

2.4 Convertidor de Subida de Voltaje.

2.4.1. Topología Boost.

La topología Boost es un convertidor de potencia, el cual genera una tensión continua mayor que la de su entrada y consiste de cuatro elementos principales: Un interruptor de potencia, un diodo rectificador, un inductor, y un filtro capacitivo. El inductor (L) es colocado en serie con el voltaje de entrada V_{dc} y un transistor de potencia tipo Mosfet (Q), alimentando al capacitor (C) a través del diodo rectificador (D). La topología Boost es un convertidor de energía DC-DC, su transferencia de energía es controlada mediante un PWM y su estructura en elementos es la siguiente:

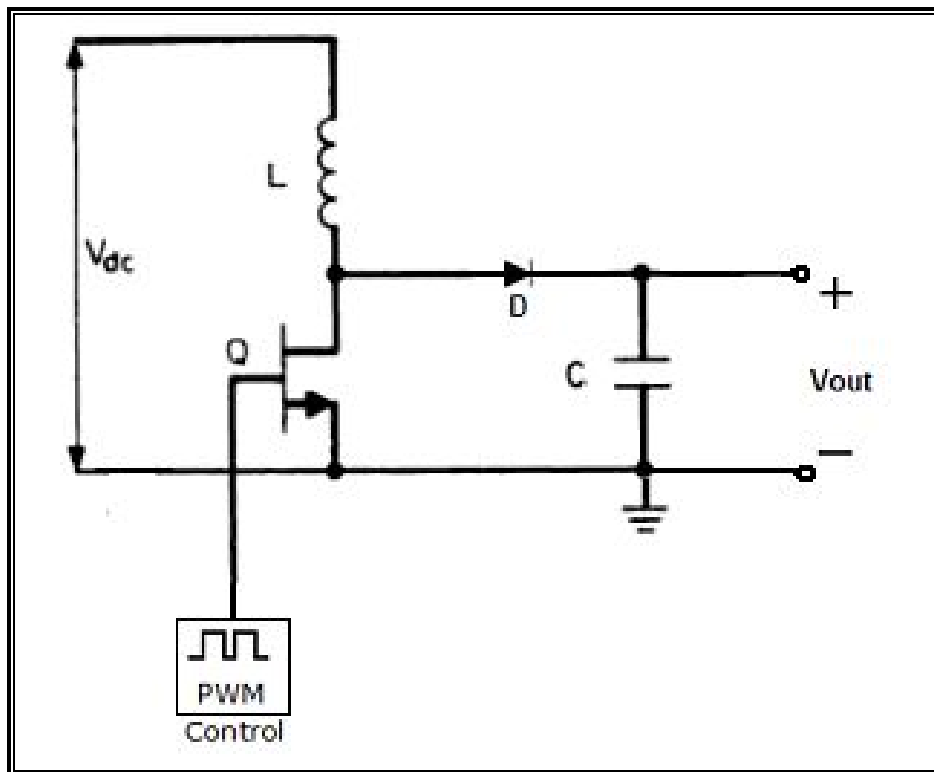


Fig. 3.6 Convertidor Boost. ⁽²⁶⁾

En la Fig. 3.6 se muestra la topología Boost. Cuando Q está encendido por un tiempo t_{on} , L se carga de energía y la corriente de salida es proporcionada enteramente por C, el cual es lo suficientemente grande para alimentar la corriente de carga con el mínimo de caída o pérdidas. Cuando Q está apagado, ya que la corriente en un inductor no puede cambiar instantáneamente, el inductor L invierte su polaridad para mantener la corriente constante, luego entonces L entrega su energía almacenada a C y este se carga por medio de D a un voltaje mayor que V_{dc} .

La salida de voltaje es regulada controlando el tiempo de encendido de Q en un lazo de retroalimentación negativa. Si la corriente de carga DC incrementa, el tiempo de encendido es automáticamente incrementado para entregar la mayor cantidad de energía requerida a la carga. Si V_{dc} decrece, y si t_{on} no fue cambiado, el pico de corriente, la energía almacenada en L y la salida de voltaje de DC disminuirían. La

técnica de conmutación de este regulador produce un voltaje mayor a su salida, a partir de un voltaje de entrada menor, por esta razón es también llamado Elevador de voltaje.

Cuando Q está encendido, D está polarizado inversamente y la corriente aumenta linealmente en L hasta llegar a un valor pico⁽²⁷⁾:

$$I_p = \frac{(V_{dc})t_{on}}{L}$$

Esto representa una cantidad de energía almacenada:

$$E = 0.5(L)(I_p^2)$$

El lazo de retroalimentación negativa censa cualquier variación del voltaje de salida y aumenta t_{on} para mantener el voltaje constante. Las formas de onda resultantes y el modo de operación del convertidor Boost se muestran en la siguiente figura:

