

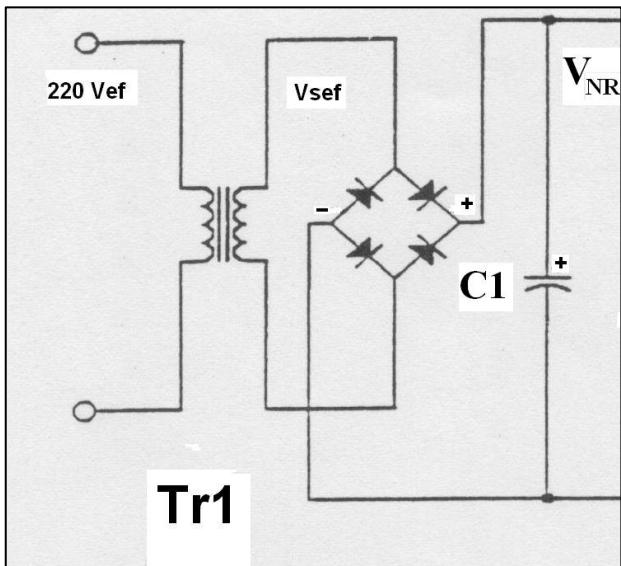
**Parcial 1 del 15 de Noviembre de 2011**

**D.N.I.:**

**APELLIDOS**

**NOMBRE:**

**SOLUCION**



**Problema 1-** La Figura 0 muestra el circuito con transformador de entrada **Tr1** que vamos a utilizar para generar una primera tensión no regulada **V<sub>NR</sub>** obtenida a partir de la tensión de red, que luego regularemos con un regulador de conmutación modelo LM2576/5.0 de Nacional Semiconductor. **Tr1** va a proporcionar el aislamiento eléctrico de la red que resulta **esencial** para el sistema de alimentación que vamos a diseñar, por lo que no vamos a usar rectificación directa de la tensión de red. Tal sistema constará de una salida regulada **V<sub>01</sub>=12 V** que entregará una corriente **I<sub>01</sub>≈3 A** y de una segunda salida regulada, negativa y menos potente **V<sub>02</sub>=-12 V** que absorberá una **I<sub>02</sub>≈0.3 A**

**Figura 0. Circuito de conexión a red eléctrica.**

Como los reguladores comutados son bastante eficientes, no nos va a importar que la tensión **V<sub>NR</sub>** sea varios voltios más alta que **V<sub>01</sub>**, por lo que vamos a intentar reciclar un antiguo transformador cuya entrada es **V<sub>Pr</sub>=220 V<sub>ef</sub>** y cuyo secundario es doble, ya que tiene un devanado con hilo grueso etiquetado como terminales A y B, con un punto dibujado junto al terminal A y el otro devanado etiquetado como terminales C y D, con el punto dibujado junto al terminal D. Cada devanado lleva la inscripción **18V/2.5A** que indica el máximo valor de potencia media que puede entregar dicho devanado en condiciones seguras.

**1- ¿Qué pasaría con “V<sub>NR</sub>” varios voltios más alta que V<sub>01</sub>” si empleásemos reguladores lineales? Justifique su respuesta.(5 p)**

**2- Estime si será suficiente el empleo de uno sólo de los devanados del secundario o si convendrá usar los dos devanados, indicando cómo conectar sus terminales. Si no tiene claro qué hacer, use un devanado y continúe con el problema. (5 p)**

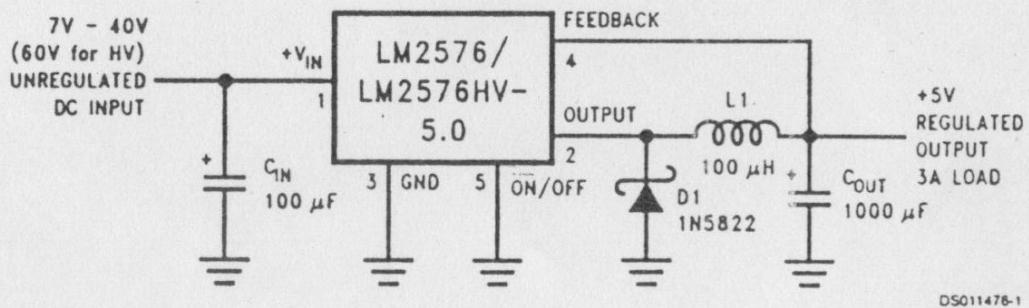
**3- Para el condensador C<sub>1</sub> tras los diodos, que tienen una caída de tensión cuando conducen de **V<sub>BE</sub>=0.7V**, vamos a reciclar un condensador de **6.600 μF/40V** que hemos recuperado de un antiguo equipo. Dibuje la forma temporal de la tensión sobre este condensador C<sub>1</sub> cuando las dos fuentes de alimentación están entregando su máxima potencia, en los dos casos siguientes **a):** Con la tensión de red nominal (**V<sub>Pr</sub>=220 V<sub>ef</sub>**) y **b)** Con el 90% de la tensión de red nominal. (10 p)**

**4- Dibuje la forma aproximada de la corriente que entregan los diodos. Suponga que la carga de C<sub>1</sub> dura 1/5 de semiperíodo de 50 Hz y en función de todo ello especifique los diodos del puente rectificador en cuanto a corriente media y de pico. (10)**

**5- Dibuje la forma de onda de la potencia instantánea que entrega el puente rectificador para **V<sub>Pr</sub>=220 V<sub>ef</sub>** y en función de ello comente qué producto **V×A** mínimo conviene que tenga **Tr1** y si lo cumple nuestro transformador reciclado. (10 p)**

