

APELLIDOS

NOMBRE:

## SOLUCION

-----

**Problema 1-** En el circuito de aplicación típica del regulador de conmutación LM2576 de National Semiconductor de la Figura 1 se puede ver que con el modelo LM2576-5.0 se tiene una tensión regulada de salida  $V_o=5V$  y posibilidad de dar hasta 3A a la carga conectada a su salida. Suponiendo que conectamos una carga  $R_L=2\Omega$ , obtenga:

- 1) Corriente  $I_o$  y potencia media  $P_o$  entregadas a la carga. **(2 p)**
  - 2) Corriente media  $I_L$  y potencia media  $P_L$  en la inductancia  $L_I=100\mu H$ . **(3 p)**
  - 3) Dibuje la corriente instantánea en la bobina para el caso de que la tensión de entrada sea de unos 20V, empleando una frecuencia de conmutación  $f_{SW}=20kHz$  y el ciclo de trabajo  $\delta=t_{ON}/T_{SW}$  que se esperaría suponiendo que la tensión aplicada al filtro paso-bajo formado por  $L_I$ ,  $C_{OUT}$  y  $R_L$  durante  $t_{ON}$  es de 20V y nula durante  $t_{OFF}$ . Nótese que esto permite suponer que la tensión de conducción del diodo Schottky  $D_I$  es nula. **(12 p)**
  - 4) Dibuje la corriente instantánea en la bobina para el caso de que la tensión de entrada sea ahora de 27V, suponiendo que la tensión entre las patillas 1 y 2 del LM2576-5.0 durante  $t_{ON}$  es  $V_{DDC}=1V$ , que la tensión de conducción del diodo  $D_I$  es  $V_D=0.25V$  y que la frecuencia de conmutación sigue siendo:  $f_{SW}=20kHz$ . **(15 p)**
  - 5) Obtenga los rendimientos del regulador (despreciando el consumo de la circuitería de control del LM2576-5.0) en los Apartados 3) y 4). Justifique la diferencia. **(10 p)**
  - 6) A partir del rendimiento correspondiente al Apartado 4) obtenga la potencia media ( $P_D+P_{DDC}$ ) que debe disiparse en  $D_I$  y en el dispositivo de conmutación (DDC) del LM2576-5.0. A continuación especifique el diodo Schottky  $D_I$  en cuanto a la potencia media que debe ser capaz de disipar y en cuanto a la corriente máxima que debe poder soportar. **(10 p)**
  - 7) Modifique el circuito de la Figura 1 con el mínimo número de componentes que permitan tener una tensión regulada en la salida  $V_o=12V$ , indicando además entre qué valores podrá estar la tensión de entrada que para  $V_o=5V$  estaba entre 7 y 40V. **(15 p)**
  - 8) Suponiendo que el LM2576-5.0 tiene encapsulado TO-220 cuya típica resistencia térmica unión-ambiente es:  $\theta_{JA}=40^\circ C/W$ , justifique si necesitamos ponerle un radiador atornillado a la cápsula para funcionar en las condiciones del Apartado 4 en un recinto expuesto al sol, cuya temperatura ambiente alcanza  $75^\circ C$ . Considere que la temperatura máxima de las uniones internas del LM2576-5.0 es:  $T_{Jmax}=125^\circ C$  y que conviene funcionar a temperaturas unos  $15^\circ C$  por debajo de  $T_{Jmax}$ . **(10 p)**
- 

**Problema 2-** A partir del circuito de aplicación típica del regulador lineal LM117 de National Semiconductor que se adjunta y que permite obtener una tensión regulada de salida  $V_o$  entre 1.25V y 25V, conteste a las preguntas siguientes:

- 1) Estime razonadamente la tensión  $V_{DROP}$  de este regulador **(2 p)** y dibuje el circuito más simple que permita obtener  $V_o=1.25V$  indicando la  $V_{IN}$  mínima necesaria para su buen funcionamiento. **(3 p)**
- 2) Explique cómo consigue el LM117 regular una tensión de  $V_o=25V$  sobre una carga  $R_L=25\Omega$ , indicando para ello qué corriente tiene que dar por su salida  $V_{OUT}$  y cuánta de esta corriente fluye por  $R_L$ . Suponga despreciable la corriente  $I_{ADJ}$ . **(8 p)**
- 3) Modifique el circuito de aplicación típica para que con su  $V_{IN}\geq 28V$ , podamos cargar baterías de 12V a corriente constante de 100mA. ¿Podríamos cargar dos baterías de 12V en serie con esa misma corriente? ¿Qué haría falta cambiar en el nuevo circuito? **(10 p)**

# LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

## General Description

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed  $\pm 4\%$  tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and  $\pm 10\%$  on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50  $\mu\text{A}$  (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

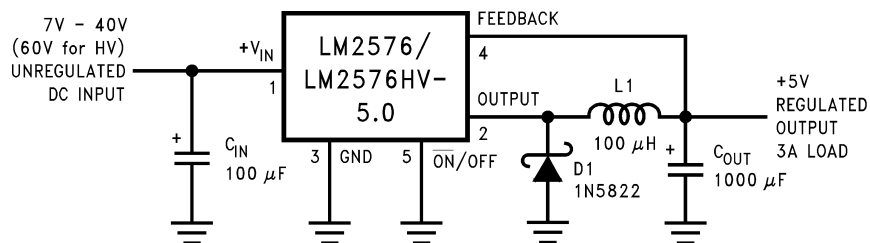
## Features

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version)  $\pm 4\%$  max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P+ Product Enhancement tested

## Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

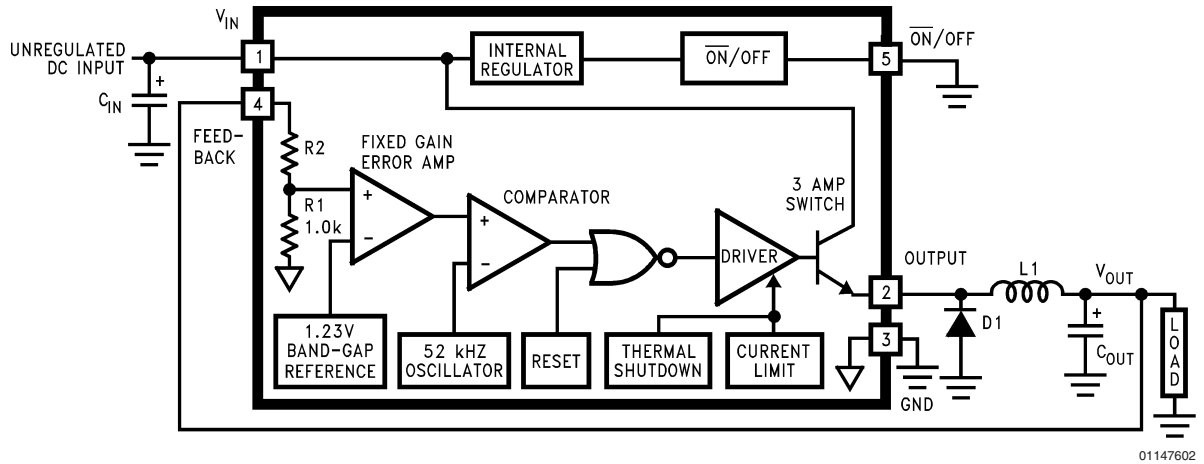
## Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



01147601

**FIGURE 1.**

### Block Diagram



3.3V R2 = 1.7k  
 5V, R2 = 3.1k  
 12V, R2 = 8.84k  
 15V, R2 = 11.3k  
 For ADJ. Version  
 R1 = Open, R2 = 0Ω  
 Patent Pending

### Ordering Information

Temperature Range	Output Voltage					NS Package Number	Package Type
	3.3	5.0	12	15	ADJ		
-40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 125°C	LM2576HVS-3.3	LM2576HVS-5.0	LM2576HVS-12	LM2576HVS-15	LM2576HVS-ADJ	TS5B	TO-263
	LM2576S-3.3	LM2576S-5.0	LM2576S-12	LM2576S-15	LM2576S-ADJ		
	LM2576HVSX-3.3	LM2576HVSX-5.0	LM2576HVSX-12	LM2576HVSX-15	LM2576HVSX-ADJ	Tape & Reel	
	LM2576SX-3.3	LM2576SX-5.0	LM2576SX-12	LM2576SX-15	LM2576SX-ADJ		
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05A	TO-220
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ		
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05D	
	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03		
LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ			
Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03			