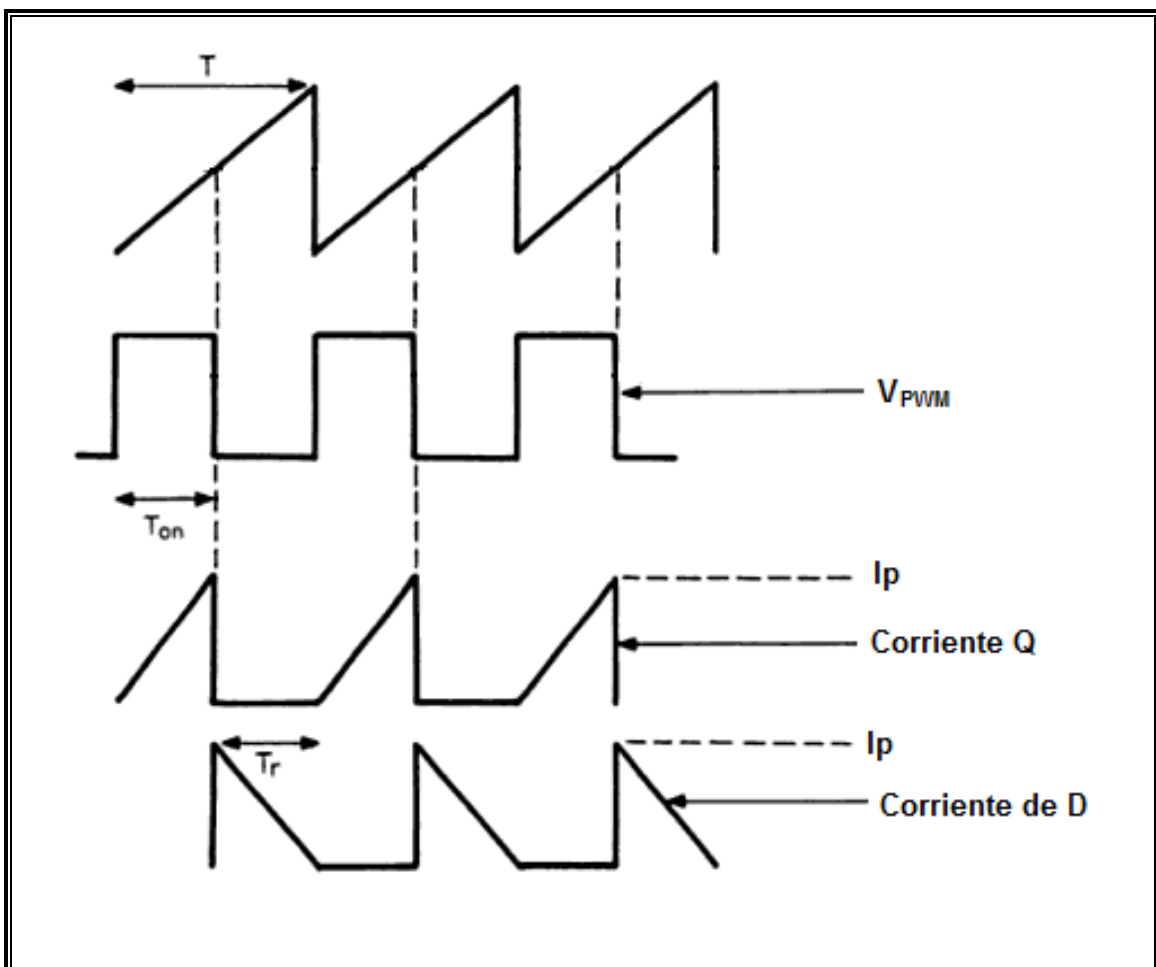


Fig. 3.7 Formas de onda del convertidor Boost. ⁽²⁸⁾

Si la corriente a través de D ha caído a cero antes del siguiente tiempo de encendido de Q, toda la energía almacenada en L durante el último tiempo de encendido de Q ha sido entregada a la carga de salida y el circuito opera en modo discontinuo. Un aumento de energía E entregado a la carga en un tiempo T representa potencia. De esta forma, la potencia a la carga desde L es:

$$P_L = \frac{\left[\frac{1}{2} (L) (I_p^2) \right]}{T}$$

Durante el tiempo en el que la corriente de L empieza a caer a cero, la corriente fluye a través de V_{dc} donde también es entregada a la carga una cantidad de potencia P_{dc} , que es igual al promedio de la corriente en un periodo T durante el tiempo de apagado (T_r), y se define como:

$$P_{dc} = V_{dc} \left(\frac{I_p}{2} \right) \left(\frac{T_r}{T} \right)$$

Luego entonces, el total de potencia entregada a la carga es:

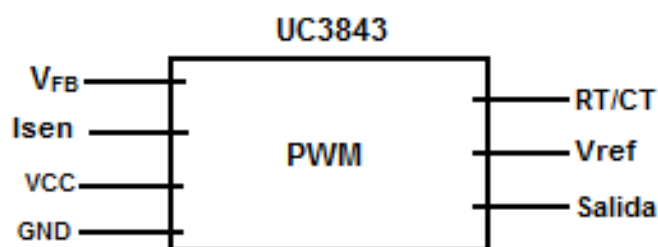
$$P_c = P_L + P_{dc}$$

Si el lazo de retroalimentación no ha tenido éxito en estabilizar la operación en el modo discontinuo, como V_{dc} decrece, el lazo de retroalimentación incrementa en t_{on} para mantener el voltaje constante. Como V_{dc} continua decreciendo, t_{on} es tan largo que la corriente a través de D decae hasta antes de llegar a cero y al siguiente tiempo de encendido, luego entonces el circuito se encuentra en modo de operación continuo.

2.4.2 Control del Inductor mediante PWM.

El control y manejo del circuito Boost es mediante un PWM (Pulse Width Modulation), el cuál es un controlador de frecuencia y corriente para convertidores de DC-DC bajo la estructura de un componente electrónico, el UC3843 controller. Este circuito integrado ofrece un oscilador para el preciso control del ciclo de trabajo de la señal, un comparador para el censado de corriente, un amplificador de error de alta ganancia, y una salida muy alta de corriente totem pole⁽²⁹⁾ para el manejo de un MOSFET de potencia⁽³⁰⁾.

La estructura del UC3843 se muestra en la siguiente figura:



Donde, el PWM tiene una corriente de sensado (I_{sen}), un lazo de retroalimentación para el control del dispositivo (VFB), un voltaje de referencia (V_{ref}) para la operación del comparador interno y un control de frecuencia y ciclo de trabajo (R_T/C_T). La modulación por ancho de pulsos de una señal es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación al período.

Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

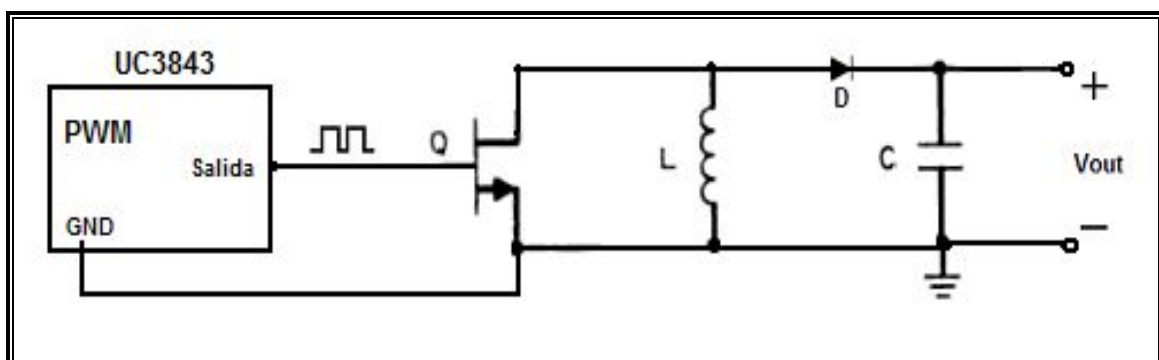
Donde D es el ciclo de trabajo

τ es el tiempo en que la función es positiva

T es el período de la función

La señal de salida que genera el PWM es una señal periódica cuadrada, también conocida como un tren de pulsos, definiendo un tiempo de operación en alto (Nivel positivo de la señal) para un T_{on} , y un tiempo de operación bajo (Nivel negativo o nulo de la señal) para un T_{off} , y la cuál usaremos para la conmutación del convertidor Boost (Su forma de onda se muestra en la figura 3.8).

El almacenamiento y liberación de energía en el Inductor L es controlado mediante el PWM, y la estructura en componentes se expresa en la siguiente figura:



La señal de salida del PWM es conectada a la compuerta (Gate) del MOSFET de potencia (Q) para controlar su operación; cuando la señal modulada del PWM está en T_{on} , Q está encendido, y el inductor L se carga de energía. En el caso contrario, cuando la señal del PWM está en T_{off} , Q está apagado, y el inductor L entrega su energía almacenada. Normalmente el inductor no tiene el tiempo suficiente para soltar toda su corriente a la carga antes del siguiente encendido de Q . De esta forma el PWM será el dispositivo electrónico que dirija la transferencia de energía del inductor dentro de la topología Boost.

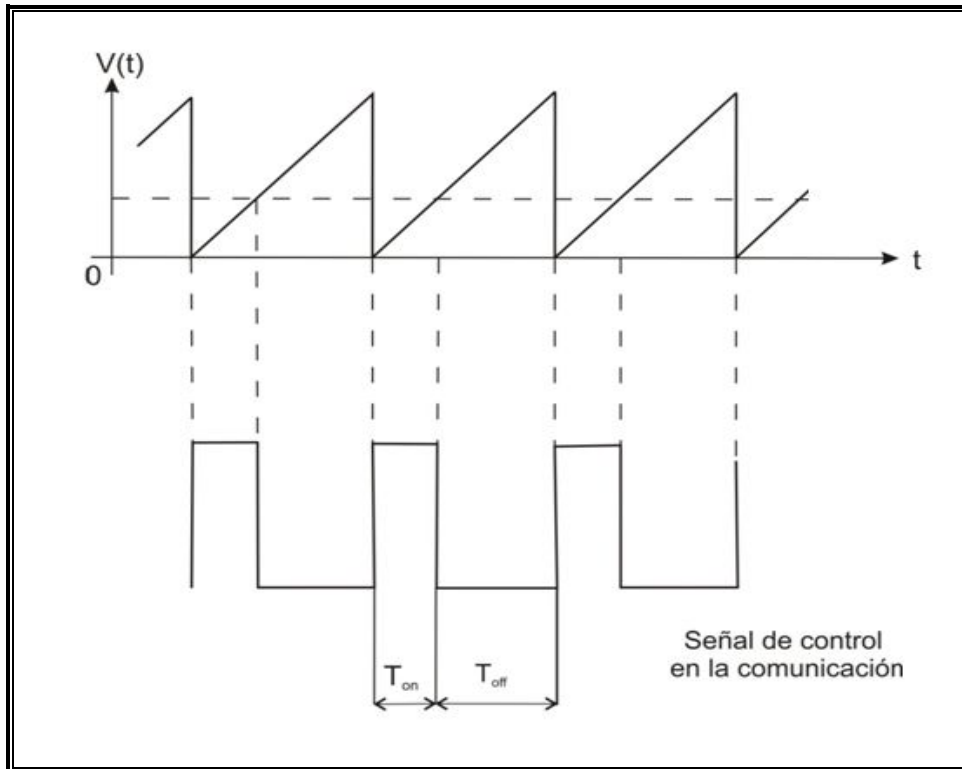


Fig. 3.8 Señal de control del PWM.