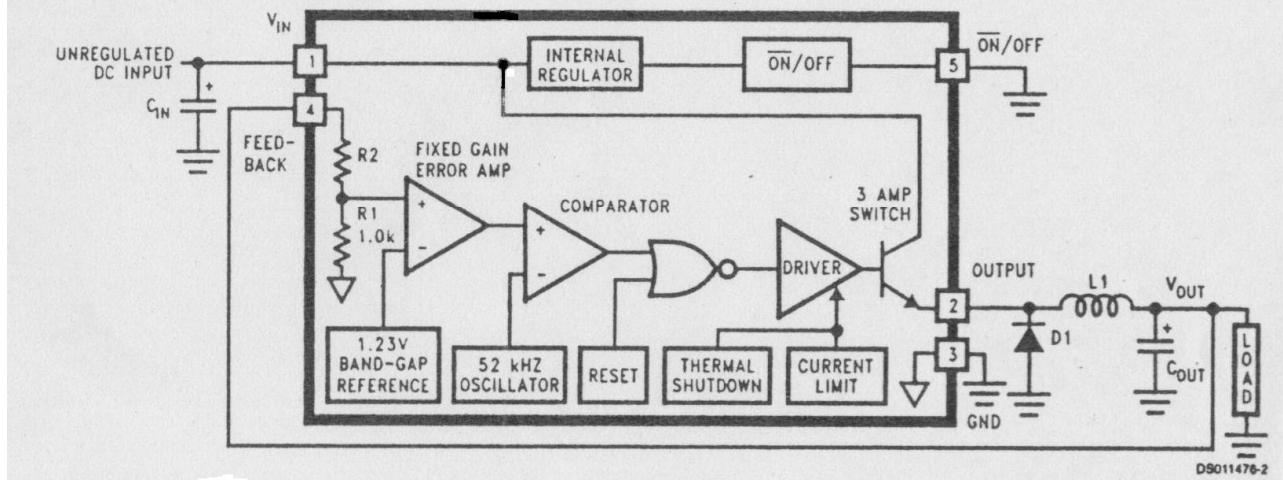
**6- La Figura 1 representa el regulador comutado basado en un LM2576/5.0 que vamos a adaptar para tener la fuente regulada (**V<sub>01</sub>=12 V, I<sub>01</sub>≈3 A**). Como la salida de 5V en esa Figura es capaz de dar 3 Amperios, lo único que vamos a variar es la realimentación para obtener 12 V a la salida en vez de 5V. Utilizando el diagrama de bloques del LM2576/5.0 que aparece bajo la Figura 1, indique qué haría en la Figura 1 para obtener **V<sub>01</sub>=12 V** en lugar de 5 V, utilizando el menor número de componentes. (10 p)**

## Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



## FIGURE 1.

## Block Diagram



- 7- Considerando como tensión de entrada  $V_{IN}$  el valor medio de la tensión en  $C_1$  con la tensión nominal de red del Apartado 3 (si no la calculó, tome  $V_{IN}=22$  V) dibuje la forma de onda de la corriente  $i_L(t)$  en  $L_1$  (dando sus valores máximo y mínimo) y considerando que tensión y corriente sobre la carga son  $V_{01}=12$  V,  $I_{01}=3$  A. Justifique sus cálculos. Datos como  $f_{SW}=52$  kHz aparecen en el diagrama de bloques. No haga caso por ahora a “3 AMP SWITCH” y tome como caída de tensión en este switch en ON:  $V_{DDC}=0.5$  V y la de  $D_1$ :  $V_{D1}=0.3$  V. (15 p)

8- De lo que observa en  $i_L(t)$  (o de algo similar que puede obtener de la Figura 1) y aceptando que los datos de salida: +5V, 3A LOAD son ciertos, cómo interpreta lo de “3 AMP SWITCH” y cómo cree que limita la corriente el LM2576/5.0, ¿en valor máximo o en promedio? (3 p)

9- Suponiendo que la ESR del condensador de salida  $C_{OUT}=1000\mu F$  es nula, dibuje su corriente y su potencia instantánea. Estime el rizado pico-pico de la tensión de salida a 52 kHz. (10 p)

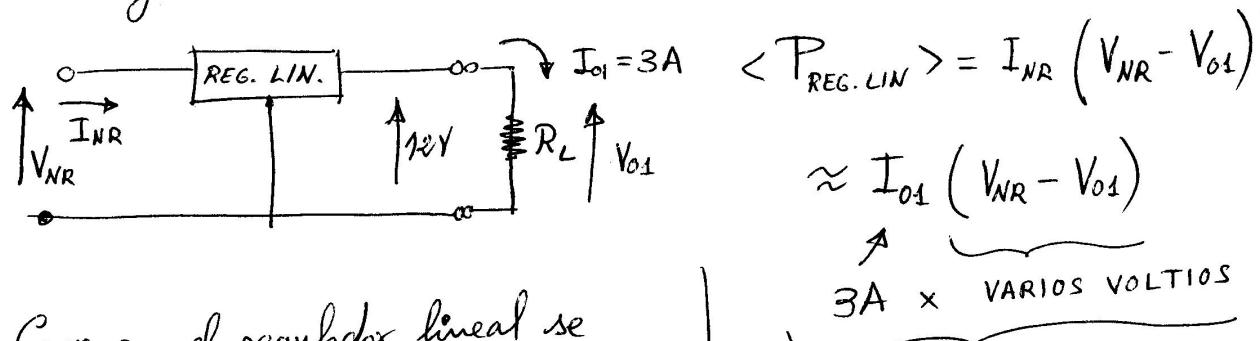
10- Tomando para  $C_{OUT}$  una ESR=60 mΩ, estime el rizado pico-pico de la tensión de salida a 52 kHz justificando las aproximaciones que haga, salvo la de que: señales senoidales  $x$  e  $y$  que se suman en potencia, dan una amplitud cercana a la mayor amplitud de una de ellas en cuanto esa amplitud es 3 o más veces la de la otra. (p.e.:  $3^2+1^2\approx 3^2$ ) (10 p).

