

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Trabajo Práctico 2

Electrónica Aplicada 1
3R2

Cabaleiro Martin 404821
Cortesini Luciano 402719
Ernst Pedro 400624

Fecha de entrega: 21 / 5 / 2025

Índice

1	Introducción	2
2	Planteamiento e introducción teórica	3
2.1	Transformador	3
2.2	Rectificador	4
2.2.1	Elección de los diodos	5
2.3	Filtro	6
2.4	Regulador de circuito integrado	6
2.4.1	Protecciones internas	8
2.5	Fuente auxiliar	8
3	Ensayos y mediciones	9
3.1	Medición de ripple (sin regulador)	9
3.1.1	En el filtro capacitivo y determinación de parámetros.	9
3.1.2	Determinación de resistencia interna del transformador más la de los diodos.	11
3.2	Mediciones finales (con regulador)	12
3.2.1	Regulación de voltaje.	13
3.2.2	Factor de ripple.	13
3.2.3	Cálculo de temperatura de juntura.	14
4	Conclusiones	16
4.1	Análisis de mediciones	16
4.1.1	Mediciones con y sin regulador LM317	16
4.1.2	Complicaciones termicas	16

Introducción

En este trabajo práctico de laboratorio se llevara a cabo el análisis y construcción de una fuente de alimentación de tensión variable. Luego se realizaran todos los ensayos pertinentes para verificar que la fuente cumple con las especificaciones de diseño y asegurar un correcto funcionamiento.

La fuente contará con las siguientes especificaciones:

- Salida regulada de 0 a 30 V.
- Corriente máxima de 1.5 A.

Planteamiento e introducción teórica

El siguiente diagrama en bloques sintetiza las distintas etapas de la fuente, Desde la entrada de 220V en CA hasta llegar a la tensión en CC a la salida.

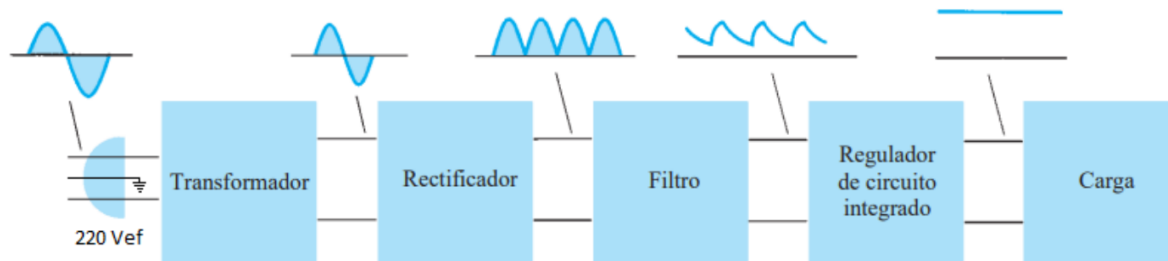


Figura 2.1: Diagrama en bloques

A continuación, se explica detalladamente cada uno de estos bloques.

Transformador

El transformador tiene dos funciones:

- Aislar galvánicamente el circuito de la red eléctrica.
- Reducir la tensión de entrada al valor necesario para la fuente.

En nuestro caso particular, utilizaremos un transformador con punto medio, que a través de una llave selectora nos permitirá elegir entre una tensión de entrada a nuestra fuente de 12 o 24 V.

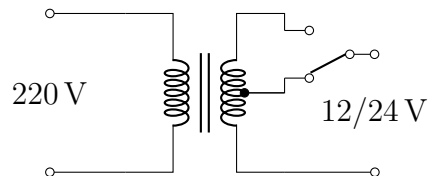


Figura 2.2: Transformador con punto medio

En la sección 2.3 analizaremos el por qué de esta decisión.

Rectificador

Tiene la función de convertir la tensión alterna en una pulsante.

En nuestro caso utilizaremos un puente rectificador compuesto por diodos 1N5407.

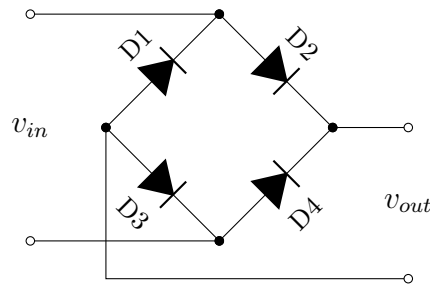


Figura 2.3: Puente de diodos

Este circuito es un rectificador de onda completa, es decir que convierte todos los semiciclos en positivos.