# LM117/LM317A/LM317

## 3-Terminal Adjustable Regulator

### General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

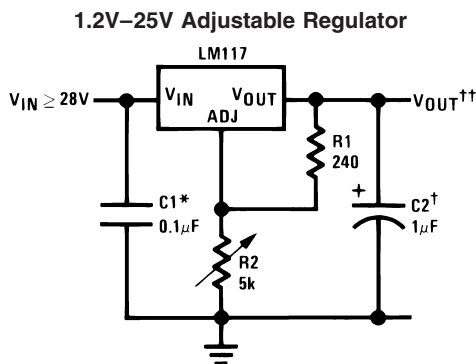
Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

### Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

### Typical Applications



00906301

Full output current not available at high input-output voltages

\*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

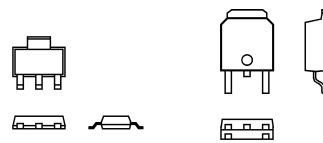
†Optional — improves transient response. Output capacitors in the range of 1μF to 1000μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$\dagger\dagger V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

### SOT-223 vs. D-Pak (TO-252) Packages



SOT-223

TO-252

00906354

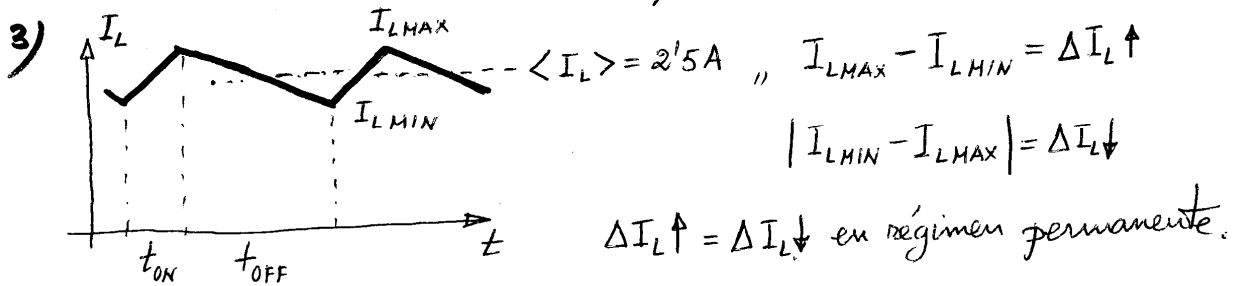
Scale 1:1



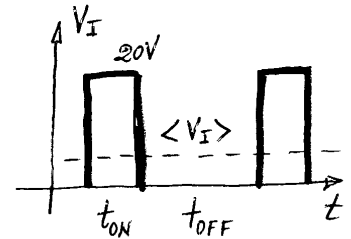
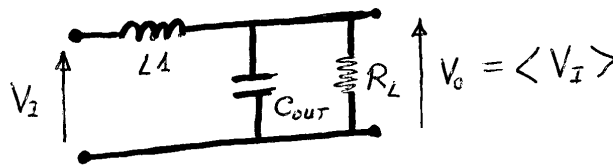
Asignatura		Fecha	
Apellidos		Curso	
Nombre	— SOLUCION —		Grupo

PROBL. 1 1)  $I_0 = \frac{5V}{2\Omega} = 2.5A$  ,,  $P_0 = 5V \cdot 2.5A = 12.5W$

2)  $\langle I_L \rangle = I_0 = 2.5A$  ,,  $P_L = 0$  La inductancia, en promedio, no absorbe potencia en régimen permanente.