11- Considerando que el diodo D1 es un diodo Metal-Semiconductor (diodo Schottky) cuya caída de tensión cuando conduce es  $V_{D1}=0.3$  V, especifique dicho diodo en cuanto a corrientes media y de pico, así como en cuanto a potencia media disipada. (6 p). Obtenga el rendimiento  $\eta$  del regulador para la tensión nominal de red que usó en el Apartado 7. (6 p)



Asignatura		Fecha	
Apellidos		Curso	
Nombre	— SOLUCION —	Grupo	

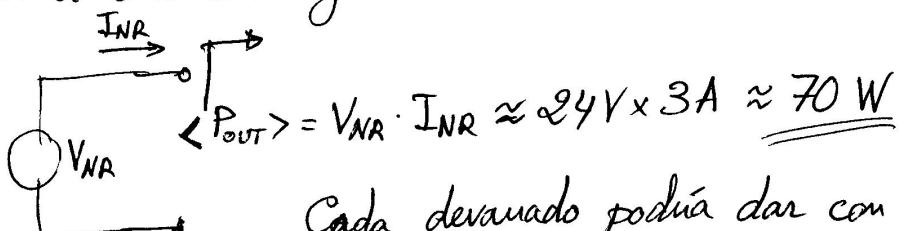
1) Con reguladores lineales tendríamos una situación como ésta:



Como en el regulador lineal se tiene simultáneamente 3A de corriente y una caída de tensión  $(V_{NR} - V_{O1})$  de "varios voltios"; ese regulador va a disipar bastantes vatios

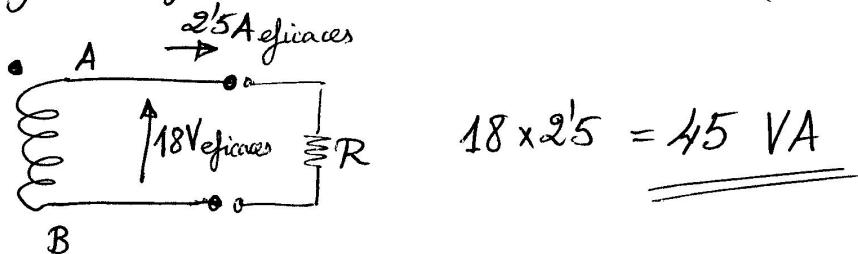
$\eta$  será bajo, habrá que evacuar bastante calor

2) Tenemos devanados de 18 Vef en secundario que sumen tensiones de pico de  $18V_2 \approx 25V$ . Restando la caída en los diodos tenemos unos 24 V de tensión  $V_{NR}$ . Si hay que dar una  $I_{NR} \approx 3A$  como en el caso del regulador lineal, tendríamos:



Cada devanado podría dar con carga resistiva pura,

la siguiente potencia máxima a 50 Hz (señales senoidales):

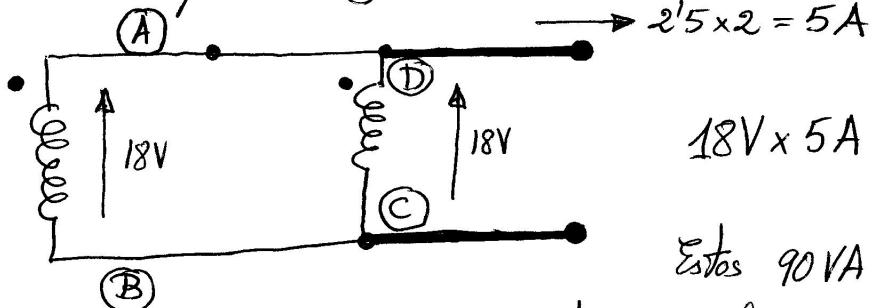


Estos 45 VA ya quedan por debajo de los 70 W que hemos estimado antes con la idea de un regulador lineal tras la tensión  $V_{NR}$ . Aunque el regulador commutado sea más eficiente y no absorba  $\langle I_{NR} \rangle = 3 \text{ A}$  sino menos (absorbe corriente en modo pulsado, luego absorbe menos corriente media) no hay que olvidar que la potencia <sup>MEDIA</sup> en la carga debe ser  $12 V_{DC} \times 3 \text{ A} = 36 \text{ W}$  y a esto habrá que sumarle la potencia disipada en la otra carga:  $P_{O2} = V_{O2} \times I_{O2} = 3.6 \text{ W}$ . Por tanto, hay que dar a las cargas  $36 + 3.6 = 39.6 \text{ W} \approx 40 \text{ W}$  y los 45 VA resultan escasos aun con rendimiento del 100%:  $45 \text{ VA} = 39.6 \text{ W} \times K \Rightarrow K = 1.14$  (Solo un 14% de sobredimensionado del transformador)  $\Rightarrow$  Vamos a usar los dos devanados del transformador.

La opción más directa sería "duplicar el grosor del hilo del secundario", es decir: poner en paralelo los dos devanados de modo que, dando la misma tensión, dupliquen la

corriente que entregan. Tendríamos:

(3)



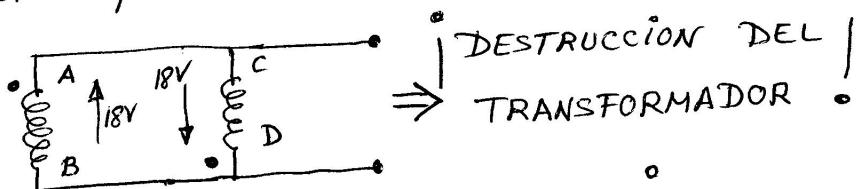
$$18V \times 5A = 90 \text{ VA}$$

Estos 90 VA servirían incluso para satisfacer al regulador lineal que absorbía unos 70W, pero no va a ser ese el caso.

Tendremos un regulador comunitado ~~que~~ (dos en realidad) que aunque tuviesen un rendimiento del 90%, absorberían  $\langle P_{abs} \rangle = \frac{39.6W}{\eta=0.9} = 44W$ , muy cercano a los 45VA

de un solo devanado. No habría factor  $k \approx 1.25 - 1.30$  que es bueno tomar por la forma pulsada en que se entrega potencia a la salida de los diodos. Por ello, con el doble devanado aseguramos un factor  $k \approx 200\%$ .

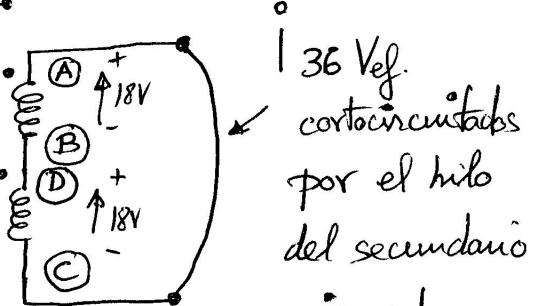
Eso sí: no hay que equivocarse con el conexionado. Si hacemos esto por error:



Estamos haciendo esta "conexión":

Esto sugiere que también es posible usar la conexión serie de los devanados, pero esto nos

