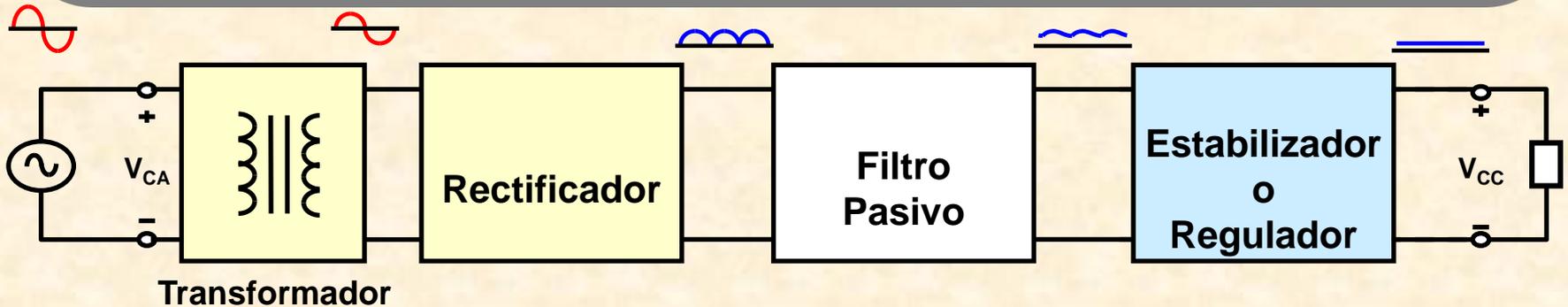


FUENTES DE ALIMENTACION **LINEAL**

INSTRUCTOR RAUL ROJAS REATEGUI

INTRODUCCIÓN

- La mayoría de los circuitos electrónicos necesitan una o varias fuentes de voltaje continuo para su funcionamiento.
- **Alimentación con pilas o baterías.**
 - Poca autonomía y costo elevado
 - Aceptable cuando el consumo es bajo
- **Alimentación a partir de la red eléctrica.**
 - Fuente de energía primaria más frecuente
 - Tensión alterna sinusoidal
 - Se necesita obtener tensión continua a partir de la tensión de red



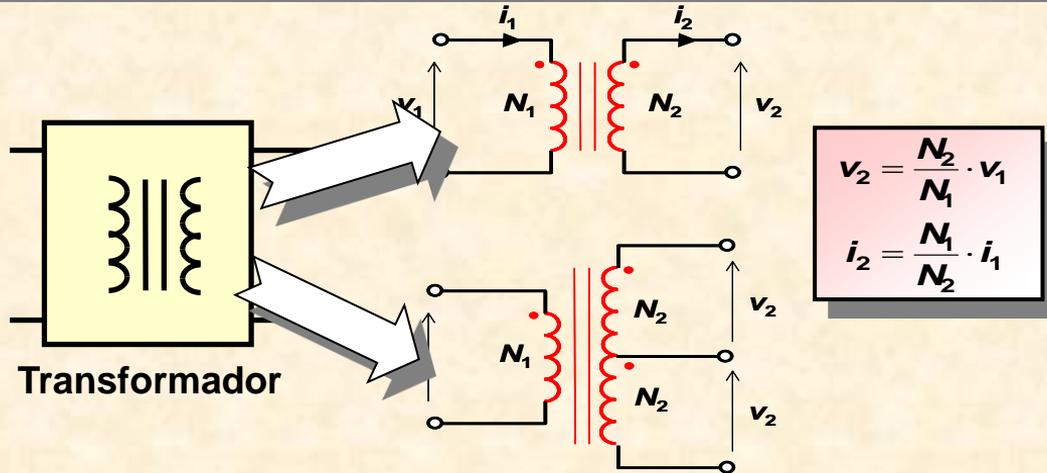
TRANSFORMADOR

➤ **Sus misiones principales son:**

- Adapta el voltaje de red al valor requerido por la carga → $N_1 : N_2$
- Proporcionar aislamiento galvánico → Protección del usuario

➤ **Existen varias configuraciones posibles que dependen del tipo de rectificador elegido:**

- Primario-secundario
- Toma media en secundario o con derivación central

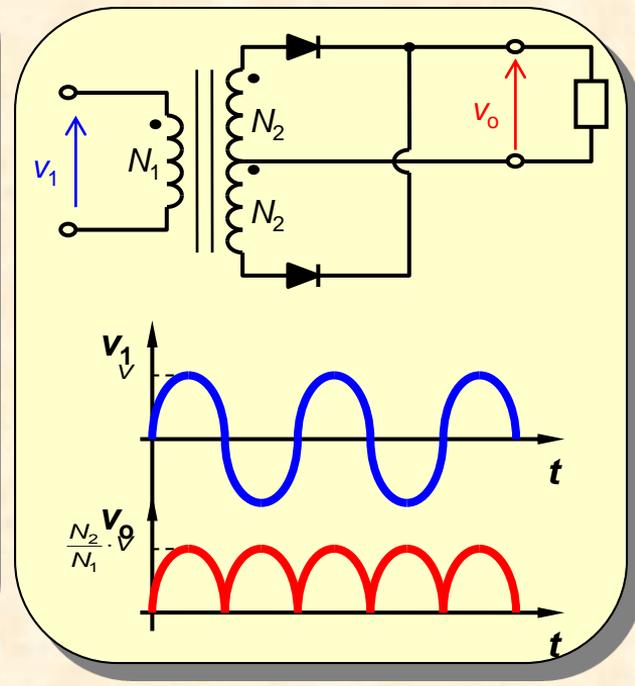
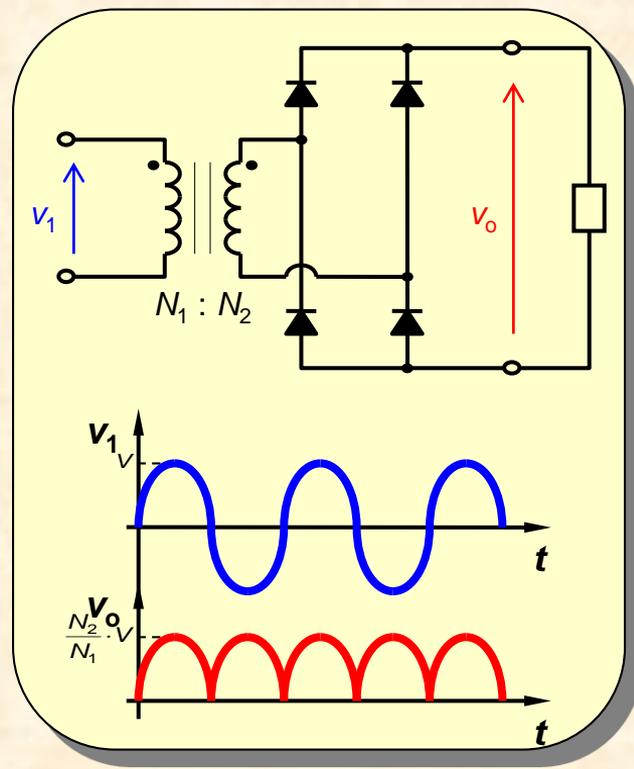
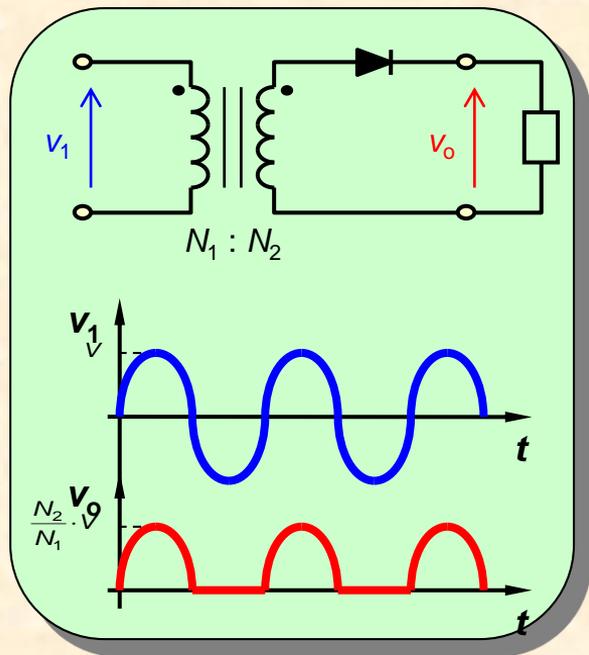


TRANSFORMADOR

- **Parámetros utilizados generalmente para su elección:**
 - Relación de voltajes entre primario y secundario, ambas expresadas en valores eficaces.
 - Potencia del transformador en VA.
 - Factor de regulación de carga → suele variar entre un 5 y un 10%.
- **Voltaje del primario → vendrá impuesta por el voltaje de red eléctrica.**
- **Voltaje del secundario → se obtiene al diseñar la fuente, pero es importante tener en cuenta que:**
 - Toma distintos valores según la corriente que esté suministrando el transformador (factor de regulación de carga).
 - También se verá influenciada por las posibles variaciones del voltaje de la red (hasta un $\pm 10\%$).
- **Potencia del transformador:**
 - Suma de las potencias consumidas por el resto de la fuente, incrementada en un cierto porcentaje (entre un 10 y un 20%) con objeto de compensar otras pérdidas de difícil evaluación.

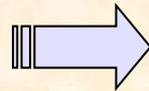
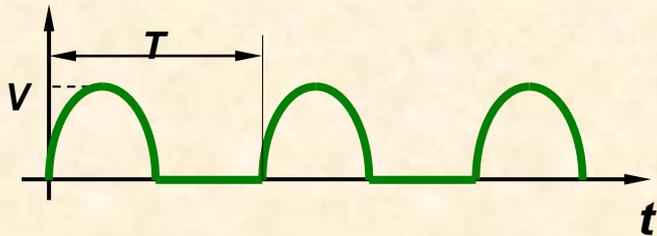
RECTIFICADOR

Convierte el voltaje alterno suministrada por el transformador en un voltaje pulsante unidireccional.

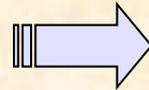
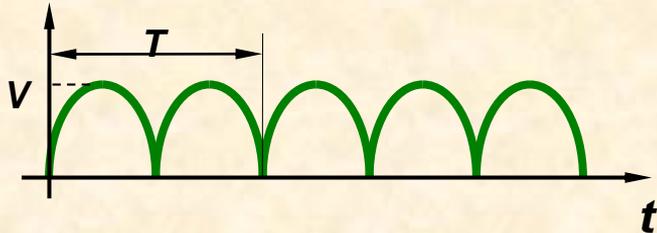


RECTIFICADOR

- 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)



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



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

RECTIFICADOR

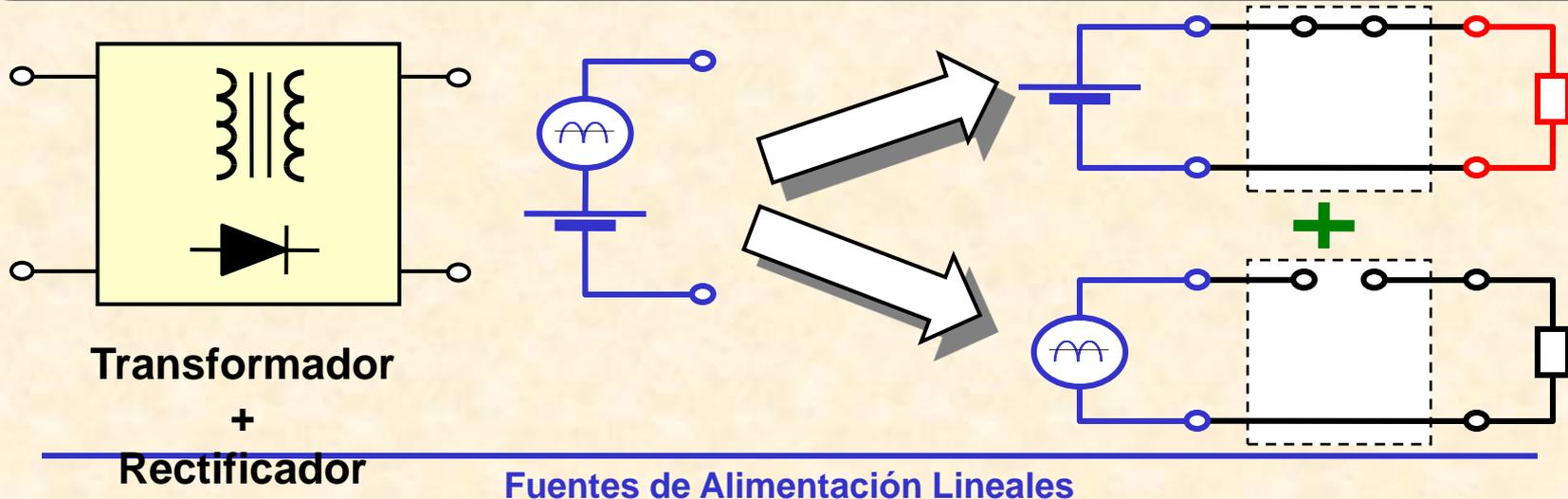
- **Rectificadores monofásicos de doble onda: características.**
 - **Los dos montajes proporcionan la misma forma de onda**
 - **Transformador con toma media o con derivación central:**
 - En cada semiciclo sólo conduce un diodo.
 - Cada diodo debe soportar un voltaje inverso igual al doble de la tensión máxima de cada semiciclo del secundario.
 - **Montaje en puente:**
 - En cada semiciclo conducen simultáneamente dos diodos → mayores pérdidas.
 - Cada diodo debe soportar un voltaje inverso igual al valor máximo de la tensión del secundario.
 - Generalmente, es el montaje más utilizado

RECTIFICADOR

- **La elección de los diodos se realiza en base a las corrientes y voltaje que se ven obligados a manejar en cada aplicación.**
 - Corriente media directa, $I_{F(AV)}$
 - Voltaje inverso de trabajo máxima, V_{RWM}
 - Corriente máxima de pico repetitivo, I_{FRM}
- **Se suelen emplear diodos “de propósito general”.**
 - Diseñados para trabajar a bajas frecuencias en aplicaciones de rectificación (hasta 400 Hz).
 - Existen dispositivos capaces de manejar corrientes desde 1 a 25 A, con tensiones inversas que van desde 50 hasta 1000 V.
 - También se utilizan puentes rectificadores que incluyen los cuatro diodos en un único encapsulado.

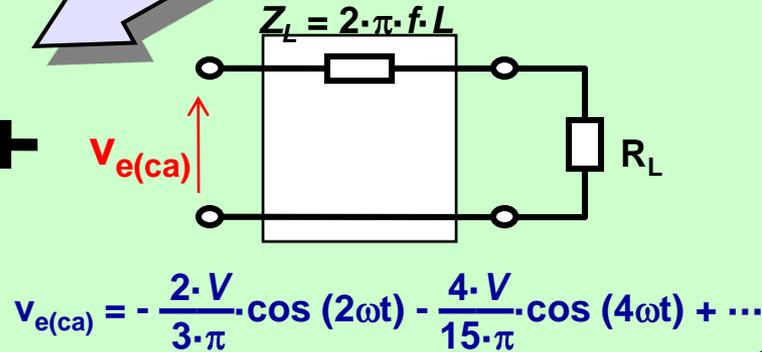
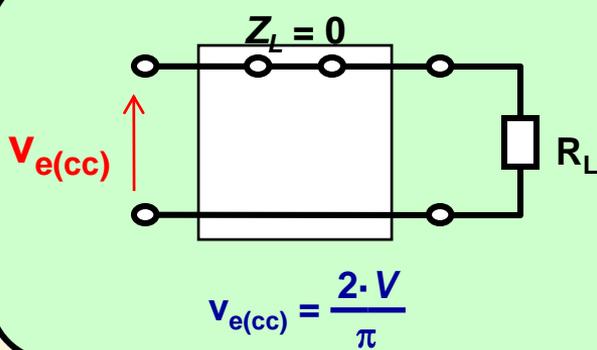
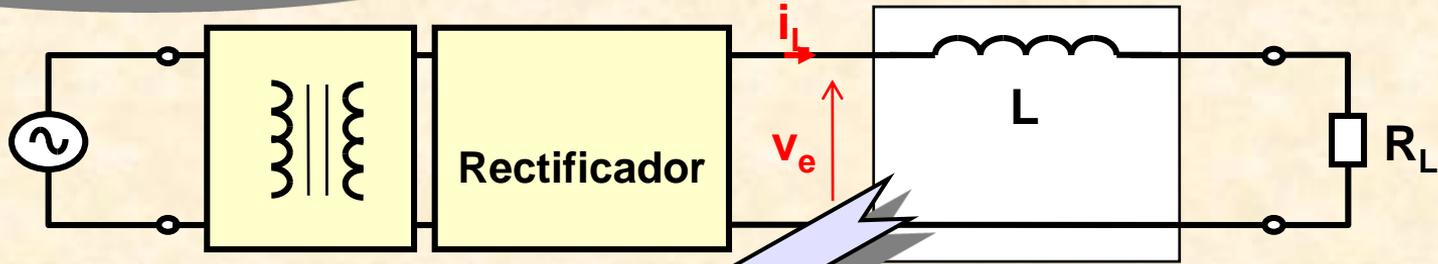
FILTRADO DEL VOLTAJE RECTIFICADO

- **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 DEL VOLTAJE RECTIFICADO

Filtro por bobina

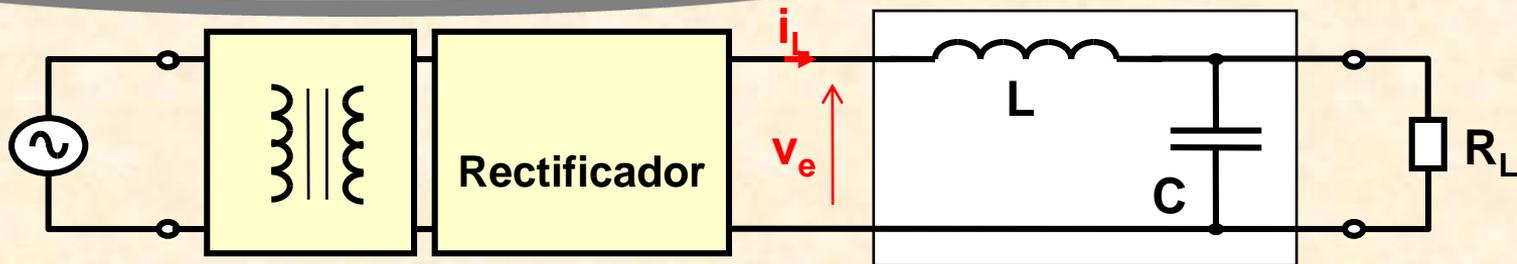


Elección del valor de L:

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

FILTRADO DEL VOLTAJE RECTIFICADO

Filtro por bobina y condensador



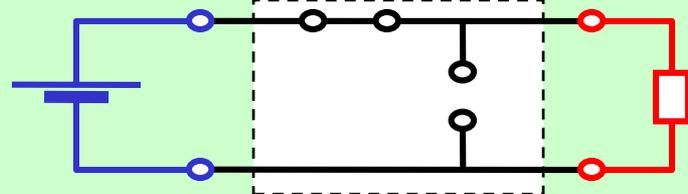
Mejora el funcionamiento.

