



M  
**22-002**  
Draft v0.1

M 22-002

# *Termica de Componentes*

## Informacion de calculos termicos

Daniel Vilas  
(Draft v0.1)



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons “Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional”.



# 1 Introduccion

Los modulos "DCC DiY Tools" son una serie de "Herramientas DCC Hazlo tu Mismo", pensadas para la gente con conocimiento de las placas Arduino y similares puedan desarrollar sus propios modulos sin tener que preocuparse de las complejidades y de los problemas comunes.

Este documento es el manifiesto de intenciones de los modulos que estan bajo el paraguas del concepto "DCC DiY Tools". Veremos la definicion asi como las licencias y garantias generales que se pueden esperar de estos modulos.

Hoy por hoy, la electronica DiY<sup>1</sup> ha sufrido una explosion de posibilidades gracias en parte a la plataforma Arduino y al abaratamiento de los componentes. Asi mismo su programacion se ha democratizado gracias a la citada plataforma Arduino y la pletora de librerias, modulos y ejemplos existentes.

<sup>1</sup>Do It Yourself: Haztelo Tu Mismo

Esto crea el caldo de cultivo ideal para un sector como es el modelismo ferroviario. Una aficcion ya de por si muy hecha a hacer cosas por cada aficionado. Pudiendo hacerse complejos sistemas electronicos, automatismos y efectos. Y, que gracias a esta democratizacion, a la mano de cualquiera, sin tener ser experto en la materia.

## 2 Calculos generales

El objetivo de este documento es tener un listado de empaquetados de chips usables segun la potencia que pueden disipar. En este apartado exponemos como calcular la temperatura de un chip cualquiera.

La forma de modelar/estimar que temperatura alcanzara el silicio en un chip es considerar la potencia que disipa como una fuente de corriente y el camino que tiene hasta el aire como una resistencia, segun el modelo simplificado(a)4.

Antes de ver el modelo simplificado y hacer algunos calculos, veamos un modelo más completo.

### 2.1 Modelos mas completos

Estos modelos los podemos complicar un poco más<sup>2</sup>, dependiendo de si usamos un dissipador sobre un componente o usamos la propia PCB como dissipador. En cuyo caso la resistencia termica es de  $100\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{inch}^2$  o  $645.16\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{cm}^2$ . Aunque estos valores dependeran en gran medida de los materiales usados en la fabricacion de la PCB.

<sup>2</sup>Acercandose más a la realidad

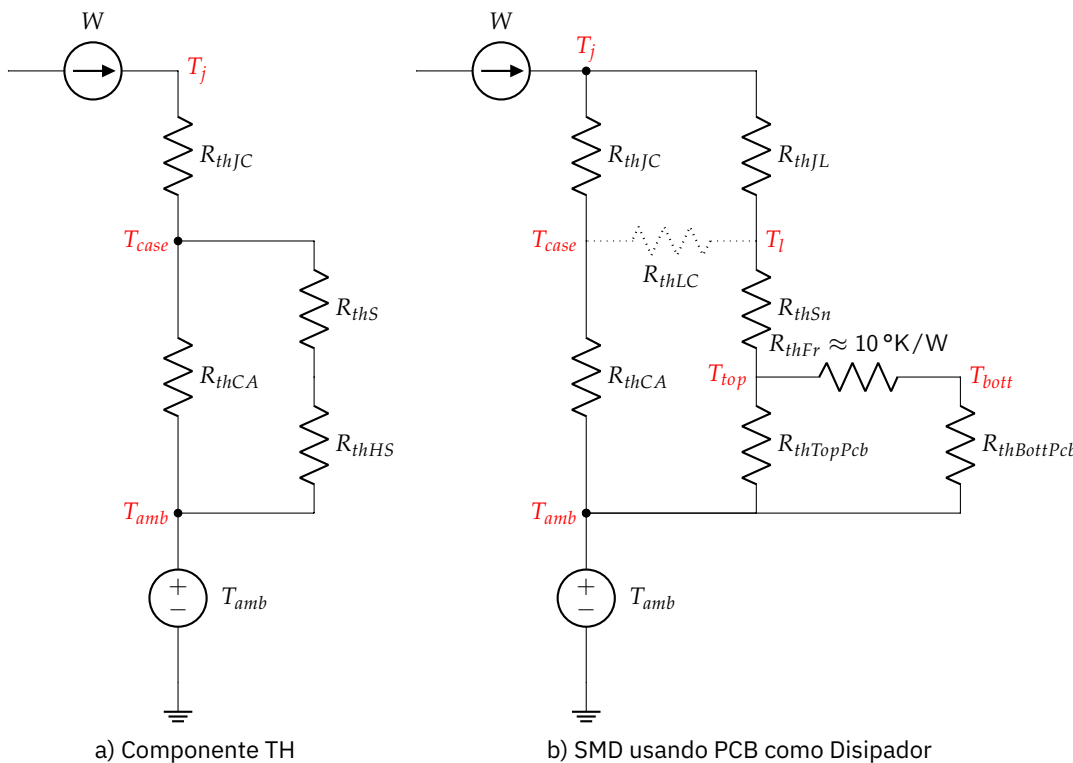


Figura 1: Diseño más complejo

Donde  $R_{thS}$  es la resistencia termica entre la carcasa y el dissipador,  $R_{thJL}$  es la resistencia del silicio a pin (Lead). Asi mismo  $R_{thSn}$  es la resistencia entre el pin y el plano de cobre PCB, que dependera del estaño (Sn) utilizado. Por otra parte  $R_{thFr}$  denota la resistencia termica del FR4 en una PCB de dos caras. Por ultimo  $R_{thXPcb}$  es la resistencia termica de las capas de cobre, que depende directamente del tamaño del area. Nos faltaria una resistencia del pin a la carcasa ( $R_{thLC}$ ), pero podemos considerar que el fabricante ya lo includio en  $R_{thJC}$  y que se puede considerar un circuito abierto.

Ahora es momento de simplificar el circuitito teniendo en cuenta la regla del  $10^3$ , pudiendo eliminar una resistencia si hay otra 10 veces mas grande o pequeña segun sea el caso:

<sup>3</sup>En realidad depende de la tolerancia

- **En serie:** Si  $R_p$  es 10 menor que  $R_g$ , podemos eliminarla puesto que  $R_p$  se esconderia en la tolerancia de  $R_g$ .

En nuestro caso sucede con  $R_{thS}, R_{thSn}$ , siendo, repsecivamente, estas la pasta termica que se pone entre un chip y el disipador, y el estaño que une un pad a la PCB. ambas cercanas a  $1\text{ }^{\circ}\text{K/W}$

- **En paralelo:** Si  $R_g$  es lo suficientemente grande, su valor se esconderia en la tolerancia de  $R_p$ , por lo que puede eliminarse. Para el calculo de temperaturas, donde nuestro origen es una fuente de calor representada como fuente de corriente, lo que hace es «robar» un poco de corriente a  $R_p$ , por lo que al eleminar  $R_g$  tendremos un error al alza. Habiendo calculado una temperatura superior a la real, y si esta es segura, la real tambien.