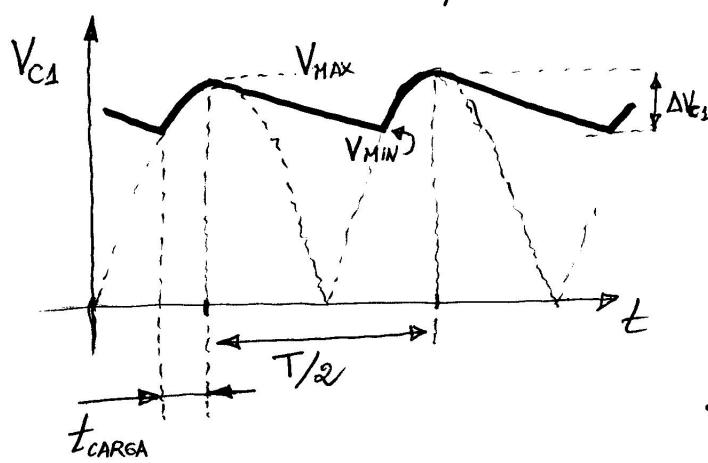
(SIGUE)



$$\langle P \rangle = \frac{36^2}{\Phi_{sr}} \rightarrow \infty$$

llevaría a tener un secundario de  $36V_{ef}$ . que darán unos  $51V$  de pico. Descontando las caídas en los diodos tendremos unos  $49V$  en  $C_1$ , es decir: como  $V_{NQ}$  y entonces el regulador debería ser el modelo "HV" que soporta hasta  $60V$  (es decir: el LM2576/5.0-HV y no el normal LM2576/5.0 que dice el enunciado). Descartamos esta opción. (4)

3) El hecho de usar un  $C_1$  que soporta hasta  $40V$  también apunta a que la conexión serie de los devanados del secundario no es la buena. Con la tensión nominal de red, la tensión que obtenemos de los secundarios en paralelo será  $18V_{ef}$  que suponen:  $V_p = 25'46V$  de pico. Restando  $2 \times 0'7 = 1'4V$  de los diodos, tendremos que la tensión de pico en  $C_1$  será de  $24V$



Si pensamos que estamos dando (dos diodos +  $C_1$ ) una corriente de:  $3A + 0'3A$   $3'3A$

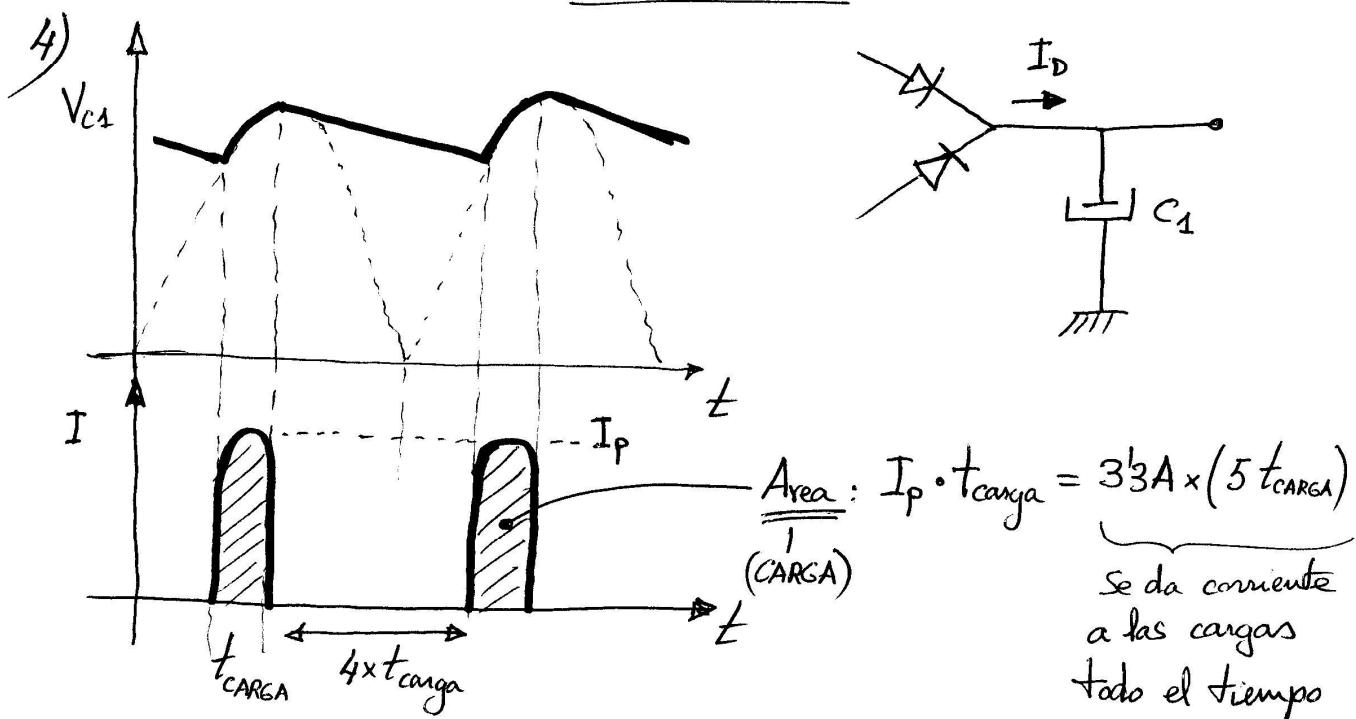
podemos asumir que  $C_1$  da una corriente  $I_c \approx 3'3A$  durante

$$\left(\frac{T}{2} - t_{CARGA}\right) \approx \frac{T}{2}. \text{ Por tanto:}$$

$$\Delta V_{c1} = \frac{1}{C_1} \cdot 3'3A \times 10\text{ms} = \frac{33\text{mC}}{6600\text{mF}} = 5V \Rightarrow \begin{cases} V_{MAX} = 24V \\ V_{MIN} = 19V \end{cases}$$