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

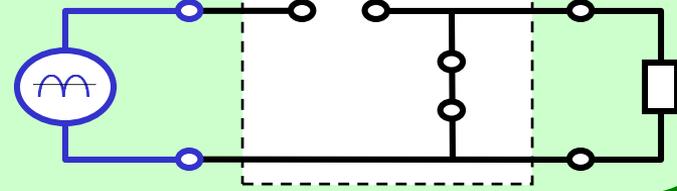
Elección de los valores de L y de C :

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

(cc)



(ca)



FILTRADO DEL VOLTAJE RECTIFICADO

Filtro por condensador



➤ Evita el uso de inductancias

- Pesadas y voluminosas para frecuencias de 50 / 100Hz.

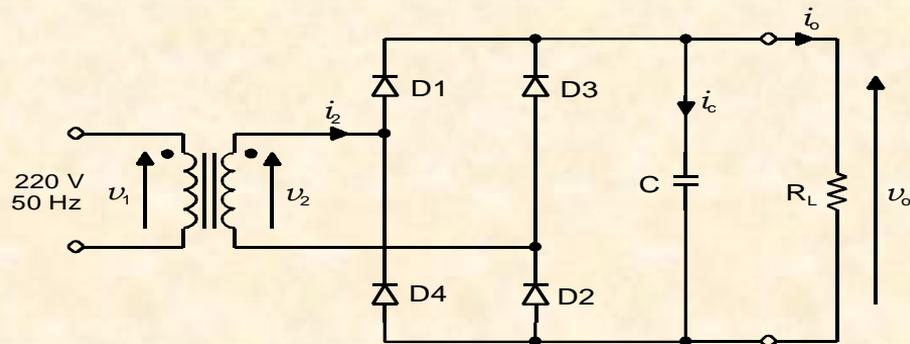
➤ Análisis más complejo

- La evolución de corrientes y voltajes 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

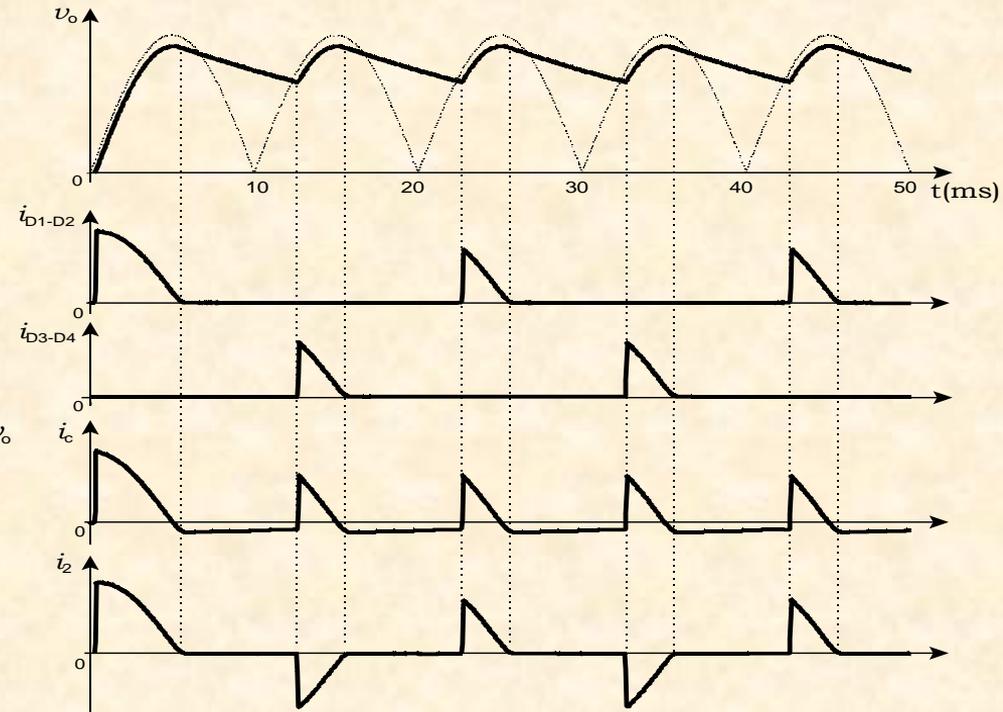
FILTRADO DEL VOLTAJE RECTIFICADO

Filtro por condensador

- **Aplicación al rectificador en puente:**



Análisis

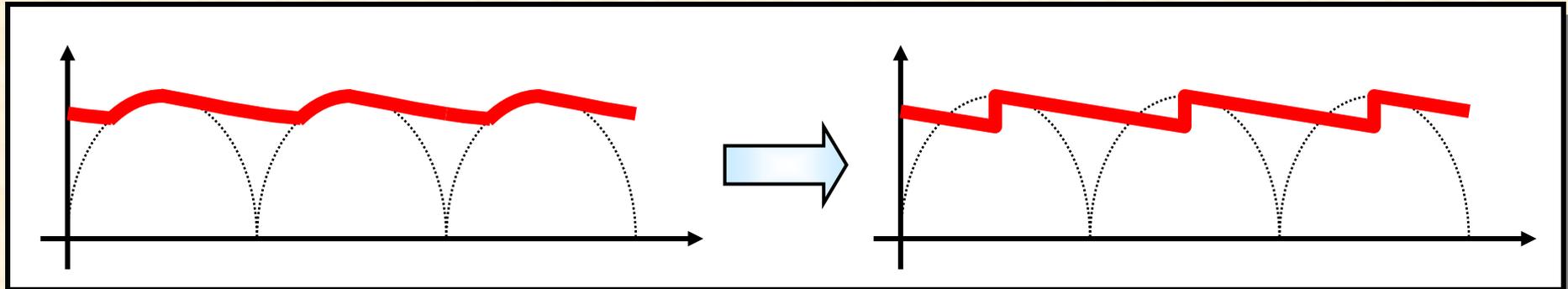


FILTRADO DEL VOLTAJE RECTIFICADO

Filtro por condensador

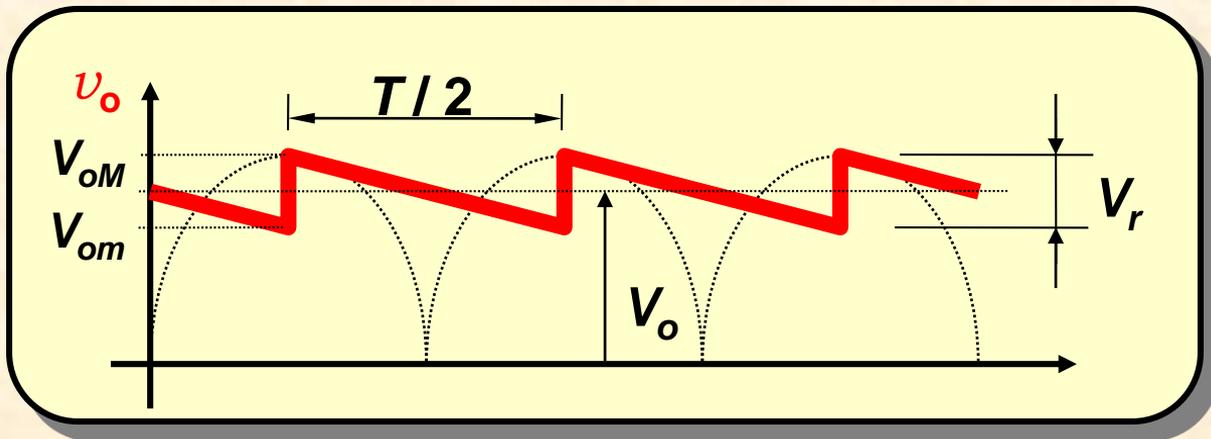
Análisis

- **Voltaje 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 DEL VOLTAJE RECTIFICADO

Filtro por condensador



Análisis

Supone descarga de C a corriente constante.

$$\bullet i_C = i_{carga} = I_o$$

$$I_o \cong \frac{V_{o(cc)}}{R_L} = \frac{V_o}{R_L}$$

➤ 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:

$$V_r = \frac{V_o}{2 f R_L C} = \frac{I_o}{2 f C}$$

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

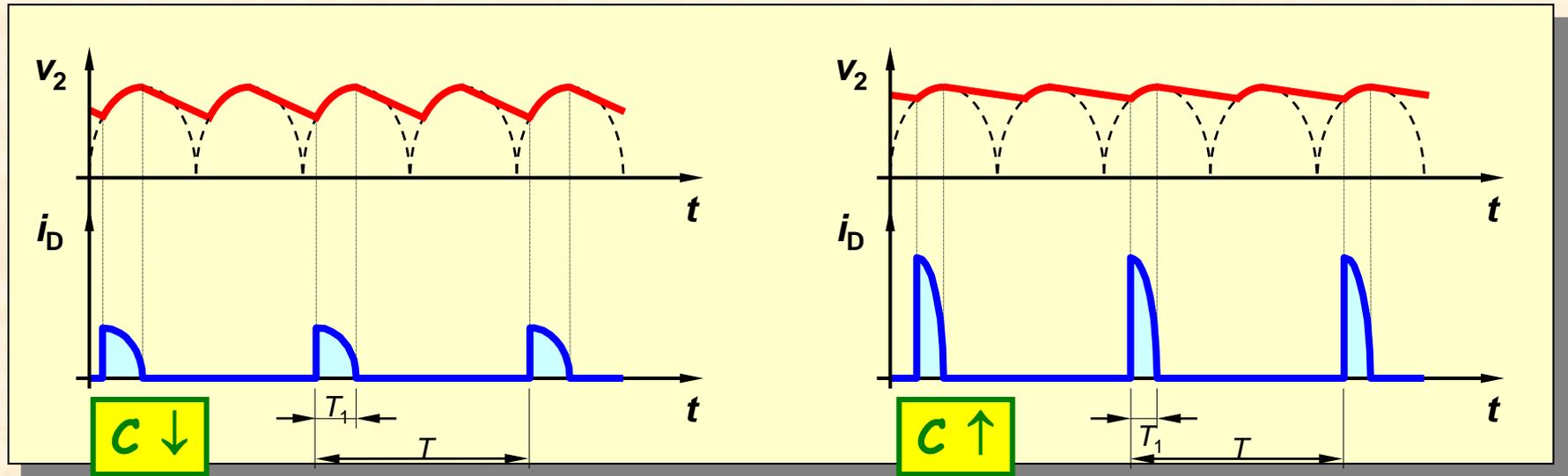
FILTRADO DEL VOLTAJE RECTIFICADO

Filtro por condensador

Análisis

➤ Consideraciones importantes:

- El voltaje en la carga tiene un rizado menor cuanto mayor es la capacidad del condensador
- Una mayor capacidad provoca un menor intervalo de conducción de los diodos → mayores "picos" de corriente en ellos



FILTRADO DEL VOLTAJE RECTIFICADO

Filtro por condensador

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 transformador.

➤ **Conclusión: no se debe usar un condensador de capacidad excesiva**

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

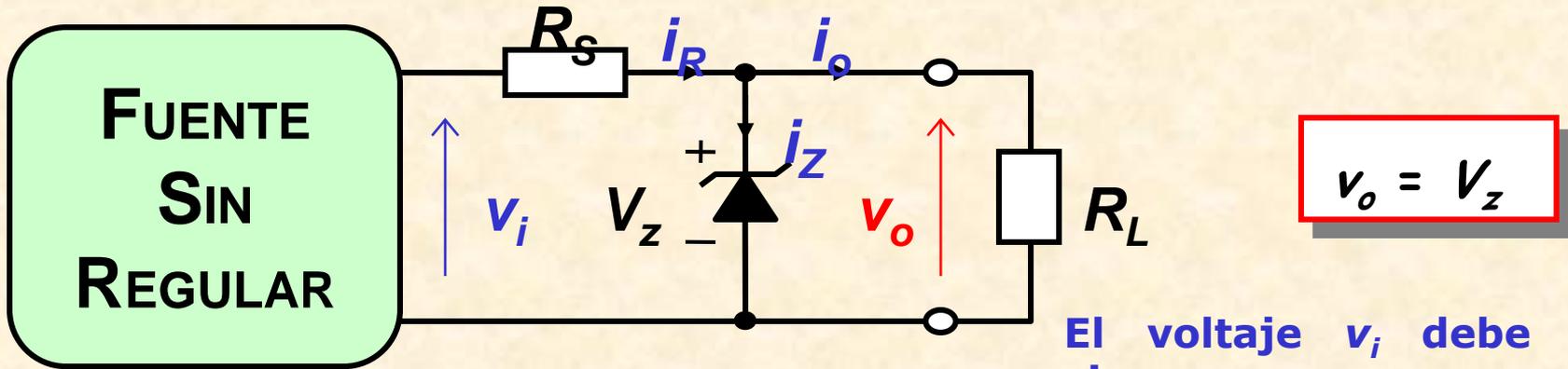
ESTABILIZADOR

- **El conjunto Trafo + Rectificador + Filtro puede constituir una fuente de alimentación**
 - Si la carga no demanda demasiada corriente
 - Sensible a las variaciones de carga y de la tensión de red
- **Para conseguir una mayor "calidad" en la tensión de salida se puede incluir un estabilizador**
 - La estabilidad se consigue aprovechando las características de un dispositivo electrónico (generalmente, un diodo zener)
 - No se utiliza realimentación
 - Su funcionamiento está basado en recortar la tensión de entrada hasta el nivel deseado



ESTABILIZADOR

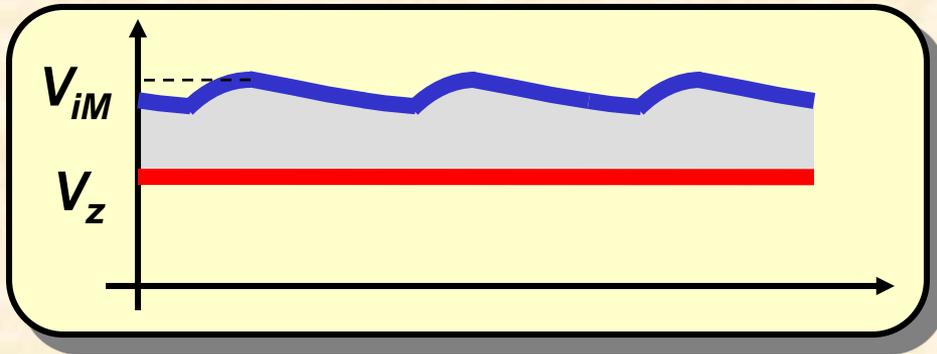
Con diodo zener



El voltaje v_i debe ser siempre mayor que el voltaje v_o

La diferencia entre ambos voltajes es soportada por la resistencia R_s

- Interesa que v_i no sea mucho mayor que v_o .
- Elección de $N_2:N_1$.