Asi pues con un disipador correcto ( $R_{thHS}$ , o la red que representa la PCB), podremos quitar  $R_{thCA}$ .

- **Otras:** Como la conexion en delta, se pueden llegar a simplificar pensando en cuanta corriente se llevan, pero lo normal es que los fabricantes ya hayan echo los calculos y no sean necesarios. Como el es el caso de  $R_{thLC}$ .

### 2.1.1 Origen del modelo

El modelo aterior1 tiene su orgien en dos tipos de componentes, como ejemplo un TO-220 para through hole y un TO-252-3 para SMD. Se han escogido por ser tener una zona para disipar calor (Tab para TO-220 y un pin/lead en 252). Aunque hay muchos otros empaquetados que tiene un PAD especifico para disipar calor, normalmente conectado a GND o a otro plano de potencia.

En la figura siguiente2 hemos represenado ambos componentes sobre una PCB de dos caras. Y con flechas verdes los caminos del calor. Asi pues cada flecha es una resistencia «termica»

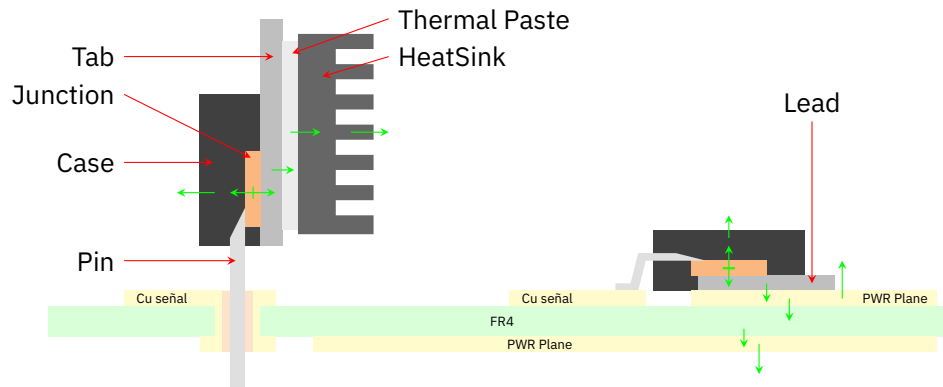


Figura 2: Origen del modelo a partir de componentes

Este modelo se ha basado en la explicacion dada por la AN-2020[1] de Texas Instruments.

### 2.1.2 Modelo completo

A partir del modelo anterior podemos añadir un disipador encima del chip y otro por debajo de la PCB con lo que el modelo quedaria:

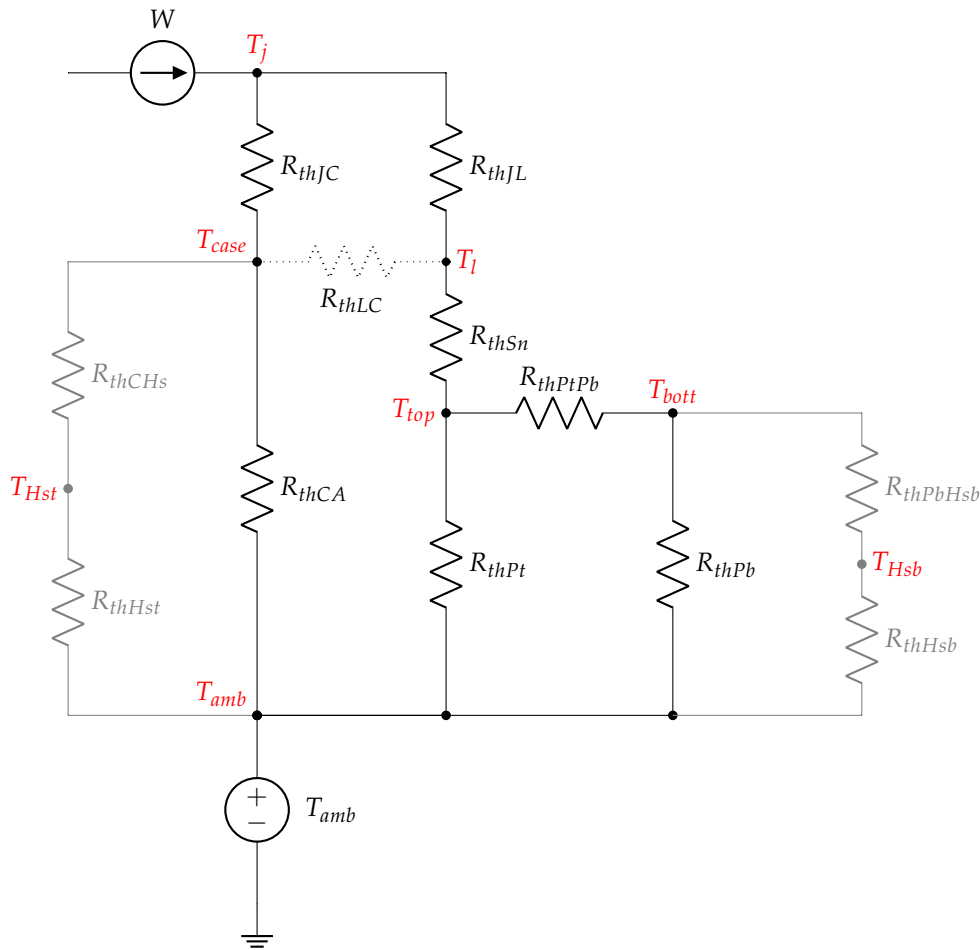


Figura 3: Modelo más complicado a usar

Este modelo es el mas complicado que debemos tener en cuenta para un proyecto hobby que entre dentro del paraguas Dcc Diy Tools. Si necesitamos complicarlo más habria que considerar usar software profesional<sup>4</sup>.

<sup>4</sup>Que lo hay

En general los valores de las resistencias son:

|        |   |  |
|--------|---|--|
| (2.1a) | $R_{thJC} \simeq R_{thJL} \approx 15$           | $10 < R_{thJC/L} < 20$   |
| (2.1b) | $R_{thCHs} \simeq R_{thPbHsb} \approx 0,8$      | $0,5 \leq R_{thTP} \leq 1$   |
| (2.1c) | $R_{thPt} \simeq R_{thB} = \frac{\alpha}{Area}$ | $R_{th}(a) = \frac{100}{a_{Inch^2}} = \frac{100}{a_{cm^2}/6} = \frac{600}{a_{cm^2}}$ |
| (2.1d) | $R_{thPtPb} = f(mat, vias)$                     | $R_{thPtPb}(fr4, 0) \approx 10$  |
| (2.1e) | $R_{Sn} \approx 0,1$                            | $0 < R_{Sn} < 1$   |

Valores tipicos

La equacion 2.1a se refiere a que la resistencia del Silicio a un pin es similar a la resistencia del mismo carcasa, siendo 15 un valor tipico que nos encontraremos. Y en todo caso estara en el rango de 10 a 20.