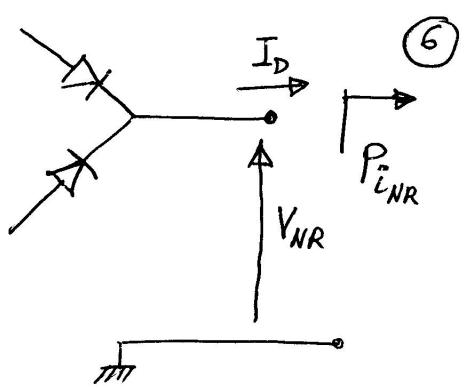
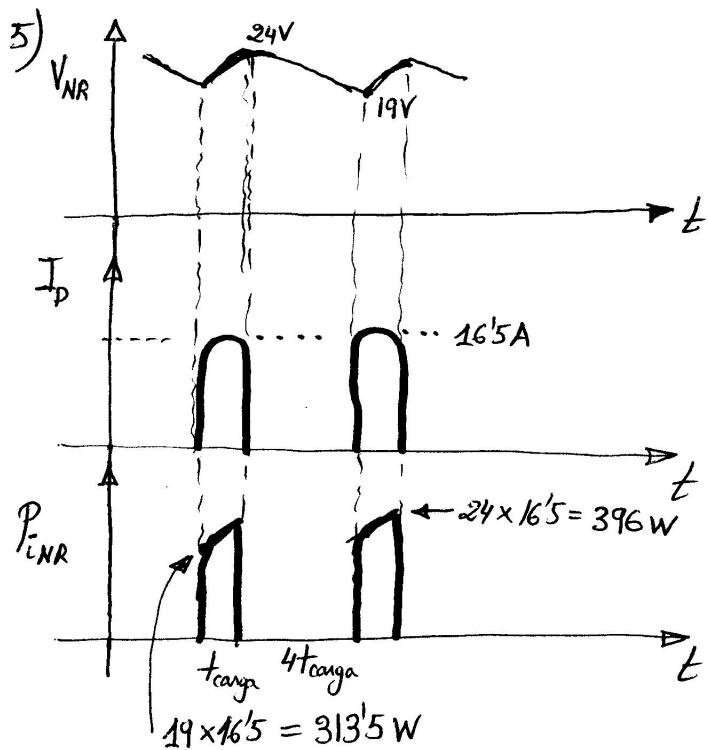
Con el 90% de tensión de red, la tensión eficaz del secundario será el 90% de  $18V_{ef}$  y la tensión de pico en secundario será:  $0'9 \times 18 \cdot \sqrt{2} = 0'9 \cdot V_p = \underline{\underline{22'9V}}$ . (5)

Como  $22'9V$  está  $(25'46 - 22'9) = 2'56V$  por debajo del valor de pico  $V_p$  que acabamos de usar, la tensión en  $C_1$  tendrá la forma ya dibujada pero con  $\begin{cases} V_{MAX} = 24 - 2'56 = \underline{\underline{21'44V}} \\ V_{MIN} = 19 - 2'56 = \underline{\underline{16'44V}} \end{cases}$



$$I_p \cdot t_{CARGA} = 3'3A \times 5t_{CARGA} \Rightarrow I_p = \underline{\underline{16'5A}}$$

Deberían ser diodos capaces de soportar una corriente media de  $3'3A$  y corrientes de pico de más de  $16'5A$ .



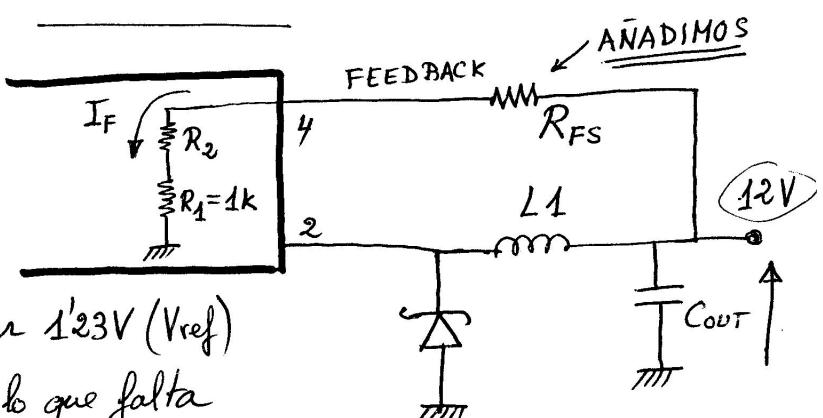
$$\langle P_{iNR} \rangle = \frac{396 + 313.5}{2} \cdot \frac{t_{carga}}{5t_{carga}}$$

$$\underline{\underline{\langle P_{iNR} \rangle = 70.95W}}$$

Esta  $\langle P_{iNR} \rangle$  aumentada en un 25% dará: 88.7 W < 90 VA de nuestro transformador reciclado, luego TR1 serviría. Realmente hemos considerado el caso peor en el que usaremos un regulador lineal. Por ello con el regulador comutado, TR1 va a trabajar con más holgura (sirve mejor para muestra fuente).

6) Haremos esto:

Añadimos  $R_{FS}$  en serie como se indica.

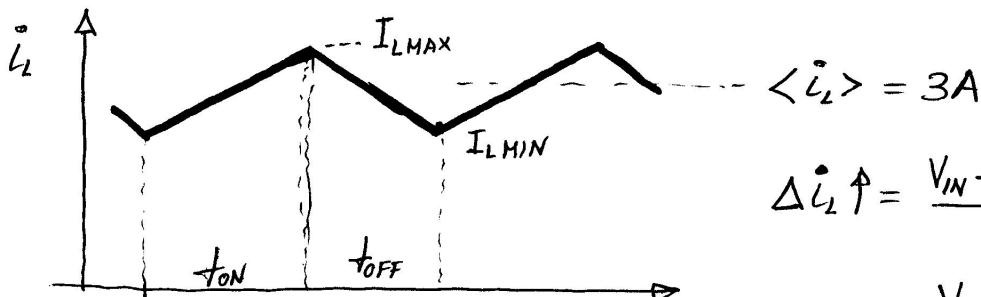


Sobre  $R_1 = 1k$  deben aparecer 1.23V ( $V_{ref}$ ) debido a  $I_F$ . Sobre  $R_2$  cae lo que falta hasta la tensión nominal (5V) del LM2573.

