

# Anexo 7: Selección de componentes electrónicos

## Circuito limitador de corriente para la batería principal

El circuito planteado es el siguiente:

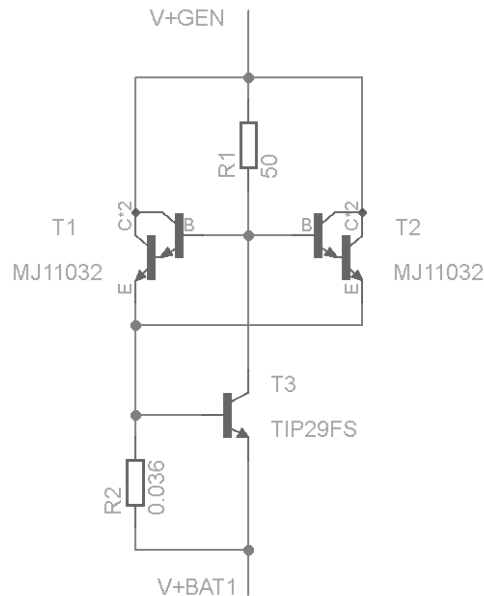


Figura A7.1: Diagrama esquemático del circuito limitador de corriente de 20 A propuesto para la batería principal. Fuente: Elaboración propia.

El principal requerimiento de este circuito es que sea capaz de soportar aproximadamente 300 W, que es la potencia que el generador entregará a éste. Los transistores que se encontraron en el mercado soportan como máximo 300 W, considerando un margen de seguridad se decidió usar 2 transistores iguales en paralelo para que el circuito pueda soportar sin problema la potencia requerida.

Para los cálculos de diseño se ha considerado estas tres condiciones críticas:

- La batería está completamente descargada, correspondiéndole una tensión de 8 V
- La tensión entregada por el generador es de 24 V
- La intensidad de corriente entregada por el generador es de 20 A

Con las condiciones mencionadas, los transistores T1 y T2 alcanzarían una tensión colector-emisor máxima de 15 V. Además, por cada uno transitarían 10 A alcanzando una potencia de 150 W.

Los requerimientos para el transistor T1 y T2 son:

- Potencia: 150 W
- Intensidad de corriente de colector-emisor: 10 A
- Tensión colector-emisor: 15 V
- Alta ganancia ( $h_{fe}$ )

Se seleccionó el transistor NPN Darlington MJ11032 que satisface los requerimientos presentados y cuenta con las siguientes características:

- Potencia máxima: 300 W
- Intensidad de corriente de colector-emisor máxima: 50 A
- Tensión colector-emisor máxima: 120 V
- Ganancia (hfe): 1000

Para el cálculo de la resistencia entre el colector y la base de T1 y T2, se propone que con una tensión de colector-base igual a 1 V pueda transitar la suficiente intensidad de corriente de base (20 mA) para alcanzar la intensidad de corriente máxima (20 A). Por esta razón, el valor de R1 resulta:

$$R1 = \frac{1\text{ V}}{I_{base}} = 50\ \Omega \quad (A7.1)$$

Para la selección del transistor T3 se ha considerado que la intensidad de corriente máxima que transitaría por éste sería toda la intensidad de corriente que atraviesa la resistencia R1, es decir:

$$I_{maxT3} = \frac{V_{+GEN} - V_{baseT}}{R1} \quad (A7.2)$$

Donde:

$I_{maxT3}$ : Intensidad de corriente máxima de T3

$V_{baseT}$ : Tensión de base del transistor T1 y T2

$V_{+GEN}$ : Tensión entregada por el generador

El valor de  $V_{baseT}$  estaría dado por la siguiente ecuación:

$$V_{baseT} = V_{+BAT1} + V_{BET3} + V_{BET} \quad (A7.3)$$

Donde:

$V_{BET3}$ : Tensión base-emisor del transistor T3

$V_{BET}$ : Tensión base-emisor del transistor T1 y T2

$V_{+BAT1}$ : Tensión de la batería principal

El valor de  $V_{BET}$  se encuentra en la hoja técnica brindada por el fabricante y tiene un valor de 1.8 V cuando la intensidad de corriente de colector es igual a 10 A. Además, se puede asumir el valor de  $V_{BET3}$  igual a 0.7 V. Reemplazando estos valores en la ecuación (A7.3) para obtener el valor de  $V_{baseT}$  y reemplazando el valor hallado en la ecuación (A7.2) obtenemos:

$$I_{maxT3} = 270\text{ mA}$$

Además, la tensión colector-emisor de T3 sería:

$$V_{CET3} = V_{BET3} + V_{BET} = 2.5\text{ V}$$

Donde:

$V_{CET3}$ : Tensión colector-emisor del transistor T3

Los requerimientos para este transistor son:

- Potencia: 0.675 W
- Corriente de colector-emisor: 0.27 A
- Tensión colector-emisor: 2.5 V

Se seleccionó el transistor NPN TIP29FS-ND que satisface los requerimientos presentados y cuenta con las siguientes características:

- Potencia máxima: 2 W
- Intensidad de corriente de colector-emisor máxima: 1 A
- Tensión colector-emisor máxima: 40 V

La resistencia R2 se encargará de sensar la intensidad de corriente, debido a que la tensión presente corresponde a la tensión base-emisor de T3. El valor de R2 se calculó de la siguiente manera:

$$R2 = \frac{V_{BET3}}{20 A} \quad (A7.4)$$

El valor de  $V_{BET3}$  se obtiene de las hojas técnicas brindada por el fabricante y tiene un valor de 0.73 V cuando la intensidad de corriente de colector tiene un valor de 270 mA. Reemplazamos este valor en la ecuación (A7.4) y obtenemos:

$$R2 = 0.0365 \Omega$$

Para la selección de las resistencias, se calculó la potencia requerida por éstas:

$$P_{R1} = I_{maxT3} * (V_{+GEN} - V_{baseT}) = 3.63 W$$

$$P_{R2} = 20 A * 0.75 V = 15 W$$

Para R1 se seleccionó una resistencia de 50  $\Omega$  y 10 W con código 40J50RE-ND, y para R2 se seleccionó una resistencia de 0.0036  $\Omega$  y 25 W con código TBH25PR036JE, cumpliendo con los requerimientos presentados.

## Cálculo de disipadores

Dado que se trata de cargas pulsantes, se ha trabajado con la potencia equivalente para calcular los disipadores necesarios. La potencia equivalente se calculó de la siguiente manera:

$$P_{eq} t_{ciclo} = 2 \left( \frac{P_{max} t_{carga}}{2} \right)$$

Donde:

$P_{max}$ : Potencia máxima

$t_{carga}$ : Tiempo de carga por eje = 0.4 s

$t_{ciclo}$ : Tiempo total de ciclo = 1.9 s

$P_{eq}$ : Potencia equivalente

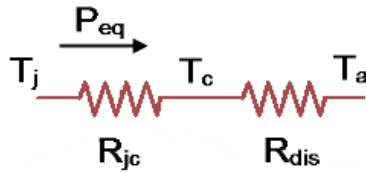


Figura A7.6: Diagrama para el cálculo de disipadores. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- $R_{jc}$ : Resistencia térmica entre junta-carcasa
- $R_{dis}$ : Resistencia térmica del disipador
- $T_j$ : Temperatura de junta
- $T_c$ : Temperatura de carcasa
- $T_a$ : Temperatura de trabajo del ambiente = 40 °C

El valor de  $T_c$  se calcula de la siguiente manera:

$$T_c = T_j - P_{eq} R_{jc}$$

Finalmente, se halla el valor de  $R_{dis}$ :

$$R_{dis} = \frac{T_c - T_a}{P_{eq}}$$

A continuación se muestran los valores de  $R_{dis}$  para el transistor T1 y T2 y la resistencia R2:

Componentes	$R_t$ (°C/W)	$P_{max}$ (W)	$P_{eq}$ (W)	$T_j$ (°C)	$T_c$ (°C)	$R_{dis}$ (°C/W)
T1 y T2	0.58	150	31.5789	120	101.7	1.95
R2	5	15	3.15789	100	84.21	14

Para los transistores T1 y T2, se ha seleccionado el disipador 421-K que cuenta con una resistencia térmica igual a 1.16 °C/W. Por último, para la resistencia R2 se ha seleccionado el disipador V6560W que cuenta con una resistencia térmica igual a 10 °C/W.