Suponemos esto:



Si  $\langle V_i \rangle = V_o = 5V \Rightarrow 20V \cdot \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = 5V \Rightarrow t_{OFF} = 3 t_{ON}$

Como  $f_{sw} = 20kHz \Rightarrow T_{sw} = 50\mu s \Rightarrow t_{ON} = 12.5\mu s$  y  $t_{OFF} = 37.5\mu s$

$\Delta I_L \downarrow = \frac{V_o + V_D}{L1} \cdot t_{OFF} = \frac{5 + 0.7}{100\mu H} \cdot 37.5\mu s = 1.875A$

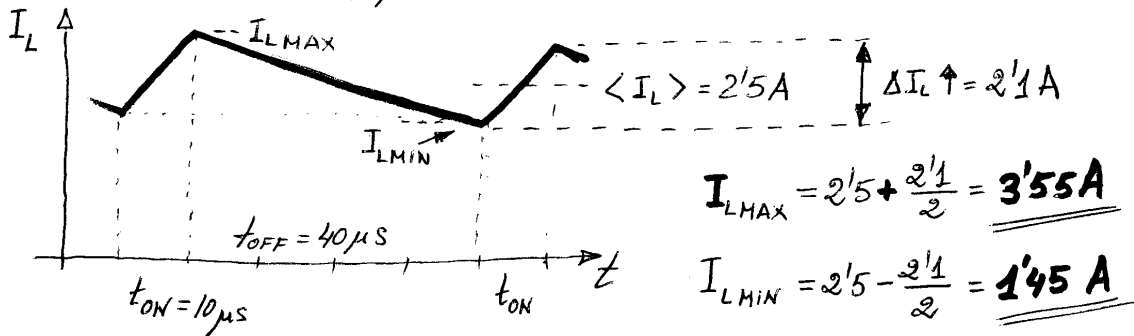
$I_{LMAX} = \langle I_L \rangle + \frac{1.875}{2} = 3.4375A$  ,,  $I_{LMIN} = 1.5625A$

4) Si:  $f_{sw} = 20 \text{ kHz} \Rightarrow T_{sw} = 50 \mu\text{s}$ . Ahora  $V_D = 0.25 \text{ V}$  y  $V_{DDC} = 1 \text{ V}$  ②

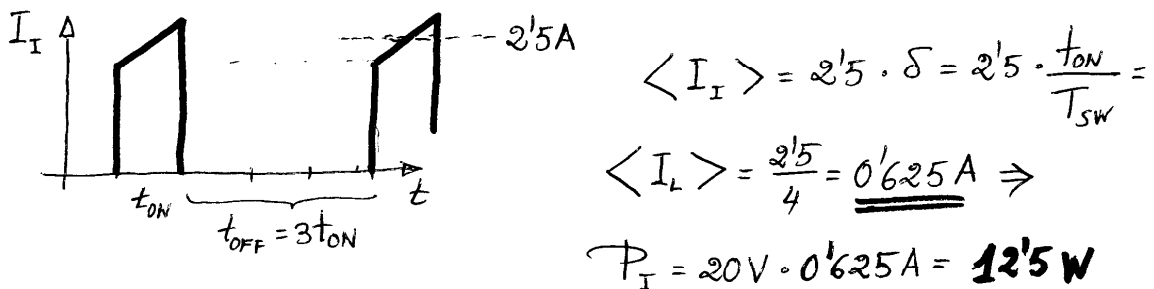
por ello:  $\Delta I_L \uparrow = \frac{27 \text{ V} - 1 \text{ V} - 5 \text{ V}}{L1} \cdot t_{ON} = \Delta I_L \downarrow = \frac{5 \text{ V} + 0.25 \text{ V}}{L1} \cdot t_{OFF}$

De ello resulta:  $21 \cdot t_{ON} = 5.25 \cdot t_{OFF} \Rightarrow t_{ON} = 4 t_{OFF} \Rightarrow \begin{cases} t_{ON} = 10 \mu\text{s} \\ t_{OFF} = 40 \mu\text{s} \end{cases}$

$\Delta I_L \uparrow = \Delta I_L \downarrow = \frac{5.25 \text{ V}}{100 \mu\text{H}} \cdot 40 \mu\text{s} = \frac{21}{10} = 2.1 \text{ A}$ . Por tanto:



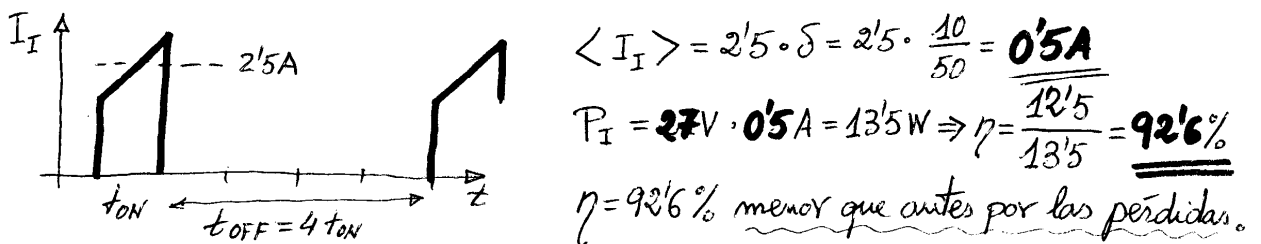
5) Apdo. 3: la potencia media absorbida de la fuente de entrada de 20V sería:  $P_I = 20 \text{ V} \cdot \langle I_I \rangle$ . Como  $I_I$  es esta:



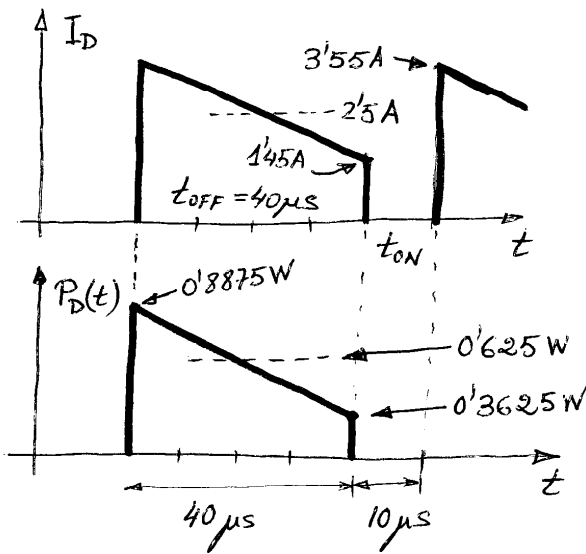
Como  $P_o$  era 12.5 W también, ver. Apdo. 1, tenemos:

$\eta = \frac{P_o}{P_I} = \frac{12.5}{12.5} = 100\%$  Rendimiento teórico al asumir que no hay pérdidas ( $V_D \approx 0 \text{ V}$  y  $V_{DDC} \approx 0 \text{ V}$ )

Apdo. 4: la corriente  $I_I$  ahora es:



6)  $P_D + P_{DDC} = P_I - P_O = 13.5 - 12.5 = 1W$  Potencia perdida en 3



el dispositivo de conmutación y en el diodo.

La potencia instantánea disipada en el diodo será:  $P_D(t)$

$$P_D(t) = I_D(t) \cdot 0.25V$$

y su valor medio:

$$P_D = \langle P_D(t) \rangle = 0.625 \cdot \frac{t_{OFF}}{T_{SW}}$$

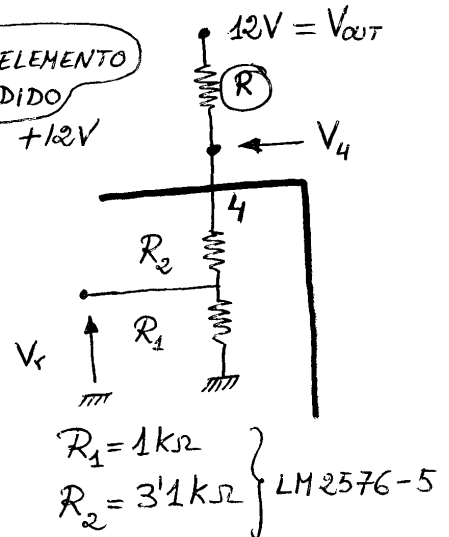
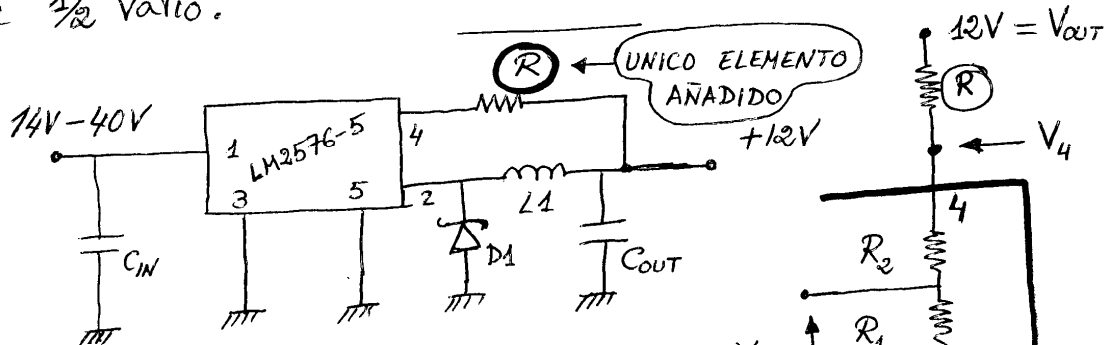
$$P_D = 0.625 \cdot \frac{40}{50} = \underline{\underline{0.5W}} \leftarrow \text{Potencia mínima que debe poder disipar el diodo.}$$

y en cuanto a corriente máxima,  $I_{MAX} > 3.55A$

Por ejemplo: diodo Schottky capaz de soportar  $I_{MAX} \geq 4A$

bajo corrientes medias de unos 2.5A y capaz de disipar más de 1/2 vatio.

7)



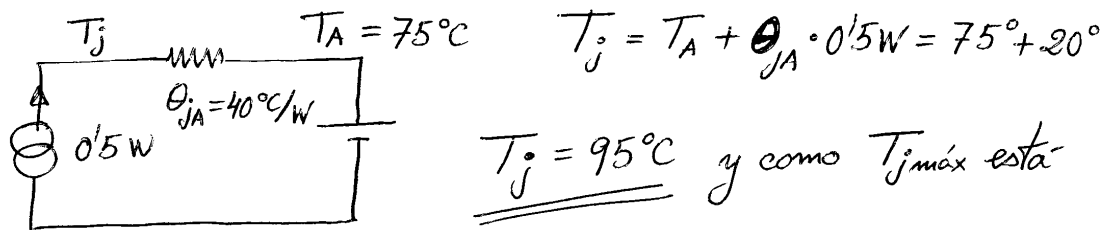
Con  $R_1 = 1k\Omega$  y  $R_2 = 3.1k\Omega$  la tensión realimentada es  $V_r = 1.22V$  cuando la tensión  $V_4$  era de 5V. Con R

debemos conseguir esa misma  $V_r$  con  $V_{OUT} = 12V \Rightarrow \underline{\underline{R = 5.74k\Omega}}$

Respecto a  $V_{IN}$ , si antes ( $V_0 = 5V$ ) debía ser al menos 2V mayor

que  $V_o$  ( $7V < V_{iN}$ ) y no debía superar los 40V, ahora  $V_o = 12V$ ,  $V_{iN}$  deberá estar comprendida entre 14V y 40V como se ha escrito en el circuito. ④

3) La potencia que disipará el C.I. LM2576-5 son los 0'5W que resultan de:  $P_{DDC} + P_D = 1W$  y de  $P_D = 0'5W$  obtenida en el Apdo 6. Por tanto:



más de  $15^\circ$  por encima de  $T_j$ ,

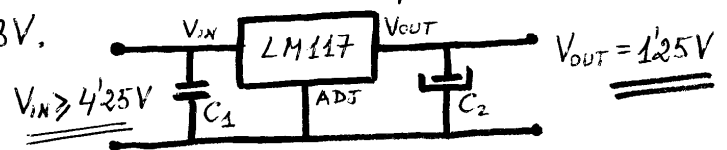
$(T_{jmax} - T_j) = 125^\circ - 95^\circ = 30^\circ > 15^\circ$ , NO HACE FALTA RADIADOR.