$$\text{Por tanto en } R_{FS} \text{ caerán: } 12 - 5 = 7V = \frac{1.23}{1k} \cdot R_{FS} \Rightarrow \underline{\underline{\frac{R_{FS} = 569k\Omega}{R_{FS} = 5k7}}}$$

$$7) V_{IN} = \frac{V_{MAX} + V_{MIN}}{2} = \frac{24+19}{2} = 21'5V$$

(7)



$$\Delta i_L \uparrow = \frac{V_{IN} - V_{DDC} - V_0}{L} \cdot t_{ON}$$

$$\Delta i_L \downarrow = \frac{V_0 + V_{DS}}{L} \cdot t_{OFF}$$

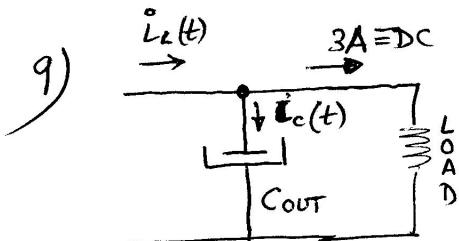
$$(21'5 - 0'5 - 12) \cdot t_{ON} = (12'3 + 0'3) \cdot t_{OFF} \Rightarrow 9t_{ON} = 12'3t_{OFF} \Rightarrow$$

$$t_{ON} = 1'37 t_{OFF} \quad T = \frac{1}{52kHz} = 19'23 \mu s$$

$$19'23 \mu s = 1'37 t_{OFF} + t_{OFF} \Rightarrow t_{OFF} = \frac{19'23}{2'37} = 8'1 \mu s \Rightarrow t_{ON} = 11'1 \mu s$$

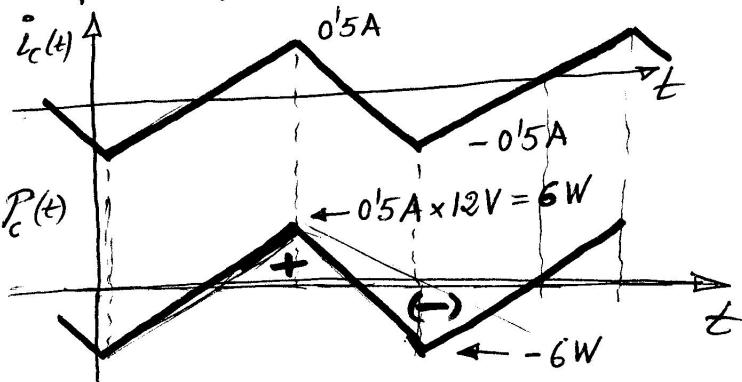
$$\Delta i_L \downarrow = \frac{12'3V}{100\mu H} \cdot 8'1 \mu s = 1A \Rightarrow \begin{cases} I_{L MAX} = <i_L> + 0'5A = 3'5A \\ I_{L MIN} = <i_L> - 0'5A = 2'5A \end{cases}$$

8) Tiene que ser una limitación en promedio, porque para dar 3A a la salida, la corriente  $\dot{i}_L$  debe superar 3A.



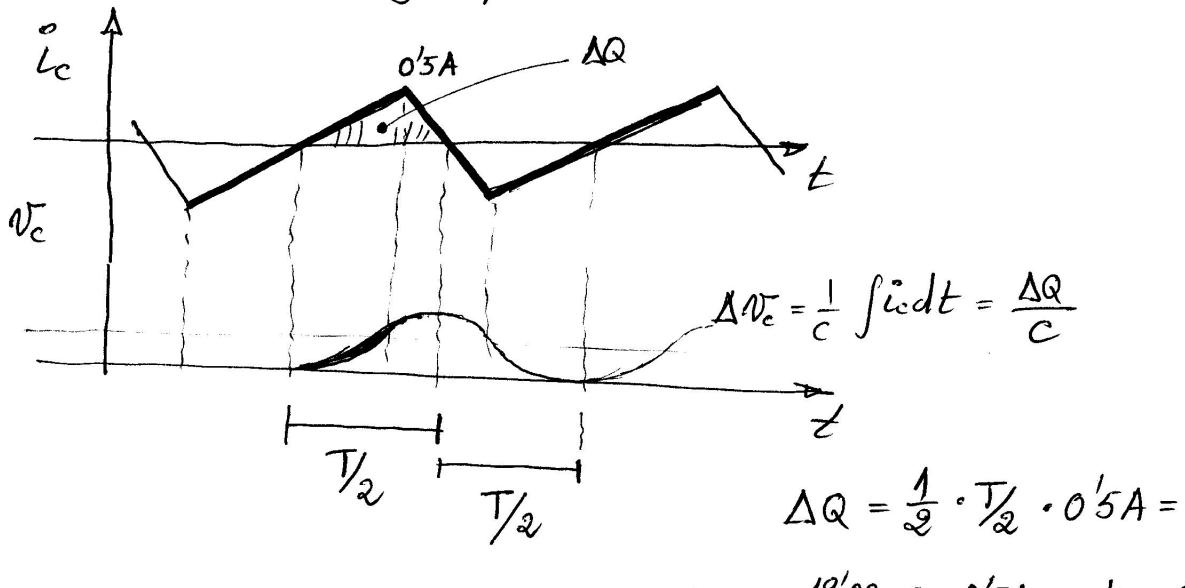
Restando a  $i_L(t)$  el valor DC (3A) que no puede circular por  $C_{OUT}$  tenemos:

$$\langle P_c(t) \rangle = \emptyset$$

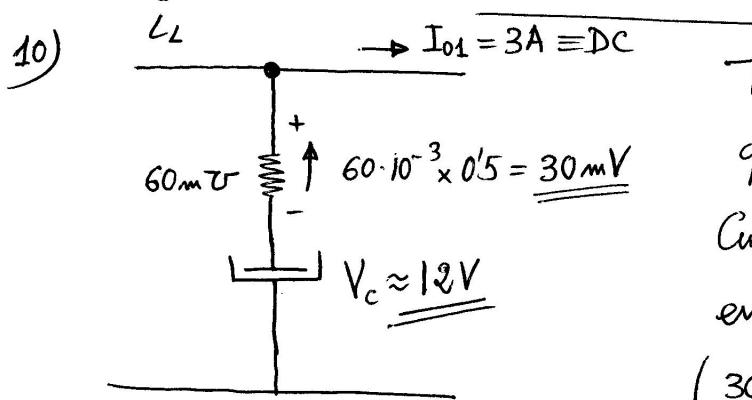


(8)

Para estimar el rizado a la salida en este caso vamos a considerar la carga que entra o sale de  $C_{out}$ :