## Circuito de carga para la batería secundaria

### Circuito limitador de corriente para la batería secundaria

En este caso, el circuito ha sido diseñado para limitar 150 mA, el diagrama esquemático planteado es el siguiente:

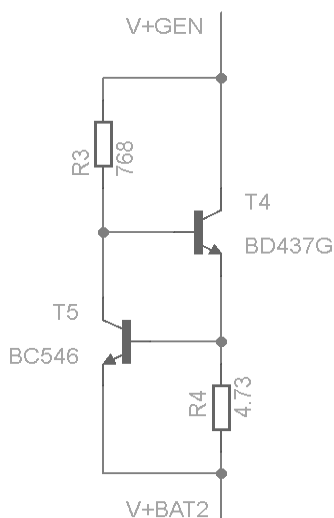


Figura A7.2: Diagrama esquemático del circuito limitador de corriente propuesto para la batería secundaria. Fuente: Elaboración propia.

Se empleó la misma metodología de cálculo para el primer circuito limitador, pero en este caso sólo se ha empleado un transistor en la entrada debido a que la potencia no es tan alta. Los requerimientos para el transistor T4 son:

- Potencia: 2.25 W
- Corriente de colector-emisor: 0.15 A
- Tensión colector-emisor: 15 V

Se seleccionó el transistor NPN BD437G que satisface los requerimientos presentados y cuenta con las siguientes características:

- Potencia máxima: 36 W
- Intensidad de corriente de colector-emisor máxima: 4 A
- Tensión colector-emisor máxima: 45 V
- Ganancia: 115

Para la resistencia R3, usando la ecuación (A7.1) y teniendo en cuenta la ganancia del transistor T4 seleccionado, obtenemos:

$$R3 = \frac{1 V}{I_{base}} = 766.67 \Omega$$

Para la selección del transistor T5 se ha considerado que la intensidad de corriente máxima que transitaría por éste sería toda la intensidad de corriente que atraviesa la resistencia R3, es decir:

$$I_{maxT5} = \frac{V_{+GEN} - V_{baseT4}}{R3} \quad (A7.5)$$

Donde:

$I_{maxT5}$ : Intensidad de corriente máxima de T5

$V_{baseT4}$ : Tensión de base del transistor T4

El valor de  $V_{baseT4}$  estaría dado por la siguiente ecuación:

$$V_{baseT4} = V_{+BAT1} + V_{BET4} + V_{BET5} \quad (A7.6)$$

Donde:

$V_{BET4}$ : Tensión base-emisor del transistor T4

$V_{BET5}$ : Tensión base-emisor del transistor T5

El valor  $V_{BET4}$  se encuentra en la hoja técnica brindada por el fabricante y tiene un valor de 0.75 V cuando la intensidad de corriente de colector es igual a 150 mA. Además, se puede asumir el valor de  $V_{BET5}$  igual a 0.7 V. Reemplazando estos valores en la ecuación (A7.5) para obtener el valor de  $V_{baseT4}$  y reemplazando el valor hallado en la ecuación (A7.6), obtenemos:

$$I_{maxT5} = 10.9 \text{ mA}$$

Además, la tensión colector-emisor de T3 sería:

$$V_{CET5} = V_{BET3} + V_{BET4} = 1.45 \text{ V}$$

Los requerimientos para este transistor son:

- Potencia: 0.0158 W
- Corriente de colector-emisor: 0.0109 A
- Tensión colector emisor: 1.45 V

Se seleccionó el transistor BC546 que satisface los requerimientos presentados y cuenta con las siguientes características:

- Potencia máxima: 0.5 W
- Intensidad de corriente de colector-emisor máxima: 0.1 A
- Tensión colector-emisor máxima: 80 V

