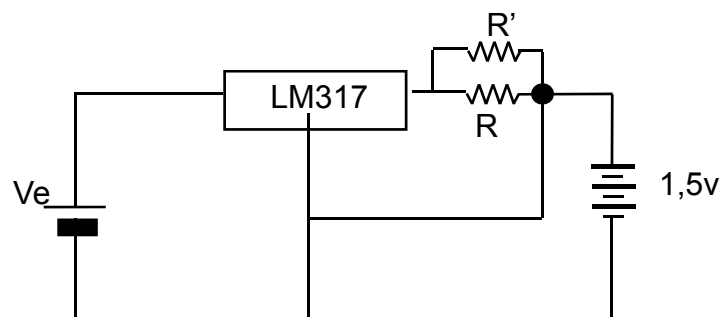
### •Ejemplo



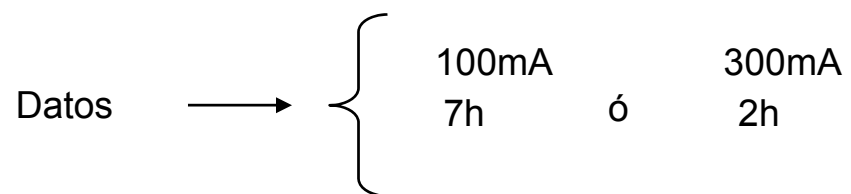
# FUENTES DE ALIMENTACIÓN LINEAL

Con este tipo de fuentes podemos conseguir un "Cargador de Baterías".

- Cargador de Baterías



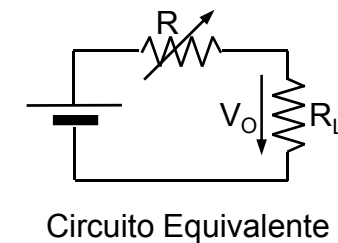
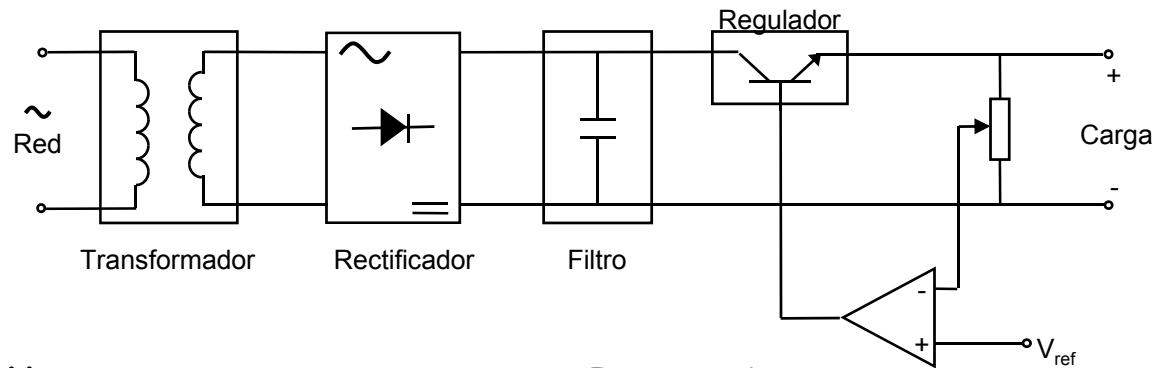
- Para que la carga de las baterías sea correcta necesitamos los siguientes datos. Ejemplo:





# FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADAS.

## VENTAJAS E INCONVENIENTES REGULADORES LINEALES.

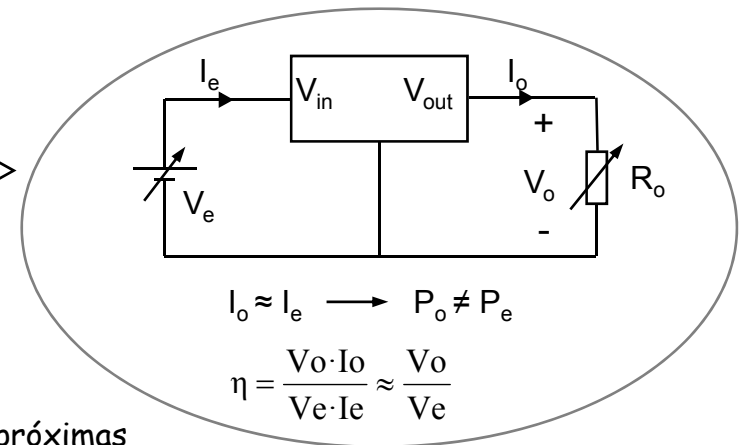
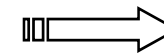


### Ventajas:

- Robustas.
- Diseño Simple.
- Pocos componentes.
- Mejor Fiabilidad.
- Carga Mínima=0.
- Útiles para bajas potencias.

### Inconvenientes:

- Elementos puramente disipativos.
- Voluminosas.
- Alto coste.
- Pesadas.
- Bajo Rendimiento.



**Ámbito de Utilización:** Potencias pequeñas y tensiones de entrada y salida muy próximas

- ☹ El rendimiento depende del cociente entre tensiones.
- ☹ La potencia está limitada.

**NECESARIO REGULADOR DE RENDIMIENTO MÁS ELEVADO Y QUE PUEDA APLICARSE A UN RANGO DE POTENCIA MAYOR.**

# FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA

## • CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES CONMUTADAS

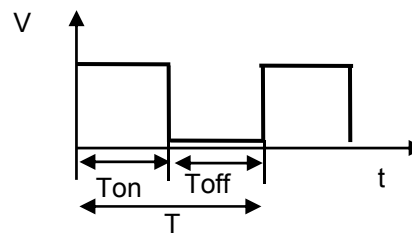
En función de:

1. Del número de transistores
2. De la presencia del transformador
3. De la forma de gobierno del interruptor

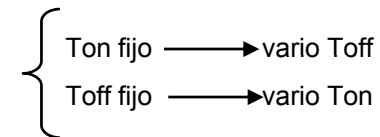
- $f_s = \text{cte.}$  PWM

- $f_s = \text{variable.}$  Ton fijo.

**Toff fijo.**



F variable



Lo más utilizado es Ton fijo →  $d = \frac{T_{on}}{T}$

4. Forma de onda.

- Onda cuadrada PWM
- Quasiresonantes ZCS
- Multiresonantes ZVS
- Resonantes

5. Otros

# FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA

---



## • TOPOLOGÍAS MÁS USUALES DE FAC

### ➤ Sin transformador:

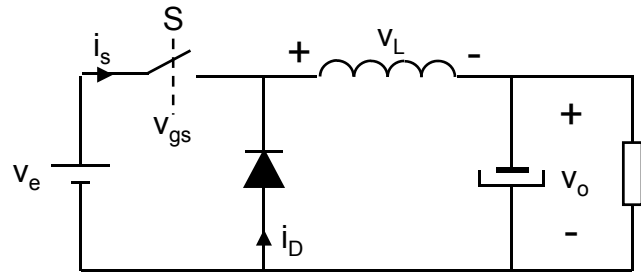
- Buck.
- Boost.
- Buck-Boost.
- Cuk.
- Sepic.

### ➤ Con transformador:

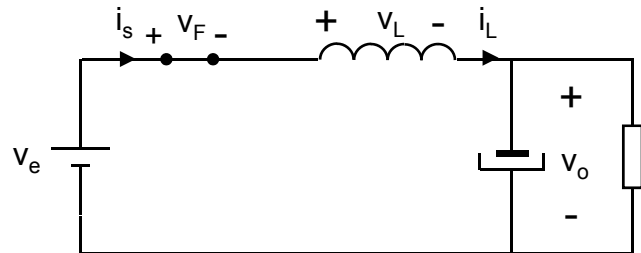
- Forward.
  - \* Bobina desmagnetizada.
  - \* RCD.
  - \* Enclavamiento activo.
- Flyback.
  - \* Con un solo transformador.
  - \* Balanceo.
  - \* Balanceo con enclavamiento activo.
- Push-pull.
- Half Bridge.
- Full Bridge.

# CONVERTIDOR REDUCTOR.

OPERACIÓN EN MODO DE CONDUCCIÓN CONTINUO (MCC).

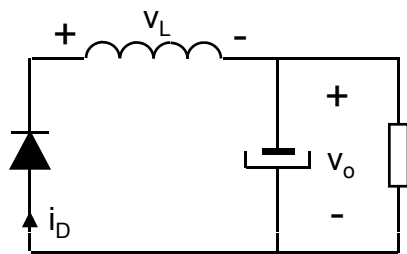


**S cerrado:  $T_{on}$**

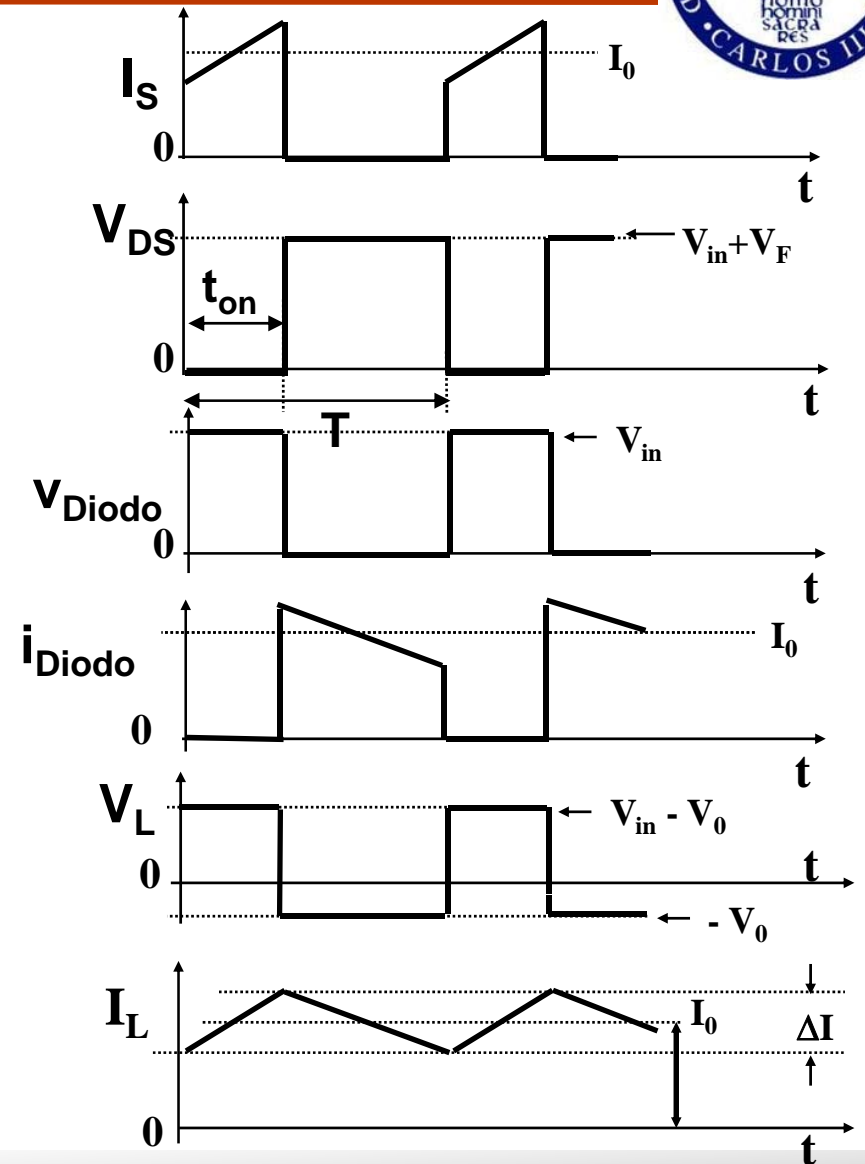


TRANSFERENCIA DIRECTA DE ENERGÍA.