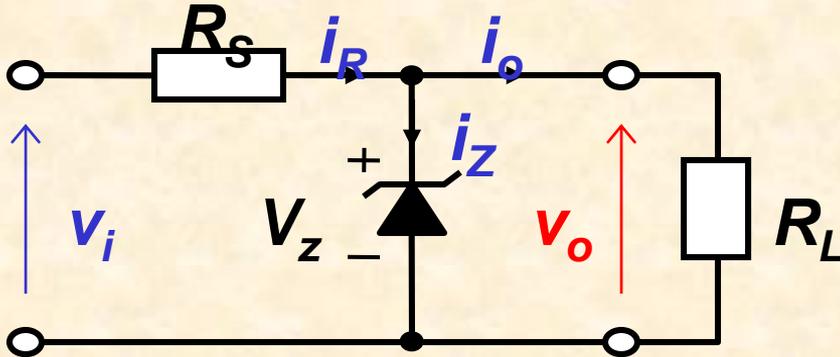


ESTABILIZADOR

Con diodo zener

➤ Límites de funcionamiento del estabilizador propuesto

- Corriente en el zener: $I_{z(min)} \leq i_z \leq I_{z(max)}$
- Corriente en R_S : $I_{R(min)} = I_{o(max)} + I_{Z(min)}$



$$\frac{V_{i(min)} - V_Z}{I_{o(max)} + I_{Z(min)}} \geq R_S \geq \frac{V_{i(max)} - V_Z}{I_{o(min)} + I_{Z(max)}}$$

En general, interesa R_S grande:

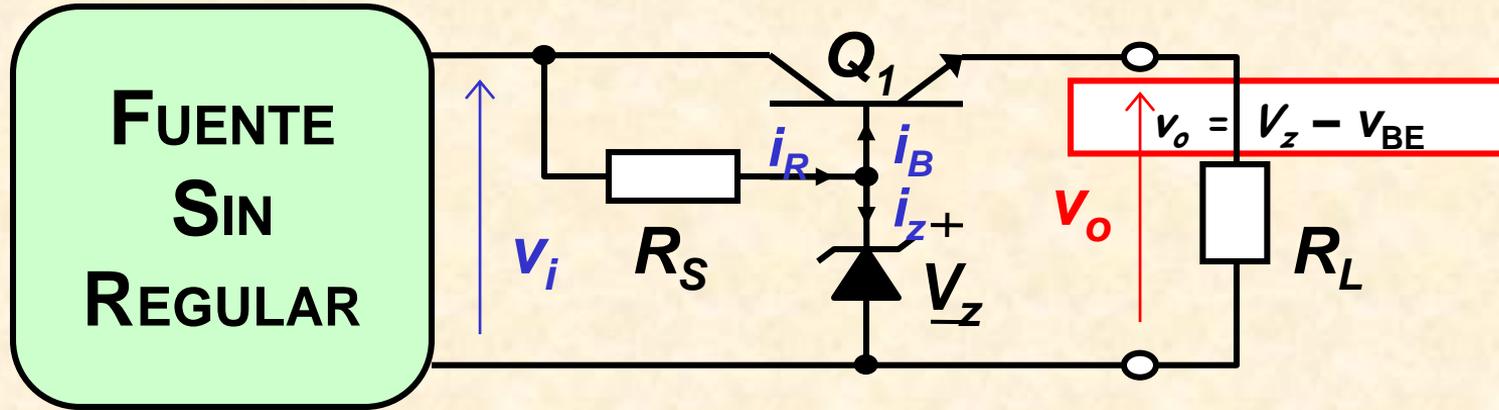
- Menor calentamiento del zener
- El voltaje v_o se ve menos afectada por las variaciones de v_i

➤ Principal inconveniente:

- Si el circuito se diseña para suministrar corrientes de salida elevadas, el diodo zener debe ser capaz de soportar esas corrientes
→ zener de potencia

ESTABILIZADOR

Con diodo zener y transistor serie



- La potencia generada por la diferencia de voltaje entre v_i y v_o se disipa fundamentalmente en el transistor
- La resistencia R_S aumenta su valor $\rightarrow R_{S(\max)} = \frac{V_{i(\min)} - V_Z}{I_{Z(\min)} + \frac{I_{o(\max)}}{\beta + 1}}$
- No se necesita un zener capaz de soportar corrientes elevadas

REGULACIÓN DE VOLTAJE

Introducción

- **Los circuitos estabilizadores tienen algunas limitaciones:**
 - La exactitud del voltaje de salida depende en gran medida de las características de los dispositivos electrónicos utilizados.
 - Carecen de un mecanismo de control del voltaje de salida que detecte y contrarreste sus posibles variaciones.
- **Regulador lineal → mantiene el voltaje de salida constante**
 - Sistema realimentado negativamente para mantener el voltaje de salida constante ante variaciones de carga y/o voltaje de entrada.

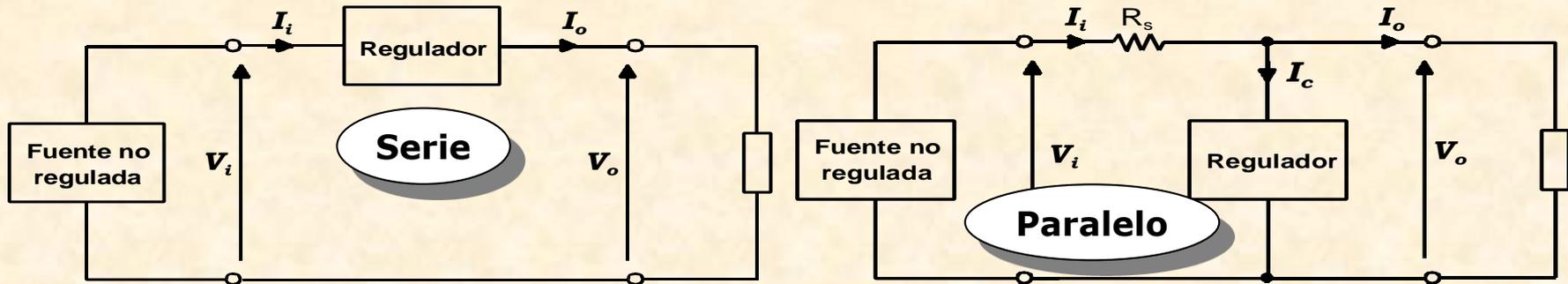


REGULACIÓN DE VOLTAJE

Introducción

➤ Existen dos tipos de reguladores: serie y paralelo

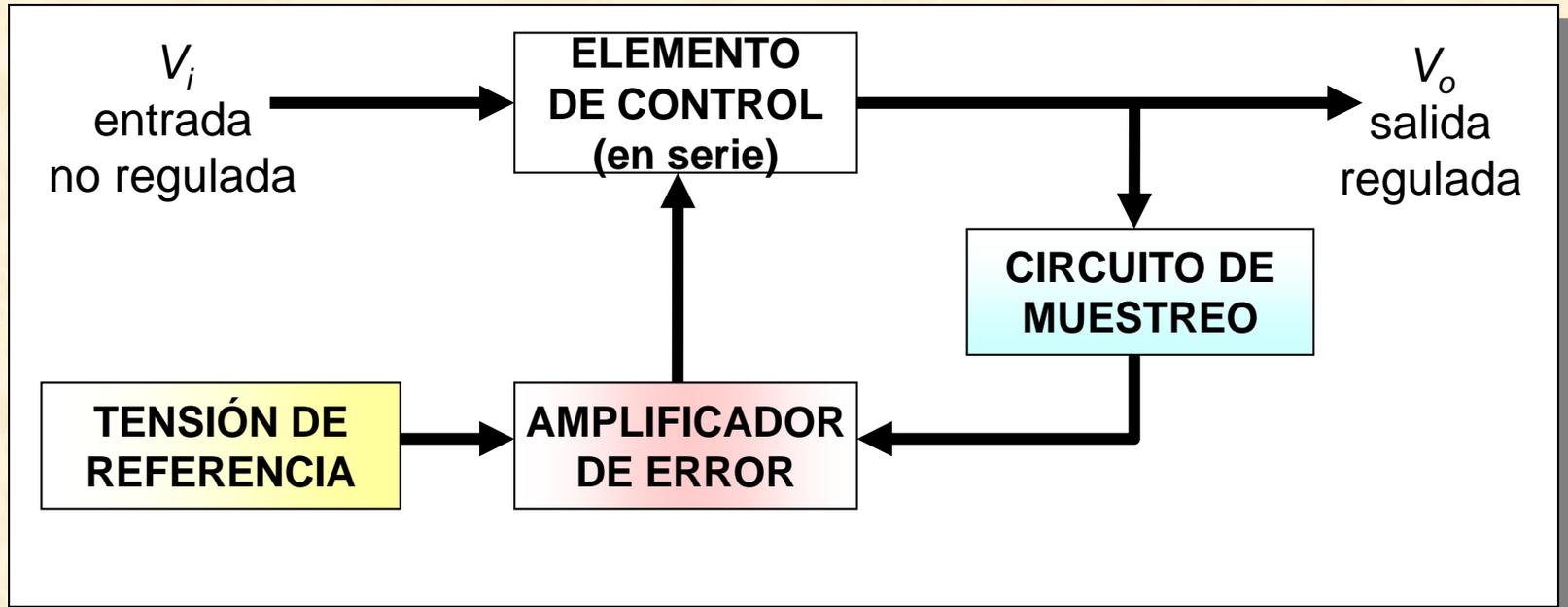
- Las posibles variaciones del voltaje de salida debido a cambios en el voltaje no regulado y en la corriente de salida se compensan con variaciones de:
 - La caída de voltaje en un elemento situado en serie con la carga → **Regulador serie**
 - La corriente en un elemento situado en paralelo con la carga → **Regulador paralelo**
- En la práctica, el regulador serie es el más utilizado.



REGULACIÓN DE TENSIÓN

Regulador lineal básico

Diagrama de bloques típico de un regulador serie:



REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

Características de los bloques que lo constituyen:

➤ **Circuito de referencia:**

- Proporciona un voltaje de referencia estable.
- Se suele utilizar un circuito basado en diodo zener.
- Solución más simple → diodo zener + resistencia de polarización.

➤ **Circuito de muestreo:**

- Entrega una señal proporcional al voltaje de salida.
- Suele estar constituido por un divisor de voltaje resistivo situado a la salida del regulador.

➤ **Amplificador de error:**

- Compara la muestra el voltaje de salida con el voltaje de referencia y genera una señal de error proporcional a la diferencia entre ambas.

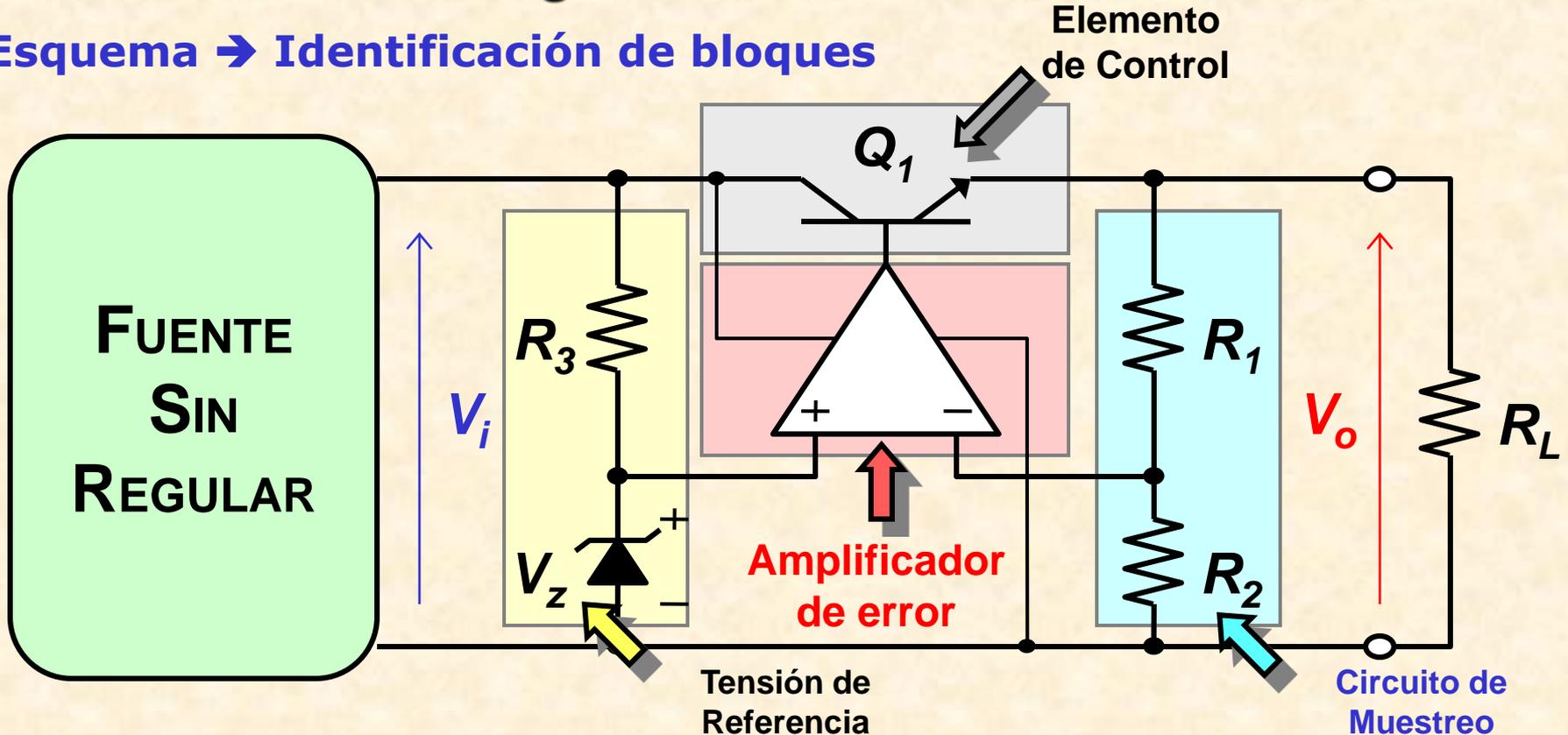
➤ **Elemento de control:**

- Su misión es interpretar la señal de error y corregir las variaciones de voltaje de salida.
- Suele estar constituido por un transistor bipolar (normalmente NPN) conectado en serie entre la entrada y la salida.

REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

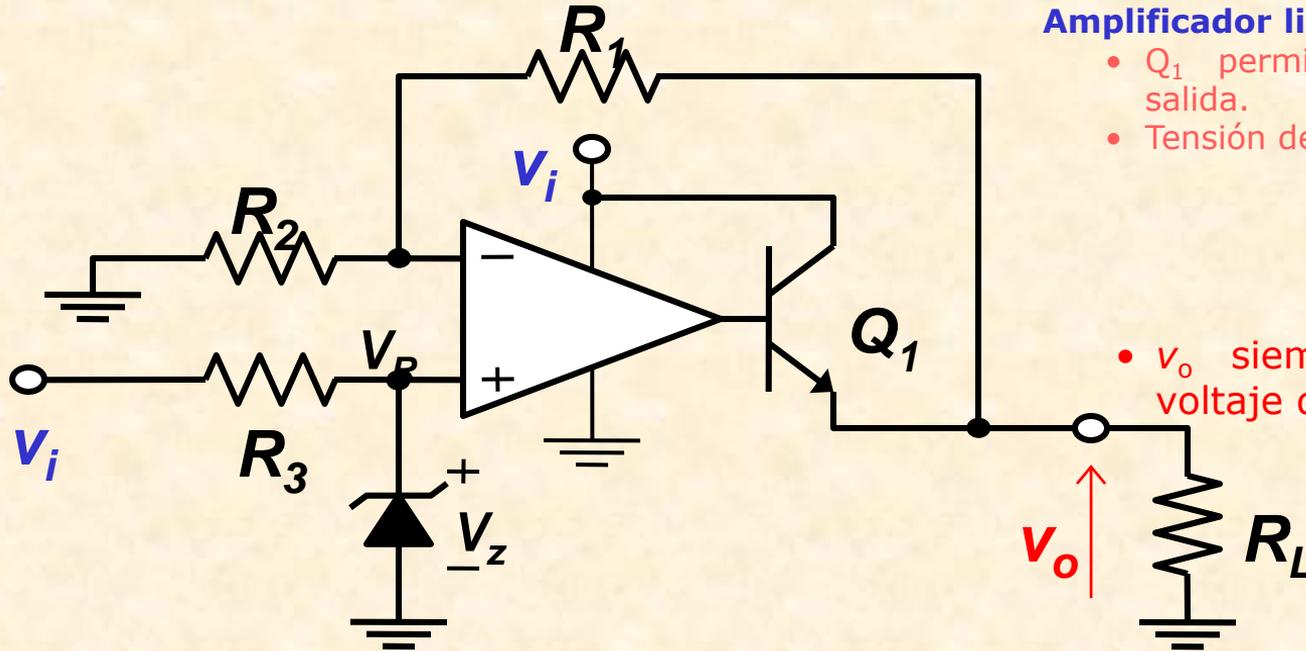
Esquema → Identificación de bloques



REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

Representación alternativa del regulador.



Amplificador lineal no inversor

- Q_1 permite entregar más corriente de salida.
- Tensión de referencia $\rightarrow V_R = V_Z$

$$V_o = V_R \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

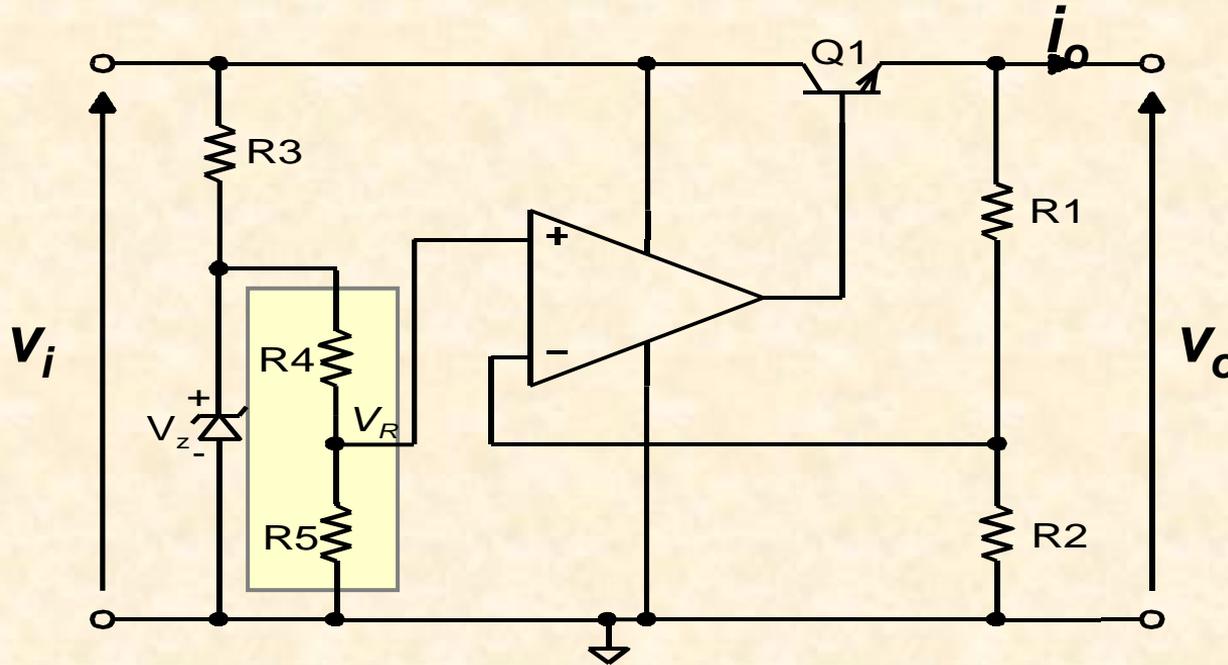
- v_o siempre será mayor que el voltaje de referencia.

REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

¿Cómo obtener un voltaje de salida menor que la tensión de referencia?