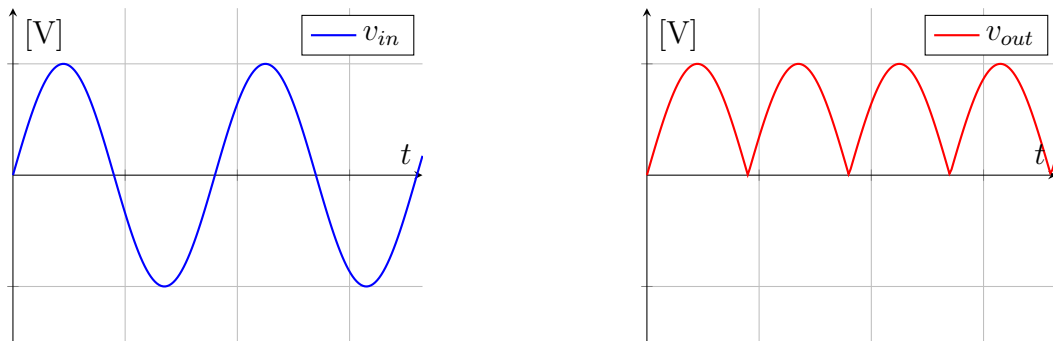


Figura 2.4: señales de entrada y salida

Para comprender su funcionamiento, podemos analizar por separado el comportamiento del circuito durante el semiciclo positivo y el semiciclo negativo, considerando que hay una carga conectada.

Durante el semiciclo positivo, el terminal superior de la entrada presenta un mayor potencial que el inferior. En esta condición, los diodos D2 y D3 se encuentran polarizados en directa, mientras que D1 y D4 están polarizados en inversa. La corriente fluye desde el terminal superior, atravesando el diodo D2, pasando por la carga, luego por el diodo D3, y finalmente hacia el terminal inferior de la entrada.

Durante el semiciclo negativo, el terminal inferior de la entrada se encuentra a mayor potencial que el superior. En este caso, los diodos D1 y D4 quedan polarizados en directa, y D2 y D3 en inversa. La corriente fluye desde el terminal inferior, pasando por el diodo D4, atravesando la carga en el mismo sentido que en el semiciclo positivo, y continuando por el diodo D1 hasta llegar al terminal superior.

Como resultado, en ambos semiciclos la corriente atraviesa la carga en la misma dirección, lo que permite obtener una señal rectificada de onda completa.

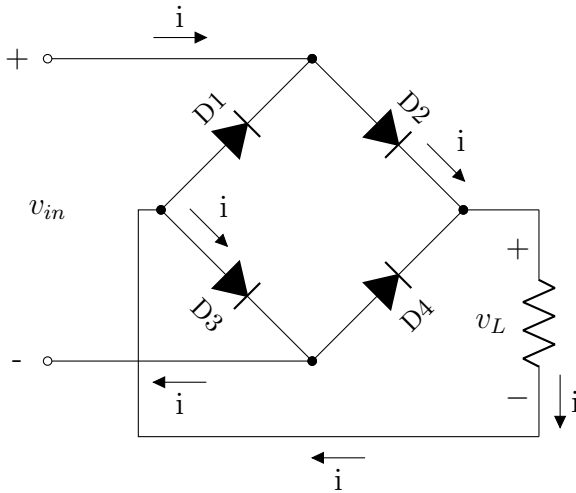


Figura 2.5: Semiciclo positivo

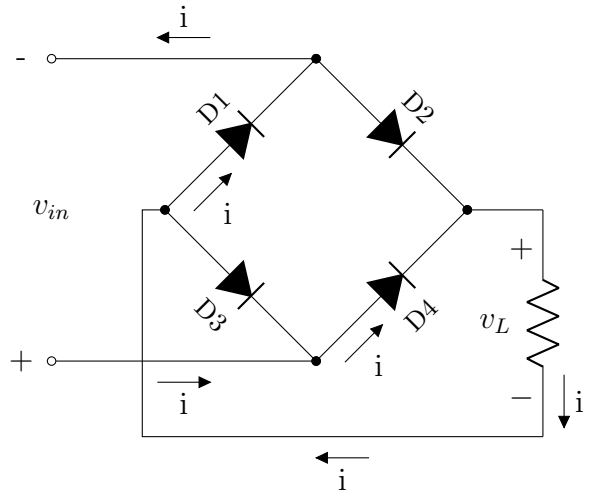


Figura 2.6: Semiciclo negativo

Elección de los diodos

Para dimensionar correctamente los diodos del puente, partimos de que la fuente debe entregar 1,5 A continuos a la carga. Sin embargo, cada par de diodos sólo conduce durante un semiciclo (50% del tiempo), de modo que la *corriente media* que atraviesa cada “rama” del puente es:

$$I_{\text{media por rama}} = 1,5 \text{ A} \times 0,5 = 0,75 \text{ A.} \quad (2.1)$$