**S abierto:  $T_{off}$**

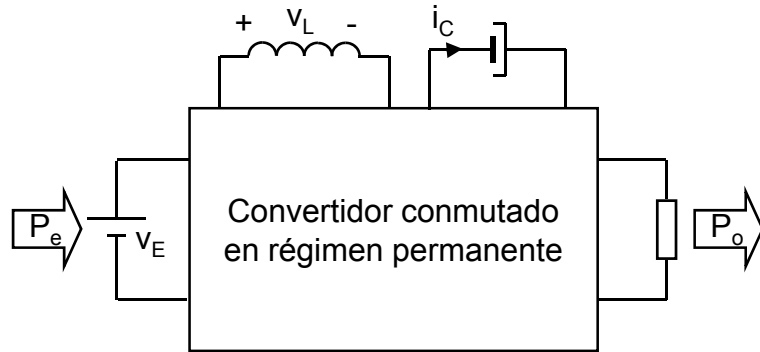


LIBRE CIRCULACIÓN



# CONVERTIDOR REDUCTOR.

## CONDICIONES DE RÉGIMEN PERMANENTE (I).

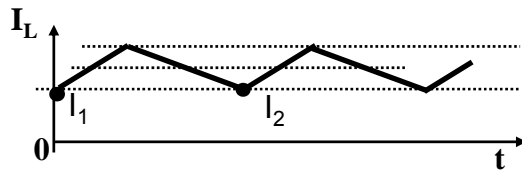


Elementos que almacenan energía:

Bobina: La tensión media en la bobina es nula.  $\bar{v}_L = 0$

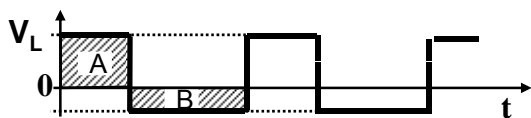
Condensador: La corriente media en el condensador es nula.  $\bar{i}_C = 0$

Régimen permanente:  $\bar{v}_L = 0 \Leftrightarrow \bar{i}_C = cte$



$$I_1 = I_2$$

La corriente en la bobina empieza y termina en el mismo punto.

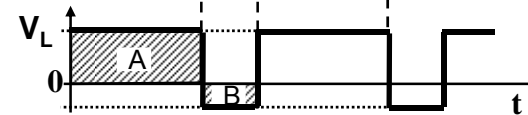
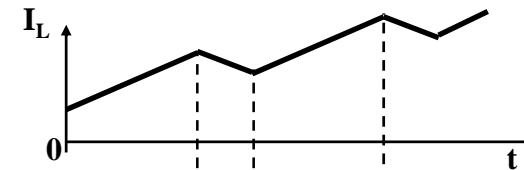


$$\bar{v}_L = 0 \Leftrightarrow A = B$$

Áreas iguales:

"IGUALDAD VOLTIOS POR SEGUNDO"

Régimen transitorio:



$$A \neq B$$

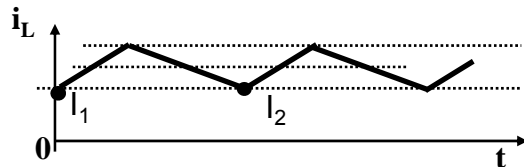
$I_L$  crece

# CONVERTIDOR REDUCTOR.

## CONDICIONES DE RÉGIMEN PERMANENTE (III).

### ➤ Bobina

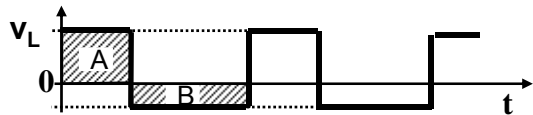
Régimen permanente:  $\bar{v}_L = 0 \Leftrightarrow \bar{i}_L = \text{cte}$



$$I_1 = I_2$$



La corriente en la bobina empieza y termina en el mismo punto.



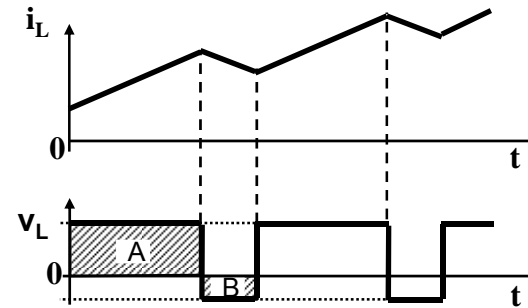
$$\bar{v}_L = 0 \Leftrightarrow A = B$$



Áreas iguales:

**"IGUALDAD VOLTIOS POR SEGUNDO"**

### Régimen transitorio:

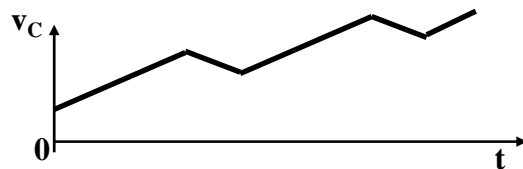


$$A \neq B$$



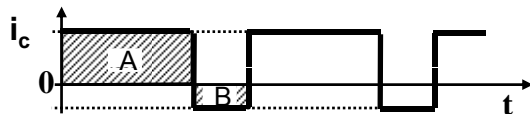
$I_L$  crece

### ➤ Condensador



• Si  $A \neq B$   $v_C$  crece o decrece  $\Leftrightarrow$  Régimen transitorio.

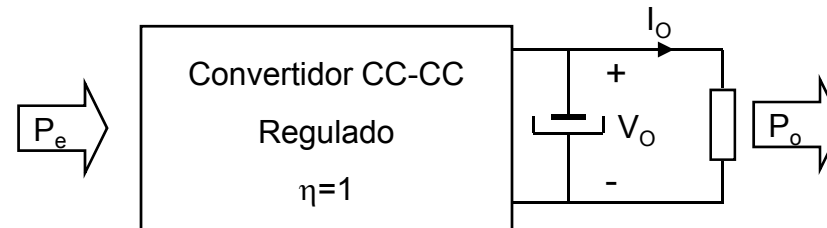
• Si  $A = B \Leftrightarrow \bar{i}_C = 0 \Leftrightarrow \bar{v}_C = \text{cte}$



# CONVERTIDOR REDUCTOR

## CONDICIONES DE RÉGIMEN PERMANENTE (IV).

➤ Potencia de entrada = Potencia de salida.



- Convertidores conmutados  $\Rightarrow$  NO DISIPATIVOS.  $\Rightarrow P_E = P_O$
- Si  $P_E \neq P_O \Rightarrow$  La tensión y la corriente de salida están cambiando, ya que internamente la potencia ni se almacena ni se consume.

➤ Resumen condiciones de régimen permanente.

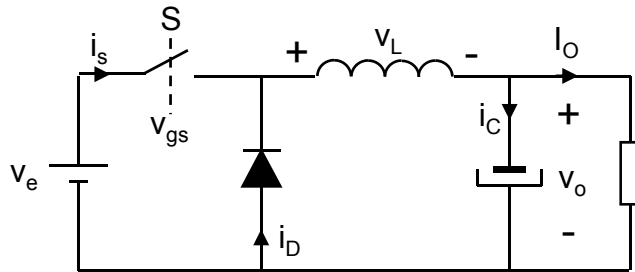
$$\bar{v}_L = 0$$

$$\bar{i}_C = 0$$

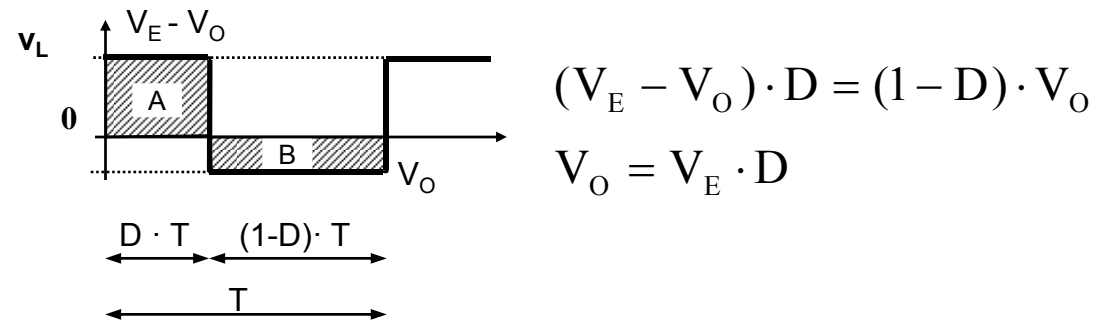
$$P_E = P_O$$

# CONVERTIDOR REDUCTOR

## FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA (I).

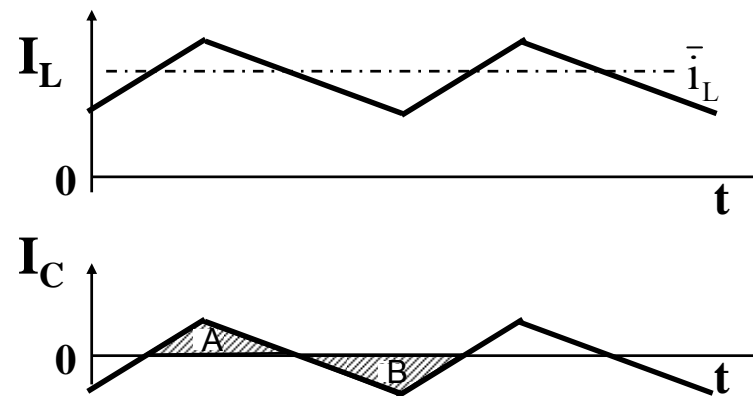


➤ Igualdad voltios por segundo.  $\bar{v}_L = 0$



➤  $\bar{i}_C = 0 \Rightarrow \bar{i}_L = I_O = \frac{V_O}{I_O}$

La corriente media en la bobina es igual a la corriente en la carga





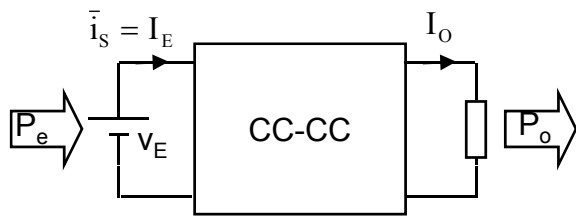
# CONVERTIDOR REDUCTOR

## FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA (II).

➤ Balance de potencias.

$$\left. \begin{array}{l} P_E = V_E \cdot \bar{i}_S \\ P_O = V_O \cdot I_O \end{array} \right\} P_E = P_O \Rightarrow V_E \cdot \bar{i}_S = V_O \cdot I_O \Rightarrow \bar{i}_S = I_O \cdot \frac{V_O}{V_E} \Rightarrow \boxed{\bar{i}_S = I_O \cdot D}$$

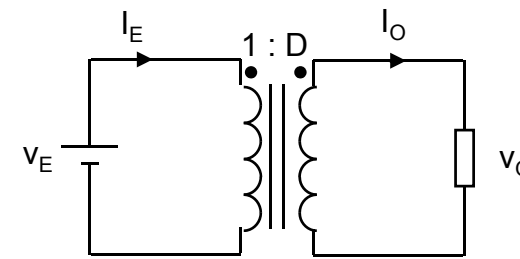
## SISTEMA EQUIVALENTE AL CONVERTIDOR REDUCTOR



$$V_O = V_E \cdot D$$

$$I_O = I_E \cdot \frac{1}{D}$$

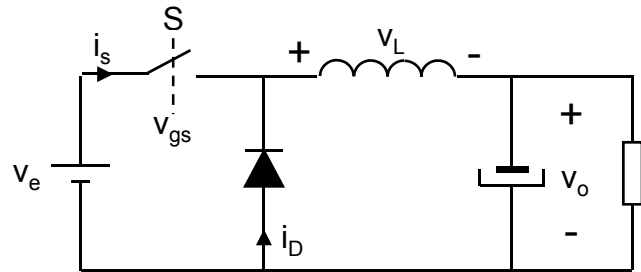
$$\bar{i}_S = I_E$$



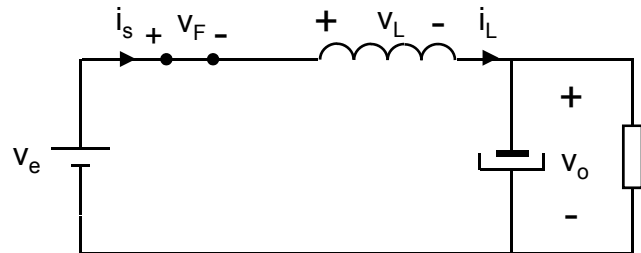
Transformador ideal de C.C.

# CONVERTIDOR REDUCTOR

OPERACIÓN EN MODO DE CONDUCCIÓN DISCONTINUO (MCD).

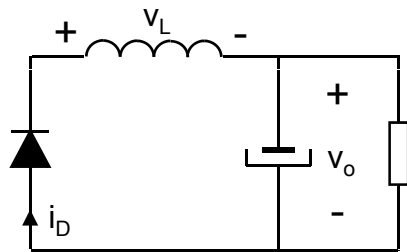


**S cerrado:  $T_{on}$**

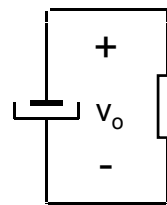


TRANSFERENCIA DIRECTA DE ENERGÍA.