Las restencias de las pastas termicas 2.1b seran todas similares, seguramente 0,8.

Ademas la resistencia de una zona de cobre, es inversamente proporcional a su area, con un valor de  $100 \text{ } ^\circ\text{C W}^{-1}$  cada incha cuadrada o 6 centimetros cuadrados. Ademas la resistencia termica entre

la capa superior e inferior depende del material de la placa y de las vías utilizadas, Si no hay vías, una placa de fr4 de 1.6 mm tiene un valor de  $10^{\circ}\text{C W}^{-1}$ .

Por ultimo el estaño que une el pin al pad de cobre, tiene una resistencia minima, casi cercana a 0.

Teniendo en cuenta los valores y su proporcion con otras Resistencias se puede simplificar este circuito, de forma general y especifica segun se usen disipadores o no.

$$\begin{array}{ll}
 (2.2a) & R_{thLC} \gg R_{thJC} & R_{thLC} \approx \infty \\
 (2.2b) & R_{thCHs} \ll R_{thHst} & R_{thCHs} \approx 0 \\
 (2.2c) & R_{thPbHsb} \ll R_{thHsb} & R_{thPbHsb} \approx 0 \\
 (2.2d) & R_{thSn} \ll R_{thJL} & R_{thSn} \approx 0
 \end{array}$$

### Simplificaciones globales

Por otra parte 2.2a,  $R_{thLC}$  respecto a las otras resistencias es lo suficientemente grande como para considerar que es un circuito abierto o de valor infinito.

El valor de la pasta termica sera pequeño comparado con la del disipador al que acompañan que pueden obviarse. Ya sea encima del componente 2.2b o por debajo de la pcb 2.2c.

Algo paracido pasa con la Resistencia del estaño usado para unir el chip a la PCB. Es tan pequeño respecto a otras resistencias que se puede obviar 2.2d

Finalmente se suelen seguir una serie de reglas de diseño que pueden simplificar aun más el diseño. Para empezar cuando se decide disipar el calor. Se escoge un solo camino de los siguientes:

- **Disipador Superior:** En este caso se busca un Disipador cuya  $R_{th}$  sea tan pequeña que deprede todas las demas. La PCB no se diseña para disipar calor.

$$\begin{array}{ll}
 (2.3a) & R_{thRamaCase} \ll R_{thRamaLead} & R_{thRamaLead} \approx \infty \\
 (2.3b) & R_{thCHs} + R_{thHs} \ll R_{thCA} & R_{thCA} \approx \infty \\
 (2.3c) & R_{thJA} = R_{thJC} + R_{thCHs} + R_{thHs} & R_{thJA} = R_{thJC} + R_{thHs}
 \end{array}$$

### Simplificaciones Disipador Superior

En este caso, al no haberse diseñado la pcb como disipador, la resistencia por la rama de la misma sera muy alta (en comparacion con la rama del dispador), tanto que se puede considerar que no exista 2.3a. Lo mismo pasa con la disipacion de la carcasa. Una buena eleccion del dispador hace que podamos ignorar la disipacion por la carcasa 2.3b y nos queda una ecuacion de tres resistencias, 2.4d y a tenor de sus valores 2.2b podemos resumir en la ecuacion con solo dos resistencias

- **Disipador Inferior:** Otra forma de disipar el calor en componentes SMD es usar un disipador por la cara opuesta donde esta montando el chip. Esta solucion requiere ocupar con cobre descubierto en la capa inferior del mismo tamaño que el disipador. Y en la capa superior que los pads "termales"<sup>5</sup> sean lo suficientemente grandes como para poner las vías adecuadas, asi las capas superior e inferior tiene una buena conductividad termica.

<sup>5</sup> Mirar el datasheet

$$\begin{array}{ll}
 (2.4a) & R_{thRamaLead} \ll R_{thRamaCase} & R_{thRamaCase} \approx \infty \\
 (2.4b) & R_{thPtPb} = R_{th(fr4, OptimunVias)} & R_{thPtPb} \approx 0 \\
 (2.4c) & R_{thHsb} \ll R_{thPt} || R_{thPb} & R_{thPt} \sim R_{thPb} \approx \infty \\
 (2.4d) & R_{thJA} = R_{thJL} + R_{thPbHsb} + R_{thHsb} & R_{thJA} = R_{thJL} + R_{thHsb}
 \end{array}$$

## Simplificaciones Disipador Superior

A pesar de que la superficie de cobre mejorara la disipacion de calor, es el disipador quien hara el trabajo, con un valor mucho menor .

## 2.2 Modelo Simplificado

El modelo más simplificado es una resistencia, que podremos usarlo cuando este dato nos sea dado por el fabricante en el DataSheet. El más realista son dos resistencias en serie, una representado la resistencia desde el silicio al disipador (ya sea, la carcasa, la pcb o un trozo de metal) y otra de este ultimo al aire.