Si usásemos diodos de la serie 1N4001–1N4007 (1 A de corriente continua), tendríamos un margen de sólo 0,25 A sobre esa corriente media. Además, el regulador LM317, aunque nominalmente entrega 1,5 A, puede generar picos de hasta 2,1 A antes de activar su protección interna, y esos picos también cruzan el puente de diodos.

Como los diodos de 2 A no son habituales, elegimos la serie 1N5400–1N5408 (3 A de corriente continua), que ofrece:

- Suficiente margen sobre los 0,75 A medios de cada rama.
- Capacidad de soportar picos transitorios sin acercarse a su límite máximo.

De este modo garantizamos un funcionamiento y seguro, minimizando el riesgo de sobrecalentamiento o daño por sobrecorriente.

Filtro

La onda pulsante a la salida del rectificador no es apta para alimentar equipos electrónicos por ello se le agrega un capacitor de filtro para alizarla, la formula para calcular el mismo es:

$$C = \frac{I_L}{2 \cdot f_{salida} \cdot \Delta V} \quad (2.2)$$

formula extraida del libro Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales Coughlin-Driscoll. Esta formula predice muy bien el ripple obtenido experimentalmente. Siendo ΔV la tension pico a pico del ripple

En nuestro caso, utilizaremos un capacitor de $3300 \mu\text{F}$. Podemos calcular el valor esperado de ΔV despejando de 2.2.

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{I_L}{2 \cdot f_{salida} \cdot C} \\ \Delta V &= \frac{1,5 \text{ A}}{2 \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 3300 \mu\text{F}} \\ \Delta V &= 2,272 \text{ V} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Regulador de circuito integrado

La funciones del regulador son:

- Mantener estable la tensión de salida de la fuente sin importar las variaciones tanto de la corriente de carga como de la red electrica.
- Reducir el ripple en un orden de mil veces.

En nuestra fuente, utilizaremos un LM317 en encapsulado TO-220.

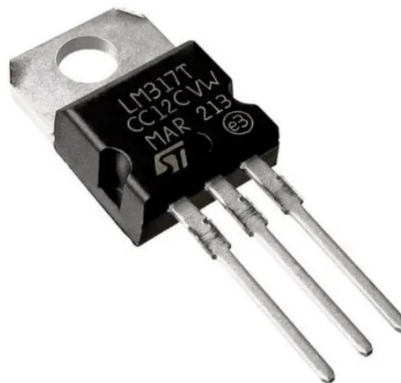


Figura 2.7: LM317 encapsulado TO-220

El regulador cuenta con 3 terminales **IN**, **OUT** y **ADJ**.

Su principio de funcionamiento se basa en mantener una tensión constante de referencia $V_{ref} = 1.25 \text{ V}$ entre la salida y el pin de ajuste, independientemente de la tensión de entrada o de la carga conectada. Además, la corriente que circula por el pin ADJ, llamada $I_{adj} = 50 \mu\text{A}$, también se mantiene constante.

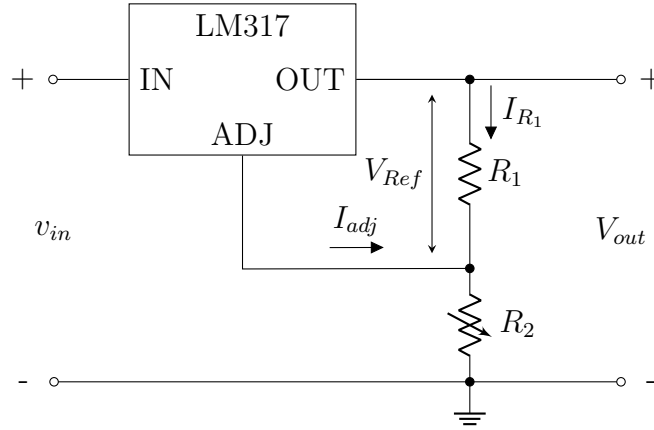


Figura 2.8: Regulador

Entendiendo esto, podemos deducir la ecuación de la tensión de salida V_{out} .