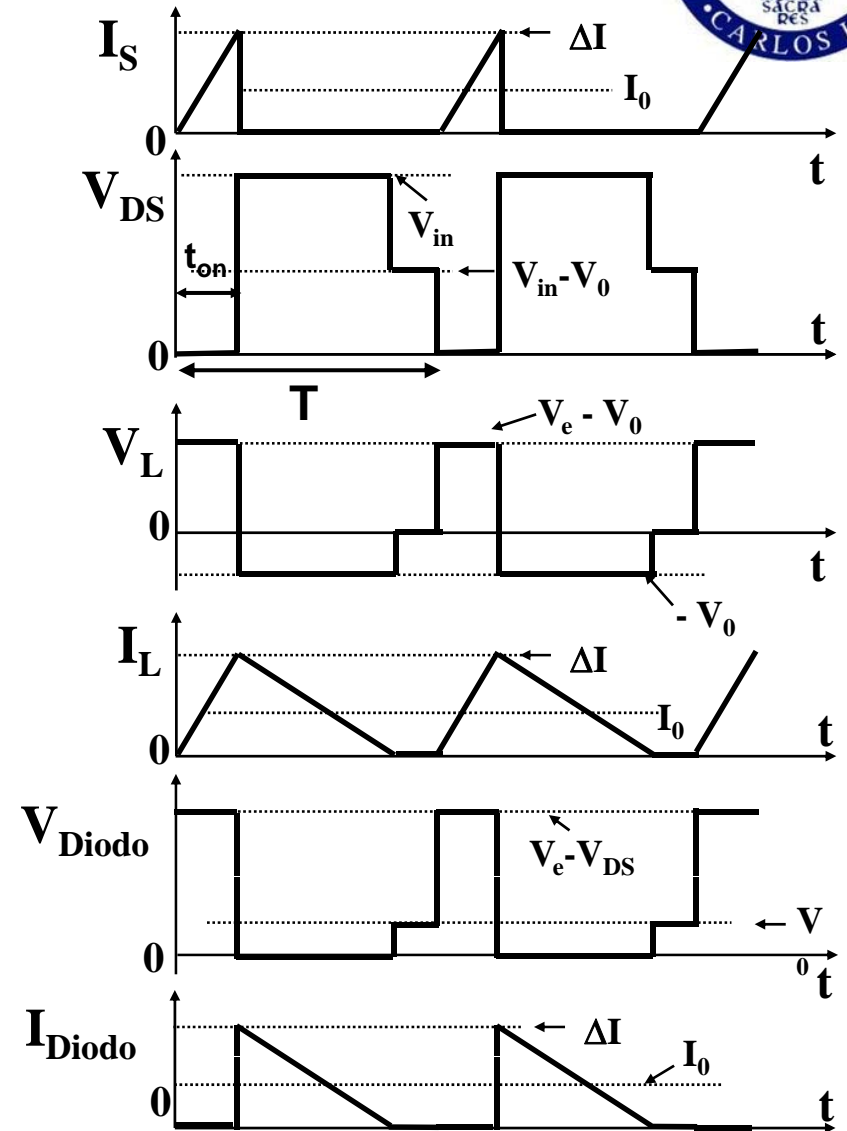
**S abierto:  $T_{off}$**



LIBRE CIRCULACIÓN

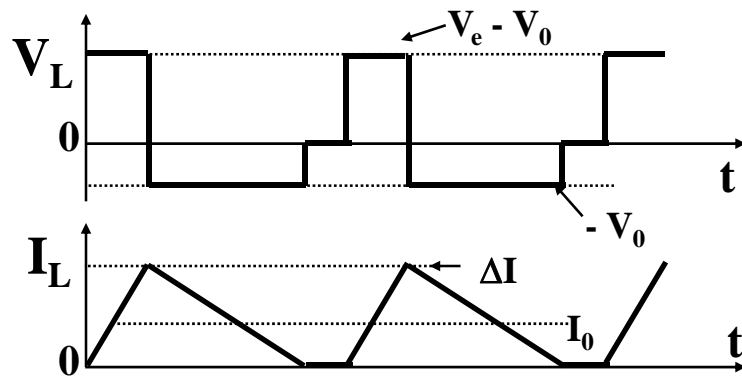


TIEMPO MUERTO



# CONVERTIDOR REDUCTOR

## FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA (I).



➤ Condiciones de régimen permanente:

$$\bar{v}_L = 0 \quad \Leftrightarrow \quad (V_e - V_o) \cdot d = V_o \cdot d' \quad (1)$$

$$\bar{i}_C = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \bar{i}_L = I_o = \frac{V_o}{R_o} \quad (2)$$

$$P_E = P_o \quad \Leftrightarrow \quad V_E \cdot \bar{i}_S = V_o \cdot I_o \quad (3)$$

➤ Desarrollando las condiciones de régimen permanente:

$$\left. \begin{aligned} (1) \text{ Y } (2) &\Rightarrow \frac{1}{2} \cdot I_{pk} \cdot d \cdot V_e = \frac{V_o^2}{R_o} \\ (3) &\Rightarrow \frac{1}{2} \cdot I_{pk} \cdot d \cdot V_e = \frac{V_o^2}{R_o} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{R_o \cdot T}{2 \cdot L} \cdot d^2 \cdot (V_o - V_e) \cdot V_e = V_o^2 \quad (4)$$

$\frac{1}{K}$  Parámetro adimensional de carga.



# CONVERTIDOR REDUCTOR

## FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA (II).

➤ Parámetro adimensional de carga:

$$K = \frac{2 \cdot L}{R_o \cdot T}$$

Inductancia. →  $L$

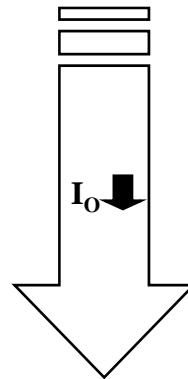
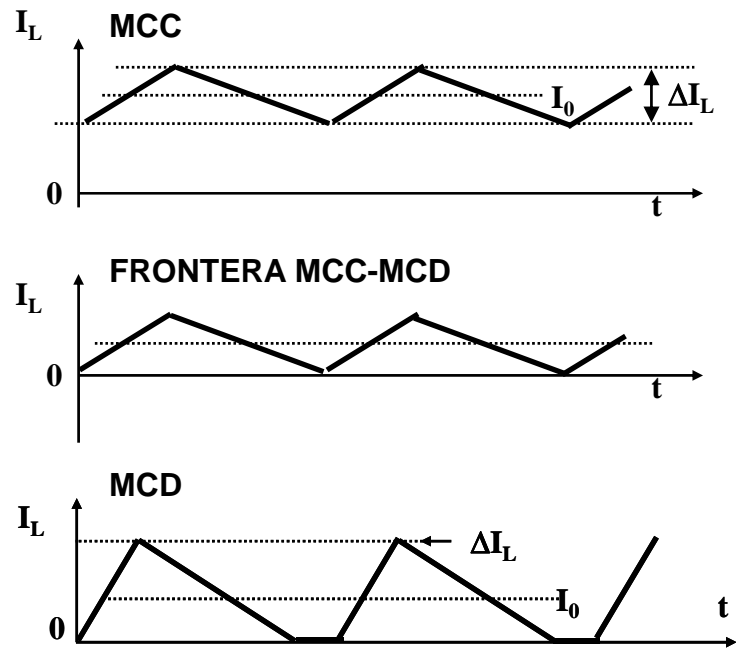
→  $T = \frac{1}{f_c}$  → Frecuencia de conmutación.

→  $R_o$  → Carga.

- ✓ Mucha influencia en el modo de conducción.
- ✓ Adimensional  $\Rightarrow$  permite sacar conclusiones:
  - Para muchos convertidores.
  - Independientes de la potencia que manejen, la inductancia concreta y la frecuencia de conmutación.
- ✓ Tiene la misma expresión para:
  - Reductor.
  - Elevador.
  - Reductor-Elevador.
  - Y sus derivados.

# CONVERTIDOR REDUCTOR

## CONDICIONES DE LA FRONTERA MCC-MCD (I)



MCC  $\frac{1}{2} \cdot \Delta I_L < \bar{i}_L = I_0 \quad (1)$

FRONTERA  $\frac{1}{2} \cdot \Delta I_L = I_0$

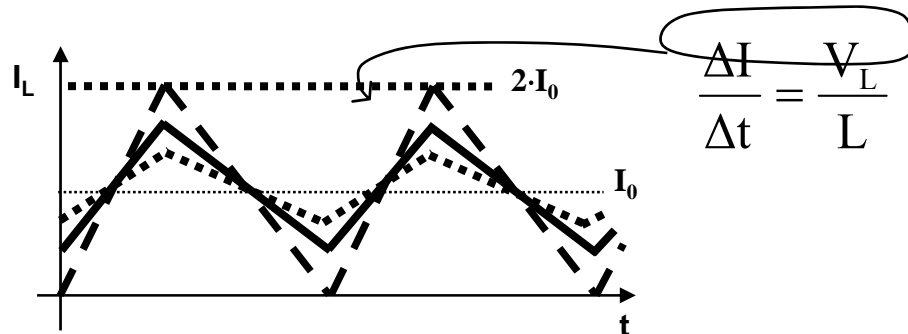
MCD  $\frac{1}{2} \cdot \Delta I_L > I_0$

# CONVERTIDOR REDUCTOR

¿ POR QUÉ SE PRODUCE EL MCD ? (I)

En condiciones fijas de:  $V_{IN}$  y  $V_O$  nos acercamos a MCD cuando  $I_L$  se acerca a cero, lo que ocurre si:

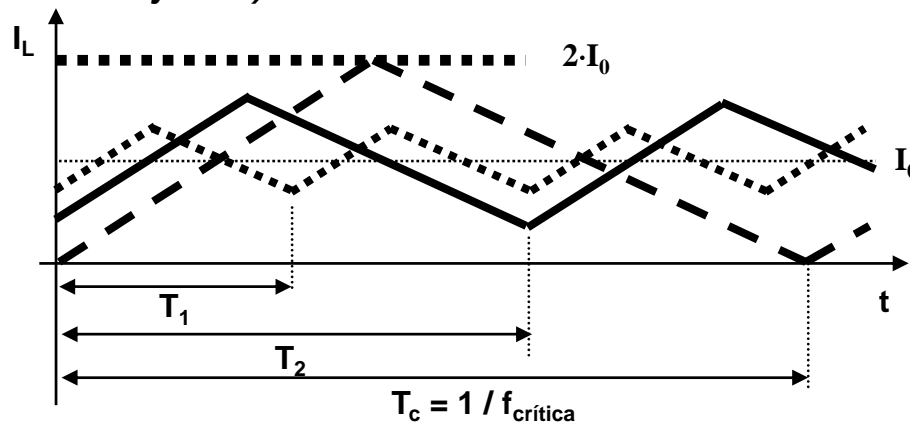
**A) Bajamos el valor de la bobina (aumentan las pendientes y, por tanto el rizado  $\Delta I$ )**



$$\Delta I = 2 I_0 = \frac{V_0}{L_{\text{crítica}}} (1 - D) T$$

$$L_{\text{crítica}} = \frac{(1 - D) V_0}{2 I_0 f_s}$$

**B) Bajamos el valor de la frecuencia (aumentan los intervalos en los que la corriente está subiendo o bajando)**



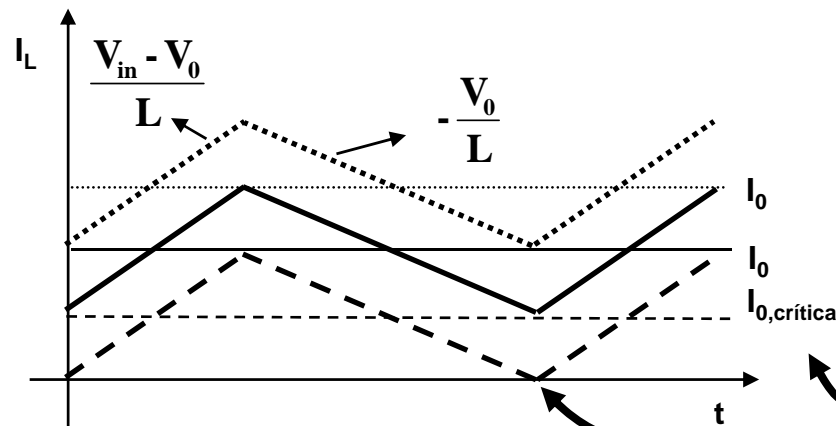
$$\Delta I = 2 I_0 = \frac{V_0}{L} (1 - D) T_c$$

$$f_{\text{crítica}} = \frac{(1 - D) V_0}{2 L I_0}$$

# CONVERTIDOR REDUCTOR

¿ POR QUÉ SE PRODUCE EL MCD ? (II)

C) Aumentamos el valor de la resistencia de carga (disminuye el valor medio de la corriente por la bobina)



