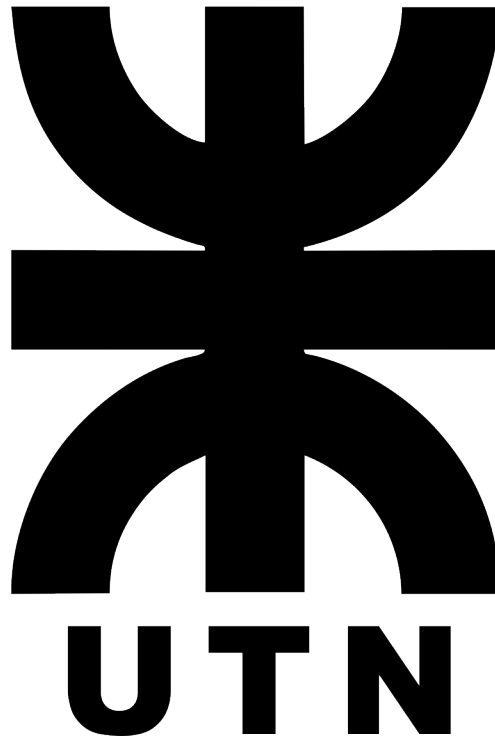


Tecnología Electrónica
Estudio del Comportamiento Térmico de Semiconductores de
Potencia y Técnicas de Disipación de Energía



Bosse, Esteban 62930
Lo Valvo, Adrián 62624
Massitti, Martín 62623

Profesor:
Ing.Diego Gonzalez Dondo.

Índice

1. Objetivos	3
2. Actividad práctica	3
2.1. Medición de la resistencia térmica juntura-caja	3
2.1.1. 2N3055	3
2.1.2. 7805	4
2.2. Medición de la resistencia carcasa ambiente	5
2.2.1. 2N3055	5
2.2.2. 7805	5
2.2.3. SMD 7803	5
2.3. Medición de resistencia térmicas con disipador	5
2.3.1. 2N3055	5
2.3.2. 7805	6
2.3.3. SMD 7803	6
3. Ejercicios teóricos	7
3.1. Ejercicio 1	7
3.1.1. Enunciado	7
3.1.2. Resolución	7
3.2. Ejercicio 2	8
3.2.1. Enunciado	8
3.2.2. Resolución	8
3.3. Ejercicio 3	8
3.3.1. Enunciado	8
3.3.2. Resolución	8
3.4. Ejercicio 4	9
3.4.1. Enunciado	9
3.4.2. Resolución	9
3.5. Ejercicio 5	10
3.5.1. Enunciado	10
3.5.2. Resolución	10
4. Conclusión	10

1. Objetivos

Estudiar el comportamiento térmico de semiconductores de potencia, realizando mediciones de sus características de disipación de energía y de las técnicas para mejorar dicho comportamiento. Realizar estudios comparados, de las técnicas más usuales e investigar sobre otras más complejas.

2. Actividad práctica

2.1. Medición de la resistencia térmica juntura-caja

2.1.1. 2N3055

El circuito de polarización del transistor es el siguiente:

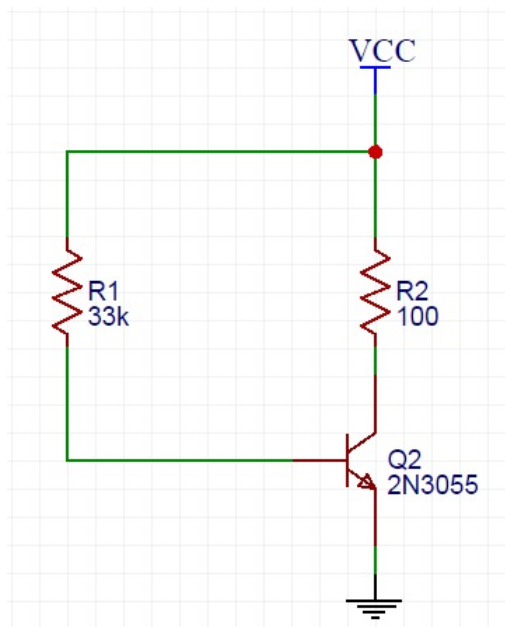


Figura 1: Polarización del transistor con encapsulado TO-3

Las mediciones, una vez montado y funcionando el circuito, son:

$$\begin{aligned}V_{CEQ} &= 11,09 \text{ V} \\I_{CQ} &= 38,5 \text{ mA} \\P_D &= 0,4269 \text{ W} \\V_{BE_{ambiente}} &= 0,651 \text{ V} \\V_{BE_{caliente}} &= 0,623 \text{ V}\end{aligned}$$