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= V_{ref} + V_{R2} \\
 V_{out} &= V_{ref} + \left(I_{adj} + \frac{V_{ref}}{R_1} \right) R_2 \\
 V_{out} &= V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{adj} R_2
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Si tenemos en cuenta los valores $R_1 = 220 \Omega$ y $R_2 = 0 - 5 \text{ k}\Omega$

Podemos calcular los valores máximos y mínimos de salida del regulador.

$$\begin{aligned}
 V_{outMAX} &= 1,25 \text{ V} \left(1 + \frac{0}{220 \Omega} \right) + 50 \mu\text{A} \cdot 0 \\
 V_{outMIN} &= 1,25 \text{ V} \\
 V_{outMIN} &= 1,25 \text{ V} \left(1 + \frac{5 \text{ k}\Omega}{220 \Omega} \right) + 50 \mu\text{A} \cdot 5 \text{ k}\Omega \\
 V_{outMAX} &= 29,9 \text{ V}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Otros datos importantes obtenidos de la hoja de datos del fabricante son:

$$I_{MAX} = 1.5 \text{ A} \quad V_{Diff-MAX} = V_{in} - V_{out} = 40 \text{ V} \quad T_{juntura-max} = 125^\circ\text{C} \quad P = 15 \text{ W}$$

Con estos datos podemos explicar la necesidad de poder alternar entre dos tensiones de transformador planteada en la sección 2.1.

En el caso de tener una $V_{in} = 24 \text{ V}$ y $V_{out} = 1,25 \text{ V}$ entregando una corriente de $I = 1,5 \text{ A}$ la potencia disipada en el LM317 sería:

$$\begin{aligned} P &= (V_{in} - V_{out}) I \\ P &= (24 \text{ V} - 1,25 \text{ V}) 1,5 \text{ A} \\ P &= 34,125 \text{ W} \end{aligned} \tag{2.6}$$

Lo que supera ampliamente la potencia máxima que puede disipar nuestro regulador.

Protecciones internas

El regulador LM317 cuenta con diversas protecciones integradas que garantizan su funcionamiento seguro ante condiciones anómalas:

- **Protección contra sobrecorriente:** Cuando la corriente de salida supera el límite permitido, el regulador activa un mecanismo de protección que evita daños internos.
- **Protección térmica:** Si la disipación de calor no es adecuada, debido por ejemplo a un disipador insuficiente, la temperatura de la unión puede incrementarse más allá del valor seguro. En este caso, se activa una protección interna para evitar el sobrecalentamiento.
- **Límite de operación segura del transistor de salida:** Aunque no se supere el límite de corriente, si existe una gran diferencia de potencial entre la entrada y la salida, puede ocurrir una disipación de potencia que exceda la capacidad del regulador. En estas condiciones, también entra en acción la protección interna.

Nota: En todos los casos anteriores, cuando se activa alguna protección interna, el regulador interrumpe temporalmente su operación. Una vez que desaparece la condición que provocó la falla, el dispositivo retoma su funcionamiento normal de forma automática.

Fuente auxiliar

En algunos escenarios, es necesario que la fuente tenga como tensión mínima 0 V y no ese $1,25 \text{ V}$, por lo que es necesario contrarrestar dicha tensión de alguna forma. Por esto, se utilizará una fuente auxiliar que contrarreste estos $1,25 \text{ V}$.

Ensayos y mediciones

Medición de ripple (sin regulador)

Para poder realizar las siguientes mediciones en este primer ensayo, previamente se realizó en la placa la soldadura del puente diodo y el filtro.

En el filtro capacitivo y determinación de parámetros.

Se tomarán medidas de la tensión tanto en el punto bajo como en el punto alto del transformador variando la corriente desde el vacío (0 A) hasta llegar a plena carga (1,5 A). Con las mediciones vamos a poder calcular los siguientes tres factores: Regulación de voltaje, resistencia variable y factor de ripple.