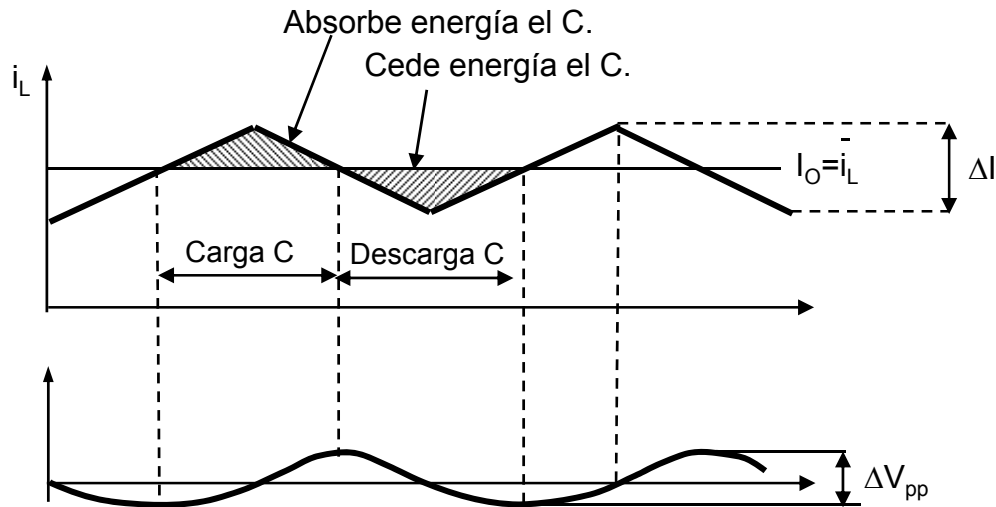
**Caso crítico**

$$\Delta I = 2 I_{0, crítica} = \frac{V_0}{L} (1 - D) T$$

$$R_{ crítica} = \frac{V_0}{I_{0, crítica}} = \frac{2 L f_s}{(1 - D)}$$

# CONVERTIDOR REDUCTOR

## CÁLCULO DEL CONDENSADOR DE SALIDA.



En el condensador, la carga se relaciona según:

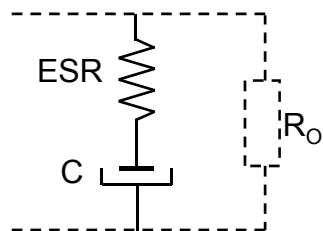
$$Q = C \cdot V$$

$$Q = \int i(t) \cdot dt$$

$$Q = i \cdot t = \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{2} \cdot \frac{\Delta I}{2}$$

$$\Delta v = \frac{\Delta I}{8 \cdot C \cdot f}$$

➤ Resistencia Serie Equivalente (ESR).



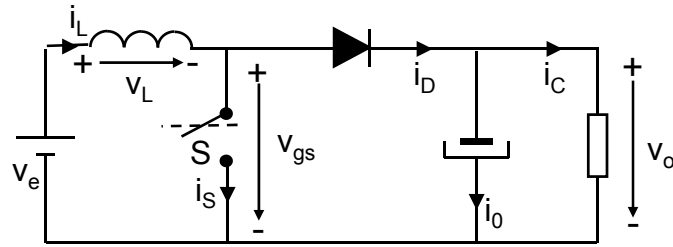
ESR ⇒ Influye sobre el rizado de salida.

$$\Delta V_O = \Delta I_L \cdot ESR$$

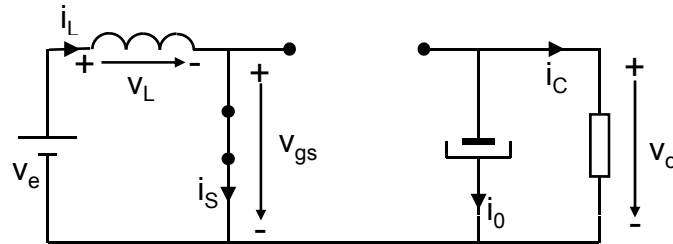


# CONVERTIDOR ELEVADOR

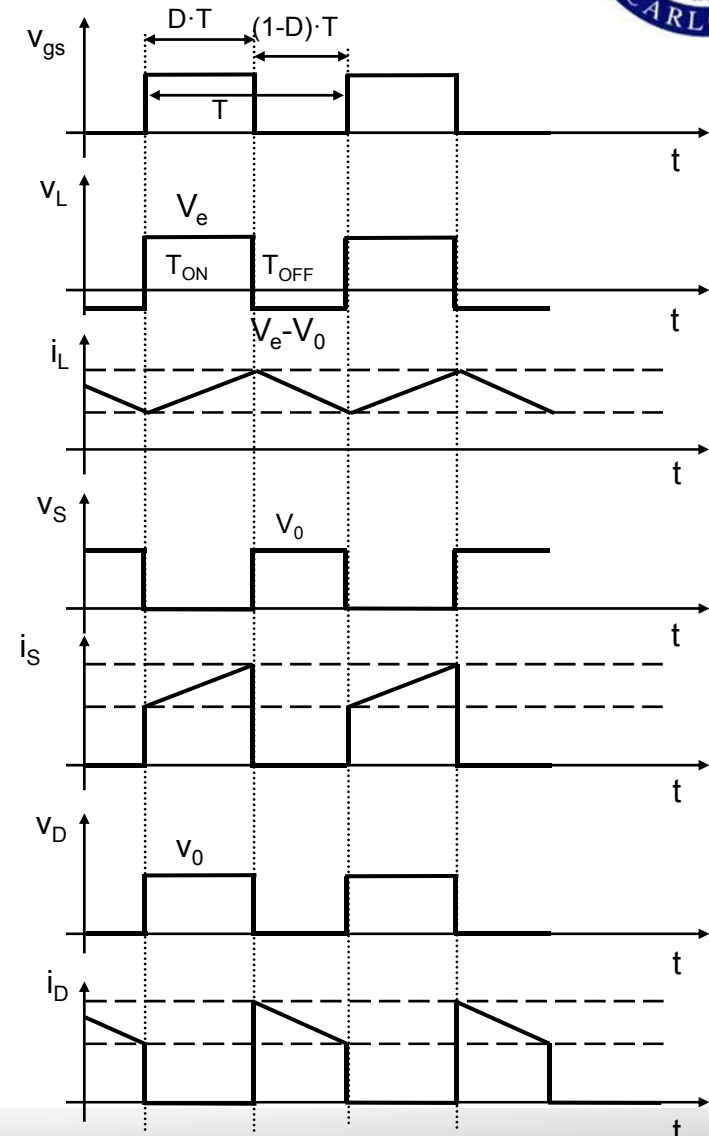
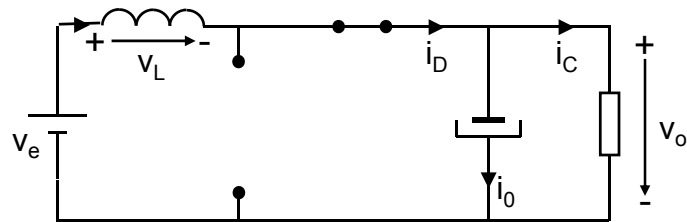
## MODO DE CONDUCCIÓN CONTINUO (MCC).



S cerrado:  $T_{ON}$



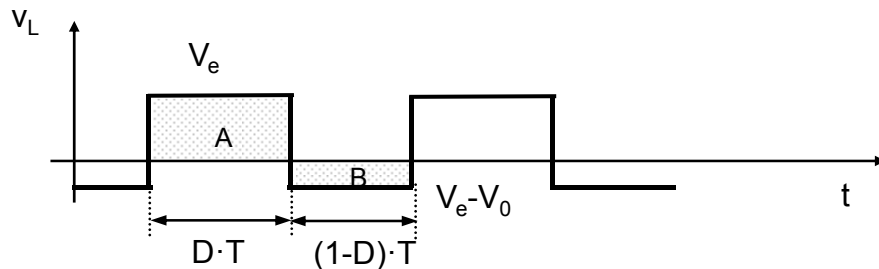
S abierto:  $T_{OFF}$



# CONVERTIDOR ELEVADOR

## FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.

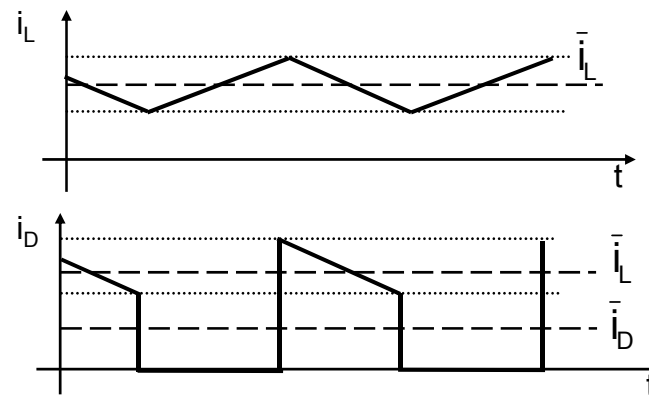
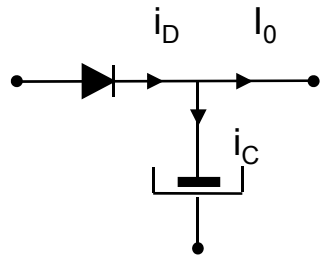
➤ Igualdad voltios por segundo.  $\bar{v}_L = 0$



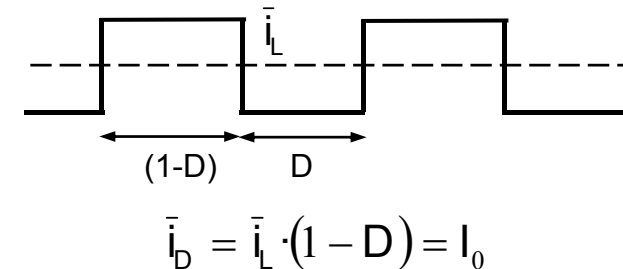
$$V_e \cdot D = (V_0 - V_e) \cdot (1 - D)$$

$$V_0 = V_e \cdot \frac{1}{1 - D} \Rightarrow M = \frac{1}{1 - D}$$

➤  $\bar{i}_C = 0 \Rightarrow \bar{i}_D = I_0$



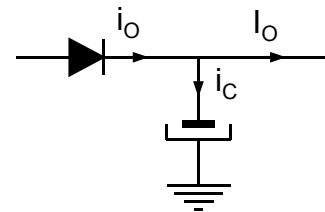
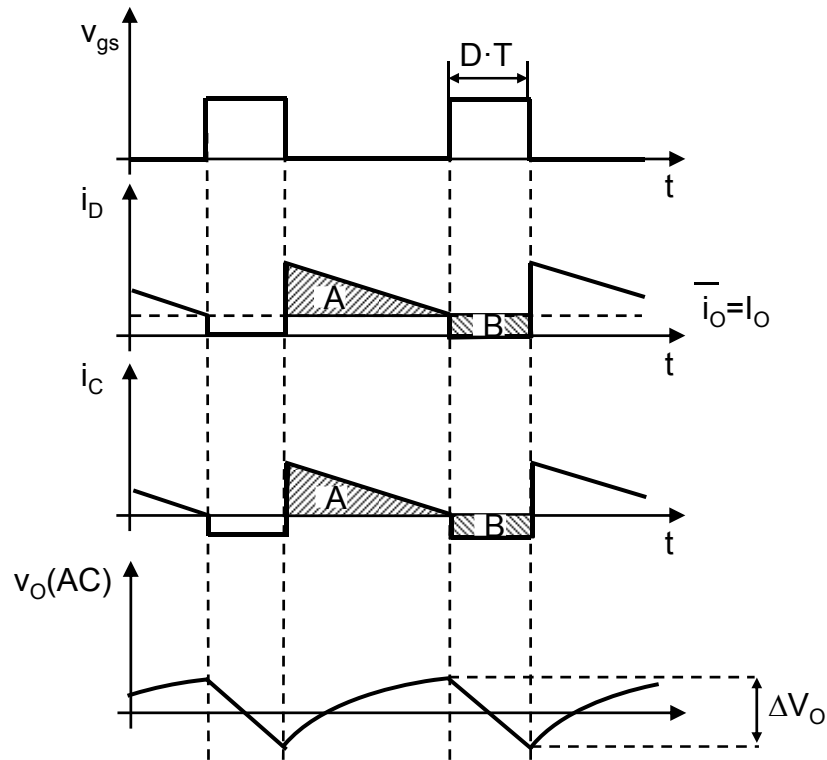
**NOTA:** el cálculo del valor medio de la corriente por el diodo es equivalente a calcular el de:



➤  $P_e = P_0 \Rightarrow V_e \cdot \bar{i}_L = V_0 \cdot I_0 \Rightarrow \bar{i}_L = \frac{1}{1 - D} \cdot I_0$

# CONVERTIDOR ELEVADOR

DISEÑO DE C Y RIZADO DE  $V_o$ :  $\bar{V}_o$



$$i_c = i_D - I_o$$

$$\bar{i}_c = 0 \Rightarrow I_o = \bar{i}_c$$

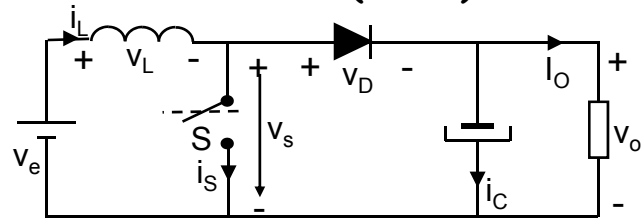
$$\left. \begin{array}{l} i_c = i_D - I_o \\ \bar{i}_c = 0 \Rightarrow I_o = \bar{i}_c \end{array} \right\} \Rightarrow i_c = i_D - \bar{i}_c$$

$$\Delta v_o = \frac{1}{C} \cdot \Delta Q = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i_c(t) \cdot dt = \frac{1}{C} \cdot I_o \cdot D \cdot T$$

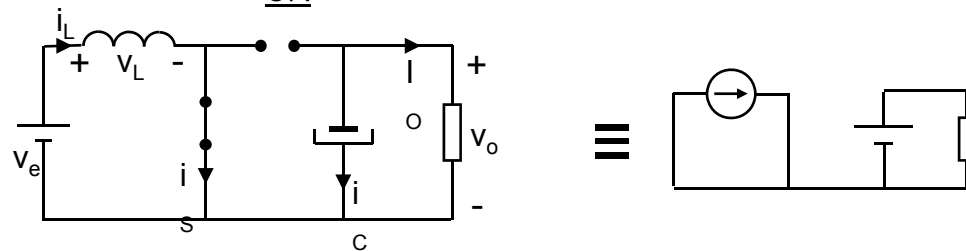
$$\Delta v_o = \frac{1}{C} \cdot I_o \cdot D \cdot T$$

# CONVERTIDOR ELEVADOR

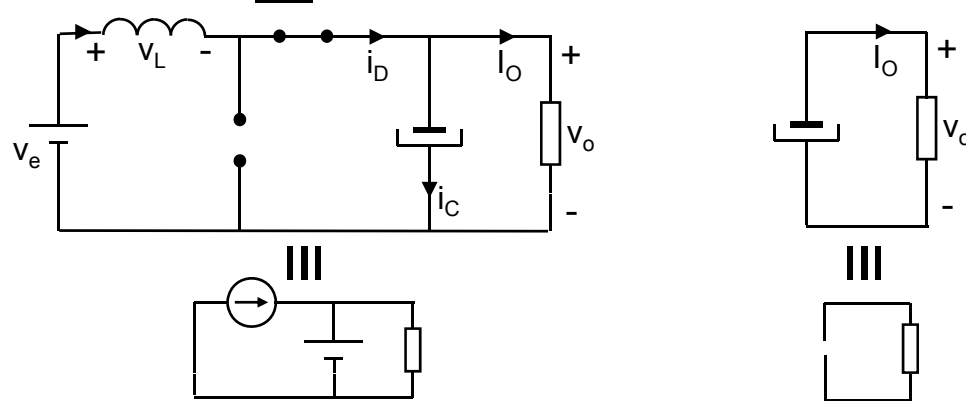
OPERACIÓN EN MODO DE CONDUCCIÓN DISCONTINUO (MCD).



**S cerrado:  $T_{ON}$**

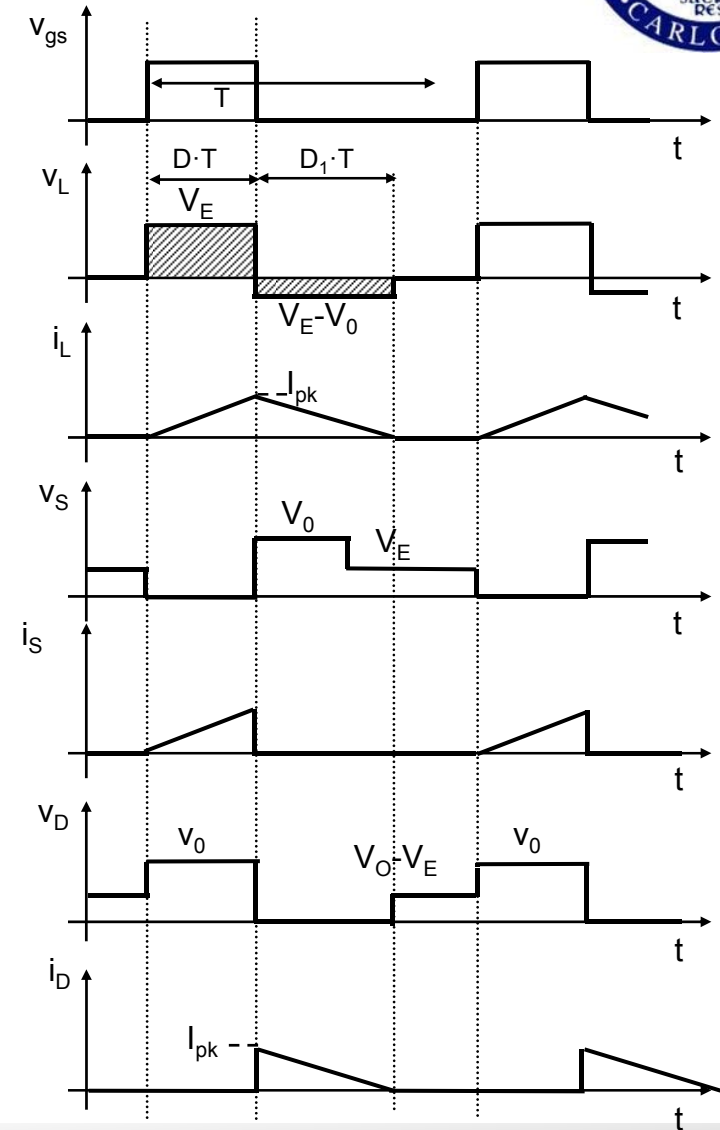


**S abierto:  $T_{OFF}$**



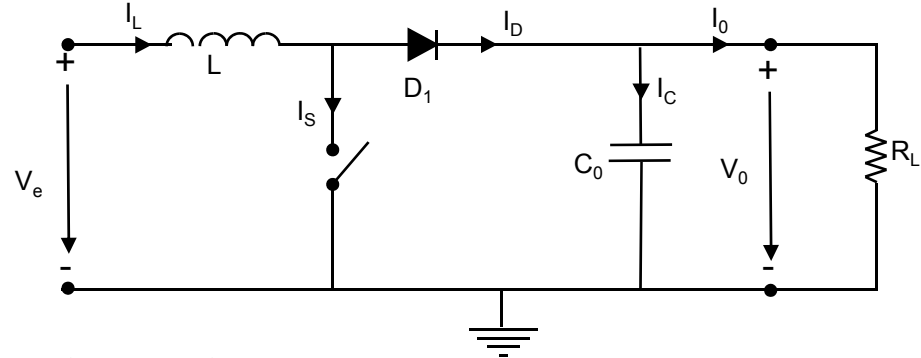
TRANSFERENCIA DIRECTA DE ENERGIA

TIEMPO MUERTO



# TOPOLOGÍA ELEVADORA (Boost)

## MODO DE CONDUCCIÓN DISCONTINUO.



### Balace de potencias.

$$P_e = P_s \Rightarrow V_e \cdot \bar{i}_e = \frac{V_0^2}{R} \quad (1)$$

$$\bar{i}_e = \bar{i}_L = \frac{1}{2} \cdot i_p \cdot \left( \frac{T_{ON} + t'}{T} \right) \quad (2)$$

$$i_p = \frac{V_e}{L} \cdot T_{ON} \quad (3)$$

$$\bar{i}_e = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_e}{L} \cdot T_{ON} \cdot \left( \frac{T_{ON} + t'}{T} \right) \quad (4)$$

### Balace Voltios x Segundo.

$$V_e \cdot T_{ON} = (V_e - V_0) \cdot t' \Rightarrow t' = \frac{V_e}{V_e - V_0} \cdot T_{ON} \quad (5)$$

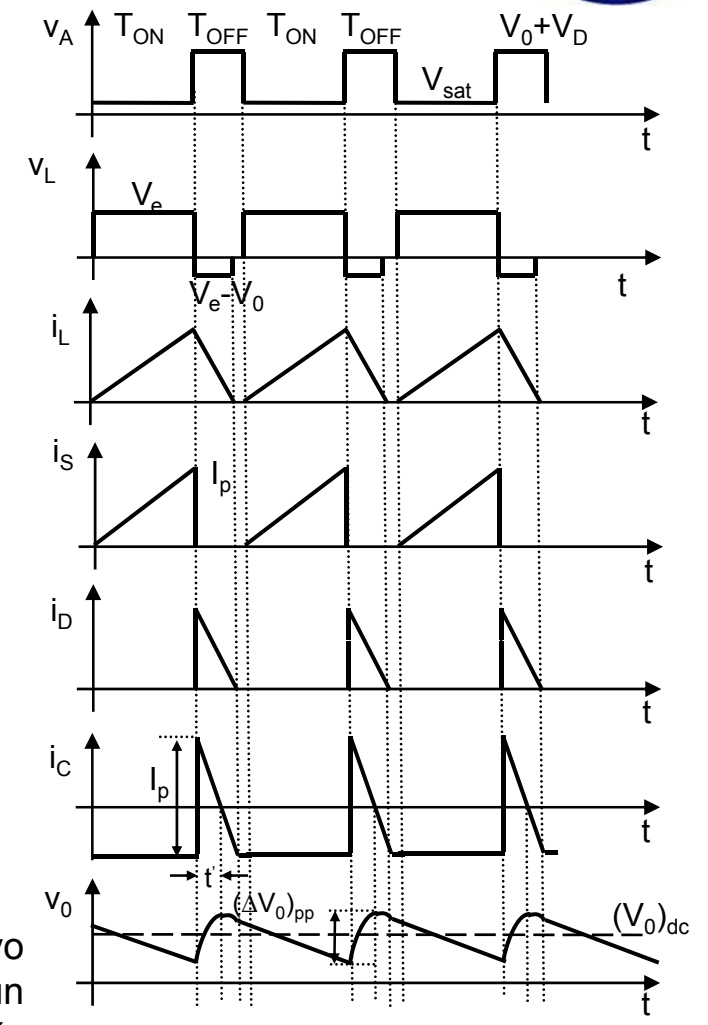
Sustituyendo (5) en (4):

$$\bar{i}_e = \frac{V_e \cdot T_{ON}^2}{2 \cdot L \cdot T} \cdot \left( 1 + \frac{V_0}{V_e - V_0} \right) \quad (6)$$

Sustituyendo (6) en (1) y operando:

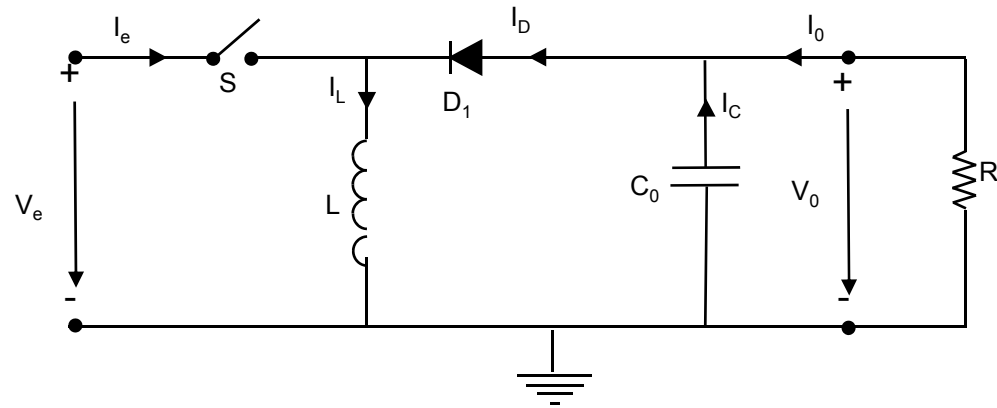
$$\frac{V_0}{V_e} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \cdot \frac{d^2}{K}}}{2}$$

Usaremos signo positivo porque se trata de un convertidor con topología elevadora.