La resistencia R4 se encargará de sensar la corriente, debido a que la tensión presente corresponde a la tensión base-emisor de T5. El valor de R4 se calculó de la siguiente manera:

$$R4 = \frac{V_{BET5}}{0.15 \text{ A}} \quad (A6.7)$$

El valor de  $V_{BET5}$  se obtiene de las hojas técnicas brindada por el fabricante y tiene un valor de 0.73 V cuando la intensidad de corriente de colector tiene un valor de 10 mA. Reemplazamos este valor en la ecuación (A7.7) y obtenemos:

$$R4 = 4.73 \Omega$$

Para la selección de las resistencias, se calculó la potencia requerida.

$$P_{R3} = I_{maxT5} * (V_{+GEN} - V_{baseT4}) = 0.1581 \text{ W}$$

$$P_{R4} = 0.15 \text{ A} * 0.72 \text{ V} = 0.108 \text{ W}$$

Para R3 se seleccionó una resistencia de  $768 \Omega$  y  $0.4 \text{ W}$  con código SFR2500007680FR500, y para R4 se seleccionó una resistencia de  $4.73 \Omega$  y  $1 \text{ W}$  con código ERX-1SJ4R7, cumpliendo con los requerimientos presentados.

### Circuito de protección contra sobrecargas para la batería secundaria

Se plantea el uso de un diodo Zener y un transistor en paralelo a la batería para la protección tal como se muestra en la figura A7.3.

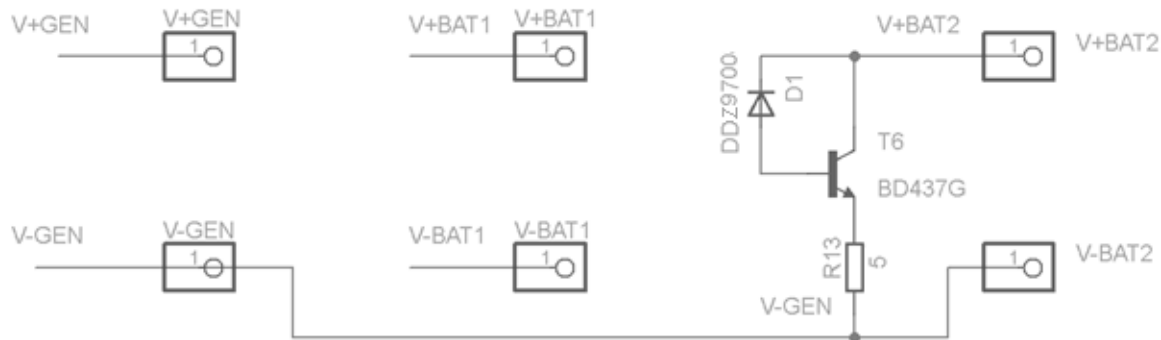


Figura A7.3: Diagrama esquemático del circuito de protección contra sobrecargas para la batería secundaria.  
Fuente: Elaboración propia.

El transistor T6 debe soportar la máxima corriente que transita por la batería, por lo que se propone usar el mismo transistor (T4) usado en el circuito limitador de corriente de  $150 \text{ mA}$ .

Lo que se plantea es que cuando se alcance la máxima tensión de carga indicado por el fabricante ( $14.5 \text{ V}$ ), toda la intensidad de corriente pase sólo por el transistor evitando la sobrecarga. Por seguridad, la máxima tensión de carga será  $13.5 \text{ V}$ . Se ha colocado una resistencia de  $5 \Omega$  con la finalidad de limitar los picos de corriente.