Nota: Se ha resuelto el problema con  $f_{sw} = 20KHz$  aunque la intención original era emplear  $f_{sw} = 50KHz$  ( $T_{sw} = 20\mu s$ ) más cercana a los 52KHz que da el fabricante. El valor "20" de  $T_{sw}$  ( $\mu s$ ) quedó al final como el valor numérico de  $f_{sw}$  (KHz) pero en un caso real las cosas serían más cercanas a  $f_{sw} = 50KHz$ , lo que al suponer un periodo 2'5 veces más bajo, daría un  $\Delta I_L$  en general unas 2'5 veces menor.

**PROBLEMA 2**

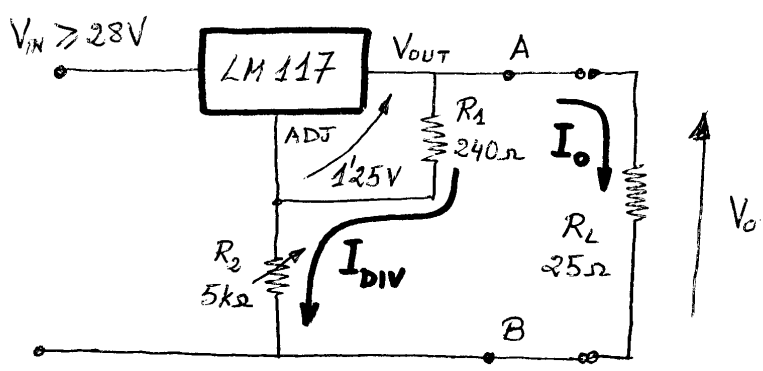
1) Si para dar  $25V = V_{OUT}$  se requiere  $V_{iN} \geq 28V$  esto indica que  $V_{DROP} \approx 3V$ .

Por tanto:



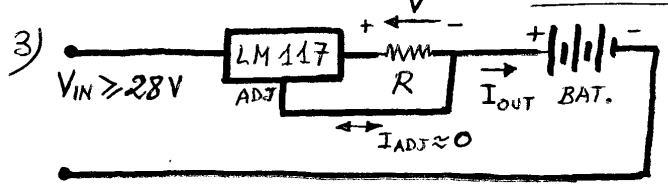


2) Con  $R_L = 25\Omega$  conectada así:



El LM117 intentará mantener una tensión de 1.25V entre sus terminales  $V_{OUT}$  y ADJ. Para ello dará cierta corriente por su terminal  $V_{OUT}$ , parte de la cual irá hacia la carga  $R_L$  ( $I_O$ ) y otra parte más pequeña irá hacia  $R_1$  con el fin de que esta corriente  $I_{DIV}$  sea tal que:  $I_{DIV} \times R_1 = 1.25V$ .

Por tanto:  $I_{DIV} \approx 1.25/R_1 = 5.2mA$ , que como debe circular por  $R_2 = 5k\Omega$ , dará lugar a una caída de tensión  $I_{DIV} \cdot R_2$  que al sumarse a la caída  $I_{DIV} \cdot R_1$  darán 25V entre los puntos A y B. Esto requiere:  $(25 - 1.25)/5.2mA = R_2 = 4.6k\Omega$  y como entre los puntos A y B está  $R_L$  que con  $V_O = 25V$  absorberá  $1A = I_O$ , el LM117 dará 1.0052A en total para mantener así  $V_O = 25V$  sobre  $R_L$ .



Para que  $I_{OUT} = 100mA$ :

$$\frac{V = 1.25V}{R} = I_{OUT} \Rightarrow R = 12.5\Omega$$

Para cargar dos baterías de 12V cada una en serie (una batería de 24V) habría que tener una  $V_{IN}$  suficientemente alta, de modo que:

$V_{IN} > (24V + V + V_{DROP}) = 28.2V \Rightarrow$  Cambiamos  $V_{IN} > 28V$  por  $V_{IN} > 28.2V$  (mejor  $V_{IN} > 30V$ )