Para el cálculo de la resistencia, necesitamos saber la temperatura ambiente y la temperatura en caliente:

$$\begin{aligned}T_{ambiente} &= 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \\T_{caliente} &= 43 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Tenemos que calcular:

$$\theta_{JC} = \frac{T_J - T_C}{P_D} \quad (1)$$

2.1 Medición de la resistencia térmica juntura-caja

Necesitamos saber la temperatura de la juntura, la cual se calcula mediante las tensiones base-emisor medidas anteriormente, sabiendo que esta varía $2,2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta T_J = \frac{V_{BE_{ambiente}} - V_{BE_{caliente}}}{2,2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}} \quad (2)$$

$$\Delta T_J = 11,81 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Luego obtenemos la temperatura de la juntura:

$$T_J = T_A + \Delta T_J \quad (3)$$

$$T_J = 51 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Ahora podemos calcular la resistencia juntura-caja con la ecuación (1):

$$\theta_{JC} = 18,73 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2.1.2. 7805

El circuito para ponerlo en funcionamiento y lograr una potencia capaz de calentarlo hasta que entre en corte es el siguiente:

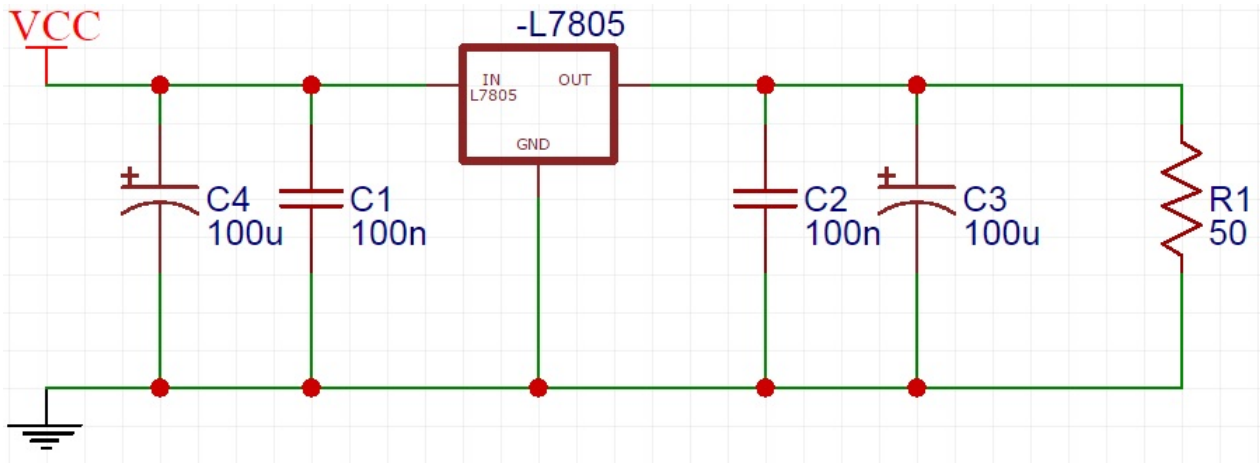


Figura 2: Conexión típica de un regulador de tensión

La fórmula para calcular su resistencia es:

$$R_{\theta JA} = \frac{T'_A - T''_A}{P' - P''_D} \quad (4)$$

Siendo P' igual a cero y T'_A la temperatura ambiente de 25°C . La temperatura a la cual el dispositivo corto por sobrecalentamiento fue de 128°C y la fórmula para calcular la potencia disipada es:

$$P_D = (V_{in} - V_{out}) * I_{out} + V_{in} * I_q \quad (5)$$

Despreciando la I_q nos queda solo el primer término. Las tensiones de entrada y de salida son datos, por lo que resta calcular la corriente de salida, para luego calcular la potencia disipada.

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R_L} \quad (6)$$

$$I_{out} = 100 \text{ mA}$$

Por lo tanto:

$$P_D = 2,2 \text{ W}$$

Una vez obtenidos todos los datos, calculamos la resistencia:

$$R_{\theta JA} = 46^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

2.2. Medición de la resistencia carcasa ambiente

2.2.1. 2N3055

De los datos obtenidos anteriormente podemos calcular la resistencia carcasa-ambiente, ya que la temperatura a la que lo expusimos fue menor a 80°C.