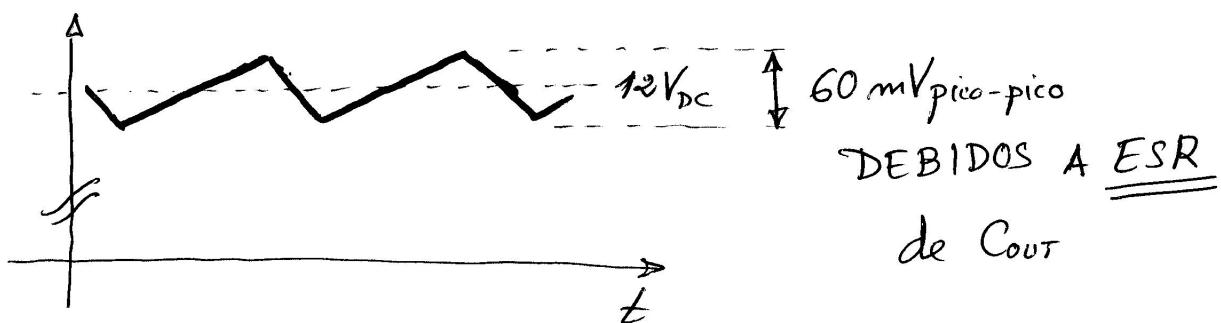
$$\Delta V_C = \frac{24 \mu C}{1000 \mu F} = 24 mV_{\text{pico-pico}} \quad \Delta Q = \frac{19.23 \mu s \cdot 0.5A}{4} = \underline{\underline{24 \mu C}}$$



Tomamos como  $i_C$  la anterior que va de  $+0.5A$  a  $-0.5A$ .

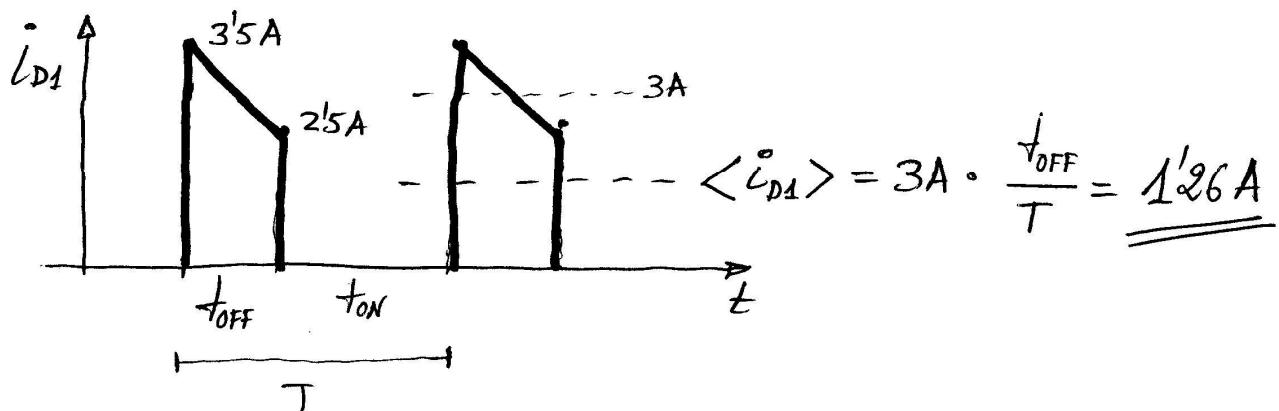
Cuando fluyen  $0.5A$  entrando en  $C_{out}$  tenemos:  $V_o = 12V + 30mV$   
 $(30mV > 24 mV \Rightarrow \text{NOS OLVIDAMOS de } \Delta V_C = 24 mV)$

La tensión de salida será por tanto

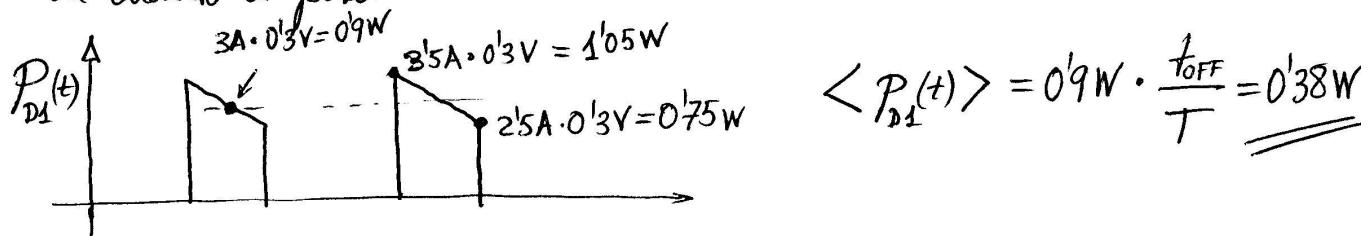


11) La corriente en D1 será:

(9)

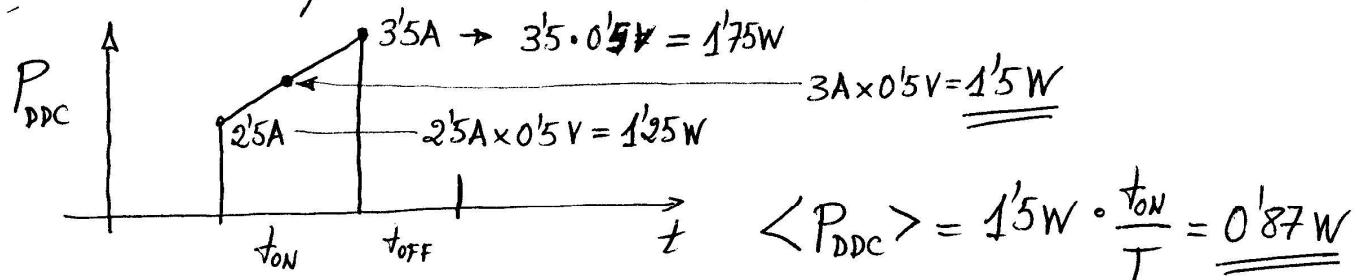


D1: Diodo Schottky capaz de soportar picos de corriente mayores que 3.5A y una corriente media mayor de 1.26A  
En cuanto a potencia media tendremos:



Uno capaz de disipar 0.5W de potencia media servirá.

