

DISEÑO FUENTES DE ALIMENTACIÓN LINEALES

INDICE:

1. **Introducción.**
2. **Estructura básica.**
3. **Conexión red eléctrica.**
4. **Fusible.**
5. **Filtro de red.**
6. **Transformador.**
7. **Rectificador.**
8. **Filtro.**
9. **Regulador de tensión y ejemplo practico.**

1. Introducción.

El objetivo de este texto es facilitar la información básica necesaria para diseñar una fuente de alimentación lineal, sin profundizar (nada más que lo necesario) en la teoría del funcionamiento de cada uno de los componentes.

Cualquier circuito electrónico necesita energía para funcionar, esta energía la podemos obtener desde una pila o batería o a través de la red eléctrica. La tensión que nos suministra la red eléctrica es alterna (AC) y habitualmente excede en mucho el voltaje que necesitamos, por lo que tenemos que insertar un circuito electrónico que nos transforme el voltaje y tipo de corriente de la red (230v AC en España) al voltaje y tipo de corriente (AC o DC) que necesitamos en nuestro circuito. Este circuito se denomina **fuente de alimentación.**

Básicamente existen dos tipos de fuentes de alimentación, las lineales, que utilizan un transformador para disminuir el nivel de tensión en la red eléctrica al nivel necesario en nuestro circuito y las fuentes conmutadas que utilizan circuitos basados en transistores y bobinas trabajando en conmutación para reducir la tensión. Las ventajas de la fuente de alimentación lineal es su sencillez y que generan menos ruido electromagnético, las desventajas son su mayor tamaño y su menor eficiencia (disipan más energía en forma de calor que las fuentes conmutadas).

2. Estructura básica.

En el siguiente figura podemos ver la estructura básica de una fuente de alimentación lineal:

Diagrama de bloques de una fuente de alimentación lineal.

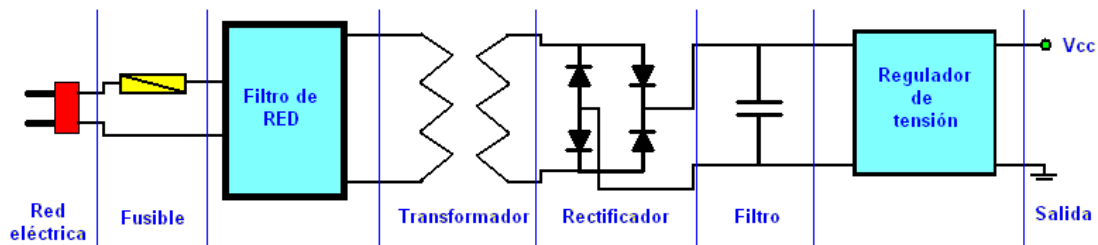


figura 1.

Podemos apreciar en el diagrama que una fuente de alimentación esta compuesta por distintos módulos que poseen una función concreta. En los siguiente puntos del tema estudiaremos cada una de estos módulos.

3. Conexión red eléctrica.

Esta formada por el enchufe, bornas o cualquier dispositivo físico, que nos permite conectar nuestra fuente de alimentación a la red eléctrica. Los parámetros que hay que tener en cuenta a la hora de elegir el enchufe es que soporte la tensión de la red (230v 50Hz) y la corriente que va a consumir el circuito. Los mismos parámetros utilizaremos para elegir el cable de alimentación.

4. Fusible.

Si nuestra fuente de alimentación tuviera un fallo y se cortocircuitara, producirá una subida muy fuerte en el consumo de corriente, las consecuencias de esta subida son impredecibles, ya que si esta fuera muy elevada podríamos hacer saltar el automático de nuestra vivienda e incluso del edificio y si fuera relativamente pequeña podría subir la temperatura de nuestro circuito hasta el punto de producir un incendio. El fusible es un dispositivo que cuando la corriente que circula por él es superior a su corriente nominal se funde interrumpiendo el suministro de corriente. El parámetro básico que necesitamos calcular para seleccionar nuestro fusible es la corriente nominal. En el punto 6 de este documento se explica como calcular la intensidad nominal del fusible.

5. Filtro de red.

Este dispositivo no es estrictamente necesario ya que su función es la de eliminar las posibles perturbaciones electromagnéticas que puedan llegar a nuestra fuente de alimentación desde la red eléctrica, pero su uso es imprescindible si queremos hacer a nuestro equipo inmune a dichas interferencias. Aunque el filtro de red lo podemos realizar nosotros, lo mejor es adquirir un filtro comercial, ya que estos han sido testados para cumplir con las normas sobre EMIs.