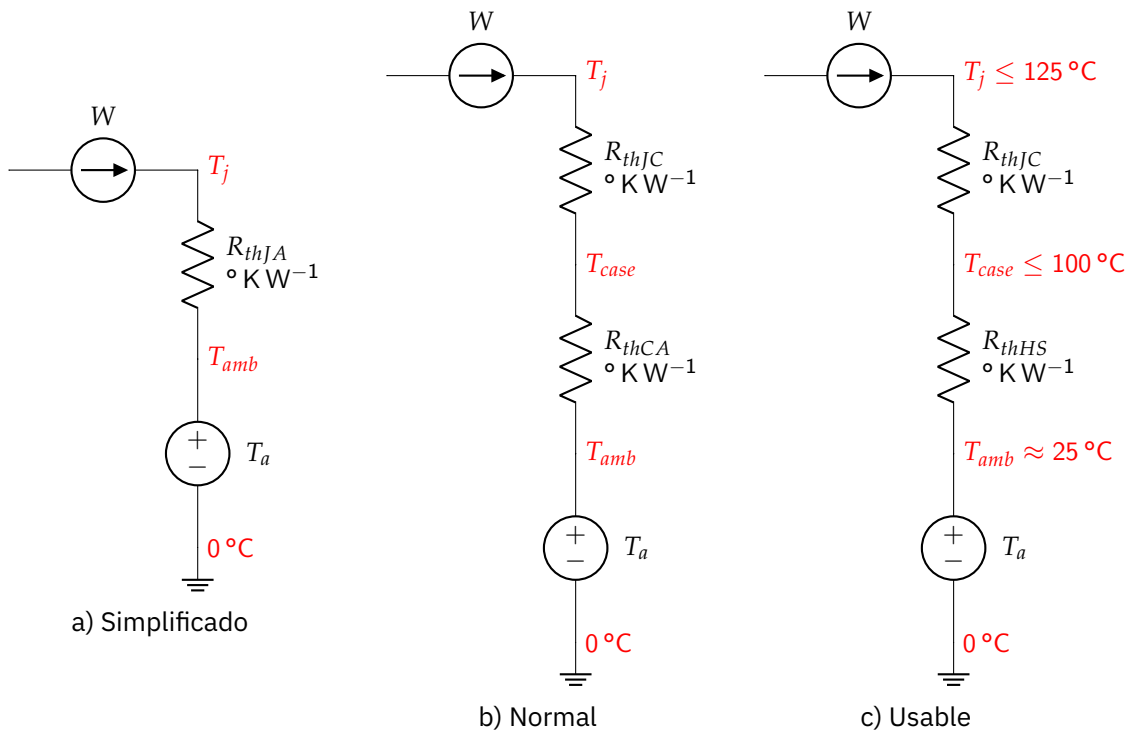


Figura 4: Circuito Equivalente

En la practica es mejor modelar como dos resistencias, una  $R_{thJC}$  : Junction<sup>6</sup> a la case<sup>7</sup> y  $R_{thCA}$  de la carcasa al ambiente, tal y como se representa en el caso (b) 4. De esta forma podremos variar  $R_{thCA}$  con un disipador más grande.

<sup>6</sup>El silicio

<sup>7</sup>Carcasa

En este modelo es importante mantener la temperatura del silicio  $T_j$  por debajo de  $125^{\circ}\text{C}$  lo que se suele corresponde con  $T_c = 100^{\circ}\text{C}$  en la carcasa. Como hemos visto, en la realidad, el modelo es más complejo, con resistencias en paralelo segun el disipador que se ponga, pero se simplifica por la diferencia valores y se puede ignorar  $R_{thCA}$  por  $R_{thHS}$  del disipador<sup>8</sup> .

<sup>8</sup>HeatSink

## 2.3 Calculos en la practica

Generalmente querremos saber si nuestro diseño es viable, pero podemos concretar en que querremos responder una de estas preguntas:

- ¿Cuanta es la potencia maxima que podemos usar en este componente?



- ¿Que temperatura alcanzara el componente con la potencia que va a pasar? o cada parte (carcasa, pcb, ...)
- ¿Cual es el disipador minimo que tenemos que poner? o que es lo mismo ¿Que resistencia maxima debe tener el disipador?
- ¿Que area minima debemos usar en la PCB para disipar X potencia?

La mejor forma de conseguir esto es diseñar una PCB pequeña, de tamaño similar al standart JESD51 de JEDEC, pero modificada para que se parezca a nuestra PCB final y probar con una fuente de laboratorio y una camara de infrarojos. La segunda mejor forma es sobre nuestras PCB.

Aunque hoy por hoy es barato obtener una PCB, es mucho mas rapido hacer unos pocos calculos y luego comprobarlos sobre la PCB. Los componentes siguen teniendo un precio

Para cualquier pregunta, deberemos trabajar con el modelo de una o dos resistencias. Para ello trabajaremos solo con un camino de disipacion y obviaremos el otro.

En el caso de los componentes through hole solo tenemos dos opciones, con o sin disipador. Si no tenemos disipador solo tendremos el camino por la carcasa al aire, pero si ponemos un disipador tenemos dos caminos. En este caso podemos eliminar el camino que va por la carcasa.

En cambio, para los componentes SMD, siempre tendremos la disipacion por PCB, aunque no añamos diseñado la PCB como disipador. Si no hemos diseñado la PCB a conciencia<sup>9</sup> solo tendremos en cuenta la disipacion por la carcasa. Y si nuestra intencion es usar la PCB como disipador, es mejor descartar la carcasa y diseñar la PCB como unica opcion de disipador.

<sup>9</sup> Podria ser que sin querer sea un buen disipador

Al omitir un camino lo que conseguimos es un error al alza en la temperatura por lo que si nuestro diseño es seguro<sup>10</sup> segun los calculos lo sera en la realidad.

<sup>10</sup>  $T_j < 125^\circ\text{C}$

Como ejemplo vamos usar un chip 78XX de onsemi, MC7800 cuyo datasheet nos dice lo siguiente:

| desc                      | PadSize                | Symbol     | Empaquetado |               |
|---------------------------|------------------------|------------|-------------|---------------|
|                           |                        |            | TO-220      | TO-252-3 DPAK |
| Th R, Junction-to-Case    |                        | $R_{thJC}$ | 5           | 5             |
| Th R, Junction-to-Ambient |                        | $R_{thJA}$ | 65          | 96            |
| Th R, Junction-to-Ambient | $5 * 5 \text{ mm}^2$   | $R_{thJA}$ | -           | 67            |
| Th R, Junction-to-Ambient | $10 * 10 \text{ mm}^2$ | $R_{thJA}$ | -           | 56            |
| Th R, Junction-to-Ambient | $20 * 20 \text{ mm}^2$ | $R_{thJA}$ | -           | 49            |
| Max Junction Temperature  |                        | $T_j$      | 150         | 150           |

Cuadro 1: Datos suministrados por el DataSheet

Como podemos ver no nos dice  $R_{thCA}$  ni  $R_{thPCB}$  y tenemos diferentes  $R_{thJA}$  segun el tamaño del pad. Con esta informacion podemos averiguar los datos que nos faltan usando las siguientes formulas.

$$(2.5a) \quad R_{thJA} = R_{thJC} + R_{thCA}$$

Sin disipador

$$(2.5b) \quad R_{thJA}(a_{pcb}) = R_{thJC} + R_{thCA} || R_{thPCB}(a_{pcb})$$

Con disipador(PCB)

De las cuales podemos deducir las siguientes ecuaciones:

$$(2.6a) \quad R_{thCA} = R_{thJA} - R_{thJC}$$

$$(2.6b) \quad R_{thPcb}(a_{pcb}) = \frac{1}{\frac{1}{R_{thJA}(a_{pcb}) - R_{thJC}} - \frac{1}{R_{thCA}}}$$

Siguiendo los siguientes pasos:

$$R_{thCA} = R_{thJA} - R_{thJC}$$

Despejando de 2.5a

$$R_{thJA}(a_{pcb}) = R_{thJC} + \frac{1}{\frac{1}{R_{thCA}} + \frac{1}{R_{thPcb}(a_{pcb})}}$$

Aplicando || en 2.5b

$$R_{thJA}(a_{pcb}) - R_{thJC} = \frac{1}{\frac{1}{R_{thCA}} + \frac{1}{R_{thPcb}(a_{pcb})}}$$