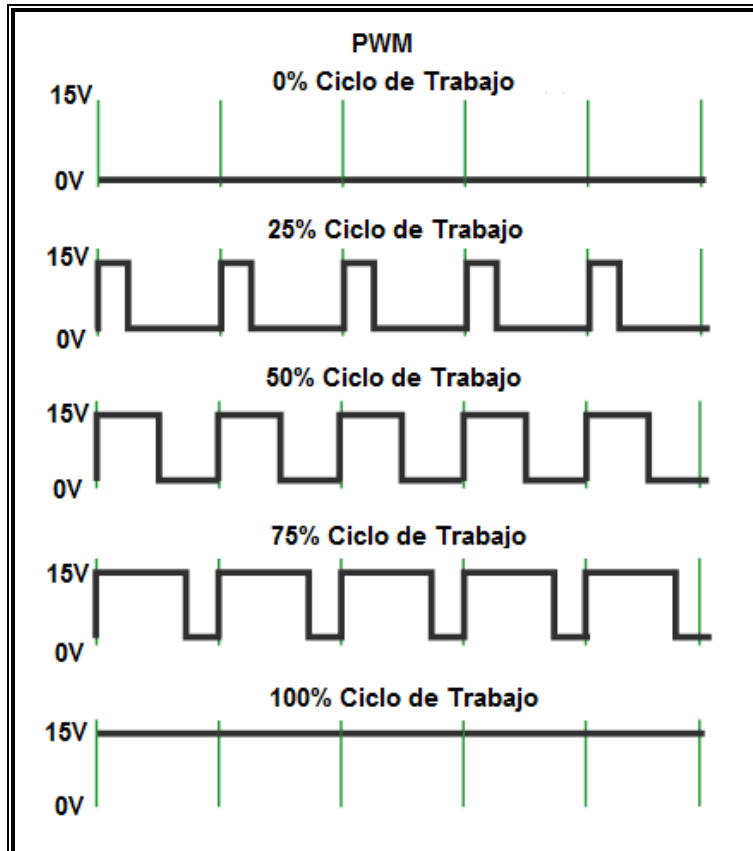


Fig. 3.9 Ciclo de trabajo del PWM.

2.4.3 Programación de Frecuencia de Oscilación y Ciclo de Trabajo del PWM.

La frecuencia de oscilación y el ciclo de trabajo del PWM son programables a partir de un pequeño filtro RC en las terminales R_T/C_T y V_{ref} del dispositivo UC3843. El capacitor C_T cronometra un oscilador, y es cargado por V_{ref} a través de R_T y descargado por una fuente de corriente interna en el PWM. Durante el tiempo de descarga, la señal del reloj interno borra la salida y la coloca a un estado bajo. La selección de C_T y R_T por consiguiente determina ambos parámetros, la frecuencia de oscilación y el máximo ciclo de trabajo, dicha configuración y formas de onda se muestran en la siguiente figura⁽³¹⁾:

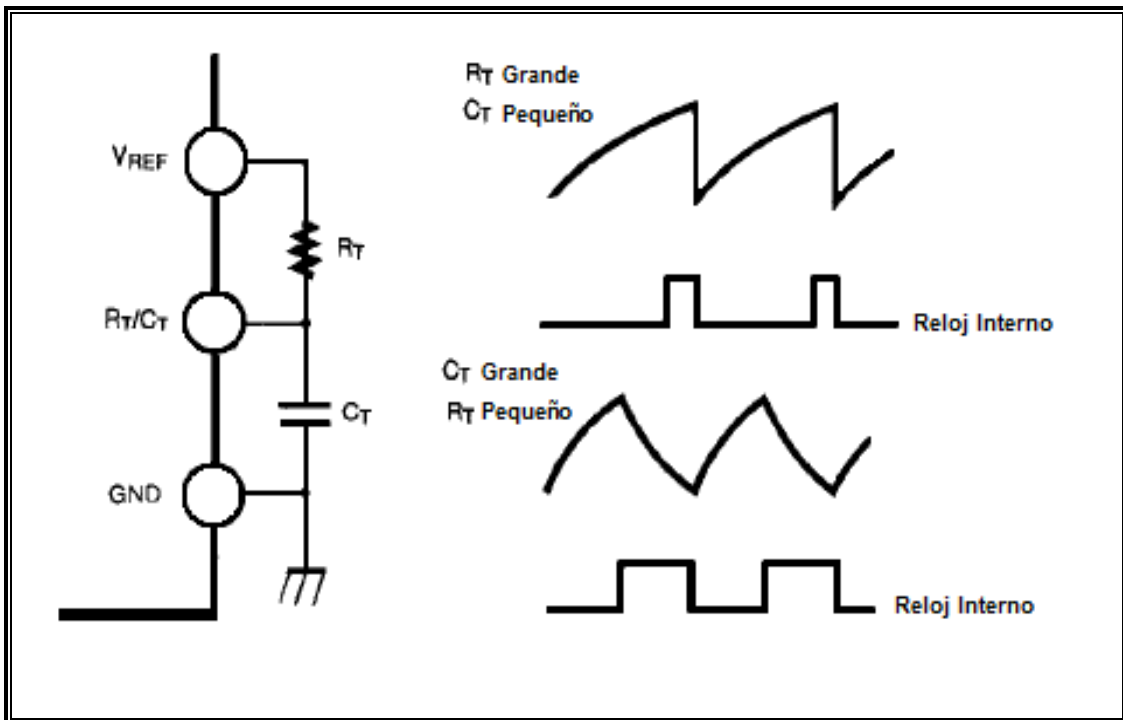


Fig. 4.1 Formas de onda del Oscilador y Máximo ciclo de trabajo. ⁽³²⁾

Los tiempos de carga y descarga son determinados por las siguientes ecuaciones⁽³³⁾:

$$t_C = 0.55(R_T)(C_T)$$

$$t_D = R_T C_T \left(\frac{0.0063 R_T - 2.7}{0.0063 R_T - 4} \right)$$

Donde la Frecuencia es: $f = (t_C + t_D)^{-1}$

Para $R_T > 5K\Omega$: $f = \frac{1.8}{(R_T C_T)}$

2.4.4 Selección adecuada del Transistor y Cálculo del Disipador.

Las potencias manejadas por los dispositivos semiconductores, transistores, reguladores de voltaje, etc., es en muchos casos de una magnitud considerable. Además, el problema se agrava teniendo en cuenta que el tamaño de tales dispositivos es muy pequeño, lo que dificulta la disipación del calor producido. Un cuerpo que conduce una corriente eléctrica pierde parte de energía en forma de calor por efecto Joule. En el caso de los semiconductores, se manifiesta principalmente en la unión PN, y si la temperatura aumenta lo suficiente, se produce la fusión térmica de la unión. Los dispositivos de potencia reducida, disipan el calor a través de su encapsulado hacia el ambiente, manteniendo un flujo térmico suficiente para evacuar todo el calor y evitar su destrucción.

En los dispositivos de más potencia, la superficie del encapsulado no es suficiente para poder evacuar adecuadamente el calor disipado. Por lo tanto, se recurre a la utilización de disipadores, que proporcionan una superficie adicional para el flujo térmico y ante los tipos de propagación como lo es la convección y conducción.

Las topologías empleadas en esta aplicación (UPS) y tratadas con anterioridad, usan por lo general, transistores de potencia tipo MOSFET. Los parámetros que hay que tomar en cuenta para la selección adecuada del transistor son el voltaje entre la unión [drain-source] (V_{DS}), la corriente de drain (I_D), y la resistencia que lo conecta con el source (R_{SD}). Debido a que la topología Boost es un elevador de voltaje, necesitamos que el transistor sea capaz de procesar un voltaje alto de V_{DS} y una resistencia mínima en R_{SD} para minimizar las pérdidas por calor.

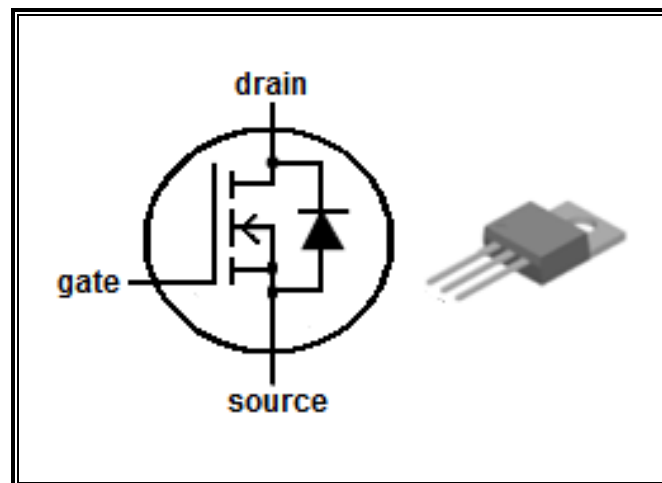


Fig. 4.2 Transistor MOSFET de poder. ⁽³⁴⁾

La mayoría de fabricantes de semiconductores proporcionan los datos suficientes para poder calcular el disipador que necesitamos, por ejemplo la temperatura máxima que puede alcanzar la unión del transistor. Esta temperatura no se deberá alcanzar en ningún caso, para no destruir el componente.

Normalmente el fabricante proporciona el rango de temperaturas al que opera el dispositivo e indica la temperatura máxima. Estos parámetros son la temperatura de unión (T_j) y las resistencias térmicas (R_{th}). El flujo de calor, desde la unión PN del transistor hasta el ambiente en el que opera tiene que atravesar varios medios, cada uno con diferente resistencia térmica, como se muestra en la figura 4.3, estas resistencias térmicas son:

- Resistencia unión–cápsula (R_{jc})
- Resistencia cápsula–disipador (R_{cd})
- Resistencia disipador–ambiente (R_{da})

Para que un semiconductor disipe la potencia adecuada, hay que mantener la temperatura de la unión por debajo del máximo indicado por el fabricante.

El paso de la corriente eléctrica por un semiconductor, produce un aumento de la temperatura de la juntura o unión (T_j). Para mantener la temperatura a un nivel seguro, tenemos que evacuar al exterior la energía calorífica generada por la unión, produciendo un flujo de energía calorífica de un punto a otro, generando una diferencia de temperaturas y logrando que el calor pase del punto más caliente al más frío. Cuando un circuito integrado funciona con una corriente apreciable, su temperatura de unión es elevada. Es importante cuantificar sus límites térmicos, para alcanzar el funcionamiento aceptable y la fiabilidad del dispositivo. Este límite es determinado por la suma de las partes individuales que generen una serie de cambios de temperatura en la unión del semiconductor de acuerdo con el medio ambiente.