6. Transformador.

El transformador es un dispositivo electrónico que nos permite transformar una tensión alterna de entrada en una tensión alterna de salida de distinto valor. La principal ventaja que tienen los transformadores es su alto rendimiento. En la figura 2 se puede ver un esquema de un transformador

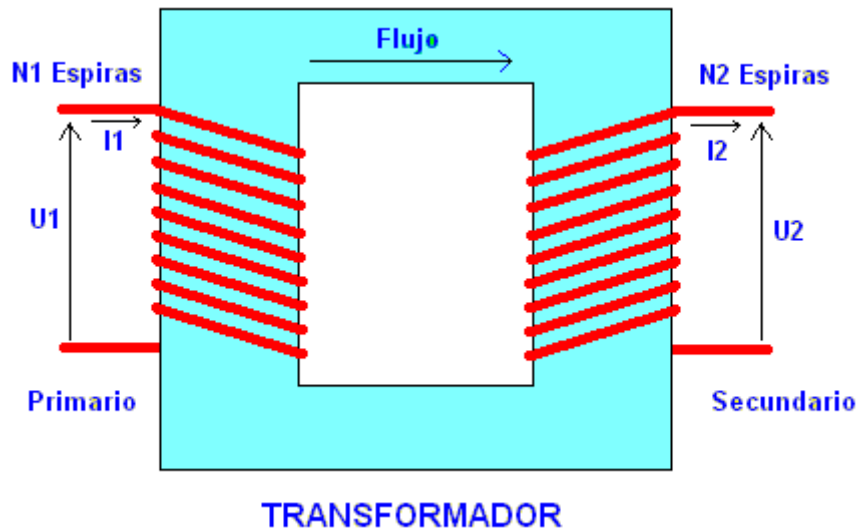


figura 2

La corriente alterna que circula por el devanado del primario induce un flujo magnético que circula por el núcleo induciendo en el secundario una tensión alterna. El flujo magnético en el devanado 1 y 2, suponiendo que no hay pérdidas, lo podemos expresar según las ecuaciones:

$$U_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad U_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

Como el flujo es igual en los dos devanados, si dividimos la primera ecuación por la segunda tenemos:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = r$$

Esta ecuación nos dice que la relación entre la tensión de entrada y de salida viene dada por la relación que existe entre el número de espiras que tengan los devanados. A esta relación r se le denomina *relación de transformación en vacío*.

Como hemos dicho anteriormente el transformador es un dispositivo con muy pocas pérdidas por lo que podemos decir que la potencia en el primario será igual a la potencia en el secundario (si hubieran pérdidas la potencia del primario sería igual a la potencia del secundario más la potencia de las pérdidas). Esto nos permite igual las potencias del primario y del secundario según la siguiente ecuación:

$$P_1 = P_2 \Rightarrow U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Esta ecuación es muy útil para calcular la intensidad nominal del fusible de alimentación, ya que si tenemos, por ejemplo, un transformador con 230v en el primario y 9v en el secundario y estamos consumiendo 1A en el secundario, podemos calcular la intensidad en el primario de la siguiente manera:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_1 = I_2 \frac{U_2}{U_1} \Rightarrow I_1 = 1A \cdot \frac{9v}{230v} = 0,039A \text{ [Ecu. 1]}$$

Esto significa que en el primario tendríamos que poner un fusible mayor de 39 mA para poder soportar esta intensidad en el secundario. En el mercado no hay una variedad infinita de fusibles por lo que habrá que buscar el valor estándar que más se aproxime al valor calculado.

Aunque hemos dicho que el rendimiento del transformador es muy alto, este valor no es 100% y por tanto siempre hay pérdidas que aumentan según vamos aumentando la intensidad consumida en el secundario, esto se traduce en una bajada de la tensión en el secundario y un desfase entre la señal de entrada y la de salida. De todas maneras si no sobrepasamos la corriente del transformador estas ecuaciones son perfectamente válidas.