Despejando

$$\frac{1}{R_{thJA}(a_{pcb}) - R_{thJC}} = \frac{1}{R_{thCA}} + \frac{1}{R_{thPcb}(a_{pcb})}$$

Aplicando 1/x

$$\frac{1}{R_{thPcb}(a_{pcb})} = \frac{1}{R_{thJA}(a_{pcb}) - R_{thJC}} - \frac{1}{R_{thCA}}$$

Despejando

$$R_{thPcb}(a_{pcb}) = \frac{1}{\frac{1}{R_{thJA}(a_{pcb}) - R_{thJC}} - \frac{1}{R_{thCA}}}$$

Aplicando 1/x

Con estas ecuaciones obtenemos los datos que nos faltan:

|                       |                      |            | Empaquetado |               |
|-----------------------|----------------------|------------|-------------|---------------|
| desc                  | PadSize              | Symbol     | TO-220      | TO-252-3 DPAK |
| Th R, Case-to-Ambient |                      | $R_{thCA}$ | 60          | 91            |
| Th R, Case-to-Ambient | 5x5mm <sup>2</sup>   | $R_{thCA}$ | -           | 195           |
| Th R, Case-to-Ambient | 10x10mm <sup>2</sup> | $R_{thCA}$ | -           | 122           |
| Th R, Case-to-Ambient | 20x20mm <sup>2</sup> | $R_{thCA}$ | -           | 86            |

Cuadro 2: Datos suministrados por el DataSheet

### 2.3.1 Maxima Potencia

Para calcular la potencia maxima que se puede disipar para una configuracion dada conviene calcular la  $R_{thJA}$  equivalente, ya sea realizando toda la simplificacion o empiricamente. Una vez calculada dicha Resistencia es cuestion de despejar:

$$T_j = T_{amb} + W_{max} \cdot R_{thJA}$$

Original

$$125 = 25 + W_{max} \cdot R_{thJA}$$

Sustituimos limite

$$\frac{125 - 25}{R_{thJA}} = W_{max}$$

Despejamos

Con lo que llegamos a la ecuacion 2.7:

$$(2.7) \quad W_{max} = \frac{100}{R_{thJA}}$$

### 2.3.2 Temperatura de cada elemento

Algunas veces conviene pararnos a pensar si nuestro diseño actual es seguro para el chip, debemos ver a que temperatura llega cada parte del diseño.

Así que para calcular la temperatura de diversos puntos del chip, como la carcasa, la parte superior de la pcb,..., se debe escoger el modelo que más se adecue a los puntos a calcular y resolver.

Partiremos siempre de la premisa de que la placa se ha diseñado para disipar calor ya sea por tener un disipador o por suficiente superficie en la placa que sea disipadora. Y a partir de ahí simplificar el circuito termico. Todo aquello que no se haya pensado como disipador, debe ser excluido del modelo.

La primero es simplificar el circuitito para que solo salgan los puntos que nos interesan. Para hacerlos calculos mas sencillos podemos hacerlos a ojo teniendo en cuenta la regla del 10.

Si aun así el modelo es muy complejo, lo podemos simular en un NG-Spice o similar.

### 3 Caso de Estudio

Como caso practico de estudio vamos a usar la placa DccDiyTools DccPowerDistributor y los elementos que pueden disipar suficiente potencia como para dañar el componente. En dicha placa los componetes que cumplen ese requisito son:

- Dos diodos GS1510FL
- Un Mosfet BSS308
- Un puente de diodos KMB26STR
- Un Controlador de Buck Converter TPS54331D
- Una Bobina del Buck Converter SRP1038A-220M
- Un Regulador LDO AMS1117-3.3

A grandes rasgos la potencia entra o bien por la señal DCC o bien por un conector jack y luego pasa por un convertidor buck y un regulador LDO. Como podemos ver en la figura siguiente<sup>5</sup>

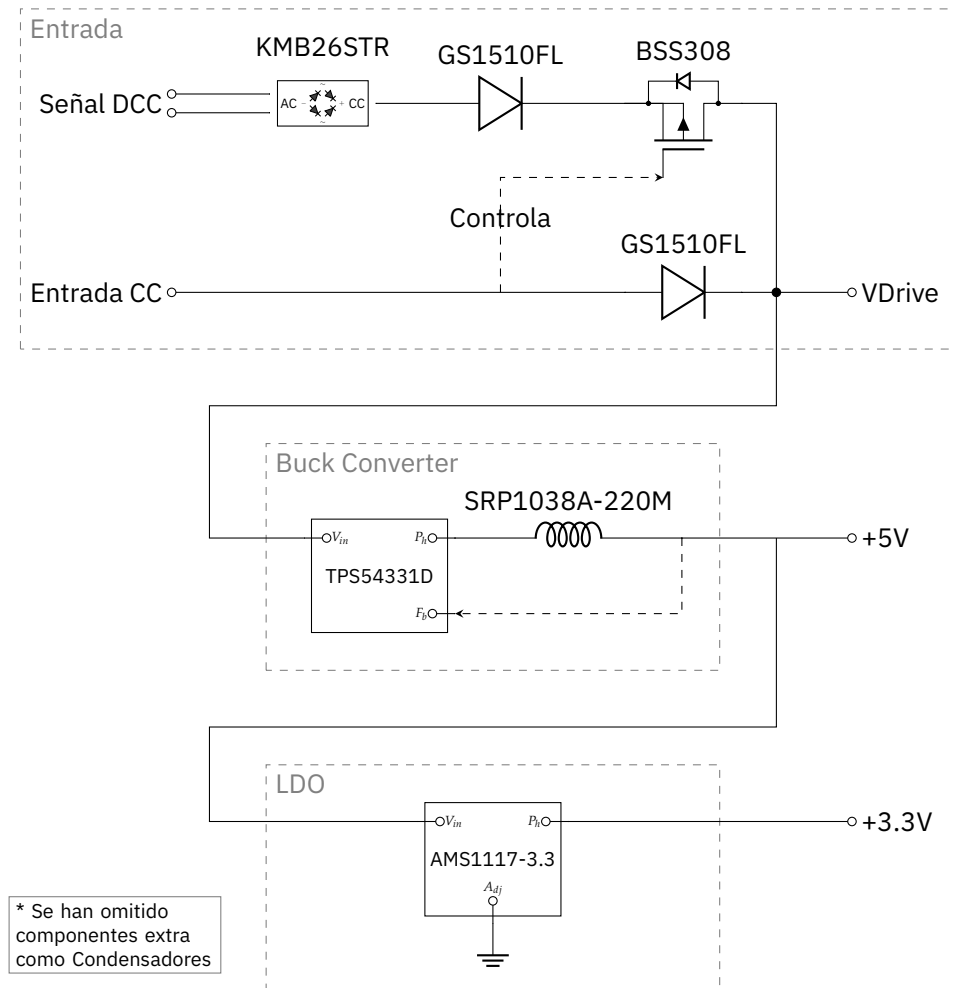


Figura 5: Diseño de bloques

Como se aprecia la potencia DCC pasar por un Diodo GS1510FL y por un Mosfet BSS308. La mision de dicho mosfet es bloquear<sup>11</sup> la potencia si la entrada CC esta presente. El mosfet esta

<sup>11</sup>No se muestra la circuiteria

siempre abierto o cerrado.

