

1×1

(Original size: 200×200 kg)

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 “Atribución-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 DiY¹ 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.

¹Do 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)³.

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 más², dependiendo de si usamos un disipador sobre un componente o usamos la propia PCB como disipador. En cuyo caso la resistencia termica es de $100^{\circ}\text{K}/\text{inch}^2$ o $645,16^{\circ}\text{K}/\text{cm}^2$. Aunque estos valores dependeran en gran medida de los materiales usados en la fabricacion de la PCB.

²Acercandose más a la realidad

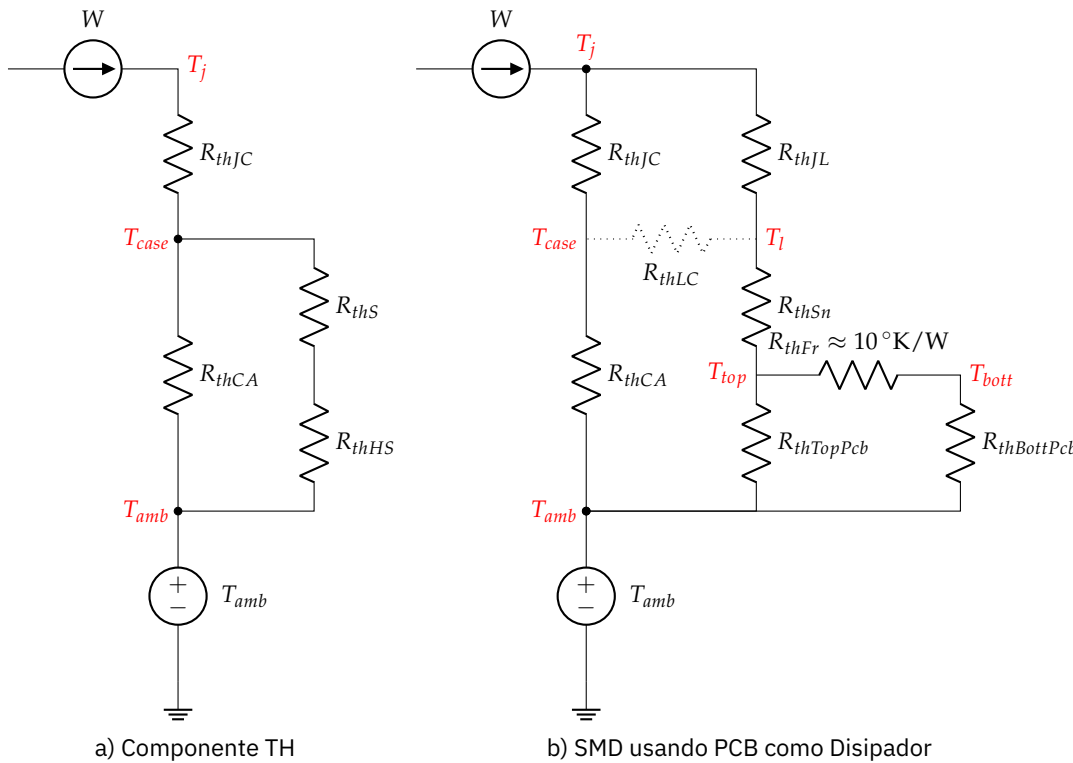


Figura 1: Diseño más complejo

Donde R_{thS} es la resistencia termica entre la carcasa y el disipador, 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:

³En 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} .

2.2 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»

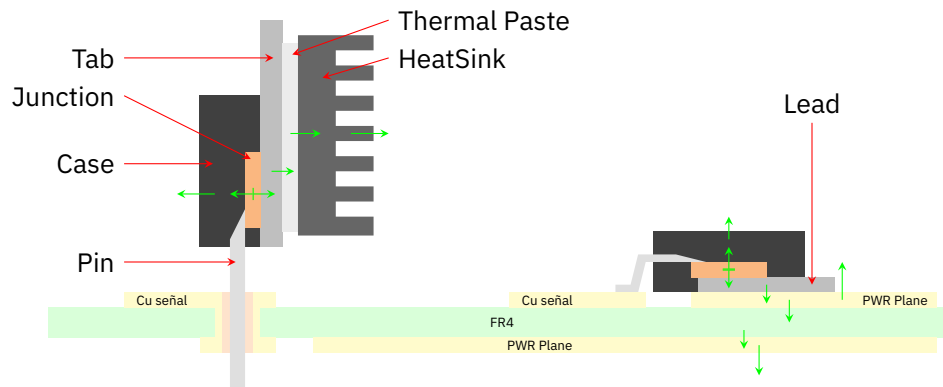


Figura 2: Origen del modelo a partir de componentes

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

2.3 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.