A continuación su fórmula y resultado:

$$\theta_{CA} = \frac{T_C - T_A}{P_D} \quad (7)$$

$$\theta_{CA} = 42,16^\circ\text{C}/\text{W}$$

2.2.2. 7805

Para este caso tuvimos que recalcular, para obtener una temperatura menor a 80 °C. Para eso modificamos la tensión de entrada a 15V (Ya que la anterior fue de 27V) y la resistencia de carga a 100 Ω, para disminuir el valor de la corriente que circula. Utilizando la ecuación (5), la potencia disipada es:

$$P_D = 0,5\text{W}$$

La temperatura con esa potencia es de 61°C. Con estos datos ya podemos calcular la resistencia carcasa-ambiente, utilizando la ecuación (7):

$$\theta_{CA} = 68^\circ\text{C}/\text{W}$$

2.2.3. SMD 7803

Conectamos la entrada del dispositivo a 20v, y le colocamos una resistencia de carga de 100 Ω para que disipe aproximadamente 500mW.

Luego de implementar el circuito, las mediciones de temperatura y de potencia son:

$$T_{ambiente} = 23^\circ\text{C}$$

$$T_{caliente} = 59^\circ\text{C}$$

$$P_D = 510\text{mW}$$

Tomando la ecuación (7), la resistencia térmica será:

$$\theta_{CA} = 70,58^\circ\text{C}/\text{W}$$

2.3. Medición de resistencia térmicas con disipador

Tomamos dos disipadores de distintas secciones según lo enunciado, para cada dispositivo. En cada caso hay que rotar al disipador para comprobar los diferentes efectos de temperatura colocado vertical u horizontalmente. Al componente SMD 7803 se lo monto en diferentes áreas de pista de cobre.

A continuación la tabla con los datos obtenidos y calculados para cada dispositivo:

2.3.1. 2N3055

Mediciones:

Disipador	Chico						Grande					
Montaje	Horizontal			Vertical			Horizontal			Vertical		
Temperaturas	T_A	T_C	T_D	T_A	T_C	T_D	T_A	T_C	T_D	T_A	T_C	T_D
Sin interfaz	21	86	82	21	86	81	26	46	36	26	44	36,5
Mica	20	92	83	20	90	82	25	47	37	25	45	35
Grasa	20	90	88	20	90	87	25	42	37	25	37	37
Mica + grasa	21	89	84	21	90	85	25	41	35	25	39	34
Potencia disipada	6,4 W						6,35 W					

2.3 Medición de resistencia térmicas con disipador

Resistencias térmicas:

Disipador	Chico				Grande			
Montaje	Horizontal		Vertical		Horizontal		Vertical	
Resistencias	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}
Sin interfaz	0,625	9,53	0,78	9,375	1,57	1,57	1,18	1,65
Mica	1,41	9,84	1,25	9,68	1,57	1,88	1,57	1,57
Grasa	0,325	10,62	0,47	10,46	0,788	1,96	0	1,88
Mica + Grasa	0,781	9,84	0,78	10	0,95	1,57	0,78	1,73

2.3.2. 7805

Mediciones:

Disipador	Chico						Grande					
Montaje	Horizontal			Vertical			Horizontal			Vertical		
Temperaturas	T_A	T_C	T_D	T_A	T_C	T_D	T_A	T_C	T_D	T_A	T_C	T_D
Sin interfaz	23	46	44	23	45	44	23	35	33	23	35	32
Mica	23	55	55	23	53	52	23	39	34	23	38	33
Grasa	23	53	52	23	51	49	23	37	37	23	37	36
Mica + grasa	23	60	55	23	58	52	23	39	35	25	39	34
Potencia disipada	1,1 W						1,05W					

Resistencias térmicas:

Disipador	Chico				Grande			
Montaje	Horizontal		Vertical		Horizontal		Vertical	
Resistencias	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}
Sin interfaz	1,81	19,09	0,91	19,09	1,90	9,52	2,85	8,57
Mica	0	29,09	0,90	26,36	4,76	10,47	4,76	9,52
Grasa	0,909	26,36	1,8	23,63	0	13,33	0,95	12,38
Mica + Grasa	4,54	29,09	5,45	26,36	3,81	11,42	4,76	10,47

2.3.3. SMD 7803

Mediciones:

	Area del tamaño del dispositivo						Area mayor a la del dispositivo					
Montaje	Horizontal			Vertical			Horizontal			Vertical		
Temperaturas	T_A	T_D	T_C	T_A	T_D	T_C	T_A	T_D	T_C	T_A	T_D	T_C
Sin interfaz	25	48	58	24	49	57	27	46	52	26	46	49
Con estaño	26	47	51	23	47	48	27	45	48	26	45	47
Potencia	910mW						910mW					

Resistencias térmicas:

	Area Igual				Area Mayor			
Montaje	Horizontal		Vertical		Horizontal		Vertical	
Resistencia	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}	θ_{CD}	θ_{DA}
Sin interfaz	10,99	25,27	8,79	27,47	7,69	20,88	3,29	23,07
Con estaño	4,39	23,07	1,1	26,37	3,29	19,78	2,19	20,87