Si esta el jack de CC esta conectado, se bloqueara el mosfet y solo pasara la corriente por un Didodo GS1510FL.

A partir de aqui se genera el rail VDrive del que se conectan ya las cargas que necesiten unos 12V o similar y un Convertidor Buck para sacar 5V.

De los 5V se utilizara un Regulador LDO para tener un rail 3.3V.

### 3.1 Diseño de las pruebas

El objetivo de las pruebas es triple, por una parte verificar las ecuaciones, otra verificar que funciona con los requisitos decididos y la eficiencia del sistema. Se debera llenar la siguiente tabla<sup>12</sup> para cada opcion <sup>12</sup>O similar

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 50 %   |            | 500 mA     | 14 V      |           |            |           |       | XX         |            |
| 100 %  |            | 1000 mA    | 14 V      |           |            |           |       | XX         |            |
| 120 %  |            | 1200 mA    | 14 V      |           |            |           |       | XX         |            |
| Limite |            |            | 14 V      | 1500 mA   |            |           |       | XX         |            |

Cuadro 3: Tabla a rellenar por cada prueba

#### 3.1.1 Rail DCC

El rail DCC se probara poniendo una carga programable en la salida del rail VDrive y una fuente de laboratorio configurada a 12V y limite 1.5A y se realizaran tres pruebas:

- Fuente de Alimentacion conectado directamente al puerto DCC
- Lo mismo pero intercambiando + y -
- Fuente de alimentacion conectada a la central DCC

En cada uno de estos casos mediremos la temperatura de los tres Componentes afectados y registramos los datos que nos dara la fuente y la carga. Con ello podremos calcular la potencia de entrada y de salida, y por lo tanto su eficiencia.

Con los datos actuales podemos calcular los W esperados para cada componente

|       |        | KMB26STR   |                        | GS1510FL   |                        | BSS308   |                        |
|-------|--------|------------|------------------------|------------|------------------------|----------|------------------------|
| test  | $I$    | $V_{Drop}$ | $P = I \cdot V_{drop}$ | $V_{drop}$ | $P = I \cdot V_{drop}$ | $R_{on}$ | $P = I^2 \cdot R_{on}$ |
| 50 %  | 500 mA | 0.55 V     | 275 mW                 | 0.85 V     | 425 mW                 | 80 mΩ    | 20 mW                  |
| 100 % | 1 A    | 0.6 V      | 600 mW                 | 0.9 V      | 900 mW                 | 80 mΩ    | 80 mW                  |
| 120 % | 1.2 A  | 0.65 V     | 780 mW                 | 0.95 V     | 1140 mW                | 80 mΩ    | 115.2 mW               |
| limit | 1.5 A  | 0.7 V      | 1050 mW                | 1 V        | 1500 mW                | 80 mΩ    | 180 mW                 |

Cuadro 4: Componentes DCC - Watt

| Fuente directa |            |            |           |           |            |           |       | KMB26STR   |            | GS1510FL   |            | BSS308     |            |
|----------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| test           | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ |
| 50 %           |            | 500 mA     | 14 V      |           |            |           |       | 43 °C      |            | 96 °C      |            | 29 °C      |            |
| 100 %          |            | 1000 mA    | 14 V      |           |            |           |       | 64 °C      |            | 173 °C     |            | 39 °C      |            |
| 120 %          |            | 1200 mA    | 14 V      |           |            |           |       | 76 °C      |            | 213 °C     |            | 45 °C      |            |
| Limite         |            |            | 14 V      | 1500 mA   |            |           |       | 94 °C      |            | 272 °C     |            | 55 °C      |            |

| Fuente Invertida |            |            |           |           |            |           |       | KMB26STR   |            | GS1510FL   |            | BSS308     |            |
|------------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| test             | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ |
| 50 %             |            | 500 mA     | 14 V      |           |            |           |       | 43 °C      |            | 96 °C      |            | 29 °C      |            |
| 100 %            |            | 1000 mA    | 14 V      |           |            |           |       | 64 °C      |            | 173 °C     |            | 39 °C      |            |
| 120 %            |            | 1200 mA    | 14 V      |           |            |           |       | 76 °C      |            | 213 °C     |            | 45 °C      |            |
| Limite           |            |            | 14 V      | 1500 mA   |            |           |       | 94 °C      |            | 272 °C     |            | 55 °C      |            |

| Usando la central |  |         |      |         |  |  |  | KMB26STR |  | GS1510FL |  | BSS308 |  |
|-------------------|--|---------|------|---------|--|--|--|----------|--|----------|--|--------|--|
| 50 %              |  | 500 mA  | 14 V |         |  |  |  | 43 °C    |  | 96 °C    |  | 29 °C  |  |
| 100 %             |  | 1000 mA | 14 V |         |  |  |  | 64 °C    |  | 173 °C   |  | 39 °C  |  |
| 120 %             |  | 1200 mA | 14 V |         |  |  |  | 76 °C    |  | 213 °C   |  | 45 °C  |  |
| Limite            |  |         | 14 V | 1500 mA |  |  |  | 94 °C    |  | 272 °C   |  | 55 °C  |  |

Cuadro 5: Tablas DCC

Nota: No se tiene en cuenta posibles dispaciones en la PCB, por lo que los calulos son con:  $T_{KMB26STR} = 25\text{ °C} + 80\text{ °C/W} \cdot P_{KMB26STR}$ ,  $T_{GS1510FL} = 25\text{ °C} + 200\text{ °C/W} \cdot P_{GS1510FL}$  y  $T_{BSS308} = 25\text{ °C} + 200\text{ °C/W} \cdot P_{BSS308}$

### 3.1.2 Rail DC

Para el Rail CC las pruebas son similares, la diferencia es que solo tenemos que preocuparnos por un Diodo GS1510FL, por lo que la prueba que se realizara es conectar la fuente de laboratorio a 12 V y ajustar la carga en  $V_{drive}$  a los valores necesario para completar la siguiente tabla.

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 50 %   |            | 0.5 A      | 12 V      |           |            |           |       | 96 °C      |            |
| 100 %  |            | 1 A        | 12 V      |           |            |           |       | 173 °C     |            |
| 120 %  |            | 1.2 A      | 12 V      |           |            |           |       | 213 °C     |            |
| Limite |            |            | 12 V      | 1.5 A     |            |           |       | 272 °C     |            |

Cuadro 6: Tabla a rellenar para la prueba CC

### 3.1.3 Rail +5V

Para el Rail +5V se debe probar ambos componentes del rail. Tanto el controlador TPS54331D como la bobina de salida, como se espera poca temperatura no se han incluido los valores esperados. Pero el mosfet interno tiene la misma resistencia que el BSS308  $R_{on} = 80 \text{ m}\Omega$ , por lo que las temperaturas seran similares a dicho mosfet.