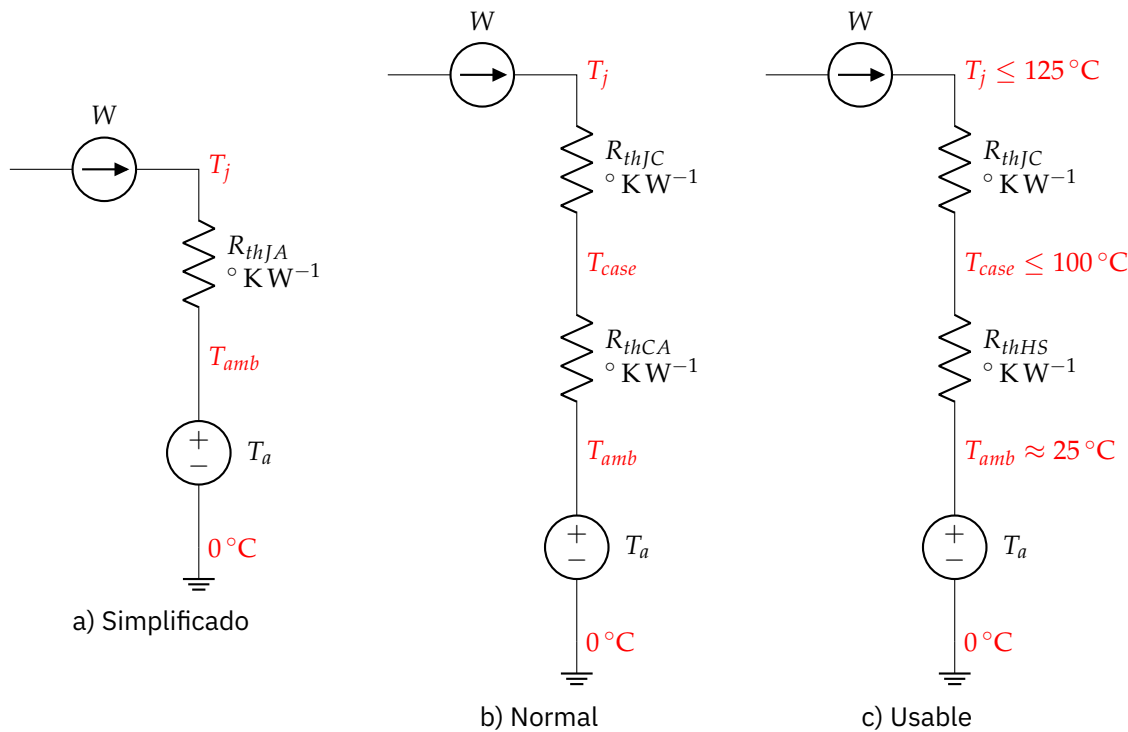


Figura 3: Circuito Equivalente

En la practica es mejor modelar como dos resistencias, una R_{thJC} : Junction⁴ a la case⁵ y R_{thCA} de la carcasa al ambiente, tal y como se representa en el caso (b) 3. De esta forma podremos variar R_{thCA} con un disipador más grande.

⁴El silicio⁵Carcasa

En este modelo es importante mantener la temperatura del silicio T_j por debajo de 125°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 disipador⁶.

⁶HeatSink

2.4 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 similiar 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 conciencia⁷ 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.

⁷ 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 seguro⁸ según los calculos lo sera en la realidad.

⁸ $T_j < 125^\circ\text{C}$

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} según el tamaño del pad. Con esta informacion podemos averiguar los datos que nos faltan usando las siguientes formulas.

$$(2.1a) \quad R_{thJA} = R_{thJC} + R_{thCA}$$

Sin disipador

$$(2.1b) \quad R_{thJA}(a_{pcb}) = R_{thJC} + R_{thCA} || R_{thPCB}(a_{pcb})$$

Con disipador(PCB)

De las cuales podemos deducir las siguientes ecuaciones:

$$(2.2a) \quad R_{thCA} = R_{thJA} - R_{thJC}$$

$$(2.2b) \quad R_{thPCB}(a_{pcb}) = \frac{1}{\frac{1}{R_{thJA}(a_{pcb}) - R_{thJC}} - \frac{1}{R_{thCA}}}$$

Siguiendo los siguientes pasos:

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

Despejando de 2.1a

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

Aplicando || en 2.1b

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

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 ²	R_{thCA}	-	195
Th R, Case-to-Ambient	10x10mm ²	R_{thCA}	-	122
Th R, Case-to-Ambient	20x20mm ²	R_{thCA}	-	86