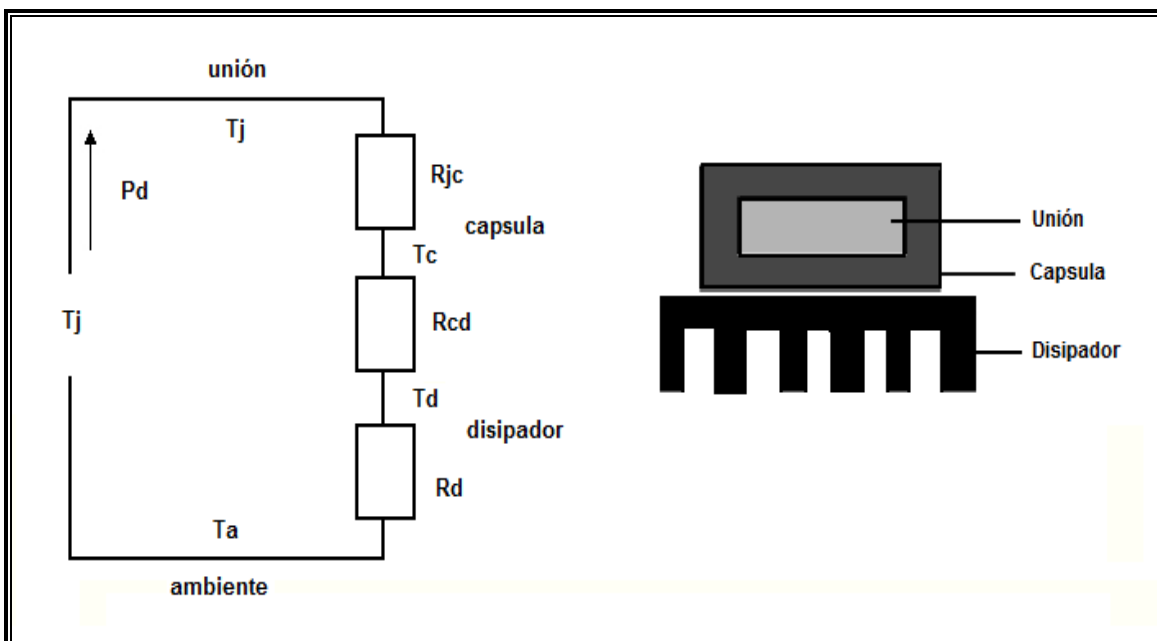


Fig. 4.3 Analogía térmica para el cálculo del disipador.

La resistencia R_{jc} viene dado en manuales y tablas, y depende de la construcción de la cápsula, R_{cd} depende del encapsulado y del aislamiento entre el componente y el disipador, y la resistencia R_{da} , es la que se debe de calcular.

Luego entonces, la temperatura se expresa de la siguiente forma:

$$T = T_j - T_a = W(R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

Donde T_j : Temperatura de la unión

T_a : Temperatura ambiente

W : Potencia que disipará el componente

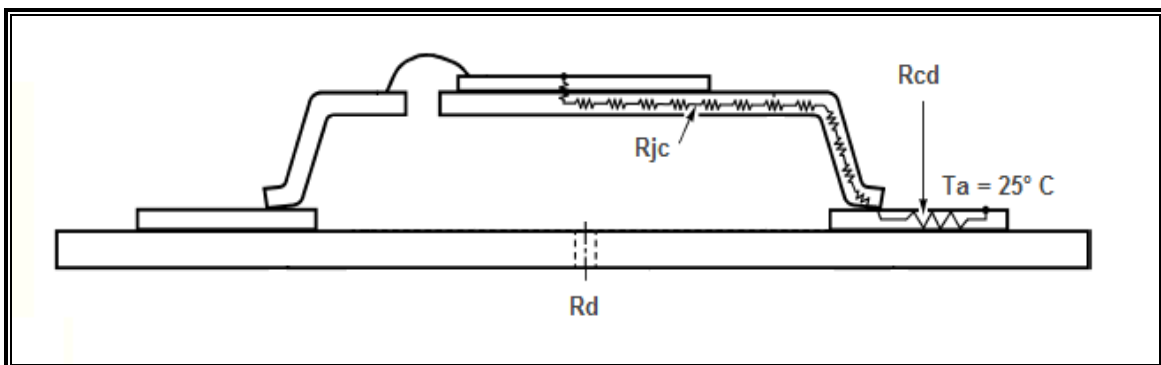
Se pueden tomar unos coeficientes de seguridad definidos por un parámetro k para mejorar y optimizar el diseño y la elección del disipador. Con el coeficiente k , y tomando la temperatura máxima de funcionamiento como T_j , definimos la siguiente expresión:

$$T = (K)T_j - T_a = W(R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

La elección del coeficiente k es arbitraria. Podemos perfectamente elegir $k=1$ pero nos arriesgamos mucho. Es preferible en este caso subir la temperatura ambiente de diseño a 30 ó 35 grados centígrados, o incluso más para evitar que se destruya. De igual forma, hay que tener en cuenta que si el dispositivo está dentro de una caja o algún armazón, la temperatura fácilmente sube a 40 grados o más, y de ahí la importancia del parámetro K .

Con $k=0.5$ para un diseño normal con temperatura moderada.