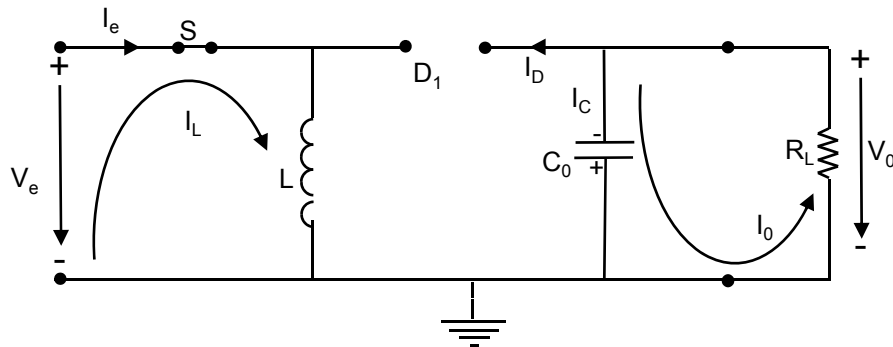


# TOPOLOGÍA REDUCTORA-ELEVADORA (Buck-Boost)

ESQUEMA Y CRITERIO DE SIGNOS.

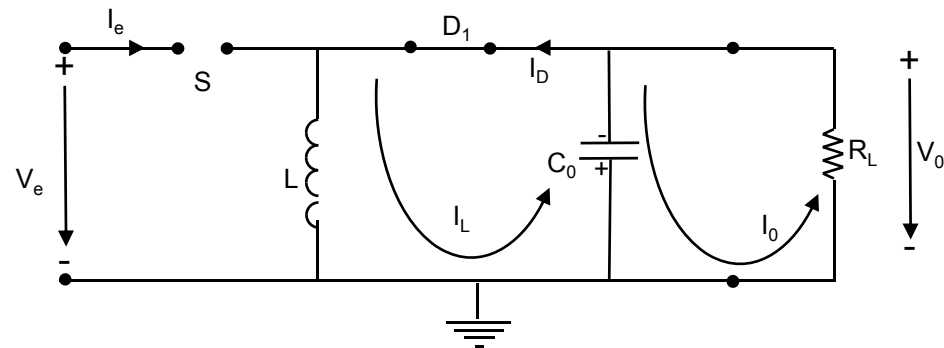


$T_{ON}$



- Carga de L.
- Descarga de C.

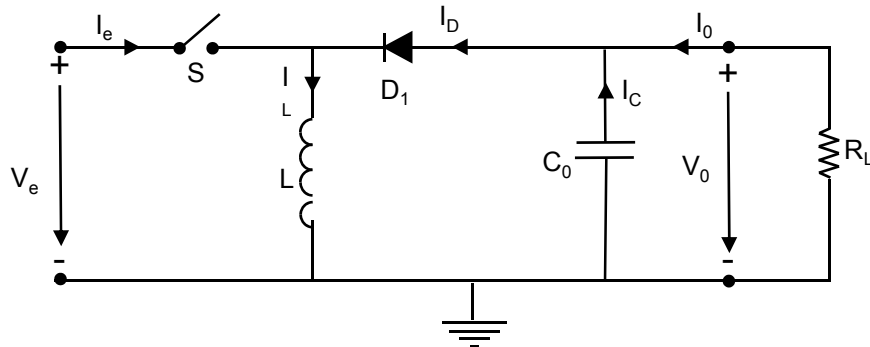
$T_{OFF}$



- Descarga de L.
- Carga de C.

# TOPOLOGÍA REDUCTORA-ELEVADORA (Buck-Boost)

## MODO DE CONDUCCIÓN CONTINUO.



Cálculo corriente máxima en la bobina.

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_D = I_0 &\Rightarrow I_{Lmed} \cdot T_{OFF} = I_0 \cdot T \\ I_{Lmed} &= \frac{I_0 \cdot T}{T_{OFF}} = \frac{I_0}{1-d} \\ I_{Lmax} &= I_{Lmed} + \frac{\Delta I_L}{2} \\ \Delta I_L &= \frac{V_0}{L} \cdot T_{OFF} \end{aligned} \right\} I_{Lmax} = \frac{I_0}{1-d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{V_0}{L} \cdot T_{OFF}$$

Balance Voltios x Segundo.

$$\begin{aligned} V_e \cdot T_{ON} &= V_0 \cdot T_{OFF} \\ \Downarrow \\ \frac{V_0}{V_e} &= \frac{d}{1-d} \end{aligned}$$

**NOTA:** se comprueba que el valor del ciclo de trabajo determina el funcionamiento del convertidor.

➤ **d=0.5**

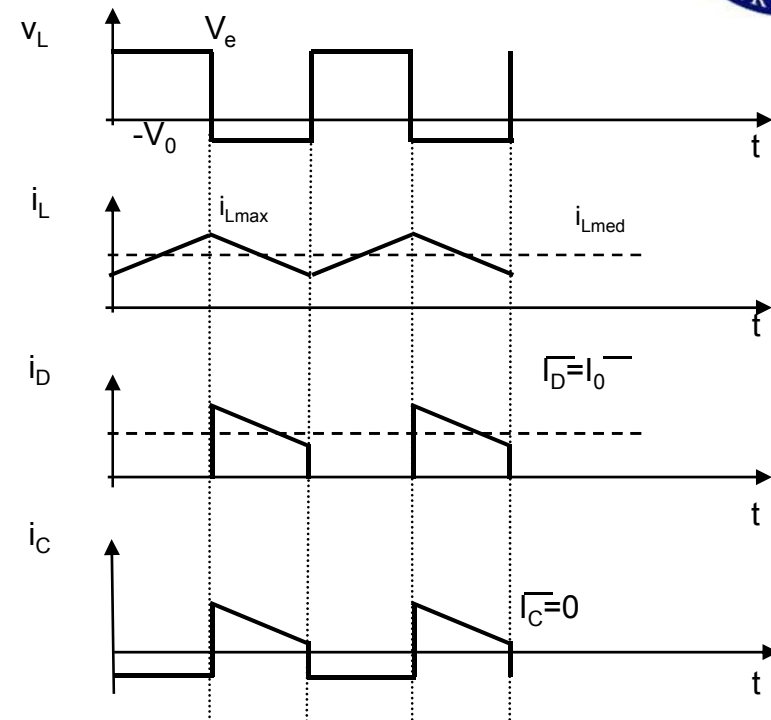
$$\begin{aligned} \frac{V_0}{V_e} &= \frac{0.5}{1-0.5} = 1 \\ V_0 &= V_e \end{aligned}$$

➤ **d=0.7**

$$\begin{aligned} \frac{V_0}{V_e} &= \frac{0.7}{1-0.7} = 2.33 \\ V_0 &= 2.33 \cdot V_e \Rightarrow V_0 > V_e \end{aligned}$$

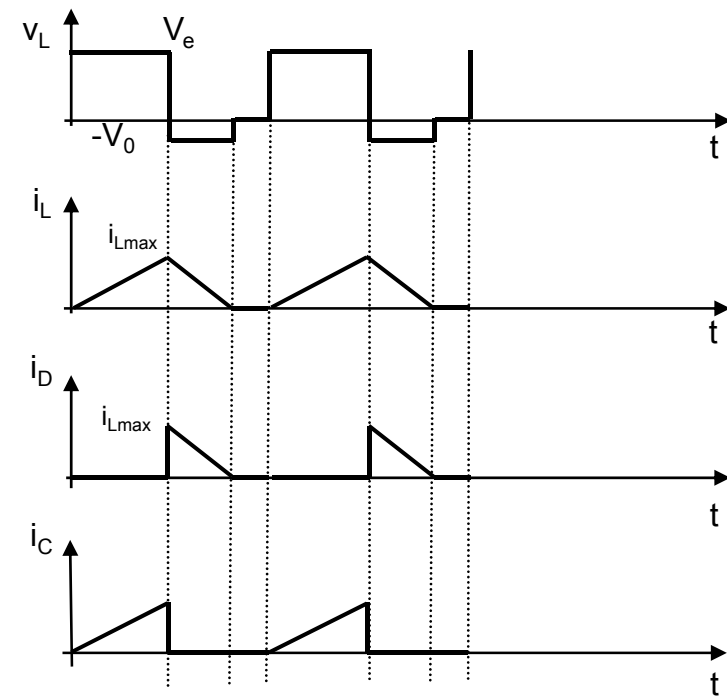
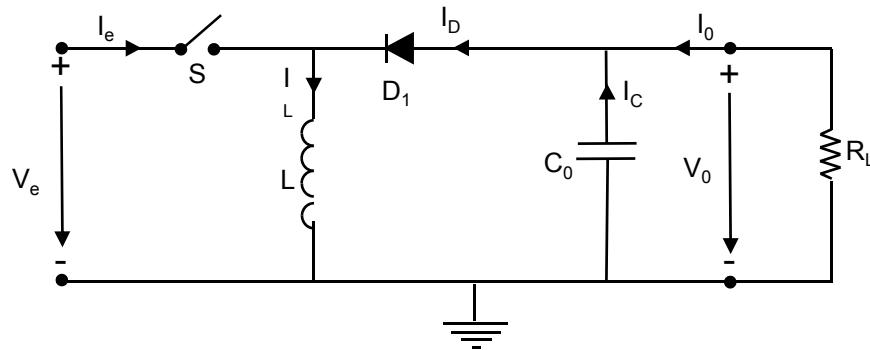
➤ **d=0.2**

$$\begin{aligned} \frac{V_0}{V_e} &= \frac{0.2}{1-0.2} = 0.25 \\ V_0 &= 0.25 \cdot V_e \Rightarrow V_0 < V_e \end{aligned}$$



# TOPOLOGÍA REDUCTORA-ELEVADORA (Buck-Boost)

MODO DE CONDUCCIÓN DISCONTINUO.



Balance de potencias.

$$\left. \begin{aligned}
 P_e = P_s &\Rightarrow V_e \cdot \bar{i}_e = \frac{V_0^2}{R} \\
 \bar{i}_e &= \frac{1}{2} \cdot \frac{T_{ON}}{T} \cdot I_{max} \\
 I_{max} &= \frac{V_e \cdot T_{ON}}{L}
 \end{aligned} \right\} \bar{i}_e = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_{ON}}{T} \cdot \frac{V_e}{L} \cdot T_{ON}$$

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{V_0^2}{R} &= V_e \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{T_{ON}^2}{T} \cdot \frac{V_e}{L} \\
 &\Downarrow \\
 \frac{V_0}{V_e} &= \frac{d}{\sqrt{K}}
 \end{aligned} \right\}$$





## TOPOLOGÍA REDUCTORA-ELEVADORA (Buck-Boost)

FRONTERA MODO DE CONDUCCIÓN CONTINUO Y DISCONTINUO.

$$\left. \begin{array}{l} \text{MCC} \\ \text{MCD} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{V_0}{V_e} = \frac{d}{1-d} \\ \frac{V_0}{V_e} = \frac{d}{\sqrt{K}} \end{array} \Rightarrow \frac{d}{1-d} = \frac{d}{\sqrt{K}} \Rightarrow K_{\text{crit}} = (1-d)^2$$

$K > K_{\text{crit}} \rightarrow$  **MCC**  
 $K = K_{\text{crit}} \rightarrow$  **Frontera MCC-MCD**  
 $K < K_{\text{crit}} \rightarrow$  **MCD**

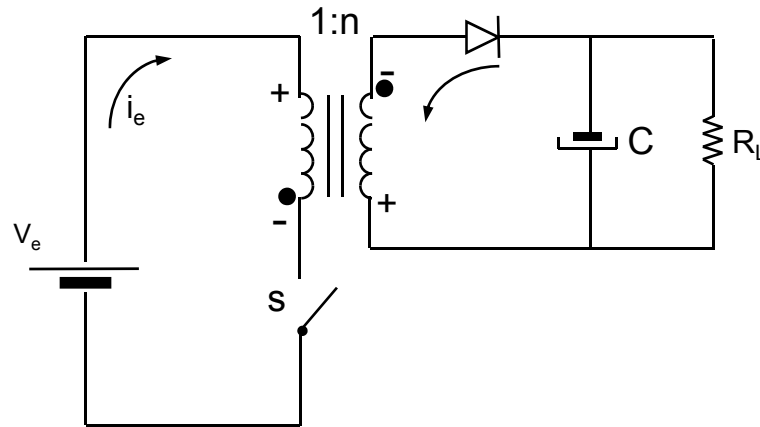
CÁLCULO DEL CONDENSADOR.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta Q = \int i_C(t) \cdot dt = I_0 \cdot T_{\text{ON}} \\ \Delta Q = C \cdot \Delta V_{\text{pp}} \end{array} \right\} \Delta V_{\text{pp}} = \frac{I_0 \cdot T_{\text{ON}}}{C}$$

A partir de las especificaciones del rizado se determina la capacidad necesaria.