Cuadro 2: Datos suministrados por el DataSheet

2.4.1 Maxima Potencia

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 siguiente⁴

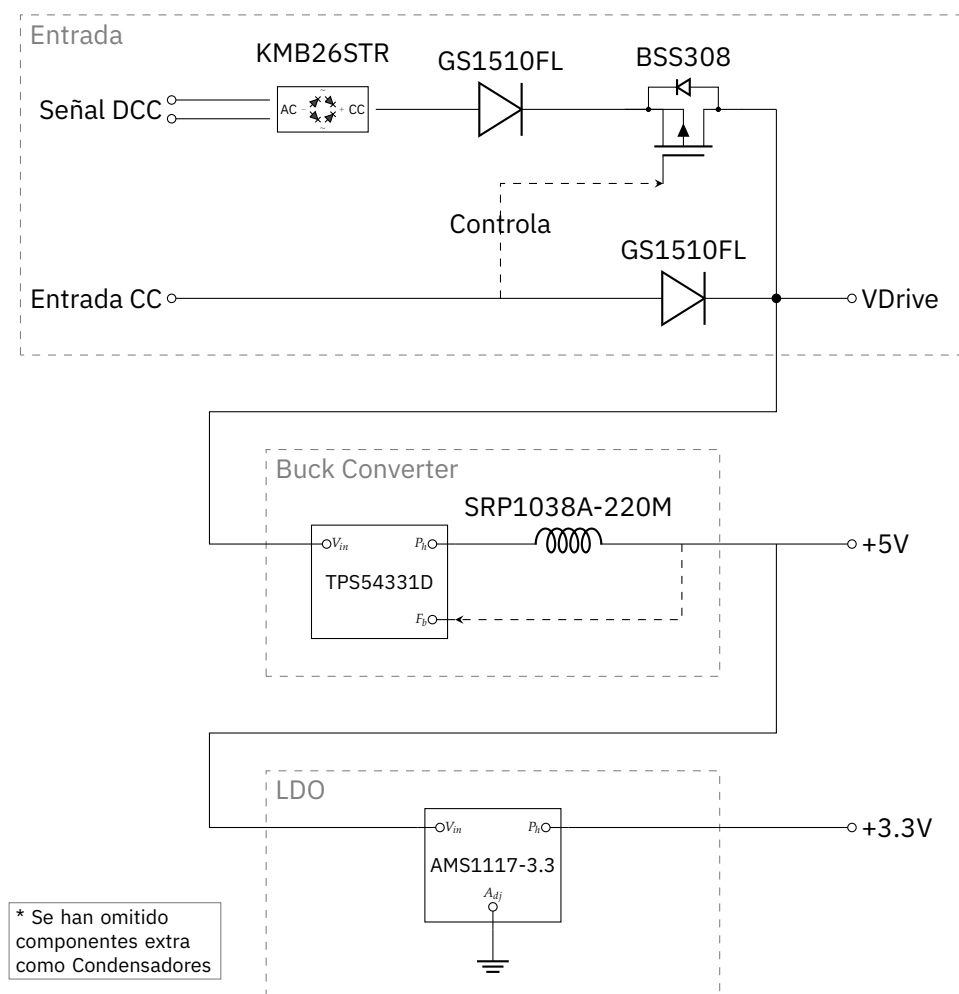


Figura 4: Diseño de bloques

Como se aprecia la potencia DCC pasar por un Diodo GS1510FL y por un Mosfet BSS308. La mision de dicho mosfet es bloquear⁹ la potencia si la entrada CC esta presente. El mosfet esta

⁹ 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 tabla¹⁰ para cada opcion ¹⁰O similar

test	V_{load}	I_{load}	V_{src}	I_{src}	P_{load}	P_{src}	Eff	T_{Calc}	T_{real}
50 %		500 mA	12 V					XX	
100 %		1000 mA	12 V					XX	
120 %		1200 mA	12 V					XX	
Limite			12 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

Fuente directa								GS1510FL		BSS308		KMB26STR	
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	12 V					XX					
100 %		1000 mA	12 V					XX					
120 %		1200 mA	12 V					XX					
Limite			12 V	1500 mA				XX					

Fuente Invertida								GS1510FL		BSS308		KMB26STR	
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	12 V					XX					
100 %		1000 mA	12 V					XX					
120 %		1200 mA	12 V					XX					
Limite			12 V	1500 mA				XX					

Usando la central								GS1510FL		BSS308		KMB26STR	
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	12 V					XX					
100 %		1000 mA	12 V					XX					
120 %		1200 mA	12 V					XX					
Limite			12 V	1500 mA				XX					

Cuadro 4: Tablas DCC

4 Índice

Índice

1	Introduccion	3
2	Calculos generales	4
2.1	Modelos mas completos	4
2.2	Origen del modelo	5
2.3	Modelo Simplificado	5
2.4	Calculos en la practica	6
2.4.1	Maxima Potencia	8
3	Caso de Estudio	9
3.1	Diseño de las pruebas	10
3.1.1	Rail DCC	10
4	Índice	12

Índice de figuras

1	Diseño más complejo	4
2	Origen del modelo a partir de componentes	5
3	Circuito Equivalente	6
4	Diseño de bloques	9

Índice de cuadros

1	Datos suministrados por el DataSheet	7
2	Datos suministrados por el DataSheet	8
3	Tabla a rellenar por cada prueba	10
4	Tablas DCC	11

Referencias

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