Para la selección del diodo Zener, se calculó la potencia requerida:

$$P_{req} = V_{zener} I_{baseT6} = 13 \text{ V} * 1.3 \text{ mA} = 16.9 \text{ mW}$$

El diodo Zener seleccionado es el DDZ9700 que cuenta con las siguientes características:

- Tension Zener:  $13 \text{ V}$
- Potencia máxima:  $500 \text{ mW}$

## Circuito de control de carga de la batería principal

El circuito propuesto es el siguiente:

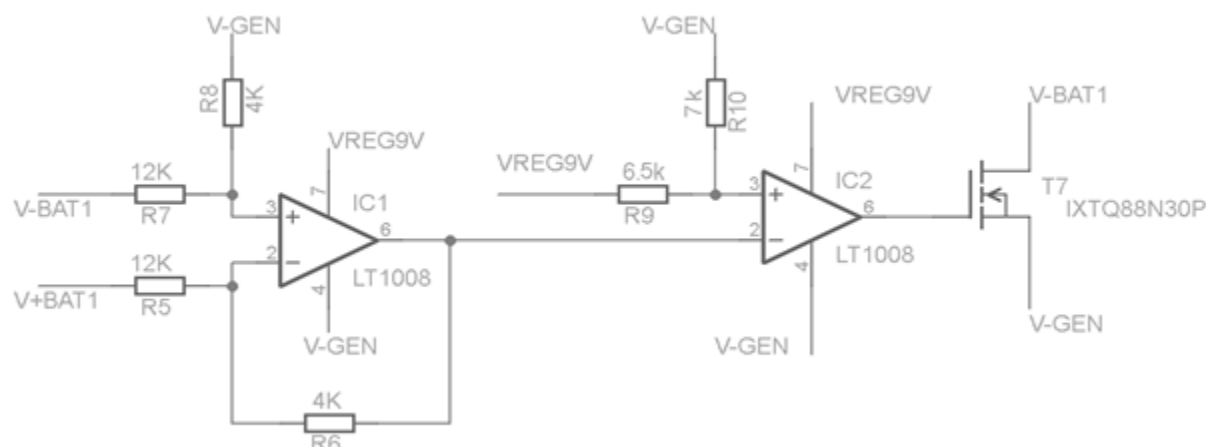


Figura A7.4: Diagrama esquemático del circuito de control de carga de la batería principal. Fuente: Elaboración propia.

El circuito de control de carga consiste en comparar la tensión de carga en la batería principal con una tensión de referencia determinado por un regulador de tensión de 9 V, y de esta forma poder determinar si es que ya alcanzó su tensión máxima programada (85 %). La salida de este comparador activaría o desactivaría un MOSFET para dejar pasar o no la corriente de carga según sea el caso.

El primer amplificador operacional (IC1) está configurado como restador con el objetivo de medir la tensión entre los terminales de la batería principal en plena carga. La tensión en la salida del amplificador operacional IC1 es:

$$V_{salidaIC1} = ((V_{+BAT1}) - (V_{-BAT1})) \frac{R6}{R5}$$

Donde:

$V_{salidaIC1}$ : Tensión de salida del amplificador operacional IC1

$V_{+BAT1}$ : Tensión en el terminal positivo de la batería principal

$V_{-BAT1}$ : Tensión en el terminal negativo de la batería principal

Se ha considerado que la relación entre R6 y R5 sea igual a 1/3, seleccionando los siguientes valores:

$$R5 = 12000 \, \Omega \text{ y } R6 = 4000 \, \Omega$$

Por motivos de seguridad, la batería principal será cargada sólo hasta el 85% de su capacidad, siendo la tensión de carga máxima igual a 14 V.

Cuando la batería llegue a la tensión máxima mencionada, la tensión en la salida de IC1 será 4.67 V. El divisor de tensión dispuesto para la tensión regulada (9 V) debe tener una relación que permita obtener una tensión de referencia igual a 4.67 V; siendo así, tenemos:

$$V_{ref} = \frac{R10}{(R9 + R10)} 9 \, V = 4.67 \, V$$



De esta igualdad, se obtiene que la relación entre estas resistencias es la siguiente:

$$\frac{R10}{R9} = \frac{14}{13}$$

Los valores seleccionados son:

$$R9 = 6500 \, \Omega \quad \text{y} \quad R10 = 7000 \, \Omega$$

La alimentación de los amplificadores operacionales debe provenir de una fuente regulada, por lo que la tensión de la batería secundaria será regulada a 9 V mediante el circuito integrado ISL80136 tal como se muestra en la figura A7.5. Se seleccionó este circuito debido a que una de sus principales características es el bajo consumo de corriente en estado inactivo (low quiescent current). Por recomendación del fabricante, se han colocado dos condensadores; además, el fabricante brinda una ecuación que relaciona las resistencias en la salida para obtener una tensión regulada de 9 V.