Las pruebas que se realizaran, seran tres:

- Conectar la fuente a 12 V directamente a  $V_{drive}$ , La eficiencia sera la del propio buck converter
- Conectar la fuente a 12 V pero por el jack de CC: Asi la eficiencia calculada sera la de la placa.
- Conectar la fuente a una central DCC, de esta forma la eficiencia sera la esperada en un sistema más real.

#### Conectando la fuente a $V_{drive}$

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{TPS}$ | $T_L$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|-----------|-------|
| 50 %   |            | 0.5 A      | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| 100 %  |            | 1 A        | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| 120 %  |            | 1.2 A      | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| Limite |            |            | 12 V      | 1.5 A     |            |           |       |           |       |

Cuadro 7: Tabla a rellenar para la prueba 5V en  $V_{drive}$

#### Conectando la fuente al Jack CC

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{TPS}$ | $T_L$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|-----------|-------|
| 50 %   |            | 0.5 A      | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| 100 %  |            | 1 A        | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| 120 %  |            | 1.2 A      | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| Limite |            |            | 12 V      | 1.5 A     |            |           |       |           |       |

Cuadro 8: Tabla a rellenar para la prueba 5V en JackCC

### Conectando a una central

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{TPS}$ | $T_L$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|-----------|-------|
| 50 %   |            | 0.5 A      | 14 V      |           |            |           |       |           |       |
| 100 %  |            | 1 A        | 14 V      |           |            |           |       |           |       |
| 120 %  |            | 1.2 A      | 14 V      |           |            |           |       |           |       |
| Limite |            |            | 14 V      | 1.5 A     |            |           |       |           |       |

Cuadro 9: Tabla a rellenar para la prueba 5V desde la central

### 3.1.4 Rail +3.3V

El Rail +3,3V solo tiene un LDO que debe bajar el voltaje de +5V a +3,3V. En este caso el LDO esta escogido para una corriente tipica de 250 mA siendo el limite de este es de 500 mA

Las pruebas que se realizaran, seran tres:

- Conectar la fuente a 12 V directamente a +5V, La eficiencia sera la del propio buck converter
- Conectar la fuente a 12 V pero por el jack de CC: Asi la eficiencia calculada sera la de la placa.
- Conectar la fuente a una central DCC, de esta forma la eficiencia sera la esperada en un sistema más real.

### Conectando la fuente a $V_{drive}$

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 50 %   |            | 0.125 A    | 12 V      |           |            |           |       | 50 °C      |            |
| 100 %  |            | 0.25 A     | 12 V      |           |            |           |       | 74 °C      |            |
| 120 %  |            | 0.3 A      | 12 V      |           |            |           |       | 87 °C      |            |
| Limite |            |            | 12 V      | 0.5 A     |            |           |       | 122 °C     |            |

Cuadro 10: Tabla a rellenar para la prueba 3.3V en 5V

### Conectando la fuente al Jack CC

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 50 %   |            | 0.125 A    | 12 V      |           |            |           |       | 50 °C      |            |
| 100 %  |            | 0.25 A     | 12 V      |           |            |           |       | 74 °C      |            |
| 120 %  |            | 0.3 A      | 12 V      |           |            |           |       | 87 °C      |            |
| Limite |            |            | 12 V      | 0.5 A     |            |           |       | 122 °C     |            |

Cuadro 11: Tabla a rellenar para la prueba 3.3V en JackCC



### Conectando a una central

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 50 %   |            | 0.125 A    | 12 V      |           |            |           |       | 50 °C      |            |
| 100 %  |            | 0.25 A     | 12 V      |           |            |           |       | 74 °C      |            |
| 120 %  |            | 0.3 A      | 12 V      |           |            |           |       | 87 °C      |            |
| Limite |            |            | 12 V      | 0.5 A     |            |           |       | 122 °C     |            |

Cuadro 12: Tabla a rellenar para la prueba 3.3V desde la centralC

## 3.2 Resultados

En este apartado solo vamos a poner las tablas con los resultados obtenidos

### 3.2.1 Rail DCC

En la pagina siguiente

| Usando la central |            |            |           |           |            |           |         | KMB26STR   |            | GS1510FL   |            | BSS308     |            |
|-------------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| test              | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$   | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ |
| 50 %              | 12.8 V     | 500 mA     | 16 V      | 578 mA    | 6.4 W      | 9.248 W   | 69,20 % | 43 °C      | 43.5 °C    | 96 °C      | 49.5 °C    | 29 °C      | 44 °C      |
| 100 %             | 11.2 V     | 1000 mA    | 16 V      | 1079 mA   | 11.2 W     | 17.264 W  | 64,87 % | 64 °C      | 71.2 °C    | 173 °C     | 71 °C      | 39 °C      | 102 °C     |
| 120 %             |            | 1200 mA    | 14 V      |           |            |           |         | 76 °C      |            | 213 °C     |            | 45 °C      |            |
| Limite            |            | 1500 mA    | 14 V      |           |            |           |         | 94 °C      |            | 272 °C     |            | 55 °C      |            |

Cuadro 13: Resultados DCC

En este caso al llegar el mosfet BSS308 a una temperatura peligrosa, decidimos parar las pruebas del carril DCC

### 3.2.2 Rail DC

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$   | $T_{Calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|---------|------------|------------|
| 50 %   | 11.13 V    | 0.5 A      | 12 V      | 578 mA    | 5.565 W    | 5.565 W   | 88,33 % | 96 °C      | 50 °C      |
| 100 %  | 11 V       | 1 A        | 12 V      | 1037 mA   | 11 W       | 12.444 W  | 88,40 % | 173 °C     | 66 °C      |
| 120 %  | 11 V       | 1.2 A      | 12 V      | 1221 mA   | 13.2 W     | 14.652 W  | 90,09 % | 213 °C     | 71 °C      |
| Limite |            | 1.5 A      | 12 V      |           |            |           |         | 272 °C     |            |

Cuadro 14: Resultados CC

En este caso tambien evitamos realizar la prueba de maxima corriente, para evitar posibles daños al diodo GS1510FL.