Los transformadores suelen llevar dos bornas de entrada para el devanado del primario en el que conectaremos los 230v, en el secundario sin embargo podemos encontrar 3 configuraciones básicas:

- **Un devanado secundario:** En este caso solo hay dos bornas para el secundario por las que obtenemos la tensión de salida. Un ejemplo sería un transformador de 230v/12v y 1A.
- **Un devanado con toma intermedia:** El secundario dispone de 3 bornas, en el que la tercera toma esta conectada en medio de la bobina del secundario. Un ejemplo sería un transformador de 230v/12v+12v y 1A.
- **Dos devanados independientes:** El secundario esta dividida en dos bobinas independientes para poder conectarlas de la forma que nosotros queramos, de tal forma que podríamos obtener dos tensiones diferentes, una tensión que será la suma de los dos devanados o un solo devanado con toma intermedia. Si nos basamos en el diagrama de conexiones del transformador encapsulado de la figura 3 y usando como ejemplo un transformador de 230v/12v+12v y 1A, podríamos obtener 12v de cada una de las bobinas si las utilizamos independientemente o en el caso de unir las tomas O y V', podríamos obtener 24v de las tomas V y O'. También podemos utilizarlas como toma intermedia de un rectificador de media onda (ver punto 7 Rectificador).

En el dibujo inferior podemos ver dos fotos de transformadores reales, uno encapsulado y pensado para ser soldado directamente en la placa de CI y otro con terminales soldables preparado para poner en panel.



figura 3

Un detalle a tener en cuenta es la diferencia que existe entre **tensión eficaz** y **tensión de pico**. Cuando utilizamos corriente alterna las tensiones se dan en su valor eficaz, es decir, el valor que la tensión tendría si fuera continua, pero como esta no lo es, aparece otro parámetro que es la tensión de pico V_{pk} que podemos ver gráficamente en la figura 4 y que esta relaciona con la tensión eficaz mediante la siguiente ecuación:

$$V_{ef} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}} \text{ [Ecu. 2]}$$

7. Rectificador.

La mayoría de los circuitos electrónicos utilizan para funcionar corriente continua (DC), mientras que, como hemos comentado anteriormente, la tensión que llega y sale del transformador es alterna (AC). Para poder transformar esta corriente alterna en continua utilizamos un circuito basado en diodos semiconductores al que denominamos *rectificador*. En la figura 4 vemos la forma de la tensión alterna como sale del transformador y como queda después de rectificarla:

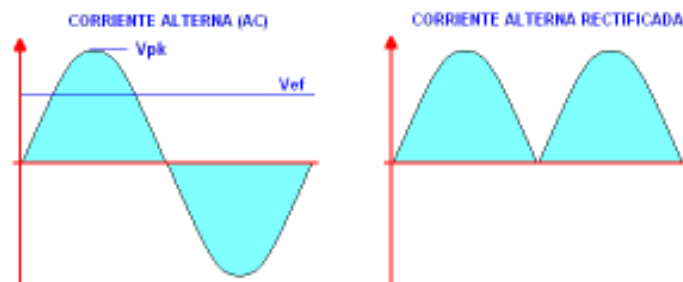


figura 4

Existen diversas configuraciones para realizar esta función, aquí nos vamos a centrar en la rectificación monofásica de onda completa. En la figura 5 se puede ver dos configuraciones para un rectificador de onda completa con transformador con y sin toma intermedia.