$$V_{REG9V} = 1.223 \left( \frac{R11}{R12} + 1 \right) = 9 \, V$$

La relación entre estas dos resistencias resulta:

$$\frac{R11}{R12} = \frac{7777}{1223}$$

Los valores seleccionados de las resistencias R11 y R12 son:

$$R11 = 15260 \, \Omega \quad \text{y} \quad R12 = 2400 \, \Omega$$

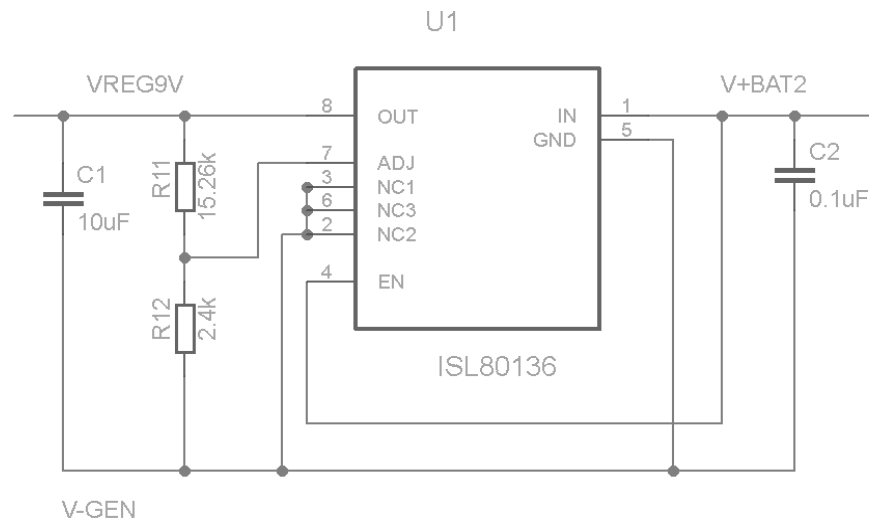


Figura A7.5: Diagrama esquemático del regulador de tensión. Fuente: Elaboración propia.

Además, es importante determinar la intensidad de corriente que consumirá el circuito de control de carga para asegurar que la batería secundaria no sufrirá grandes descargas.

$$I_{consumo} = I_{regulador} + I_{divisor}$$

Donde:

$I_{consumo}$ : Intensidad de corriente consumida

$I_{regulador}$ : Intensidad de corriente que consume el regulador

$I_{divisor}$ : Intensidad de corriente que circula en el divisor de tensión de IC2 (R9 y R10)

El valor de la intensidad de corriente que consume el regulador está dado por:

$$I_{regulador} = I_{opamps} + I_{tierra} + I_{R11R12}$$

Donde:

$I_{opamps}$ : Intensidad de corriente de alimentación para los amplificadores operacionales

$I_{tierra}$ : Intensidad de corriente del regulador que se descarga a tierra

$I_{R12}$ : Intensidad de corriente que transita por R11 y R12

La intensidad de corriente de alimentación para los amplificadores operacionales es proporcionada por el fabricante y tiene un valor de 380 uA cada una. El valor de  $I_{tierra}$  es proporcionado por el fabricante y tiene un valor de 40 uA. El valor de  $I_{R11R12}$  está dado por la siguiente ecuación:

$$I_{R11R12} = \frac{9\text{ V}}{R11 + R12} = 0.51\text{ mA}$$

Por último, el valor de  $I_{divisor}$  está determinado por:

$$I_{divisor} = \frac{9\text{ V}}{R9 + R10} = 0.67\text{ mA}$$

Finalmente, con todos estos valores obtendremos que la intensidad de corriente que consumirá el circuito de control será igual a 1.97 mA.