### 3.2.3 Rail +5V

#### Conectando la fuente a $V_{drive}$

| test     | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$   | $T_{TPS}$ | $T_L$   |
|----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|---------|-----------|---------|
| 50 %     | 4.962 V    | 0.5 A      | 12 V      | 238 mA    | 2.481 W    | 2.856 W   | 86,87 % | 29.4 °C   | 27.4 °C |
| 100 %    | 4.96 V     | 1 A        | 12 V      | 467 mA    | 4.96 W     | 5.604 W   | 88,51 % | 31 °C     | 28.5 °C |
| 120 %    | 4.963 V    | 1.2 A      | 12 V      | 562 mA    | 5.955 W    | 6.744 W   | 88,31 % | 32 °C     | 30.3 °C |
| Limite % | 4.962 V    | 1.5 A      | 12 V      | 701 mA    | 7.443 W    | 8.412 W   | 88,48 % | 36.3 °C   | 33 °C   |

Cuadro 15: Resultados 5V en  $V_{drive}$ 

#### Conectando la fuente al Jack CC

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{TPS}$ | $T_L$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|-----------|-------|
| 50 %   |            | 0.5 A      | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| 100 %  |            | 1 A        | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| 120 %  |            | 1.2 A      | 12 V      |           |            |           |       |           |       |
| Limite |            |            | 12 V      | 1.5 A     |            |           |       |           |       |

Cuadro 16: Resultados 5V en JackCC

#### Conectando a una central

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{TPS}$ | $T_L$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|-----------|-------|
| 50 %   |            | 0.5 A      | 14 V      |           |            |           |       |           |       |
| 100 %  |            | 1 A        | 14 V      |           |            |           |       |           |       |
| 120 %  |            | 1.2 A      | 14 V      |           |            |           |       |           |       |
| Limite |            |            | 14 V      | 1.5 A     |            |           |       |           |       |

Cuadro 17: Resultados 5V desde la central

### 3.2.4 Rail +3.3V

#### Conectando la fuente a $V_{drive}$

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 50 %   |            | 0.125 A    | 12 V      |           |            |           |       | 50 °C      |            |
| 100 %  |            | 0.25 A     | 12 V      |           |            |           |       | 74 °C      |            |
| 120 %  |            | 0.3 A      | 12 V      |           |            |           |       | 87 °C      |            |
| Limite |            |            | 12 V      | 0.5 A     |            |           |       | 122 °C     |            |

Cuadro 18: Resultados 3.3V en 5V

#### Conectando la fuente al Jack CC

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 50 %   |            | 0.125 A    | 12 V      |           |            |           |       | 50 °C      |            |
| 100 %  |            | 0.25 A     | 12 V      |           |            |           |       | 74 °C      |            |
| 120 %  |            | 0.3 A      | 12 V      |           |            |           |       | 87 °C      |            |
| Limite |            |            | 12 V      | 0.5 A     |            |           |       | 122 °C     |            |

Cuadro 19: Resultados 3.3V en JackCC

#### Conectando a una central

| test   | $V_{load}$ | $I_{load}$ | $V_{src}$ | $I_{src}$ | $P_{load}$ | $P_{src}$ | $Eff$ | $T_{calc}$ | $T_{real}$ |
|--------|------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 50 %   |            | 0.125 A    | 12 V      |           |            |           |       | 50 °C      |            |
| 100 %  |            | 0.25 A     | 12 V      |           |            |           |       | 74 °C      |            |
| 120 %  |            | 0.3 A      | 12 V      |           |            |           |       | 87 °C      |            |
| Limite |            |            | 12 V      | 0.5 A     |            |           |       | 122 °C     |            |

Cuadro 20: Resultados desde la Central

## 4 Índice

### Índice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduccion</b>                    | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Calculos generales</b>              | <b>4</b>  |
| 2.1      | Modelos mas completos . . . . .        | 4         |
| 2.1.1    | Origen del modelo . . . . .            | 5         |
| 2.1.2    | Modelo completo . . . . .              | 5         |
| 2.2      | Modelo Simplificado . . . . .          | 8         |
| 2.3      | Calculos en la practica . . . . .      | 8         |
| 2.3.1    | Maxima Potencia . . . . .              | 10        |
| 2.3.2    | Temperatura de cada elemento . . . . . | 11        |
| <b>3</b> | <b>Caso de Estudio</b>                 | <b>12</b> |
| 3.1      | Diseño de las pruebas . . . . .        | 13        |
| 3.1.1    | Rail DCC . . . . .                     | 13        |
| 3.1.2    | Rail DC . . . . .                      | 15        |
| 3.1.3    | Rail +5V . . . . .                     | 15        |
| 3.1.4    | Rail +3.3V . . . . .                   | 16        |
| 3.2      | Resultados . . . . .                   | 17        |
| 3.2.1    | Rail DCC . . . . .                     | 17        |
| 3.2.2    | Rail DC . . . . .                      | 19        |
| 3.2.3    | Rail +5V . . . . .                     | 19        |
| 3.2.4    | Rail +3.3V . . . . .                   | 20        |
| <b>4</b> | <b>Indice</b>                          | <b>21</b> |

### Índice de figuras

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Diseño más complejo . . . . .                       | 4  |
| 2 | Origen del modelo a partir de componentes . . . . . | 5  |
| 3 | Modelo más complicado a usar . . . . .              | 6  |
| 4 | Circuito Equivalente . . . . .                      | 8  |
| 5 | Diseño de bloques . . . . .                         | 12 |

### Índice de cuadros

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | Datos suministrados por el DataSheet . . . . . | 9 |
|---|--|---|

|    |  |    |
|----|--|----|
| 2  | Datos suministrados por el DataSheet . . . . .                   | 10 |
| 3  | Tabla a rellenar por cada prueba . . . . .                       | 13 |
| 4  | Componentes DCC - Watt . . . . .                                 | 13 |
| 5  | Tablas DCC . . . . .   | 14 |
| 6  | Tabla a rellenar para la prueba CC . . . . .                     | 15 |
| 7  | Tabla a rellenar para la prueba 5V en $V_{drive}$ . . . . .      | 15 |
| 8  | Tabla a rellenar para la prueba 5V en JackCC . . . . .           | 15 |
| 9  | Tabla a rellenar para la prueba 5V desde la central . . . . .    | 16 |
| 10 | Tabla a rellenar para la prueba 3.3V en 5V . . . . .             | 16 |
| 11 | Tabla a rellenar para la prueba 3.3V en JackCC . . . . .         | 16 |
| 12 | Tabla a rellenar para la prueba 3.3V desde la centralC . . . . . | 17 |
| 13 | Resultados DCC . . . . .   | 18 |
| 14 | Resultados CC . . . . .  | 19 |
| 15 | Resultados 5V en $V_{drive}$ . . . . .                           | 19 |
| 16 | Resultados 5V en JackCC . . . . .                                | 19 |
| 17 | Resultados 5V desde la central . . . . .                         | 20 |
| 18 | Resultados 3.3V en 5V . . . . .                                  | 20 |
| 19 | Resultados 3.3V en JackCC . . . . .                              | 20 |
| 20 | Resultados desde la Central . . . . .                            | 20 |

## Referencias

- [1] Texas Instruments. An-2020 thermal design by insight, not hindsight. *Texas Instruments (TI)*, 2013.