# TOPOLOGÍA FLYBACK

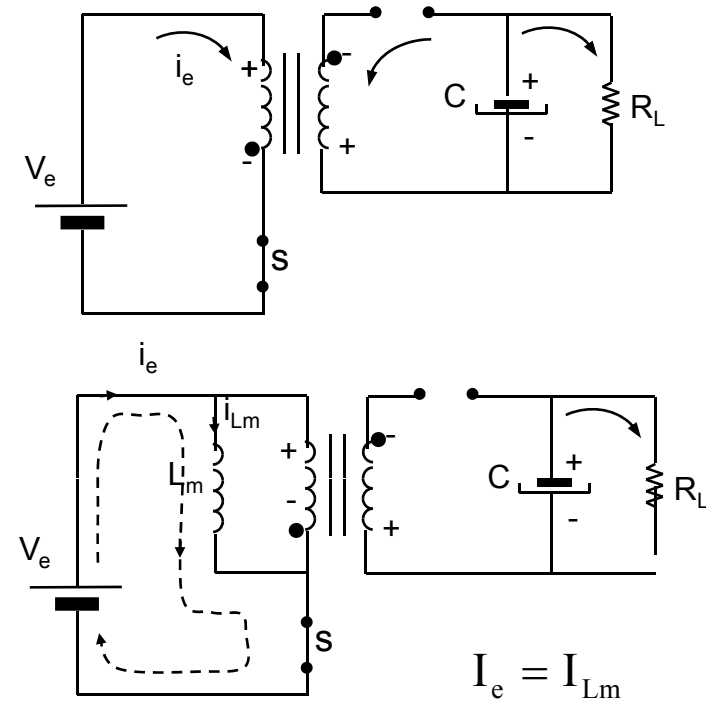
## FUNCIONAMIENTO GENERAL TOPOLOGÍA FLYBACK (I)



CONVERTIDOR REDUCTOR-ELEVADOR  
+  
AISLAMIENTO GALVÁNICO

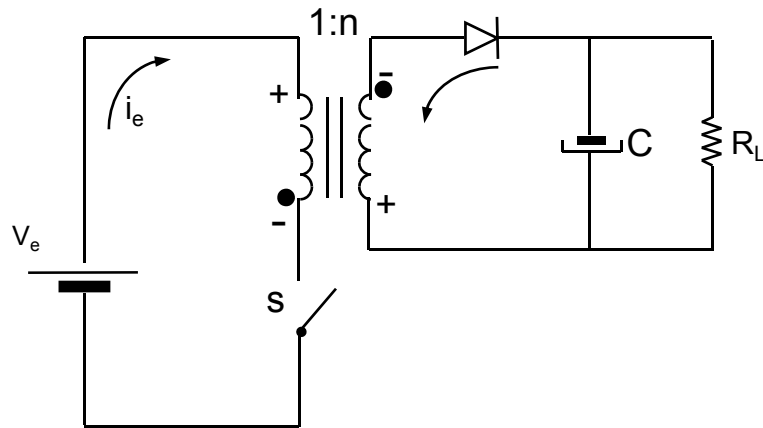
➤  $T_{ON}$ :

- Primario     $\Rightarrow$  Se aplica  $V_e$
- Secundario  $\Rightarrow$  Diodo no permite circular corriente en este sentido.  
                    $\Rightarrow$  C suministra toda la corriente a la carga.



# TOPOLOGÍA FLYBACK

OPERACIÓN EN MODO DE CONDUCCIÓN CONTINUO (MCC).



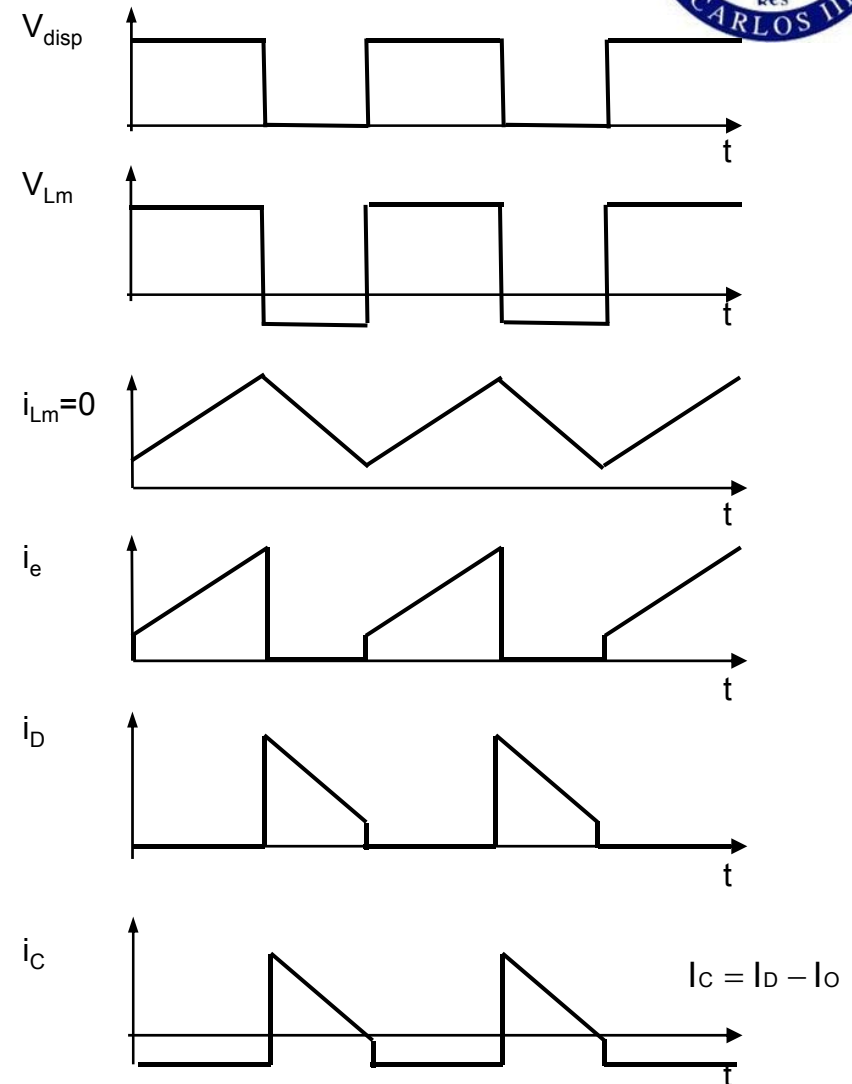
➤ Balance Voltios x Segundo

$$V_e \cdot t_{on} = \frac{V_0}{n} \cdot t_{off}$$

⇒

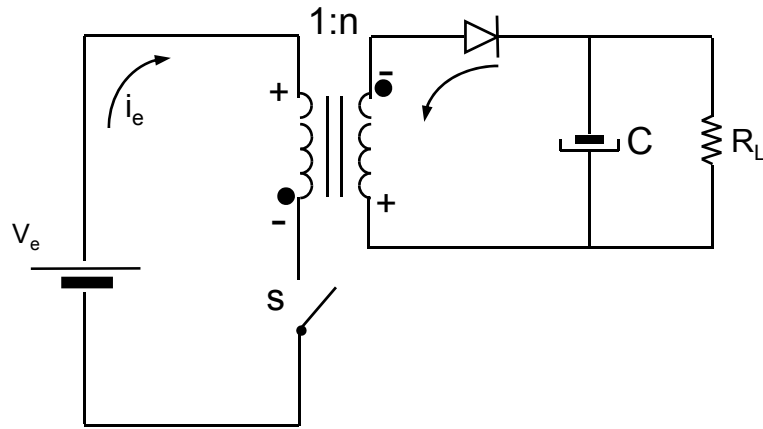
$$\frac{V_0}{V_e} = n \cdot \frac{d}{1-d}$$

$n=1$  ⇒ Función de transferencia de un Reductor-Elevador, pero sin invertir la salida.



# TOPOLOGÍA FLYBACK

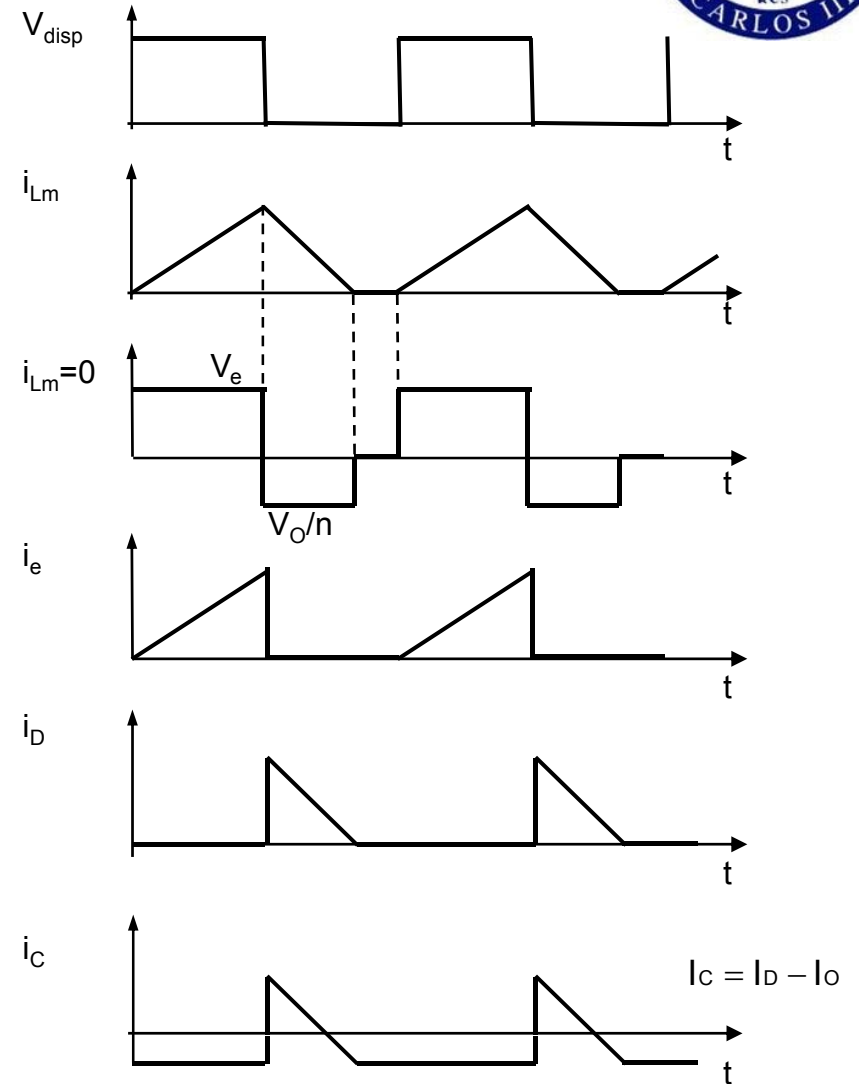
OPERACIÓN EN MODO DE CONDUCCIÓN DISCONTINUO (MCD).