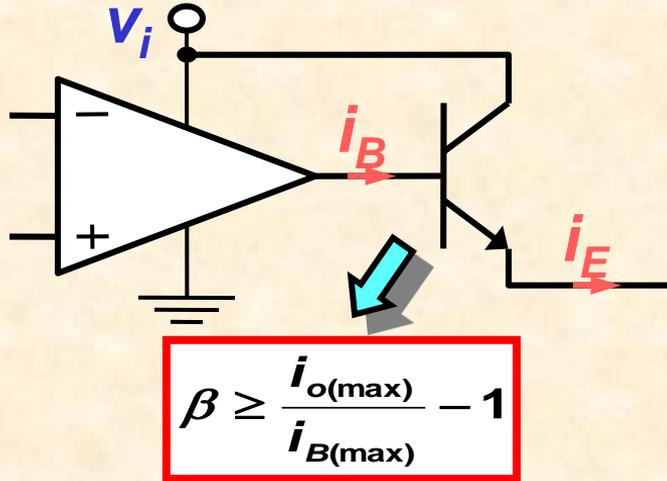
- Solución más simple → divisor de voltaje resistivo



REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

➤ A tener en cuenta:



El transistor deberá poder soportar:

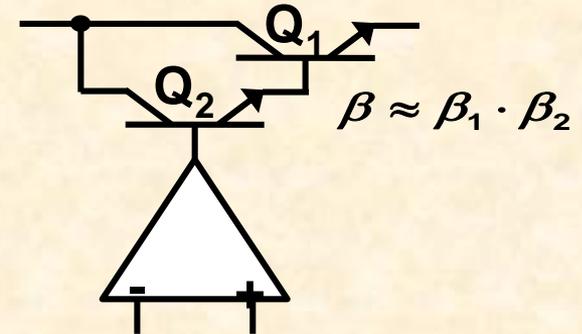
- La corriente máxima de salida.
- La caída de voltaje máxima entrada-salida.
- La disipación de potencia correspondiente.

La corriente de base que demanda el transistor es aportada por el operacional:

- Esta corriente debe permitir cubrir todo el rango de corrientes de salida ($i_o \approx i_E$):

$$i_B = \frac{i_E}{\beta + 1} \approx \frac{v_o}{(\beta + 1) \cdot R_L}$$

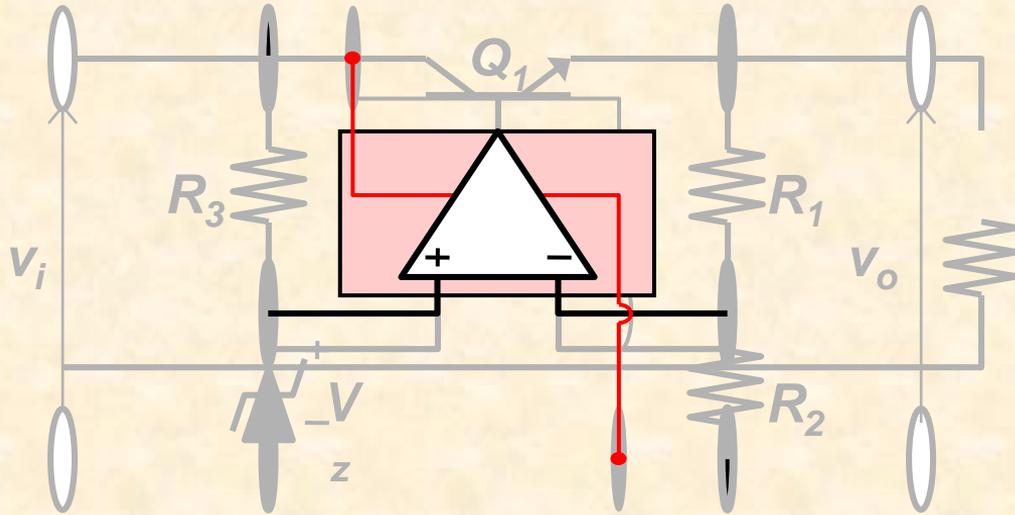
- Para corrientes de salida elevadas, la ganancia de un sólo transistor puede ser insuficiente → montaje Darlington



REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

➤ A tener en cuenta:



El A. O. está alimentado desde una fuente no estabilizada.

- Su comportamiento no varía con las variaciones de V_{cc} .
- Su voltaje de salida está limitada por los voltajes de saturación.

Hay que asegurar que el A.O. trabaja en zona lineal.

- $V_{o(AO)} < V_{cc} - 2$

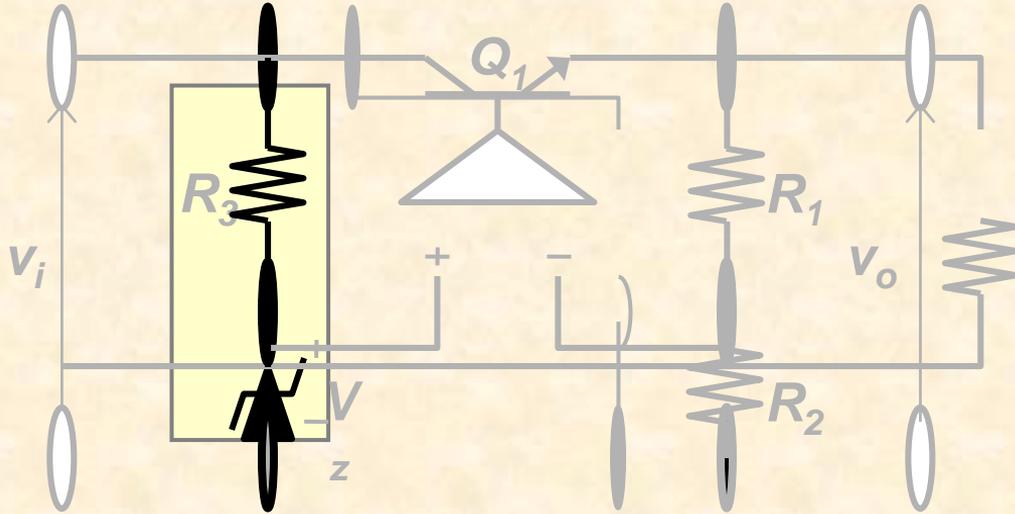
↓

$$V_i > V_o + V_{BE} + 2$$

REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

➤ A tener en cuenta:



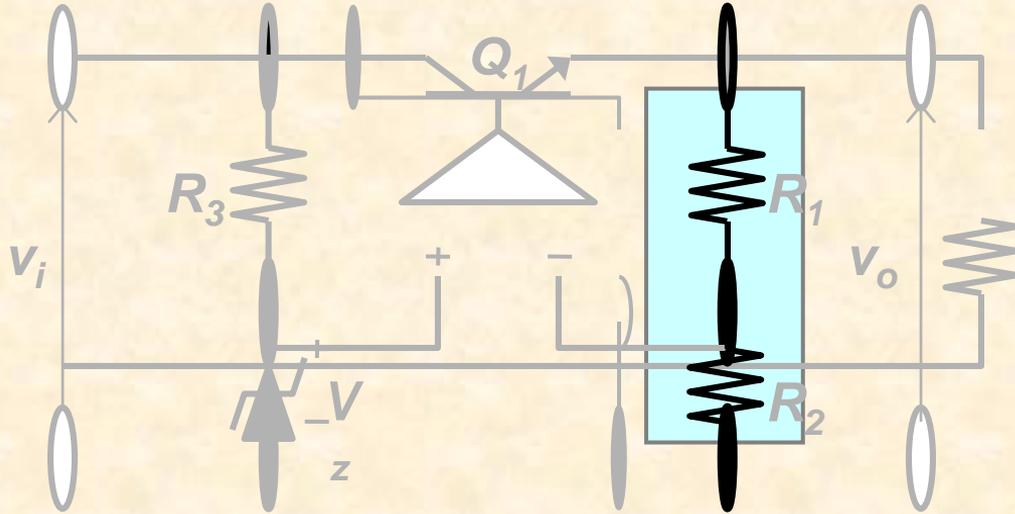
Tensión de referencia.

- Circuito muy sencillo.
- Eligiendo R_3 con un valor suficientemente elevado se reduce la influencia del rizado de v_i .
- Se pueden utilizar también LEDs, diodos rectificadores, circuitos integrados de referencia (p. e. LM336)...

REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

➤ A tener en cuenta:



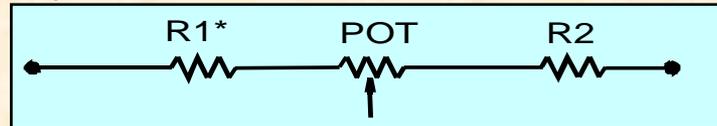
Circuito de muestreo.

- Circuito muy sencillo.
- La corriente que absorbe debe ser despreciable frente a la corriente por la

Valores de R_1 y R_2 elevados comparados con la carga.

Quando se necesita que v_o sea ajustable:

- Se sustituye el divisor resistivo por un divisor potenciométrico.



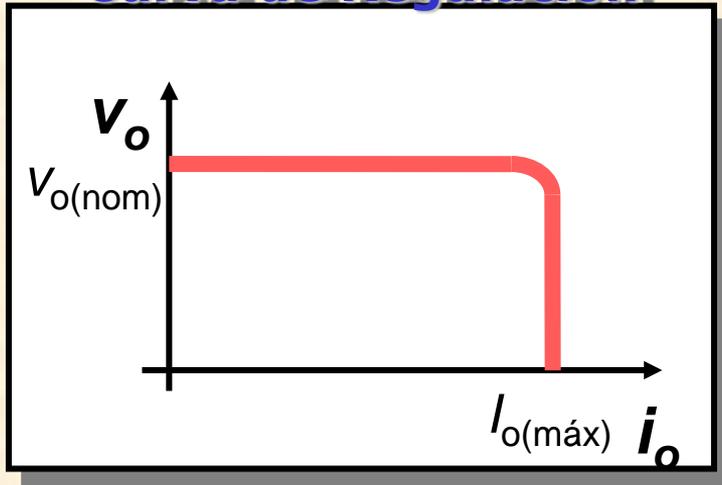
REGULACIÓN DE VOLTAJE

Protección contra sobrecargas

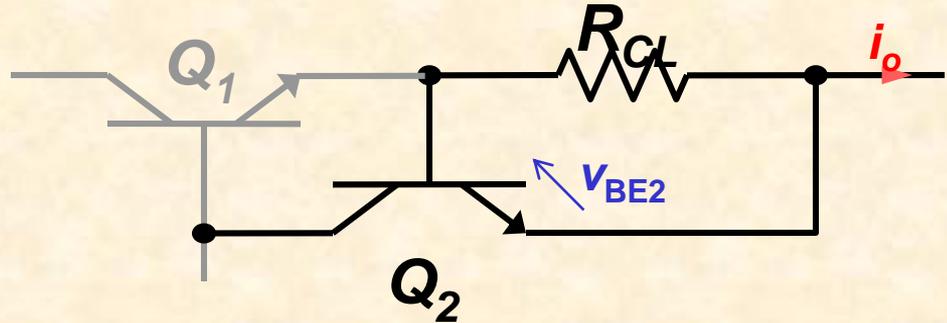
➤ Limitación a corriente constante.

- Si $i_o < I_{o(max)}$, se tiene $v_o = v_{o(nom)}$.
- Cuando $i_o > I_{o(max)}$, v_o disminuye $\rightarrow 0 \leq v_o \leq v_{o(nom)}$.

Curva de Regulación



En cortocircuito: $P_{Q1} \approx v_i \cdot I_{o(max)}$



Cuando Q_2 conduce, le "roba" corriente de base a Q_1 .

- Se limita así el valor de i_o .
- El valor de $I_{o(max)}$ se fija con R_{CL} .

$$I_{o(max)} = I_{SC} = \frac{V_{BE2(ON)}}{R_{CL}}$$

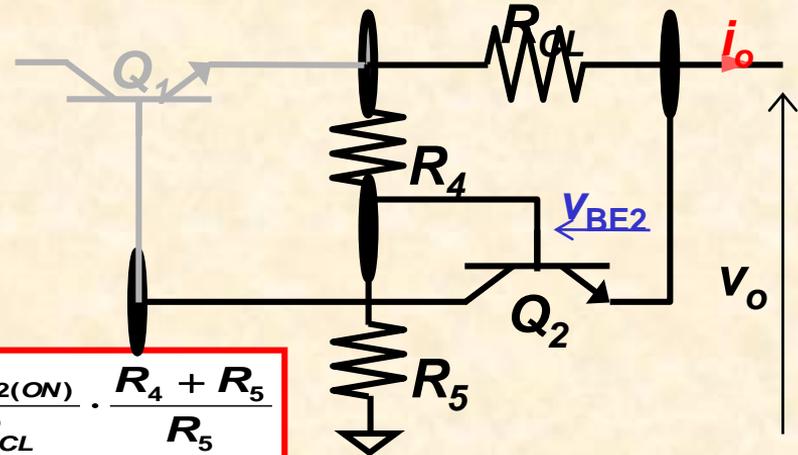
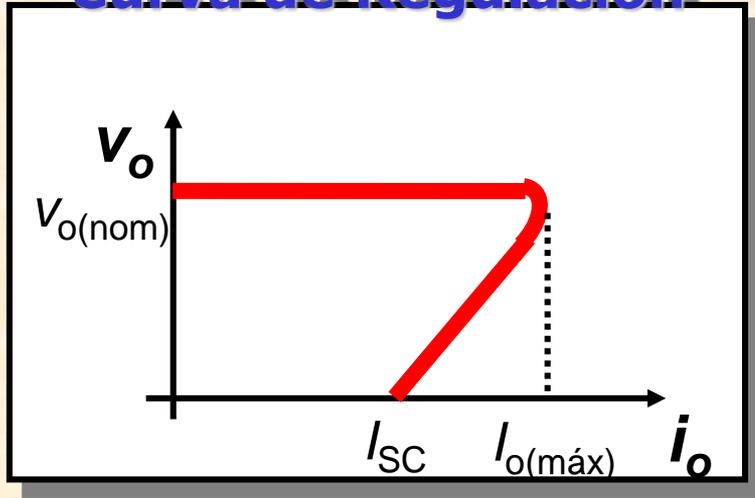
REGULACIÓN DE VOLTAJE

Protección contra sobrecargas

➤ Limitación a corriente regresiva o *foldback*.

- Permite reducir la disipación de potencia en el elemento de control bajo condiciones de cortocircuito $\rightarrow I_{SC} < I_{o(max)}$.
- La tensión B-E de Q2 no sólo depende de la corriente de salida, sino también de la tensión de salida.

Curva de Regulación



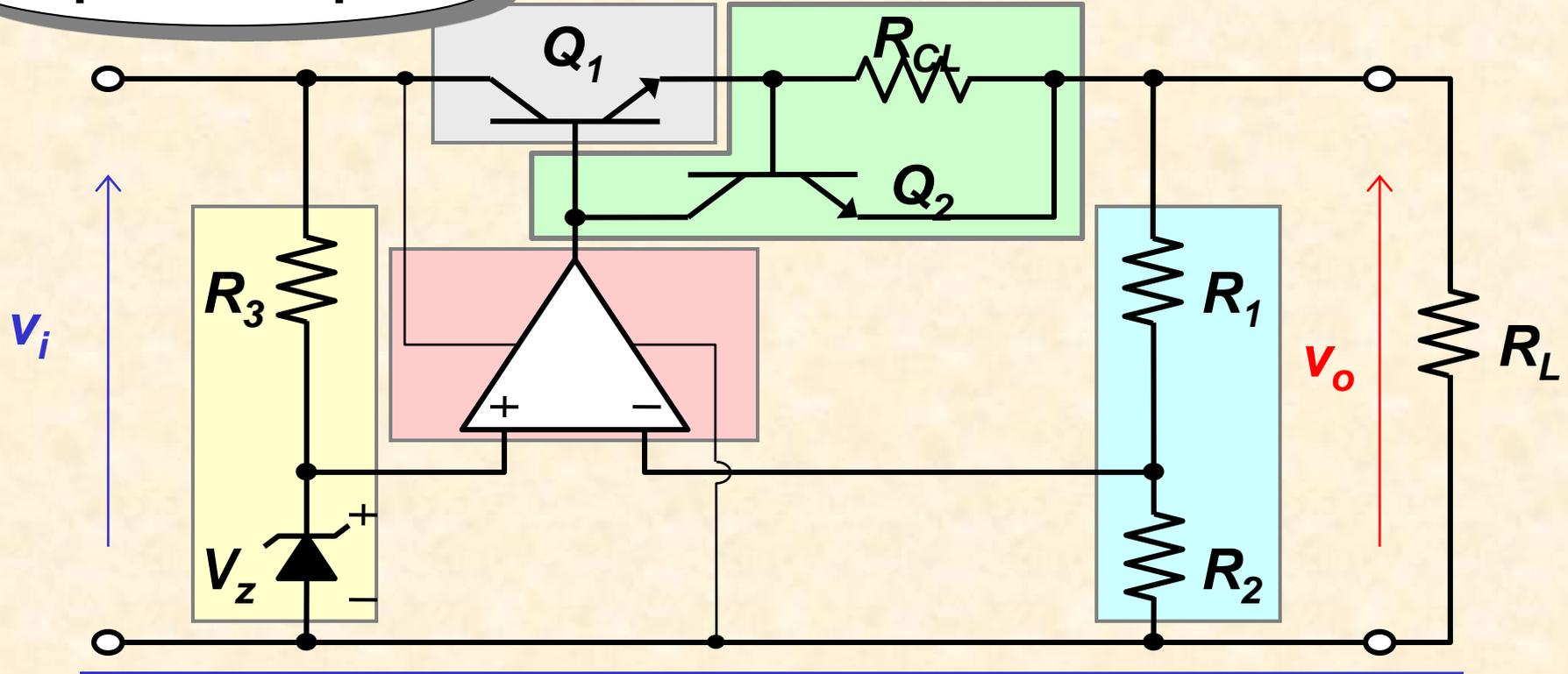
$$I_{SC} = \frac{V_{BE2(ON)}}{R_{CL}} \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_5}$$

$$I_{o(max)} = \frac{V_{BE2(ON)}}{R_{CL}} \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_5} + \frac{v_o}{R_{CL}} \cdot \frac{R_4}{R_5}$$

REGULACIÓN DE VOLTAJE

Regulador lineal básico

Esquema completo



REGULADORES INTEGRADOS

Introducción

➤ **Surgieron debido a la necesidad de utilizar reguladores de voltaje en las fuentes de alimentación.**

- Primera generación → componentes de aplicación general.
- La gran demanda de determinadas tensiones de alimentación (por ejemplo, 5V) condujo a la realización de reguladores de tensión fija, con sólo tres terminales.
 - bajo costo y facilidad de empleo.
- Posteriormente se desarrollaron reguladores de tensión ajustable de tres terminales.
 - bajo costo + facilidad de empleo + gran versatilidad.