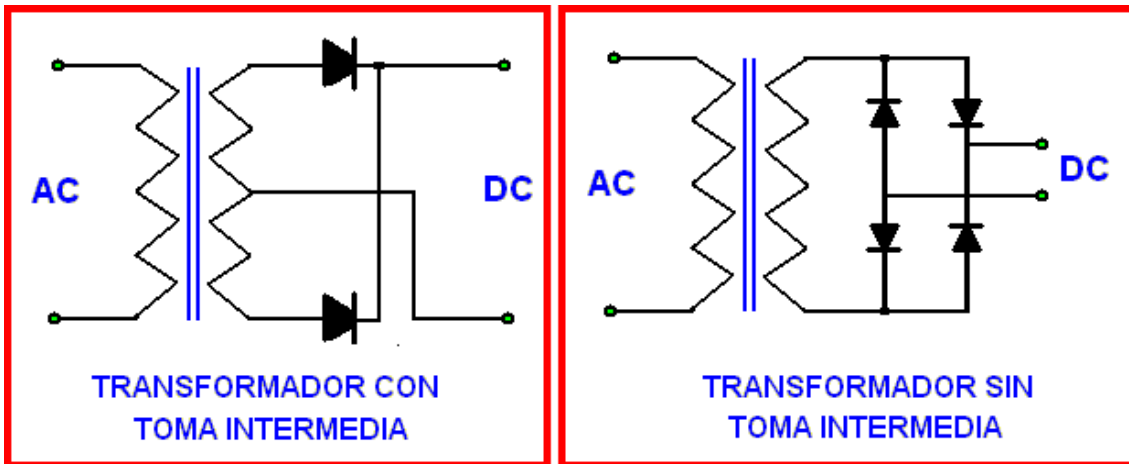


figura 5

La configuración de los cuatro diodos se denomina puente rectificador y en el mercado existen puentes rectificadores que integran en un mismo encapsulado los 4 diodos. En la figura 6 vemos algunos de componentes reales.



ENCAPSULADOS DE PUENTES RECTIFICADORES

figura 6

Normalmente estos componentes tienen impresos el nombre de las patillas siendo + y - las salidas en continua y ~ las entradas de alterna. Para seleccionar el puente rectificador (o diodos) que necesitamos, necesitamos determinar la tensión y la corriente máxima de trabajo, que han de ser suficientes para nuestro circuito. Por ejemplo, si queremos construir una fuente de alimentación de 12v y 1A en el secundario, necesitaremos un puente rectificador (o 4 diodos) que soporten al menos 1 amperio y 12v, siempre intentando dejar un margen de al menos un 30%, lo que quiere decir que necesitaríamos uno de 1,3A y 15,6v (este valor de corriente posiblemente no lo encontremos en el mercado y tendremos que ir a uno de 1,5A, en cuanto a la tensión normalmente utilizaremos de 230v por lo que no habrá problemas).

8. Filtro.

Una vez la señal esta rectificada, obtenemos una forma de onda que no es precisamente continua (ver figura 7). Para poner eliminar la ondulación, y dejar la tensión lo más continua posible, filtraremos la señal utilizando uno o más condensadores en paralelo. En la figura 7 se puede apreciar como queda esta señal una vez filtrada.

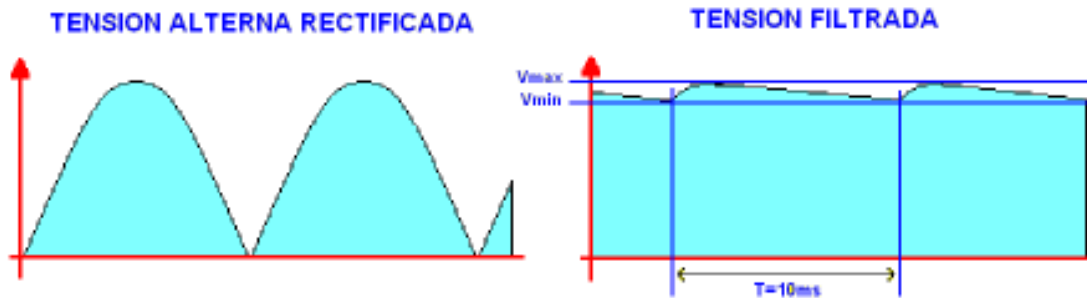


figura 7

Para calcular el valor del condensador, podemos utilizar una aproximación bastante buena con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Q}{V_{\max} - V_{\min}} = \frac{I_{\max} T}{V_{\max} - V_{\min}} \quad [\text{Ecu. 3}]$$

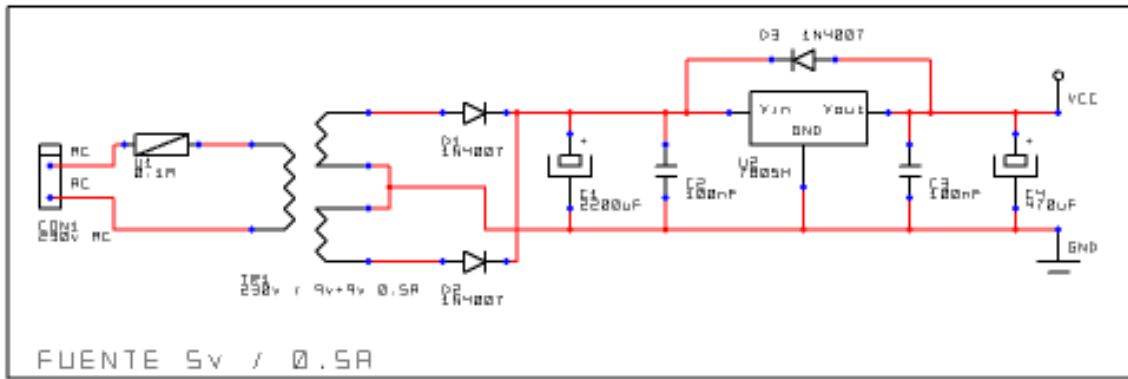
En donde:

- **Vmax:** Es el valor máximo de la tensión de entrada que equivale al valor de pico del secundario del transformador (Vpk).
- **Vmin:** Tensión mínima que queremos que tenga la tensión de entrada y que determina el rizado de la fuente.
- **I_{max}:** Intensidad máxima en el secundario.
- **T:** Periodo de la señal de la red, para 50Hz y rectificador de onda completa son 10 ms. En media onda seria 20 ms.
- **C:** Capacidad del condensador de filtro en faradios.

9. Regulador de tensión y ejemplo practico.

Como vemos en la figura 7, la salida filtrada presenta una pequeña ondulación, para eliminar esta ondulación y controlar la tensión para que esta no cambie ante variaciones de corriente en la carga, utilizamos un regulador de tensión. Lo mejor es utilizar un circuito integrado comercial como es el caso de la serie 78XX. Vamos a realizar un caso practico de una fuente de alimentación con salida 5v 0,5A utilizando el L7805.

El esquema de la fuente de alimentación es el siguiente:



Calculemos cada uno de los componentes:

- **Transformador:** El 7805 necesita una tensión mínima de trabajo, es decir, si tenemos un 7805 cuya tensión de salida son 5v, no podemos hacer funcionar el circuito con una tensión de entrada al regulador de 5v, ya que no habría tensión para activar el circuito, en el datasheet del L7805 encontramos un parámetro llamado “dropout voltaje” que nos dice la tensión mínima que ha de caer en el integrado para que este funcione, como este valor es 2,5v, determinaremos que para que el circuito funcione correctamente necesitaremos una tensión en la entrada de al menos $5v+2,5v=7,5v$. Además en el diodo caen 0,7v cuando este esta conduciendo por los que la tensión mínima de entrada ha de ser de al menos 8,2v. Según lo visto vamos a utilizar un transformador de 230v en primario y 9v+9v y 0.5A en secundario.
- **Fusible:** Utilizando la ecuación 1, calculamos que el fusible ha de ser de 19 mA, como este valor no lo vamos a encontrar utilizaremos uno de 0,1A.
- **Condensador:** Para calcular el condensador utilizamos la ecuación 3. El valor de los parámetros de la ecuación son:
 - T : Para un rectificador de onda completa vale 10 ms.
 - I_{max} : Hemos determinado que la intensidad máxima que va a suministrar la fuente son 0,5A.
 - V_{max} : Mediante la ecuación 2 y sabiendo que la tensión eficaz del secundario es 9v AC, el valor de $V_{max}=9*\sqrt{2}=12,72$
 - V_{min} : En los cálculos de transformador dijimos que la tensión mínima que necesitamos para que la fuente funcione es de 8,2v, utilizaremos el valor de 9v para dejar un margen de seguridad.

Con todos estos parámetros y aplicando la ecuación 3 calculamos que $C=0,001344\text{ F}=1344\text{ }\mu\text{F}$. Utilizaremos el valor comercial común más cercano por arriba que es de 2200 μF .

- **Regulador:** Este va a ser el L7805, que da perfectamente los valores pedidos de 5V y 0,5A.
- **Otros componentes:** El L7805 necesita un condensador de pequeño valor 100nF en la entrada y en la salida y añadimos un condensador más grande (470 μF) para estabilizar la tensión en la salida del circuito. El diodo D3 se utiliza para evitar que el L7805 se polarice en inversa y pueda sufrir algún daño.

Utilizando el mismo esquema y sustituyendo el L7805 por otros de la misma serie como puede ser el 7812, 7815, 7824 y recalculando el valor de todos los componentes podremos obtener fuentes de alimentación de distintas tensiones de salida.