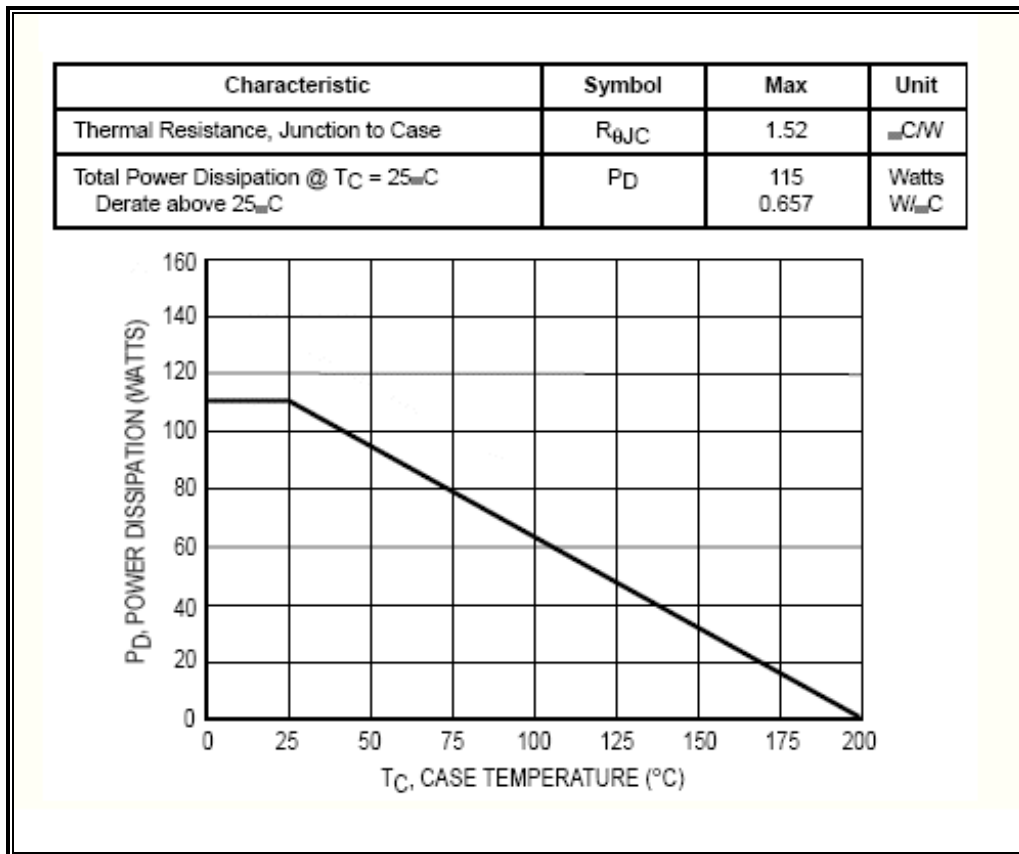
Con $k=0.6$ para economizar en tamaño el disipador.



Los componentes que son metálicos, transfieren con mayor facilidad el calor que generan, debido a que disponen de una superficie mucho más conductora y por convección el calor se transfiere al aire que los rodea. Al mismo tiempo estos dispositivos nos permiten realizar un mejor acoplamiento con otros elementos

metálicos que a su vez absorben calor y además permiten una mayor superficie de contacto con el aire.

En la siguiente figura, se muestra el tipo de curva de reducción de potencia y características de las resistencias térmicas del disipador, que como ya se mencionó con anterioridad, la suministra el fabricante.



Las características de un disipador no solo dependen de un determinado perfil (estructura y diseño) y de la superficie del mismo, sino del material, y su posición dentro del circuito electrónico.

Una vez que se conocen todos los parámetros sobre el flujo de calor, resistencias térmicas y potencia disipada, se acude a los catálogos de disipadores, donde el fabricante ofrece una extensa gama a partir de las características antes mencionadas:

- El tipo de encapsulado y de material.
- El tipo de aplicación.
- Las dimensiones del disipador.
- La resistencia térmica.

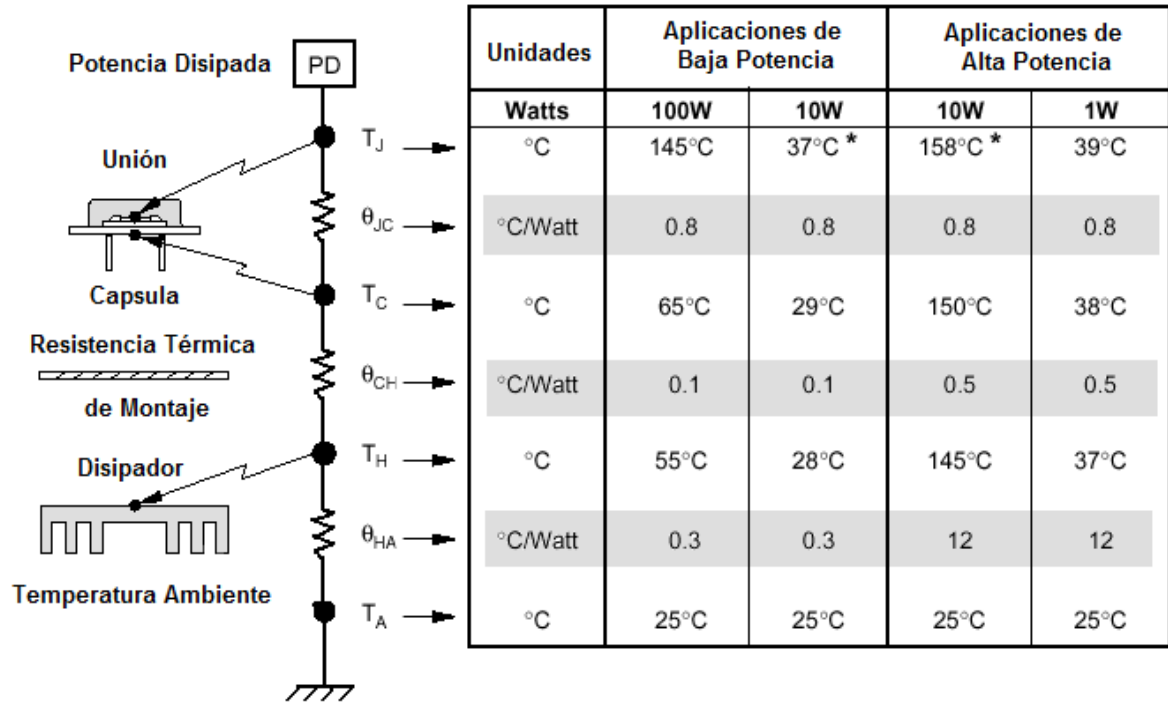


Fig. 4.4 Tipos de disipadores térmicos.