➤ **Una posible clasificación:**

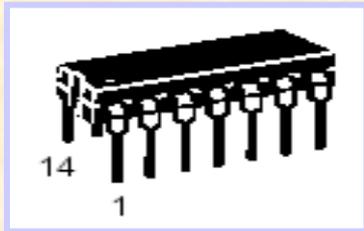
- Reguladores de múltiples terminales.
- Reguladores de tres terminales:
 - de tensión fija:
 - positiva
 - negativa
 - de tensión ajustable:
 - positiva
 - negativa

REGULADORES INTEGRADOS

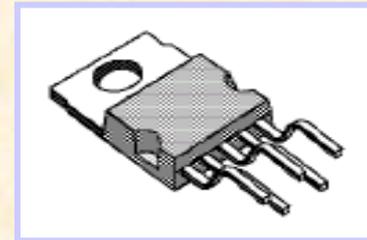
Reguladores de múltiples terminales

- Su estructura interna se corresponde con la del regulador lineal básico.
- Muchas de las partes del circuito son independientes y pueden ser conectadas por el usuario.
- Son dispositivos versátiles que simplifican el diseño de fuentes de alimentación lineales.
- Los componentes más representativos de esta familia son:

- **μ A723 (14 terminales)**



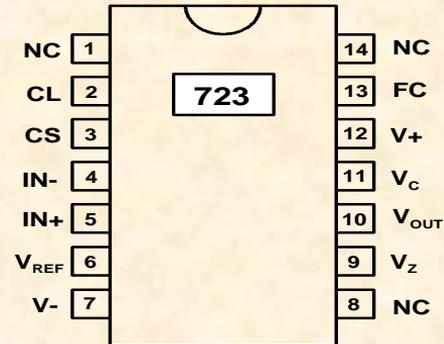
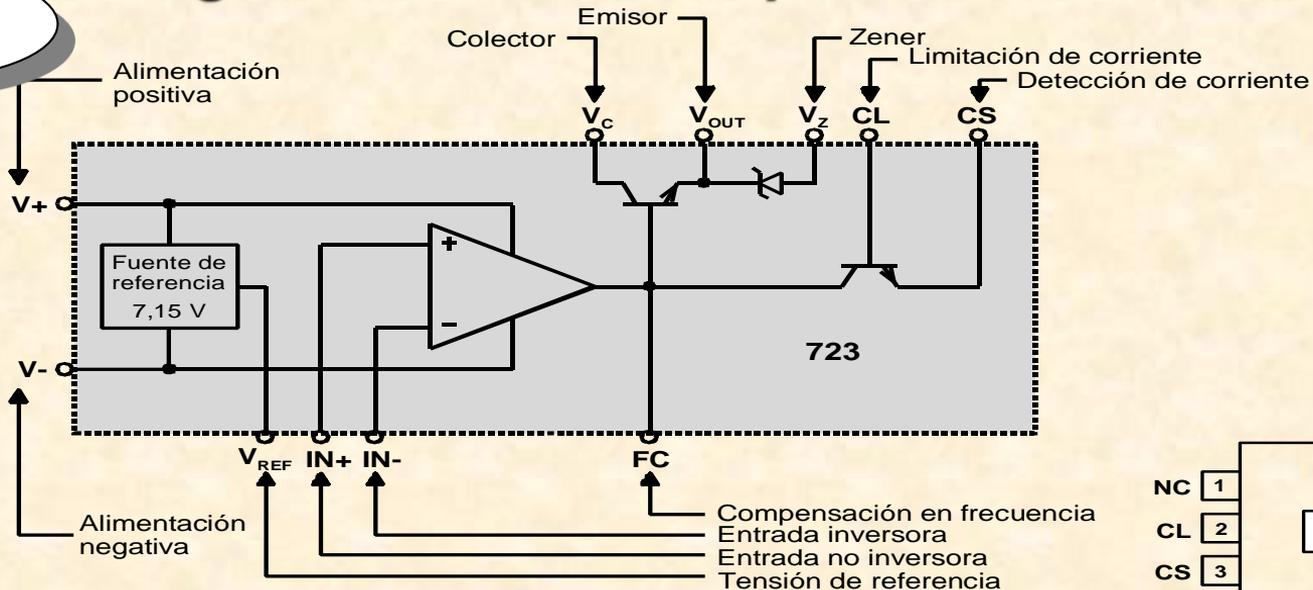
- **L200 (5 terminales).**



REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores de múltiples terminales

μ A723



- Un amplificador de error
- Una fuente de referencia
- Un transistor como elemento de control
- Un transistor para limitación de corriente
- Un zener para aplicaciones especiales
- Un terminal para compensación en frecuencia

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores de múltiples terminales

μ A723

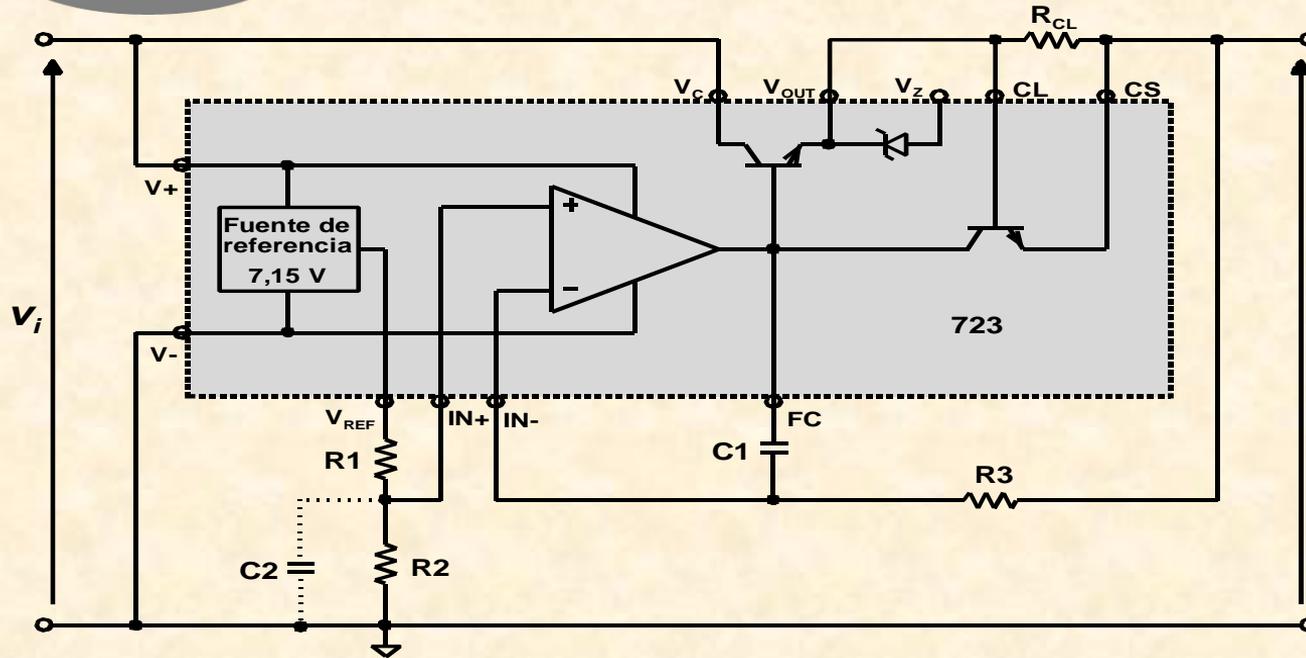
➤ Principales características eléctricas:

- voltaje de entrada
 - Máxima..... 40 V.
 - Mínima 9,5 V.
- Diferencia entre entrada y salida
 - Máxima..... 38 V.
 - Mínima.....3 V.
- voltaje de salida..... 2 a 37 V.
- Corriente máxima de salida.....150 mA.
- voltaje de referencia típica.....7,15 V.
- Corriente máxima en el terminal de referencia....15 mA.
- Corriente de cortocircuito para $R_{CL} = 10 \Omega$65 mA.
- Máxima disipación de potencia.....900 mW.

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores de múltiples terminales

μ A723



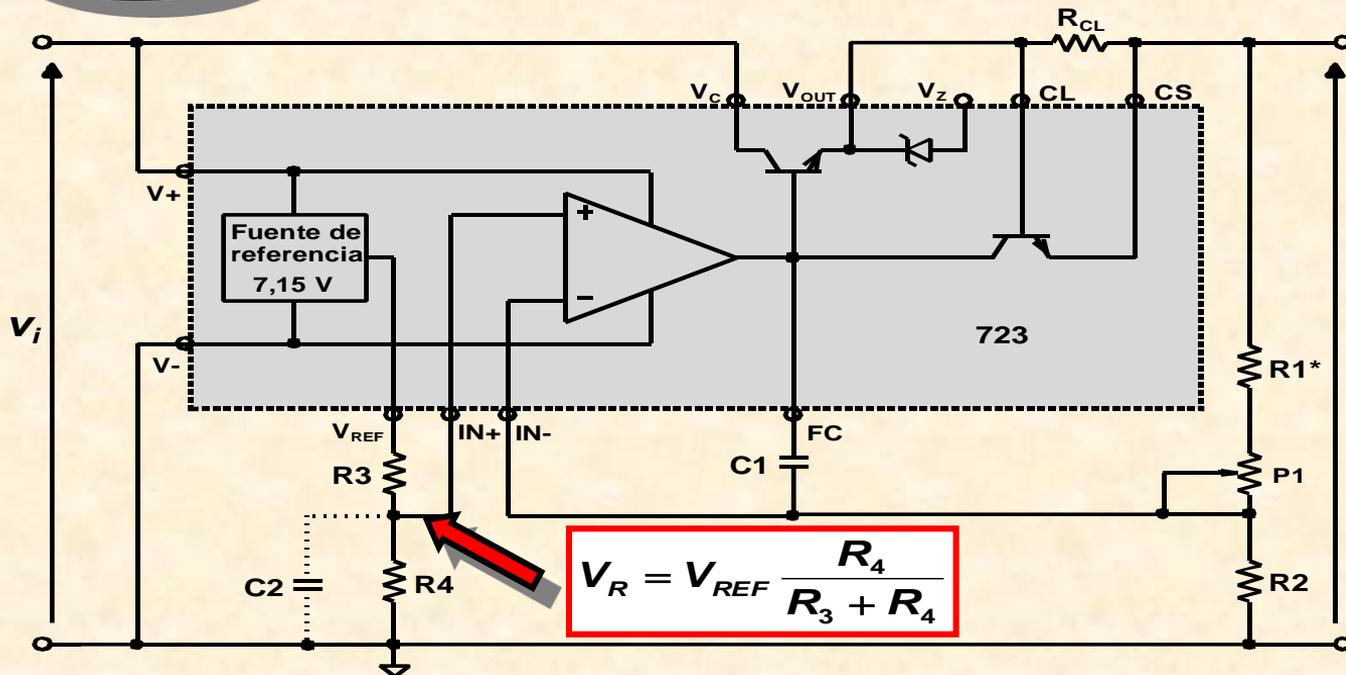
$$V_o = V_{REF} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

voltaje de salida inferior a la de referencia (2 a 7 V)

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores de múltiples terminales

μ A723



$$V_o = V_R \left(1 + \frac{R_1 + \alpha P_1}{R_2} \right)$$

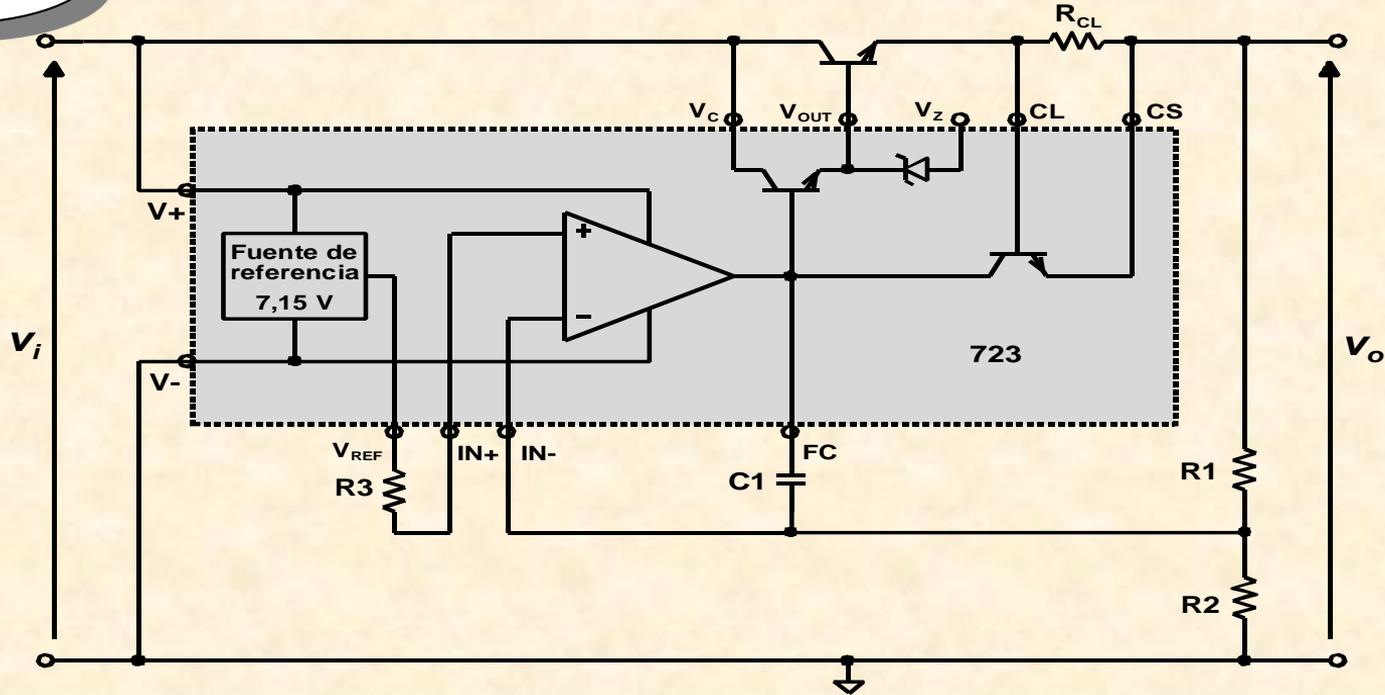
$$V_R = V_{REF} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Salida ajustable con voltaje mínimo inferior a la de referencia.

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores de múltiples terminales

$\mu A723$

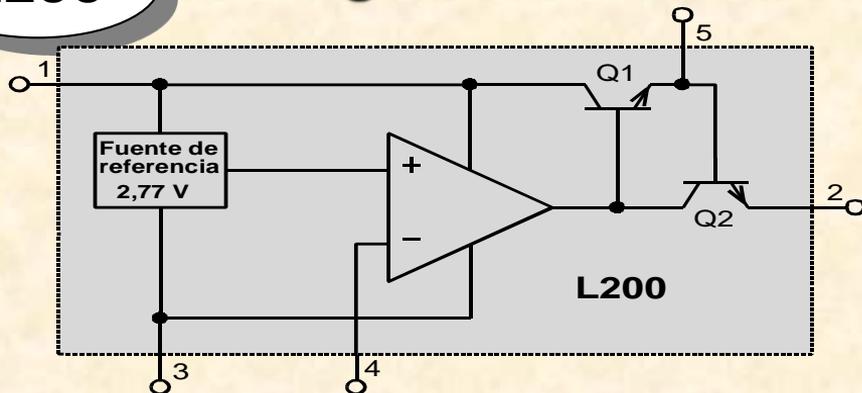


Aumento de la corriente máxima mediante transistor externo (tensión de salida superior a la de referencia)

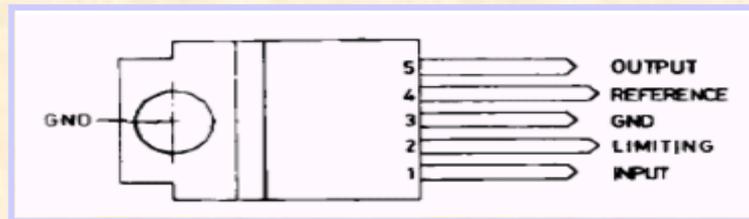
REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores de múltiples terminales

L200



Circuito equivalente



Disposición de terminales

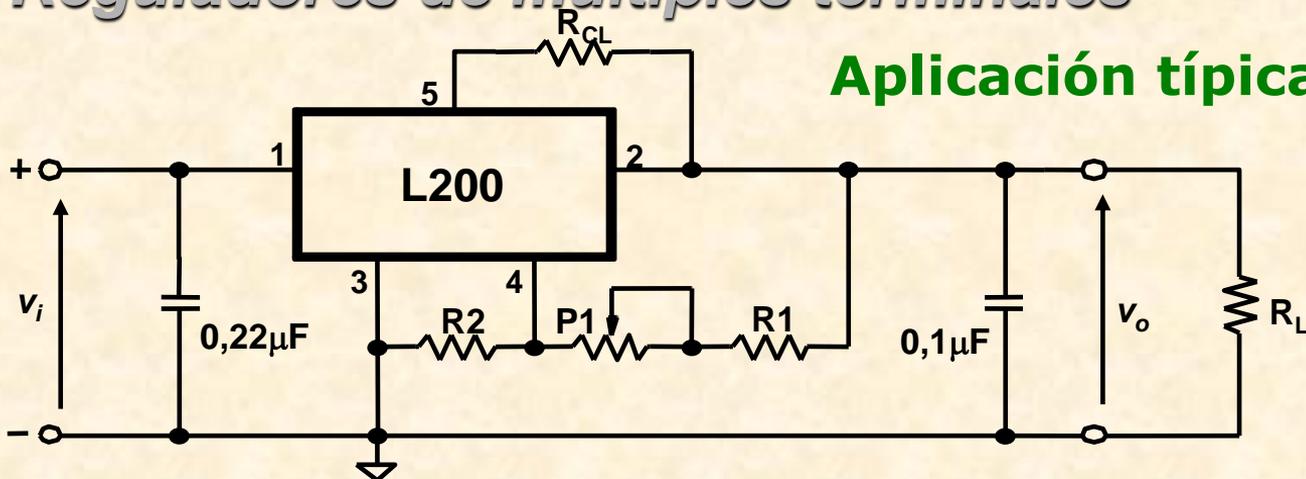
- Regulador de voltaje positivo, ajustable desde 2,85 a 36 V.
- Admite voltajes de entrada de hasta 40 V.
- Es capaz de suministrar hasta 2 A, sin transistor externo.
- Incluye limitación de corriente, limitación de potencia, protección térmica y protección contra sobretensiones de entrada (hasta 60 V).
- La corriente máxima de salida se fija con una resistencia de bajo valor.
- El voltaje de salida se fija con dos resistencias o, si se requiere una salida variable, con una resistencia y un potenciómetro.