3. Ejercicios teóricos

3.1. Ejercicio 1

3.1.1. Enunciado

Dadas las ecuaciones de cada mecanismo de transferencia de calor y teniendo en cuenta, el concepto de resistencia térmica antes mencionado, determinar la fórmula que representa la resistencia térmica, en cada mecanismo de conducción de calor. El concepto de resistencia térmica se expresa como:

$$\theta_{th} = \frac{\Delta T}{P_D} \quad (8)$$

3.1.2. Resolución

■ Conducción

El mecanismo de la conducción viene dado por la fórmula:

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (9)$$

Siendo:

- k = conductividad térmica del medio
- A = área efectiva de transferencia de calor
- ΔT = diferencia de temperatura de dos puntos en el medio
- Δx = distancia del camino térmico

La resistencia térmica por conducción será:

$$\theta_{th(conduccion)} = -\frac{\Delta x}{kA} \quad (10)$$

■ Convección

El mecanismo viene dado por la siguiente fórmula:

$$q = hA(t_s - t_m) \quad (11)$$

Siendo:

- h = coeficiente de transferencia térmica del medio
- A = área efectiva de transferencia de calor
- t_s = temperatura del medio sólido
- t_m = temperatura del medio fluido

La resistencia térmica por convección será:

$$\theta_{th(conveccion)} = \frac{1}{hA} \quad (12)$$

■ Radiación El mecanismo viene dado por la siguiente fórmula:

$$q = \epsilon \sigma A T^4 \quad (13)$$

Siendo:

- ϵ = coeficiente de emisividad del cuerpo
- $\sigma = 5,667 \times 10^{-8}$
- A = área efectiva de transferencia de calor
- T = temperatura del medio sólido

La resistencia térmica por radiación será:

$$\theta_{th(radiacion)} = \frac{1}{\epsilon \sigma A T^3} \quad (14)$$

3.2. Ejercicio 2

3.2.1. Enunciado

Utilizando la ecuación del circuito térmico de la sección (2.3), conseguir información técnica de dos semiconductores, con encapsulado TO-3 y TO-220, de la cual se extraerán los parámetros: TEMPERATURA DE JUNTURA MAXIMA y POTENCIA MAXIMA DE DISIPACION. Con el primer dato, se calculara la máxima potencia que el transistor puede disipar por si mismo y luego, se comparara esta, con la especificada en la información obtenida. Explicar por que, la potencia calculada es mucho menor que la especificada en la información obtenida.

3.2.2. Resolución

En la siguiente tabla podremos ver los valor extraidos de la hoja de datos, de los dispositivos utilizados en el práctico.

Dispositivo	Encapsulado	P_{Maxima}	$T_{j(maxima)}$	θ_{JC}	θ_{CA}
2N3055	TO-3	115W	200°C	1,5 °C/W	45°C/W
7805	TO-220	49,5 W	150°C	3°C/W	19°C/W

La potencia máxima que el circuito puede disipar sin dañarse es:

$$P_D = \frac{T_{Jmax} - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CA}} \quad (15)$$

Por lo tanto la potencia máxima que podrá disipar cada dispositivo con una temperatura ambiente de 25 °C es:

$$\begin{aligned} P_{Dmax(2N3055)} &= 3,76W \\ P_{Dmax(7805)} &= 5,68W \end{aligned}$$

Si bien la potencia calculada es mucho menor a la especificada por el fabricante, se debe a que el fabricante especifica el valor de una potencia máxima cuando la carcasa se encuentra a temperatura ambiente, por lo que indica que a temperaturas mayores habrá una reducción de la potencia. Es por eso que si colocamos una fuente de disipación, logrando mantener la temperatura ambiente en la carcasa, podremos disponer de la potencia máxima especificada por el fabricante.

3.3. Ejercicio 3

3.3.1. Enunciado

Recalcular la máxima potencia que podrán manejar, los semiconductores analizados en el problema 2, teniendo en cuenta, que ahora se dispone de un disipador, que presenta una resistencia térmica al ambiente de 3°C/W y que la resistencia térmica caja disipador es de 1°C/W.