La corriente por el "3AMP SWITCH" (DDC) será:



$$\eta_{SW} = \frac{P_L}{P_L + P_{DDC} + P_{D1}} = \frac{3 \cdot 1.2 = 36W}{36W + 0.38W + 0.87W} = \frac{36W}{36 + 1.25W} = \underline{\underline{96.6\%}}$$

Esto ya sugiere que la potencia absorbida por el regulador no es mucho mayor que 36W. En concreto:  $\frac{36}{0.966} = \underline{\underline{37.27W}}$

(10)

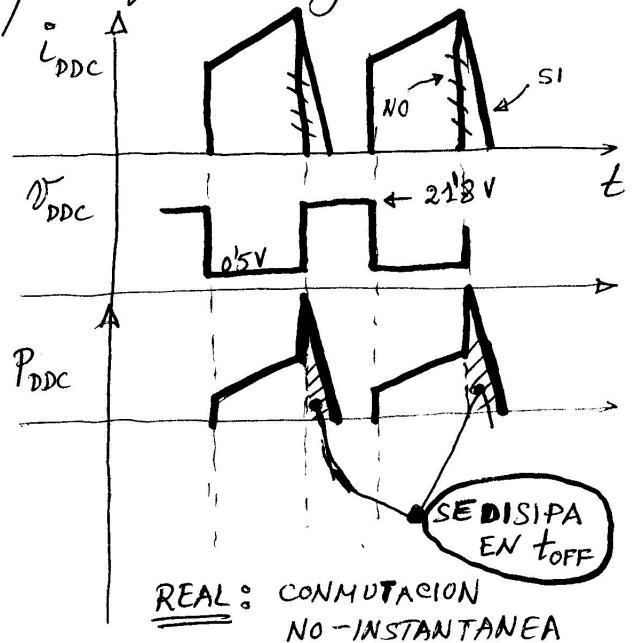
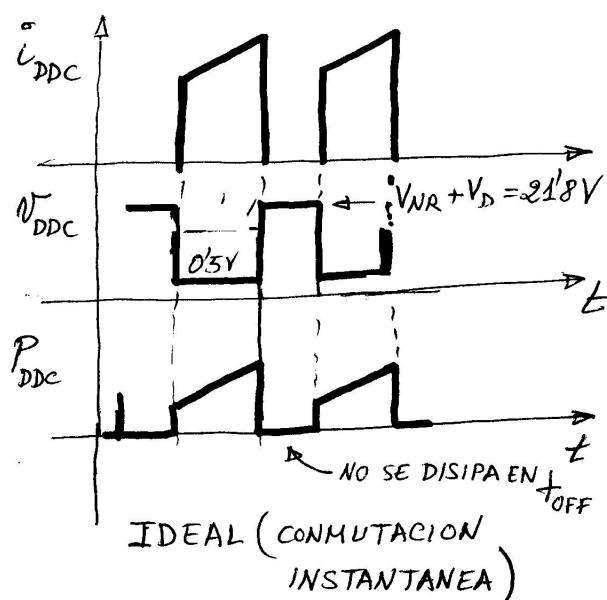
Esto haría pensar en que bastaría usar un solo devanado del secundario ya que tendríamos un factor  $F$  de sobredimensionado que sería:

$$45 \text{ VA} = F \cdot 37'27 \text{ W} = 1'19 \quad (\text{algo escaso, mejor usamos los dos})$$

HASTA AQUI BASTA PARA LO QUE SE PREGUNTA. EL RESTO ES PARA APRENDER

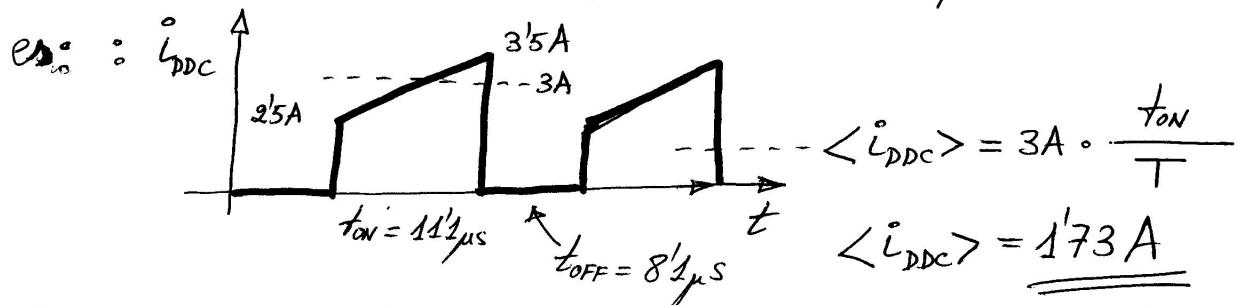
Picos de corriente de  $16'5 \text{ A}$  en  $2 \text{ ms}$  aconsejan usar el doble secundario conectado en paralelo para reducir caídas óhmicas (y calentamiento por tanto) en el secundario.

Además, ese rendimiento del  $96'6\%$  es bastante alto para ser real. Algo más cercano al  $90\%$  sería más creíble debido a que el DDC (el 3A-SWITCH) no comutará instantáneamente y disiparía algo más...



(11)

Para terminar con una visión más completa del sistema diremos que la corriente que hemos supuesto que danan los diodos:  $3A + 0'3A = 3'3A$  no es tanta. La razón es que usamos un regulador de commutación bastante eficiente que absorbe potencia de  $V_{NR}$  en forma pulsada, dado que, aunque está conectado a  $\langle V_{NR} \rangle = 21'5V$ , la corriente que absorbe es:



Por ello, la fuente potente de 36W en la carga, absorbe una potencia media de:  $\approx 21'5V \times 1'73A \approx \underline{\underline{37'2W}}$

Asumiendo una eficiencia parecida para la otra fuente que entrega 3'6W en la otra carga ( $V_{O2}, I_{O2}$ ) la corriente media que danan los diodos sería  $\approx 1'73A + 0'173 = \underline{\underline{1'9A}}$  que al ser menor que los  $3'3A$  que hemos supuesto, danan una menor caída de tensión en  $C_1$  (antes era 5V) y ahora sería  $5V \times \frac{1.9}{3.3} = \underline{\underline{2.9V}}$   $\Rightarrow$  Hay menos  $\Delta V_{NR}$  (100Hz) luego habrá menos rizado de baja frecuencia (100Hz) en la salida.