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores de múltiples terminales

L200

Aplicación típica



- El voltaje de salida se obtiene como:

$$V_o = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1 + \alpha P_1}{R_2} \right) \text{ con } V_{REF} = 2,77 \text{ V típico.}$$

- La corriente máxima de salida viene dada por:

$$I_{o(\max)} = \frac{V_{5-2}}{R_{CL}} \text{ con } V_{5-2} = 0,45 \text{ V típico.}$$

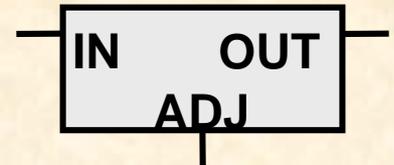
REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores de tres terminales

- Incorporan en un único encapsulado de tres terminales todos los elementos necesarios para conseguir un voltaje de salida regulada.
- Proporcionan un medio sencillo, práctico y barato para implementar fuentes de alimentación reguladas lineales.

- **Se pueden clasificar en dos grupos:**

- Reguladores **fijos**: proporcionan un voltaje de salida fija, positiva o negativa.
- Reguladores **ajustables**: permiten variar el voltaje de salida añadiendo unos pocos componentes externos. Dicha tensión puede ser positiva o negativa.



REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

- La serie de reguladores 78XX proporciona tensiones positivas, mientras que la serie 79XX lo hace con tensiones negativas.
- Los dos últimos dígitos, marcados como XX, indican la tensión de salida regulada.

Tipo	$I_{o(max)}$ (A)
78LXX-79LXX	0,1
78MXX-79MXX	0,5
78XX-79XX	1
78TXX-79TXX	3

Tipo	V_o (V)	$V_{i(min)}$ (V)	$V_{i(max)}$ (V)
7805	5	7	35
7806	6	8	35
7808	8	10	35
7809	9	11	35
7810	10	12	35
7812	12	14	35
7815	15	17	35
7818	18	20	35
7824	24	26	40
79XX	Los mismos valores que arriba pero negativos		

- Se encuentran en el catálogo de numerosos fabricantes:
 - LM78XX ⇒ National Semiconductor, Fairchild.
 - UA78XX ⇒ Texas Instruments
 - MC78XX ⇒ Motorola, ON Semiconductors,...

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Características básicas

- **Dispone de todos los elementos indicados para un regulador lineal básico, a los que se han añadido ciertas prestaciones:**
 - Limitación de la corriente máxima de salida en función de la diferencia de tensión entrada-salida → limitación de potencia.
 - Protección térmica → se llega a desconectar el elemento de control.
 - Amplificador de error compensado internamente
 - Tensión de referencia de bajo ruido y gran estabilidad.

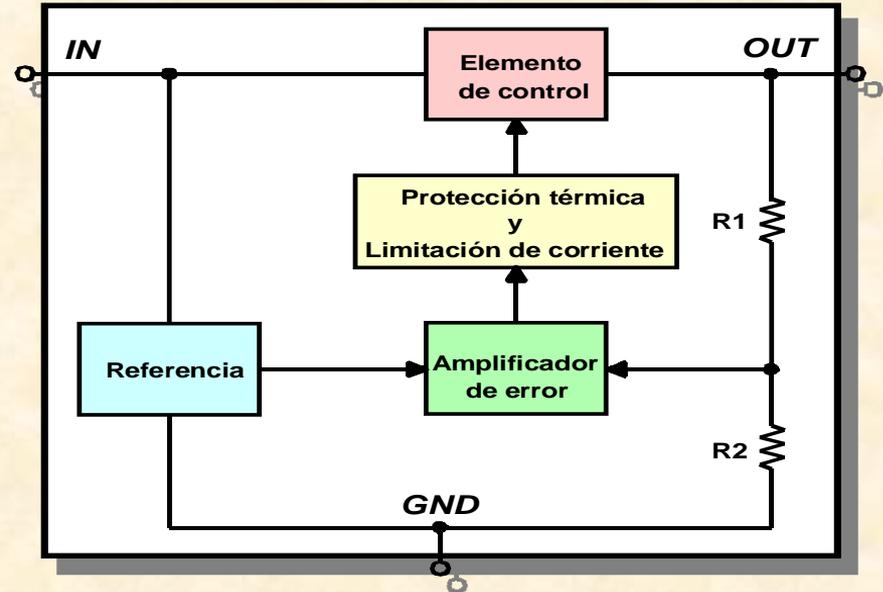


Diagrama de bloques

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Encapsulados

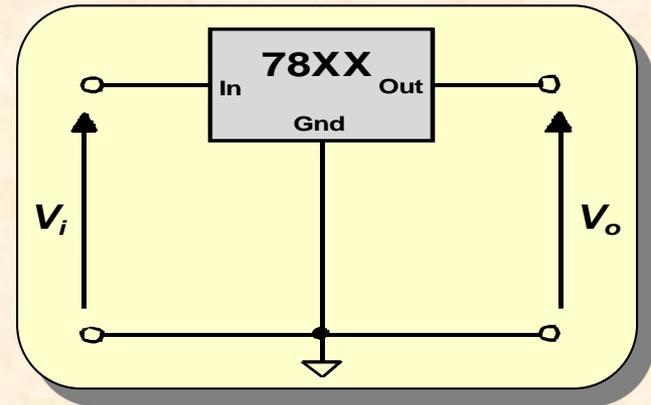
Boîtier TO-3		Boîtier TO-39 (métal)	
78XX 78TXX LM323	79XX	78LXX 78MXX	79LXX
Vue de dessous Boîtier = M	Vue de dessous Boîtier = E	Vue de dessous M S E	Vue de dessous E S M
 S M E	 S E M	 E M S	 M E S
Boîtier TO-220		Boîtier TO-92 (plastique)	
78XX 78MXX 78TXX	79XX 79MXX	78LXX	79LXX
Vue de face S M E	Vue de face S E M	Vue de dessous S M E	Vue de dessous M E S
 E M S	 M E S	 E M S	 S E M

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Reguladores positivos

- Ningún componente externo es indispensable.
- La entrada puede proceder de una fuente no estabilizada o de una alimentación continua de la que ya se disponga.
- La tensión de entrada debe ser superior a la de salida en, al menos, 2÷3 voltios (depende del fabricante).



REGULADORES INTEGRADOS

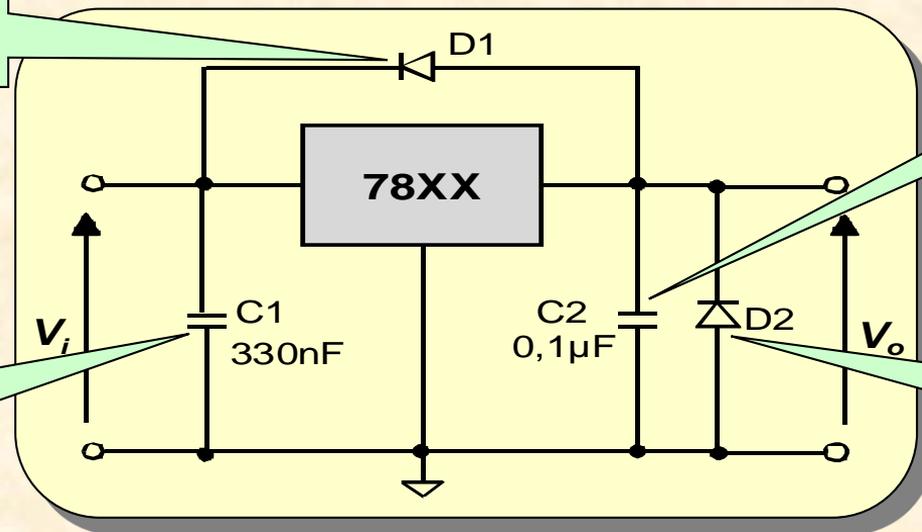
Reguladores fijos de tres terminales

Reguladores positivos

- En algunas ocasiones resulta conveniente añadir algunos componentes suplementarios al montaje básico.

Protege al regulador frente a la descarga de C2, si la tensión V_i disminuye o se anula

Sólo es necesario si el regulador está "lejos" de la fuente sin regular



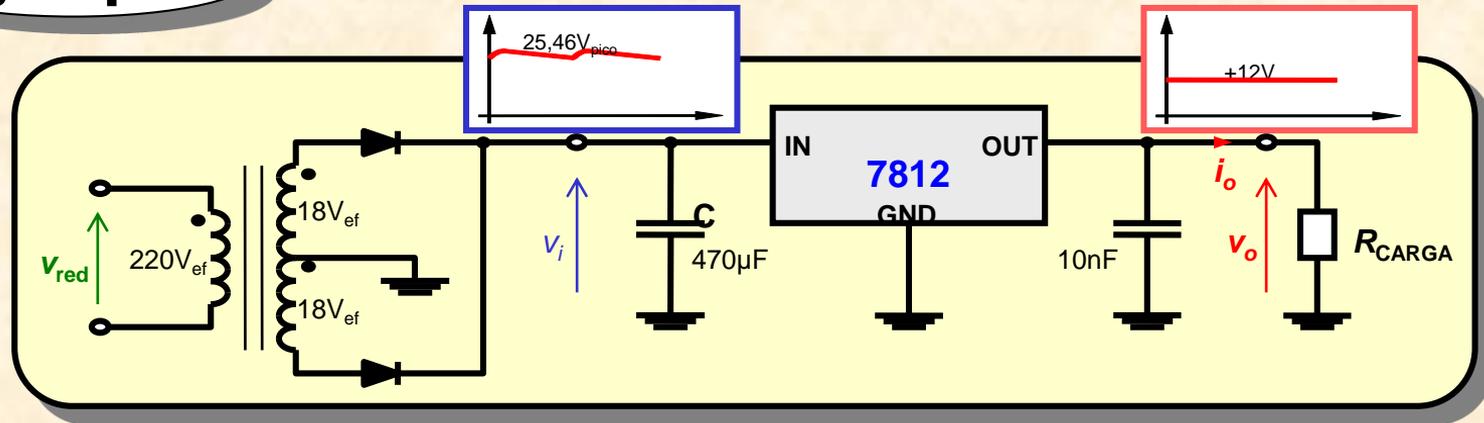
Mejora la respuesta transitoria del regulador

Protección contra inversiones de polaridad en la salida

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Ejemplo



- Conviene elegir la relación de espiras del transformador más adecuada para minimizar disipación de potencia.
- El condensador C debe asegurar que v_i nunca disminuye por debajo del valor mínimo permitido.
 - La corriente de descarga es i_o .

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Especificaciones

voltaje de salida (*Output Voltage*).

Valores típico, mínimo y máximo.

Regulación de salida (*Load Regulation*).

Máxima variación en v_o cuando la corriente i_o varía en un rango dado.

Caída de voltaje (*Dropout Voltage*)

Mínimo valor de la diferencia de tensión entre entrada y salida.

Corriente de polarización o de reposo (*Quiescent current*)

Corriente que necesita el regulador para su funcionamiento.

Corriente de salida en cortocircuito (*Short-Circuit Current*).

Cantidad de corriente que puede entregar el regulador.

Corriente de salida de pico (*Peak Output Current*).

Máxima corriente de salida que puede entregar el regulador.

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units		
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V					
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max			
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V		
		$P_D \leq 15\text{ W}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$ $V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V		
			(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)				(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)				
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		3	50		4	120		4	150	mV	
			ΔV_{IN}		(7 $\leq V_{\text{IN}} \leq 25$)			(14.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			(17.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)			
			$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$						50		120		150	mV
		$I_O \leq 1\text{ A}$	ΔV_{IN}				(8 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(15 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)			(18.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 30$)	V
			$T_J = 25^{\circ}\text{C}$			50			120			150		mV
			$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$							(7.5 $\leq V_{\text{IN}} \leq 20$)			(14.6 $\leq V_{\text{IN}} \leq 27$)	
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$		10	50		12	120		12	150	mV	
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$			25			60			75	mV	
			$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}, 0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$			50			120			150	mV	
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		8			8			8	mA		
			$0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$			8.5			8.5			8.5	mA	

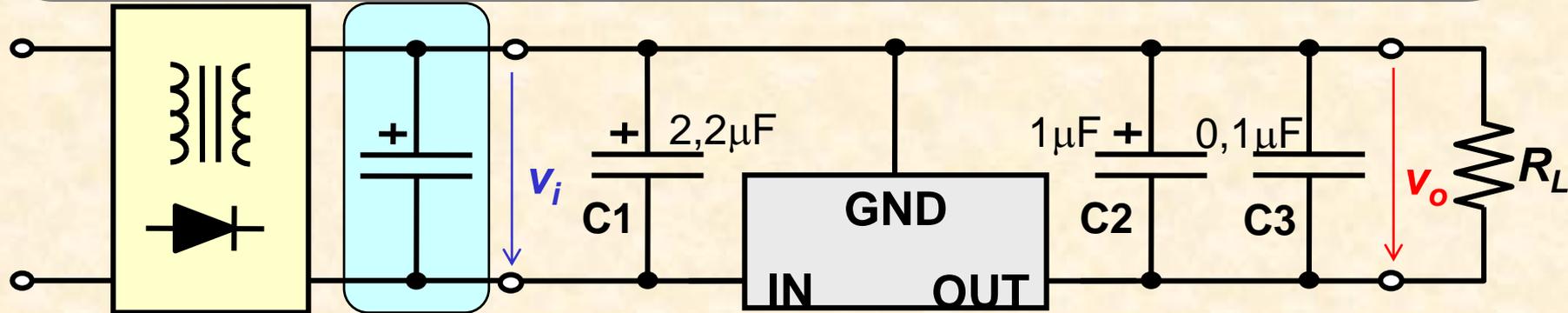
REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Reguladores negativos

➤ Serie 79XX.

- Análogos a los reguladores positivos de la serie 78XX.
- Es necesario colocar un condensador en la salida para asegurar la estabilidad.
- Como en la serie 78XX, el condensador C1 sólo es necesario si el regulador está a una distancia apreciable del filtro y C3 mejora la respuesta transitoria.
- Todos los condensadores asociados al regulador deben estar colocados lo más cerca posible del mismo.



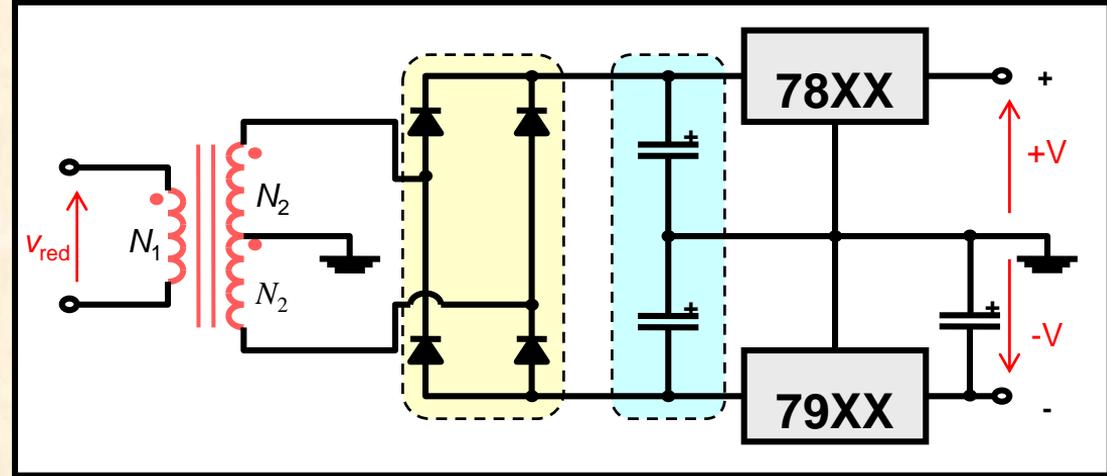
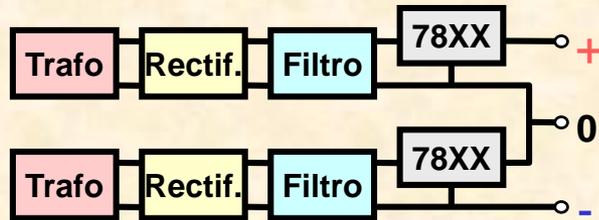
REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Reguladores negativos

- Facilitan la construcción de fuentes de alimentación simétricas.

- Aunque se pueden implementar fuentes simétricas con 78XX, habría que diseñar dos fuentes completas.