3.3.2. Resolución

Para este caso la potencia máxima que el dispositivo puede disipar esta dada por la siguiente fórmula:

$$P_D = \frac{T_{Jmax} - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CD} + (\theta_{CA}/\theta_{DA})} \quad (16)$$

Recalculado las potencias con el disipador:

$$\begin{aligned} P_{Dmax(2N3055)} &= 32,94W \\ P_{Dmax(7805)} &= 18,34W \end{aligned}$$

3.4. Ejercicio 4

3.4.1. Enunciado

Un transistor con encapsulado TO-3, deberá ser instalado en un equipo que será operado en el rango comercial de temperatura. Este dispositivo, debería disipar una potencia de 20 W. Diseñar el sistema de disipación de energía, especificando el sistema de montaje, como así también, determinar un disipador comercialmente disponible, donde deberá ser montado. Como limitación de diseño el espacio, ocupado por el conjunto, deberá ser el mínimo posible.

3.4.2. Resolución

Para resolver este problema debemos calcular la resistencia térmica disipador-ambiente. Los datos son:

- Potencia a disipar = 20W
- Temperatura máxima de juntura = 200°C
- Resistencia térmica juntura-carcasa 1,5 °C/W
- Resistencia térmica carcasa-disipador (Con grasa siliconada) = 0,8 °C/W
- Resistencia térmica carcasa-ambiente = 45 °C/W
- Temperatura ambiente máxima en aplicaciones comerciales = 70°C

La ecuación para calcular dicha resistencia:

$$\theta_{DA} = \frac{\theta_{CA}}{\frac{P_D \cdot \theta_{CA}}{T_J - T_A - P_D(\theta_{JC} + \theta_{CD})} - 1} \quad (17)$$

Reemplazando valores, resulta ser que la resistencia térmica disipador ambiente es:

$$\theta_{DA} = 4,63^\circ\text{C/W}$$

Según las curvas de disipación, el mejor disipador para este caso nos parece el M1. A continuación se muestra la gráfica de variación de resistencia térmica del mismo:

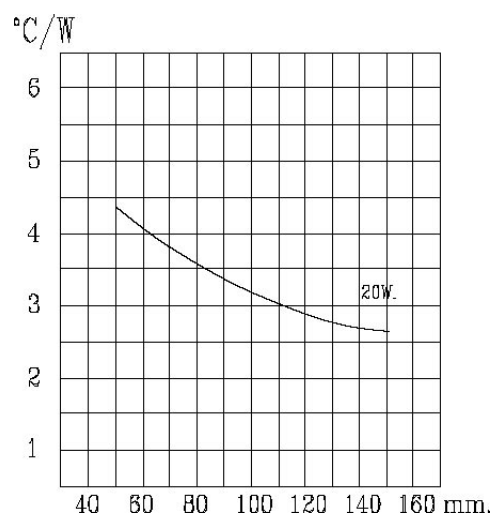


Figura 3: Curva del disipador M1

3.5. Ejercicio 5

3.5.1. Enunciado

El mismo transistor del ejemplo anterior, deberá operar en el rango militar de temperatura, analizar la posibilidad de utilizar el mismo método de disipación de calor, empleado en el problema anterior, de no ser posible, diseñar un sistema que permita la operación del transistor en las condiciones actuales.

3.5.2. Resolución

Para este ejercicio utilizamos la ecuación (17), y solo cambiamos el valor de la temperatura ambiente, que para este caso sera 150 °C. Dandonos como resultado:

$$\theta_{DA} = 1,33^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Para lograr esa resistencia térmica disipador-ambiente, vamos a necesitar un disipador diferente, como el LM115. A continuación se muestra la curva del mismo:

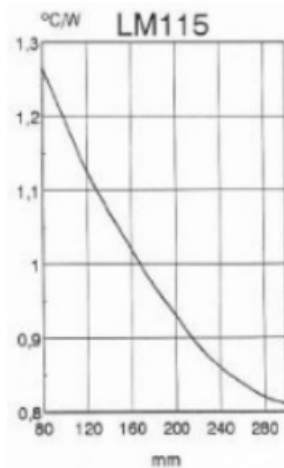


Figura 4: Curva del disipador LM115

4. Conclusión

Podemos sacar varias conclusiones en alusión al práctico, como por ejemplo que mientras más grande sea el disipador y este orientado verticalmente, mejor será la disipación del mismo. Como también es necesario utilizar mica y grasa siliconada para mejorar el contacto entre el dispositivo y el disipador, para que no se generen valles ni picos con puntos calientes entre ambos.

En cuanto al componente SMD, en placas doble faz donde es necesario que el mismo disipe mucha energía, se agregan huecos debajo de él, donde estos transfieren el calor de una cara de la placa a la otra, aumentando el área de disipación.

Otro factor importante a la hora de realizar el práctico, es el tiempo en el cual el dispositivo llega a la máxima temperatura y se equilibra con el disipador. Esto es crucial, ya que de lo contrario se obtendrán mediciones erróneas.