2.4.5 Diseño Magnético del Inductor.

Un inductor es usado en los UPS como un dispositivo almacenador de energía. Acumula energía en su campo magnético como flujos de corriente a través de este, y entonces transfiere toda o porción de esta dentro de un circuito electrónico, durante un cambio de ciclo en su etapa de control. El diseño magnético normalmente depende de características principales como son: tamaño, costo y pérdidas. La principal dificultad en el diseño del inductor es la densidad de flujo magnético, la cual no debe alcanzar la saturación del núcleo. La geometría del inductor, calidad y dimensiones intervienen en la determinación de la corriente de excitación requerida para mantener el flujo magnético deseado. Cuando se introduce en un inductor material ferro magnético adecuado (hierro-pulverizado, ferritas, etc.) aumenta su corriente de magnetización. Las ferritas son óxidos de materiales magnéticos de alta permeabilidad y pueden alcanzar un alto grado de magnetización.

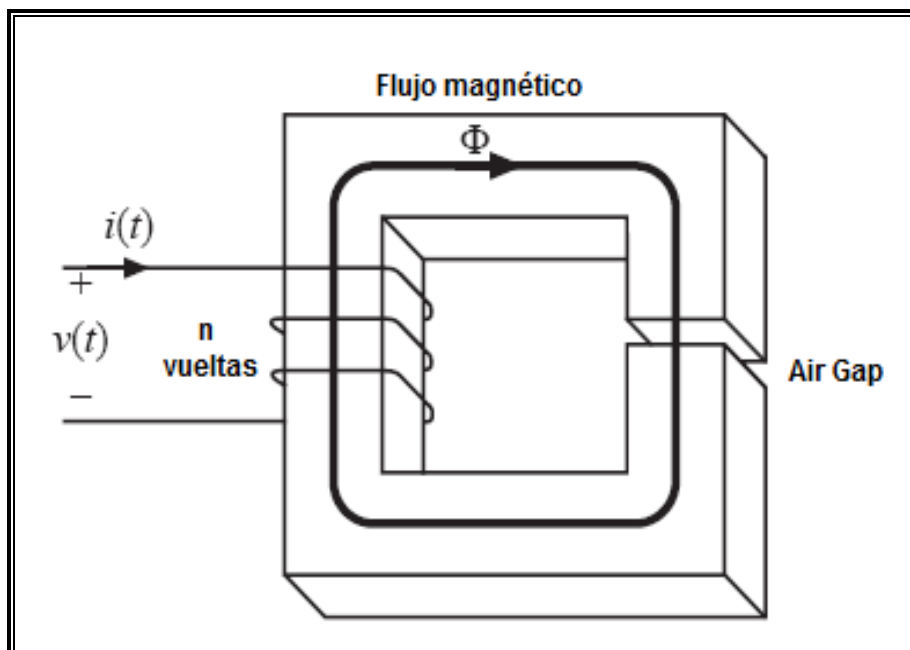


Fig. 4.5 Geometría del Inductor con núcleo ferro magnético.

Al introducir el material ferro magnético en el inductor, modifica la naturaleza del espacio que ocupa produciendo un aumento del flujo magnético y por lo tanto de la inductancia. La propiedad del espacio que se modifica se denomina permeabilidad (μ). Cada material tiene un valor de permeabilidad asociado, inclusive el vacío y el aire. El efecto que ejerce el núcleo ferro magnético sobre el inductor a partir de su geometría se le denomina permeabilidad efectiva (μ_{ef}) y se define como:

$$\mu_{ef} = \frac{\text{Inductancia con núcleo}}{\text{Inductancia sin núcleo}}$$

La permeabilidad efectiva será una característica del núcleo colocado en un inductor en particular. El valor de la permeabilidad efectiva suelen darlo algunos fabricantes de materiales magnéticos, lo cual permite calcular los inductores con mayor facilidad. Los inductores tienen la propiedad de oponerse a cualquier cambio en la corriente que lo atraviesa [i(t)], esta propiedad se llama Inductancia. La inductancia es la relación entre la cantidad de flujo magnético (Φ) que lo atraviesa, y la corriente (I) que circula por el inductor⁽³⁵⁾:

$$L = \Phi / I \quad [\text{H}]$$

El valor de la inductancia viene determinado exclusivamente por las características del inductor y por la permeabilidad magnética del espacio donde se encuentra. La inductancia también depende de la frecuencia, es mayor a medida que aumenta la misma. Luego entonces, los parámetros y características que debemos definir y tomar en cuenta en el procedimiento del diseño de un inductor son las siguientes⁽³⁶⁾:

- La resistencia del embobinado.

$$R = \rho \left(\frac{l_b}{A_w} \right) \quad [\Omega]$$

Donde: ρ es la resistividad del material conductor

l_b es la extensión o longitud del cable

A_w es el área de cable de enrollamiento del inductor

- El pico de corriente máxima del embobinado (I_{max}) y el flujo de densidad magnética máximo del núcleo (B_{max}).

$$I_{max} = \frac{[B_{max} (A_c R_g)]}{\pi} \quad [\text{A}]$$

Donde: A_c es el área del núcleo

R_g es la reluctancia del núcleo.

* La reluctancia magnética de un material, es la resistencia que éste posee al verse influenciado por un campo magnético, y está dada por:

$$R_g = \frac{l_c}{(\mu_c A_c)}; \quad l_c \text{ es la longitud del núcleo.}$$

μ_c es la permeabilidad del núcleo

- n es la relación del número de vueltas, y se define como:

$$n = \left[\frac{L (I_{max})}{(B_{max} A_c)} \right] \times 10^4$$

- La longitud del air gap (l_g).

$$l_g = \left[\frac{(\mu_0 L I_{max}^2)}{(B_{max}^2 A_c)} \right] \times 10^4$$

Donde: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]

- Las dimensiones y el material ferro magnético del Núcleo.