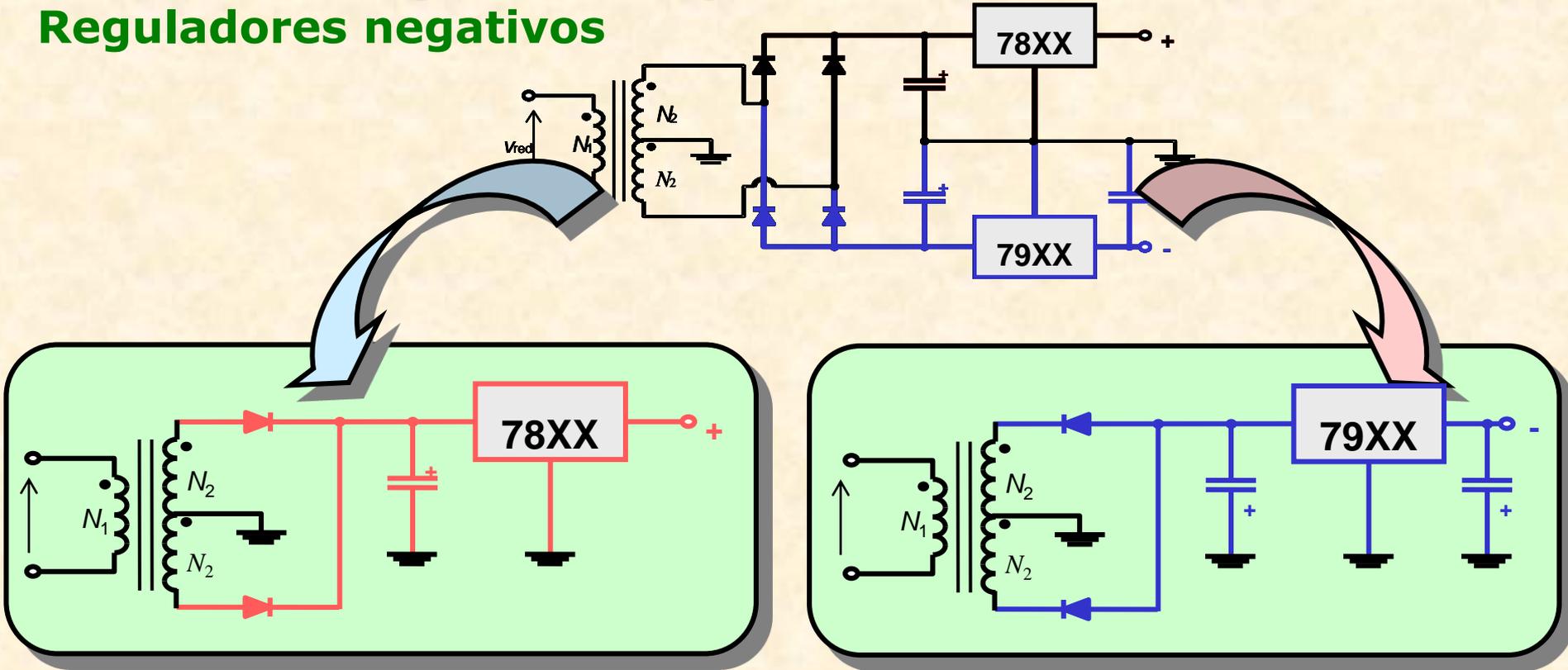


Utilizando 79XX se simplifica el diseño

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Reguladores negativos

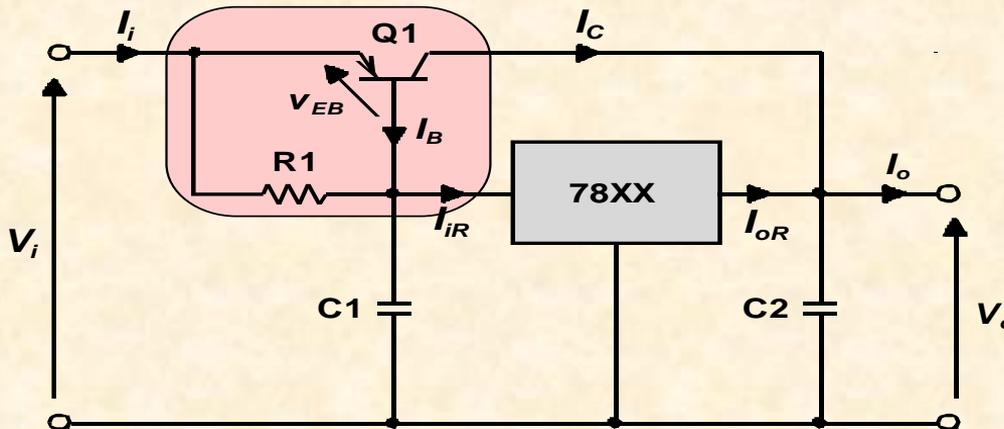


REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Aumento de la corriente de salida

- Se pueden manejar corrientes de salida elevadas añadiendo una resistencia y un transistor.
 - Transistor → se encarga de soportar la mayor parte de la corriente que circula hacia la carga.
 - Regulador → asegura la estabilidad del voltaje de salida.
- La diferencia de tensión mínima entrada-salida es mayor.
 - V_{EB} + Caída de voltaje mínimo en el regulador (2÷3 V).



$$R_1 = \frac{V_{EB}}{I_{iR} - \frac{I_c}{\beta}}$$

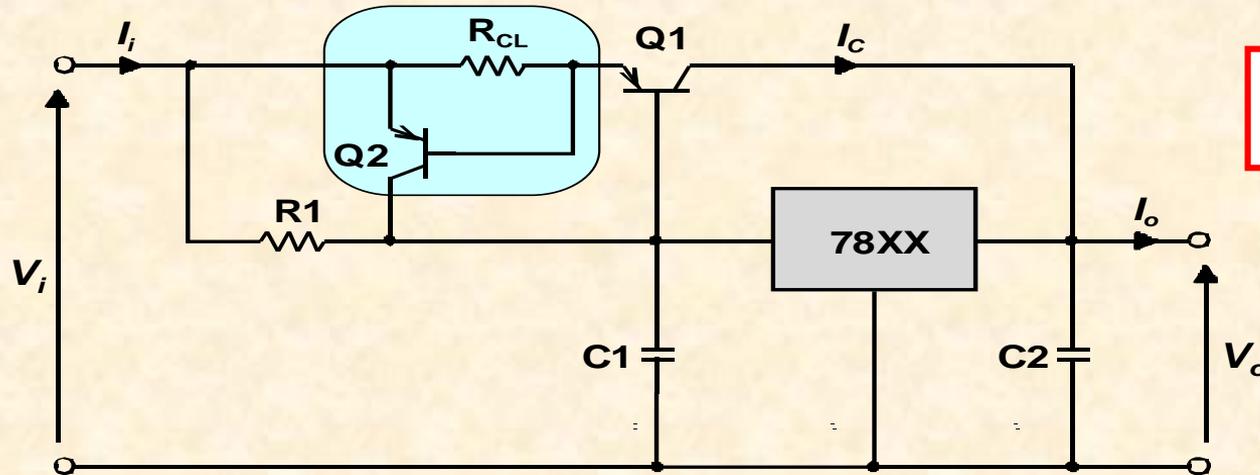
$$I_o = I_{oR} + I_c$$

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

Aumento de la corriente de salida

- El circuito anterior tiene el inconveniente de que el transistor no está protegido frente a cortocircuitos.
- Se puede conseguir dicha protección añadiendo un circuito de limitación a corriente constante.
 - Transistor suplementario asociado a una resistencia.



$$R_{CL} = \frac{V_{EB2(ON)}}{I_{C(max)}}$$

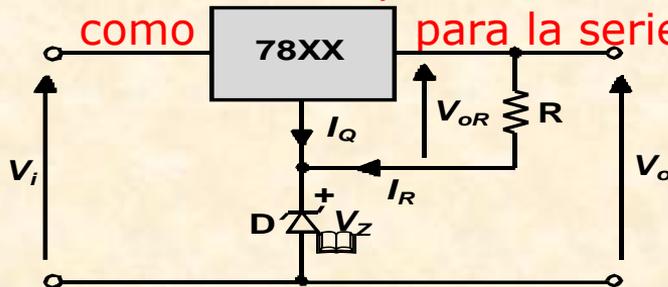
REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

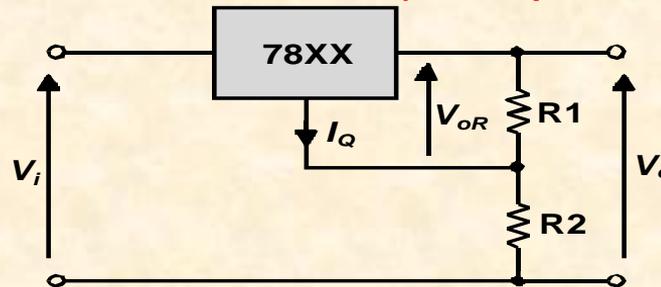
Aumento de la tensión de salida

- Con un regulador fijo también es posible obtener una tensión de salida diferente del valor nominal.
- Todos los métodos se basan en colocar el terminal común del regulador (Gnd/Common) a un potencial positivo.

- Es necesario permitir la circulación de corriente de reposo (8,5 mA como para la serie 78XX).



$$V_o = V_{oR} + V_Z$$

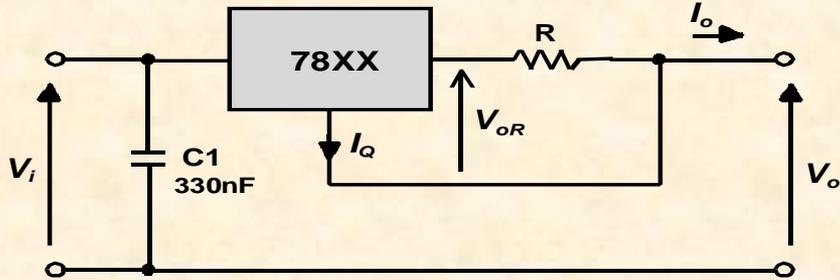


$$V_o = V_{oR} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_Q \cdot R_2$$

REGULADORES INTEGRADOS

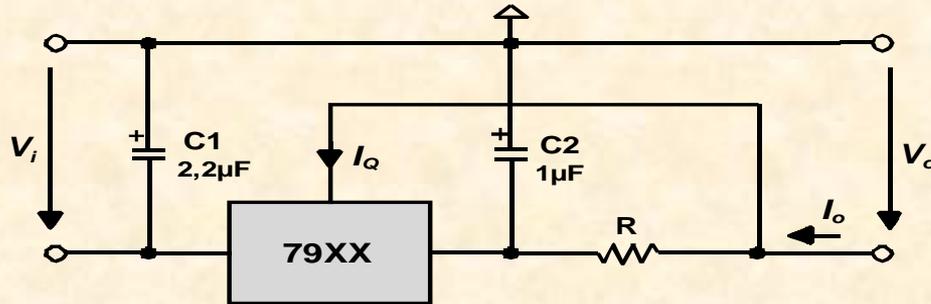
Reguladores fijos de tres terminales

Empleo como fuente de corriente



- El voltaje de salida del regulador se aplica sobre una resistencia, dando lugar a una corriente constante a su través.

$$I_o = \frac{V_{oR}}{R} + I_Q$$



- El voltaje de entrada debe ser suficiente para el funcionamiento del regulador.

- Suponiendo que la mínima caída de tensión entrada-salida para la serie 78XX es de 3 V:

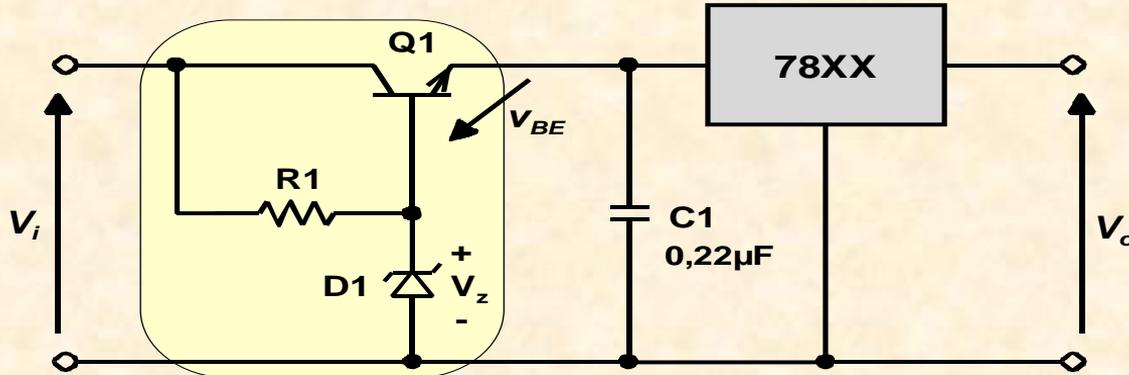
$$V_i \geq 3 + V_{oR} + V_o$$

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores fijos de tres terminales

voltajes de entrada elevadas

- En general, el máximo voltaje aplicable a la entrada de un regulador de la serie 78XX es de 35 V (para la serie 79XX, -35 V).
- Si el voltaje de entrada es superior a la máxima indicada por el fabricante, se puede colocar un estabilizador antes del regulador.
- Esta solución también puede ser interesante para reducir la disipación de potencia en el regulador, incluso aunque $V_i < V_{i(max)}$.



REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores ajustables de tres terminales

Características básicas

- Diferencia fundamental respecto a un regulador fijo → el divisor resistivo no está integrado.
- La elección del voltaje de salida se realiza mediante un divisor externo conectado al terminal de ajuste (ADJ).
- El retorno de la corriente de reposo tiene lugar a través de la salida ⇒ se debe permitir su circulación.
- Para un funcionamiento correcto necesitan un consumo mínimo.
 - La corriente de salida debe ser, al menos, de unos pocos mA.

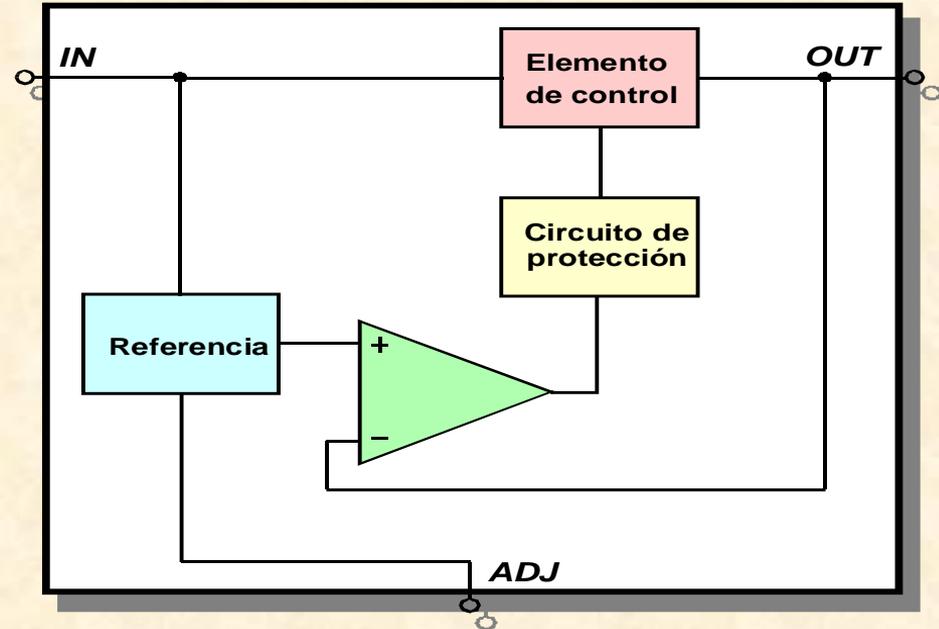


Diagrama de bloques

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores ajustables de tres terminales

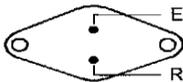
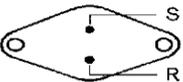
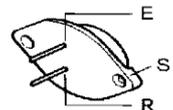
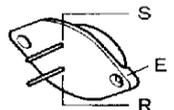
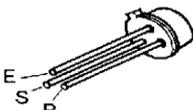
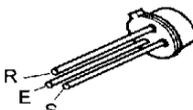
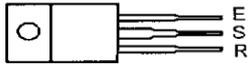
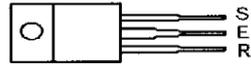
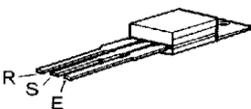
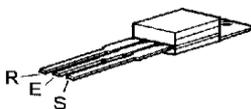
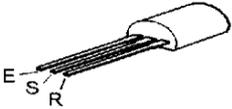
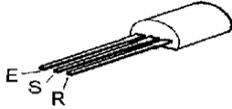
Parámetros característicos

Tipo	$V_{o(min)}$ (V)	$V_{o(max)}$ (V)	$I_{o(max)}$ (mA)	$I_{o(min)}$ (mA)	$I_{adj(min)}$ (mA)	$(V_i - V_o)_{min}$ (V)	$(V_i - V_o)_{max}$ (V)
LM317	1,2	37	500 1000 1500	3,5	0,1	3	40
LM350	1,2	32	3000	3,5	0,1	3	35
LM338	1,2	32	5000	3,5	0,1	3	35
Tipo	$V_{o(min)}$ (V)	$V_{o(max)}$ (V)	$I_{o(max)}$ (mA)	$I_{o(min)}$ (mA)	$I_{adj(min)}$ (mA)	$(V_i - V_o)_{min}$ (V)	$(V_i - V_o)_{max}$ (V)
LM337	-1,2	-37	500 1000 1500	2,5	0,1	-3	-40
LM333	-1,2	-32	3000	5	0,1	-3	-35

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores ajustables de tres terminales

Encapsulados

Boîtier TO-3		Boîtier TO-39 (métal)	
LM317 LM350 LM338	LM337 LM333	LM317 LM317 L	LM337
Vue de dessous  Boîtier = S	Vue de dessous  Boîtier = E	Vue de dessous 	Vue de dessous 
			
Boîtier TO-220		Boîtier TO-92 (plastique)	
LM317 LM317 M LM350	LM337 LM337 M LM 333	LM317 L	LM337 L
Vue de face 	Vue de face 	Vue de dessous 	Vue de dessous 
			

REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores ajustables de tres terminales

Reguladores positivos (montaje básico)

➤ Basta con añadir un divisor resistivo al circuito integrado.