Otro elemento importante del diseño es el **radiador de calor** que puede, o no, ser necesario en nuestro circuito. Para calcular si necesitamos radiador primero necesitamos saber la potencia que va a disipar el regulador de tensión en el peor de los casos (cuando la tensión de entrada es máxima), para ello utilizaremos la fórmula $P=VI$, en donde V será la tensión que cae en nuestro regulador, cuyo valor vendrá determinado por la tensión máxima de entrada V_{max} menos las caídas de tensión que se producen fuera del regulador, es decir, la caída de tensión en el diodo (0,7v) y la caída de tensión en la carga (los 5v de salida del regulador), así tenemos $V_{reg} = V_{max} - V_{diodo} - V_{salida}$ y la multiplicaremos por la intensidad máxima, quedando al final la potencia como $P_{max} = (V_{max} - V_{diodo} - V_{salida}) * I_{max} = 7.02 * 0.5 = 3,51W$.

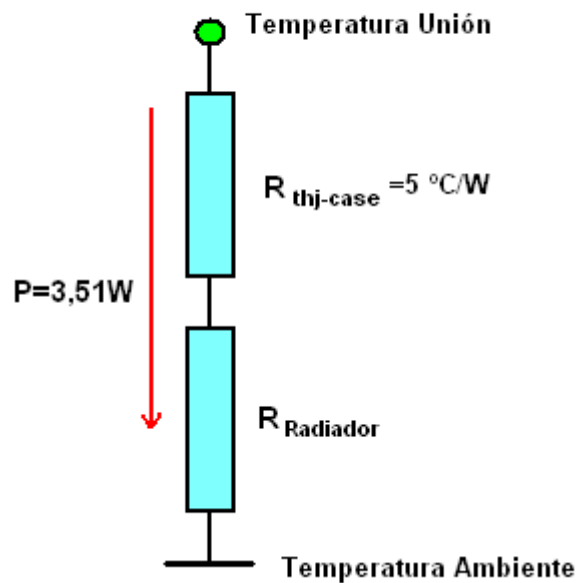
Si vamos al datasheet del L7805 y vemos la resistencia térmica del encapsulado TO-220 entre unión y ambiente ($R_{thj-amb}$), esta tiene un valor de $50\text{ }^{\circ}C/W$, esto quiere decir que por cada vatio que disipemos en el encapsulado, la temperatura de este subirá $50^{\circ}C$. Con una simple multiplicación calculamos que si la potencia disipada por el L7805 es de $3,51W$, la temperatura que alcanzara será de $3,51W * 50^{\circ}C/W = 175,5^{\circ}C$ que es una temperatura que el integrado no puede soportar (la temperatura máxima de la unión es de $150^{\circ}C$), por lo que tendremos que poner un radiador. Vamos a calcularlo.

Para calcular un circuito térmico, utilizamos la ley de ohm igual que si fuera un circuito eléctrico, pero sustituyendo (ver ecuación 4) la intensidad por la potencia, la tensión por temperatura y la resistencia por resistencia térmica.

$$V = IR \quad T = PR_{th} \text{ [Ecu. 4]}$$

El circuito térmico del 7805 sería:

CALCULO RADIADOR



Siguiendo el símil entre circuito eléctrico y circuito térmico explicado antes tenemos que la ecuación de este circuito sería:

$$T_{Unión} = PR_{thj-case} + PR_{Radiador} + T_{Ambiente}$$

Veamos el significado y valor de cada uno de los términos:

- $T_{Unión}$: Es la temperatura máxima que queremos que tenga la unión del integrado. En el datasheet del L7805 pone que la temperatura máxima de la unión son 150°C, de todas formas utilizaremos una temperatura máxima de 90°C para no tener problemas de calentamiento en otros circuito cercanos y para garantizar una larga vida al integrado.
- $T_{Ambiente}$: La temperatura media que se utiliza para este valor son 25°C, pero esto no es del todo cierto, ya que no es lo mismo la temperatura media en el Polo Norte que en el desierto del Sahara. Yo suelo utilizar el valor de 35°.
- $R_{thj-case}$: Esta es la resistencia térmica entre la unión y el encapsulado. En el datasheet del L7805, podemos ver que para el encapsulado TO-220 vale 5°C/W.
- P: El la potencia que hemos calculado antes y vale 3,51W.
- $R_{Radiador}$: Es el valor a calcular.

Si despejamos $R_{Radiador}$ de la ecuación anterior obtenemos la siguiente ecuación:

$$R_{Radiador} = \frac{T_{Unión} - T_{Ambiente}}{P} - R_{thj-case}$$

Si sustituimos los valores en esta ecuación obtenemos un valor para $R_{Radiador}$ de 10,6 °C/W, por lo que buscaremos un radiador con una resistencia térmica de ese valor o inferior.