➤ Balance de Potencia

$$P_0 = P_e \Rightarrow \frac{V_0^2}{R} = V_e \cdot \bar{i}_e$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{i}_e &= \frac{1}{2} \cdot \frac{\text{ton}}{T} \cdot \Delta i \\ \Delta i &= \frac{V_e}{L} \cdot \text{ton} \end{aligned} \right\} \bar{i}_e = \frac{1}{2} \cdot \frac{\text{ton}}{T} \cdot \frac{V_e}{L} \cdot \text{ton} \Rightarrow \frac{V_0}{V_e} = \frac{d}{\sqrt{K}}$$



# TOPOLOGÍA FLYBACK

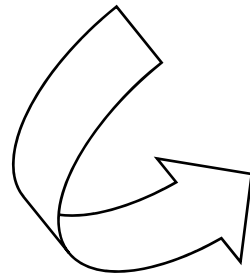
LÍMITE ENTRE MCC Y MCD ( $K_{CRÍTICA}$ )

$$MCC \Rightarrow \frac{V_o}{V_e} = n \cdot \frac{d}{1-d}$$

$$MCD \Rightarrow \frac{V_o}{V_e} = \frac{d}{\sqrt{K}}$$

$$n \cdot \frac{d}{1-d} = \frac{d}{\sqrt{K}} \Rightarrow K_{crítica} = \left( \frac{1-d}{n} \right)^2$$

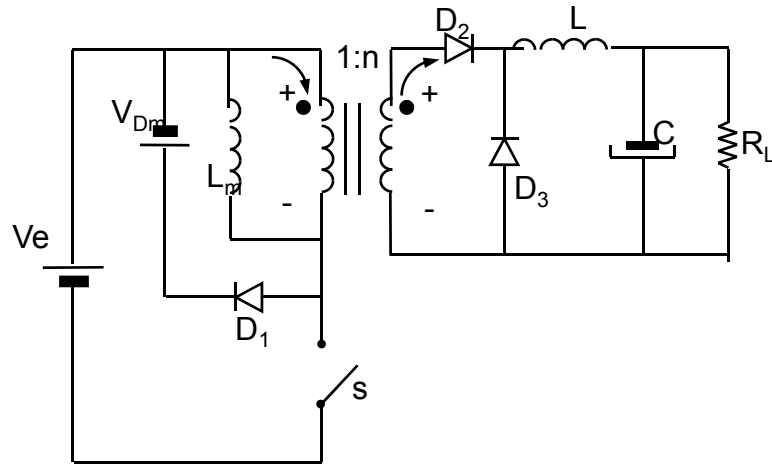
Determinar modo de  
conducción



Analizar la única bobina del circuito:  
Inductancia magnetizante ( $L_m$ )

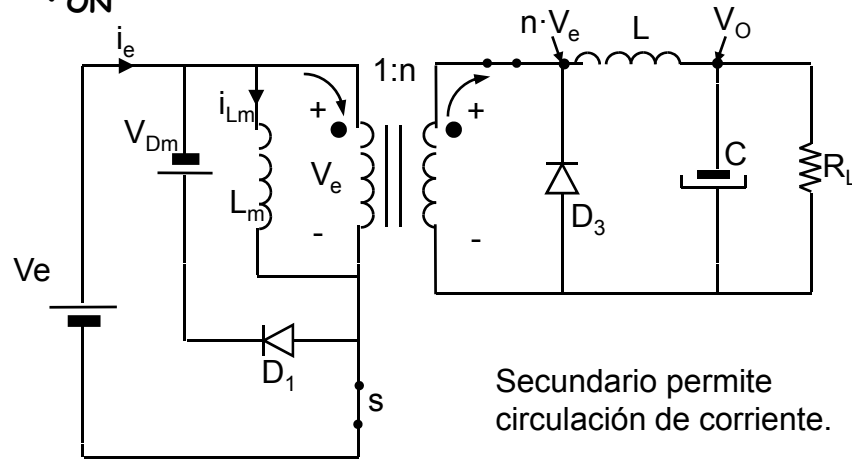
# CONVERTIDOR FORWARD

## FUNCIONAMIENTO GENERAL TOPOLOGÍA FORWARD (I)

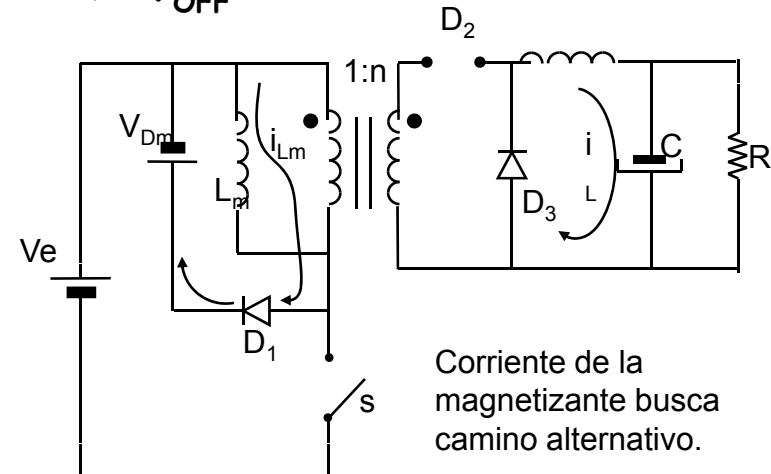


CONVERTIDOR REDUCTOR  
 +  
 AISLAMIENTO GALVÁNICO

➤ **T<sub>ON</sub>:**

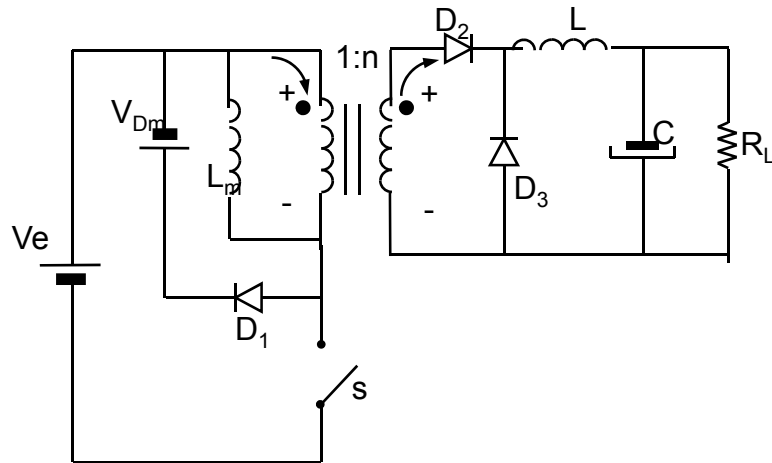


➤ **T<sub>OFF</sub>:**



# CONVERTIDOR FORWARD

OPERACIÓN EN MODO DE CONDUCCIÓN CONTINUO (MCC).



➤ Balance Voltios x Segundo

$L_m$

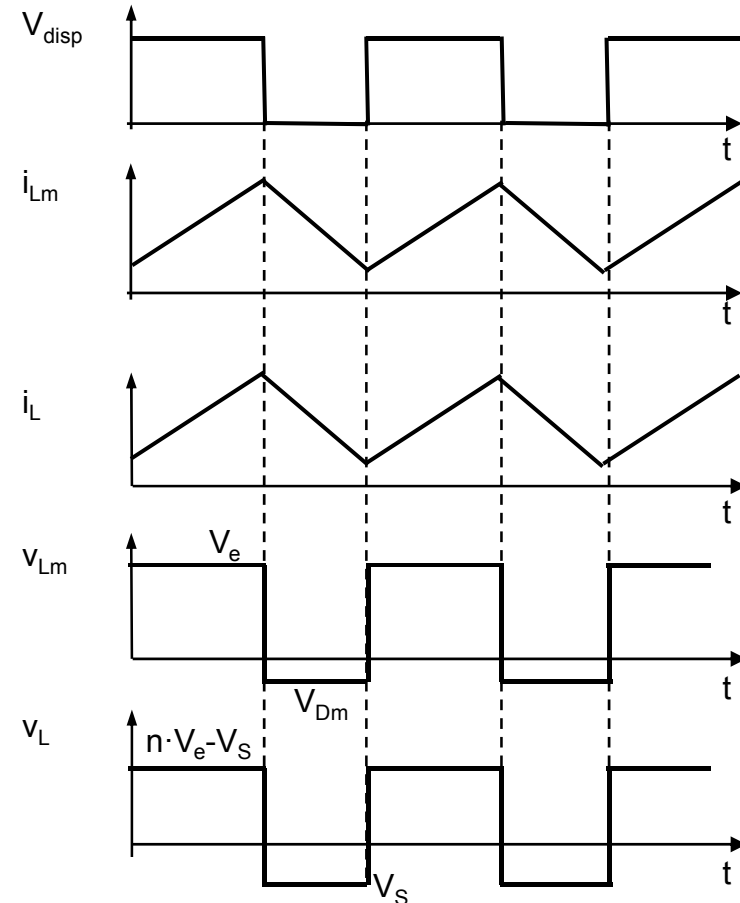
$$V_e \cdot t_{ON} = V_{Dm} \cdot t_{OFF} \Rightarrow \frac{V_{Dm}}{V_e} = \frac{d}{1-d}$$

Para poder desmagnetizar el trafo se debe cumplir:

$$V_e \cdot t_{ON} \leq V_{Dm} \cdot t_{OFF}$$

$L$

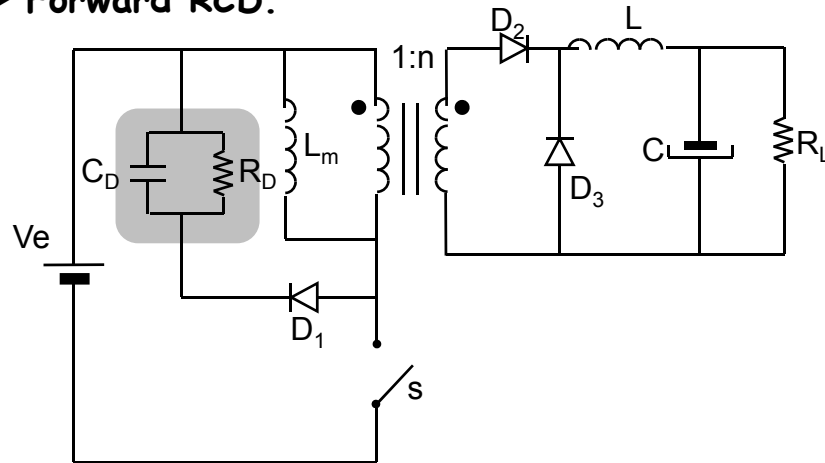
$$(n \cdot V_e - V_o) \cdot t_{ON} = V_o \cdot t_{OFF} \Rightarrow \frac{V_o}{V_e} = n \cdot d$$



# CONVERTIDOR FORWARD

## TOPOLOGÍAS FORWARD SEGÚN EL TIPO DE FUENTE DESMAGNETIZANTE.

### ➤ Forward RCD.



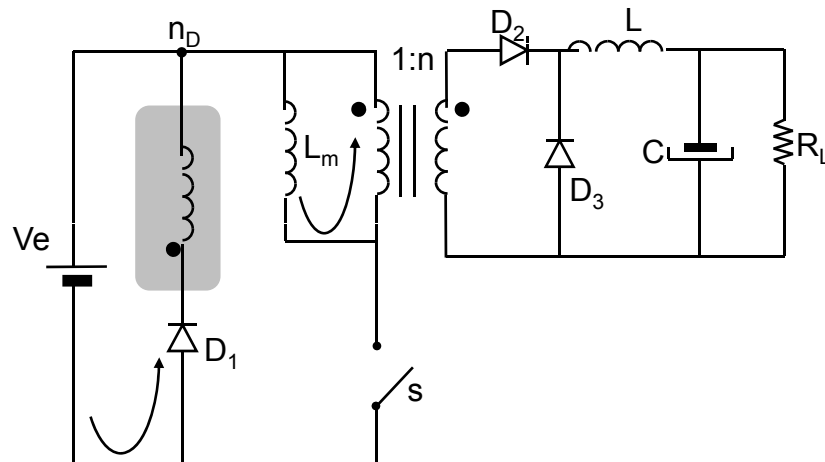
$R_D \Rightarrow$  Disipa energía extra que llega a  $C_D$

$C_D \Rightarrow$  Almacena energía hasta que su tensión llega a cumplir:

$$P_R = \frac{V_{C_D}^2}{R_D}$$

Energía desmagnetización  $\Rightarrow$  disipada

### ➤ Forward clásico.



$T_{OFF} \Rightarrow$  Corriente desmagnetizante reflejada por el secundario.

$$V_D = \frac{V_e}{n_D}$$

$\Rightarrow$  N° vueltas secundario desmagnetizador.

$n_p = n_D \Rightarrow d \leq 50\%$

Energía desmagnetización  $\Rightarrow$  devuelta a la fuente.

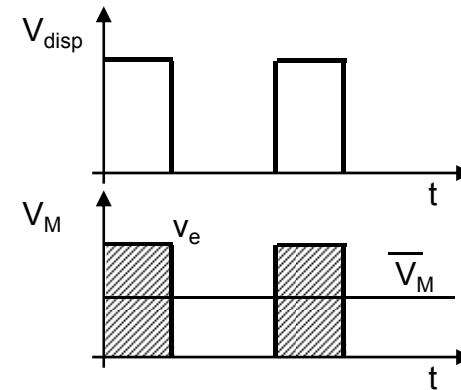
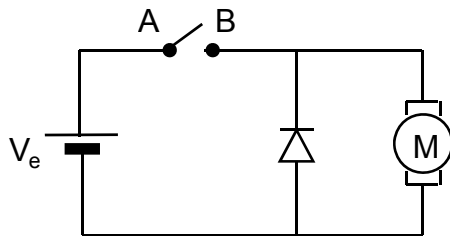


# TROCEADORES (Choppers)

Ámbito de utilización: control de motores de CC.

- ✓ Potencias más grandes  $\Rightarrow$  Interruptores más grandes.  
Generalmente tiristores con apagado forzado.

➤ Aplicación típica de los choppers.



$$V_M = V_e \cdot d$$