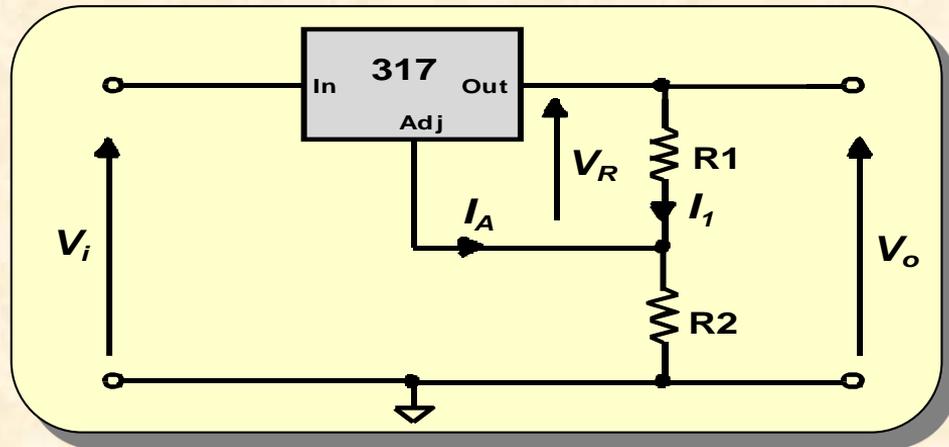
➤ Condición de corriente mínima → valor máximo para R_1 .

- El caso más desfavorable es cuando el regulador funciona sin carga. Toda la corriente que sale del regulador circula por el divisor resistivo.
- Se suele imponer un consumo mínimo de unos 10 mA.
- Una corriente insuficiente provoca un aumento de la tensión de salida.
- En funcionamiento normal:

$$V_o = V_R \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_A \cdot R_2$$

con $V_R = 1,25 \text{ V}$ e $I_A \cong 100 \mu\text{A}$

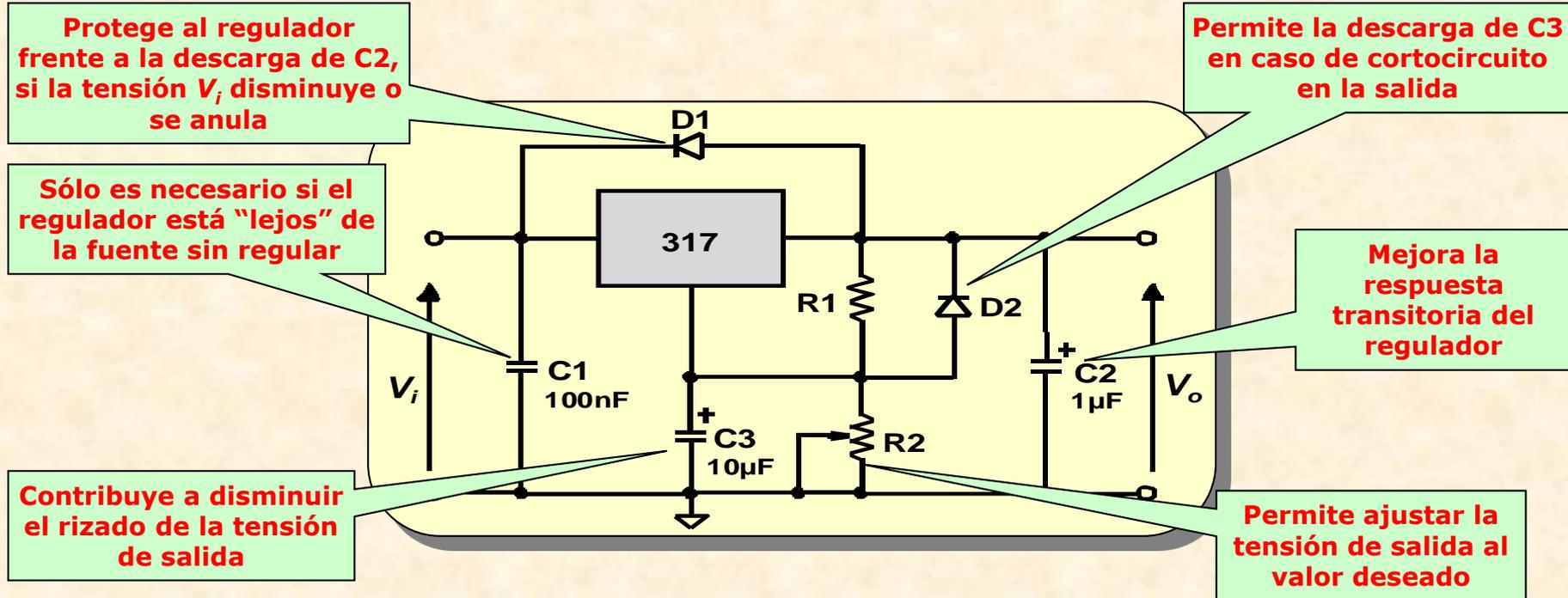
- Generalmente, el efecto de I_A es despreciable.



REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores ajustables de tres terminales

Reguladores positivos (montaje mejorado)

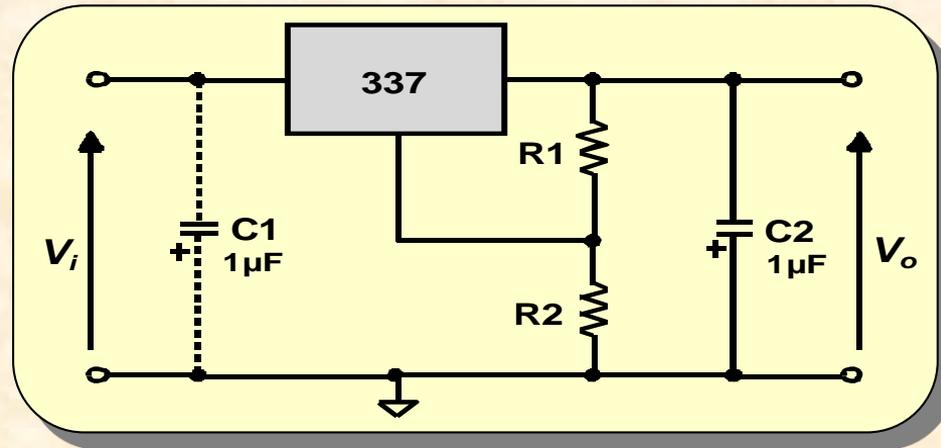


REGULADORES INTEGRADOS

Reguladores ajustables de tres terminales

Reguladores negativos (montaje básico)

- Es obligatorio colocar un condensador en la salida para asegurar la estabilidad del sistema.
- En la entrada sólo es necesario un condensador si la distancia entre la fuente y el regulador es apreciable.
- La expresión de la tensión de salida es la misma que en el regulador positivo, aunque V_R es de polaridad opuesta (-1,25 V típico).



CÁLCULOS TÉRMICOS

- **En general, durante el diseño de una fuente de alimentación es necesario efectuar cálculos térmicos en aquellos componentes que manejan tensiones y/o corrientes elevadas.**
- **Componentes a los que se debe prestar mayor atención:**
 - El transistor que actúa como elemento de control, cuando la fuente se realiza con elementos discretos.
 - El circuito integrado regulador y, en su caso, el transistor externo.
- **El foco de calor está situado en las uniones PN de los dispositivos, debido a la corriente que circula por la unión y a su caída de tensión.**
- **El calor generado en las uniones produce una elevación de temperatura del componente.**
 - No deberá sobrepasar un cierto valor máximo, $T_{J(max)}$, especificado por el fabricante en las hojas de características.

CÁLCULOS TÉRMICOS

➤ El calor puede transmitirse de tres formas diferentes.

- **Conducción:** el calor generado se transmite por el interior del dispositivo hasta que se alcanza la misma temperatura en todos los puntos del encapsulado.
- **Radiación:** un cuerpo sólido radia calor cuando su temperatura es superior a la del medio que le rodea → enfriamiento de dicho cuerpo.
- **Convección:** el calor de un cuerpo sólido se transmite al fluido que lo rodea provocando una variación de su densidad. Esto ocasiona el movimiento del fluido, que evacua el calor del sólido al que circunda.

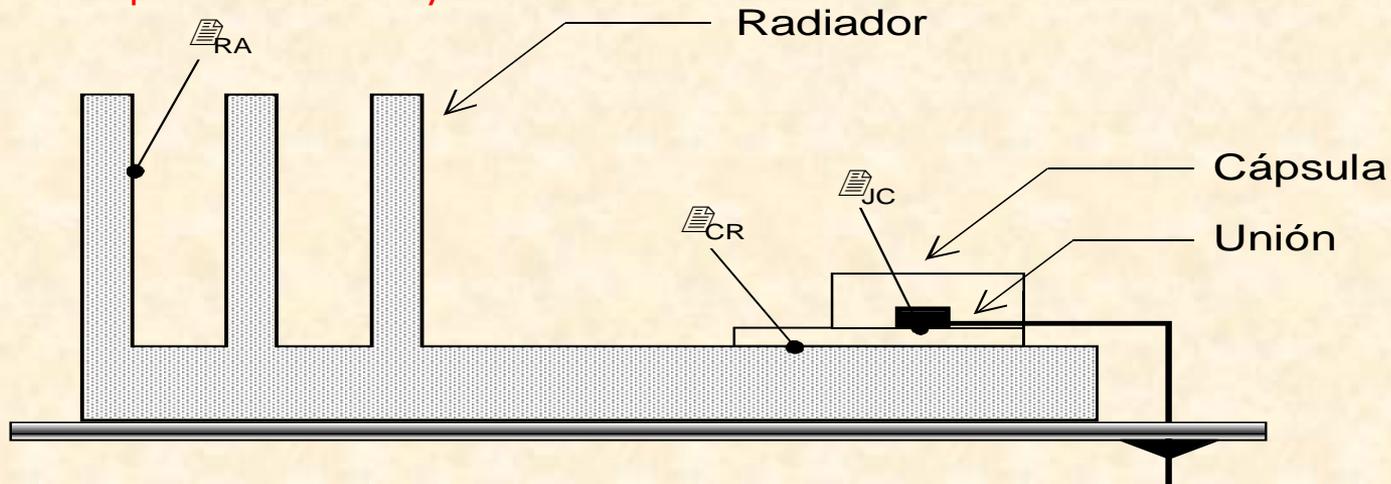
➤ Para que pueda producirse un flujo de energía calorífica entre dos puntos, debe existir una diferencia de temperatura.

- El calor pasa del foco caliente hacia el foco frío.
- Cualquier factor que impida el paso del calor se denomina **resistencia térmica**, que se designa como θ , R_{θ} o R_{th} y se expresa en $^{\circ}\text{C}/\text{W}$.
- Cuando el calor atraviesa medios de distinta resistencia térmica, la resistencia térmica total será la suma de las resistencias térmicas parciales.

CÁLCULOS TÉRMICOS

➤ **Los dispositivos que se ven obligados a disipar potencias elevadas se suelen montar sobre un radiador.**

- Se mejora el contacto térmico entre el encapsulado del dispositivo y el ambiente con el fin de facilitar la evacuación del calor generado.
- La evacuación del calor se efectúa por conducción a través del radiador y éste lo transmite por convección y radiación hacia el aire ambiente u otro fluido refrigerante



CÁLCULOS TÉRMICOS

- **Cuando se coloca un radiador a los dispositivos semiconductores, el calor generado en las uniones sigue un cierto camino.**
 - Unión PN → Encapsulado → Radiador → Ambiente.
- **Siguiendo el camino indicado, el calor encuentra en su recorrido diversos “obstáculos” que son las resistencias térmicas.**
 - **Resistencia térmica unión-cápsula** (θ_{JC}): es un parámetro invariable cuyo valor se obtiene de las hojas de características del dispositivo.
 - **Resistencia térmica cápsula-radiador** (θ_{CR}): aparece cuando se ponen en contacto la cápsula del dispositivo y la superficie del radiador. Su valor depende del método de montaje que se utilice:
 - ▶ Contacto directo metal-metal, con pasta de silicona, con aislante eléctrico y pasta de silicona, etc.
 - **Resistencia térmica radiador-ambiente** (θ_{RA}): Su valor depende de las características del radiador (material, forma del perfil, longitud, color, etc.)

CÁLCULOS TÉRMICOS

- **El valor de la potencia a disipar por un dispositivo se calcula a partir de las condiciones de funcionamiento en el peor caso.**

- Para un transistor bipolar que actúe como elemento de control o como transistor externo en un regulador integrado:

$$P_D = V_{CE(max)} \cdot I_{o(max)}$$

- Para un regulador integrado (de 3 terminales):

$$P_D = (V_i - V_o)_{max} \cdot I_{o(max)} + V_{i(max)} \cdot I_Q \cong (V_i - V_o)_{max} \cdot I_{o(max)}$$

- **Una vez conocida la potencia a disipar,**

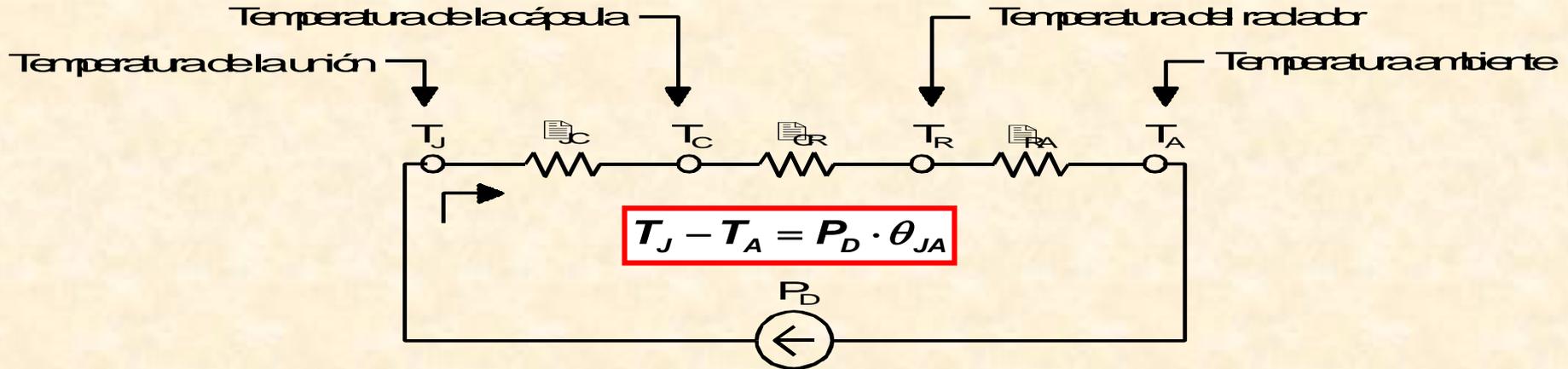
- Se debe comprobar si se necesita radiador.
- En caso afirmativo, se determinará el radiador necesario para que la temperatura de la unión, T_J , no supere la $T_{J(max)}$ especificada.

- **Para los cálculos se utiliza un circuito eléctrico equivalente del circuito térmico de evacuación del calor, al que se puede aplicar la ley de Ohm.**

- Temperatura \Leftrightarrow Tensión, Resistencia térmica \Leftrightarrow Resistencia óhmica y Potencia \Leftrightarrow Corriente.

CÁLCULOS TÉRMICOS

- La ley de Ohm térmica relaciona la potencia a disipar, la diferencia de temperatura entre la unión y el ambiente y las resistencias térmicas.



- A tener en cuenta:

- $\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CR} + \theta_{RA}$. Cuando el dispositivo no lleva radiador, θ_{JA} es igual a la especificada en las hojas de características del mismo.
- La temperatura ambiente se refiere a donde está colocado el dispositivo. Se suelen tomar valores superiores a 25°C.

CÁLCULOS TÉRMICOS

- La resistencia térmica unión-ambiente necesaria para el correcto funcionamiento del dispositivo se obtiene como:

$$\theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{P_D}$$

- En función del valor obtenido,

- Si es mayor que el proporcionado por el fabricante, no se necesita radiador.
- Si es menor, se hace necesario utilizar un radiador → se deberá calcular la resistencia térmica que debe poseer para no superar $T_{J(max)}$.

$$\theta_{RA} = \frac{T_J - T_A}{P_D} - (\theta_{JC} + \theta_{CR})$$

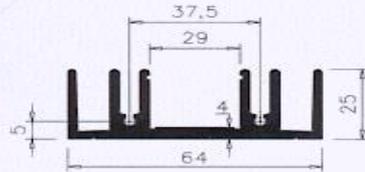
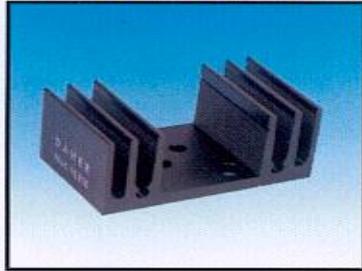
- Cuando se necesite radiador, se deberá elegir uno comercial que se adapte al tipo de encapsulado del dispositivo y que cumpla con la θ_{RA} calculada.

CÁLCULOS TÉRMICOS

➤ **En general, los catálogos de radiadores facilitan la siguiente información:**

- **Perfil del radiador:** determina la forma física del mismo (disposición de aletas, medidas, acabados superficiales, etc.).

MOD. 18.215



Sup. radiante (50 mm.): 226 cm². Peso: 1.600 g/m.

MODELO	LONGITUD	TALADRO
18.215/37	37,5 mm.	1xTO-3 ó 1xTO-66
18.215/50	50 mm.	1xTO-3 ó 1xTO-66
18.215/75	75 mm.	2xTO-3 ó 2xTO-66
18.215/100	100 mm.	2xTO-3 ó 2xTO-66
18.215/1000	1000 mm.	

A petición se entregan roscados para montaje vertical con tornillos de fijación M-5. Permite fijación a chasis mediante ranuras.

- **Gráficas de la resistencia térmica del perfil:** muestran la relación entre resistencia térmica y longitud del perfil. A partir de ellas se puede determinar la longitud de radiador que se requiere.