Punto bajo

$V_{vacío}$	17,71 V
$V_{0,5A}$	15,80 V
$V_{0,75A}$	15,27 V
V_{1A}	14,63 V
$V_{1,25A}$	14,10 V
$V_{PlenaCarga}$	13,69 V

Cuadro 3.1: Mediciones en el punto bajo

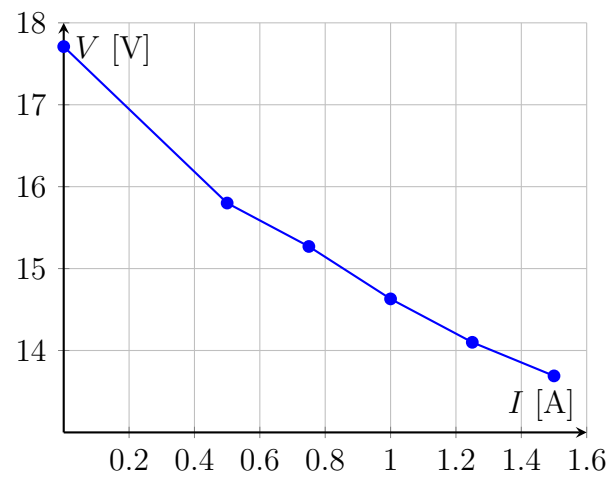


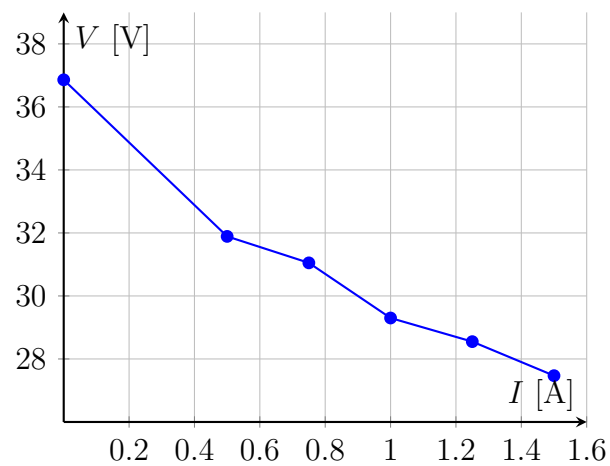
Figura 3.1: Vout vs Iout punto bajo

Punto alto

$V_{vacío}$	36,86 V
$V_{0,5A}$	31,89 V
$V_{0,75A}$	31,05 V
V_{1A}	29,83 V
$V_{1,25A}$	28,55 V
$V_{PlenaCarga}$	27,47 V

Cuadro 3.2: Mediciones en el punto alto

Grafico Vout vs Iout punto alto



Determinación de resistencia interna del transformador más la de los diodos.

Punto bajo

Para calcular la regulacion de voltaje se utiliza la siguiente formula:

$$RV = \frac{V_{vacio} - V_{PlenaCarga}}{V_{PlenaCarga}} 100 \% \quad (3.1)$$

$$RV = \frac{17,71 \text{ V} - 13,69 \text{ V}}{13,69 \text{ V}} 100 \% = 29,36 \%$$

La resistencia interna esta dada por:

$$R_{int} = \frac{V_{PlenaCarga} - V_{vacio}}{-I_{carga}} \quad (3.2)$$

$$R_{int} = \frac{13,69 \text{ V} - 17,71 \text{ V}}{-1,5 \text{ A}} = 2,68 \Omega$$

Ahora mediremos el voltaje del ripple tanto con multímetro true RMS, como en el osciloscopio:

$$V_{RippleMultimetro} = 908mV \quad (3.3)$$

$$V_{RippleOsciloscopio} = 972mV \quad (3.4)$$

$$V_{PicoaPico} = 2,75V \quad (3.5)$$

Factor de ripple:

$$F_R = \frac{V_{eficaz}}{V_{PlenaCarga}} 100 \% \quad (3.6)$$

$$F_R = \frac{908mV}{13,69V} 100 \%$$

$$F_R = 6,6325 \%$$

Punto alto

Para el punto alto repetiremos las formulas del punto bajo cambiando por los valores correspondientes:

Regulacion de voltaje:

$$RV = \frac{36,68 \text{ V} - 27,43 \text{ V}}{27,43 \text{ V}} 100 \% = 33,72 \% \quad (3.7)$$

Resistencia interna:

$$R_{int} = \frac{27,43\text{ V} - 36,68\text{ V}}{-1,5\text{ A}} = 6,16\ \Omega \quad (3.8)$$

Ripple:

$$V_{RippleMultimetro} = 0,83\text{ V} \quad (3.9)$$

$$V_{RippleOsciloscopio} = 0,88\text{ V} \quad (3.10)$$

$$V_{PicoaPico} = 2,5\text{ V} \quad (3.11)$$

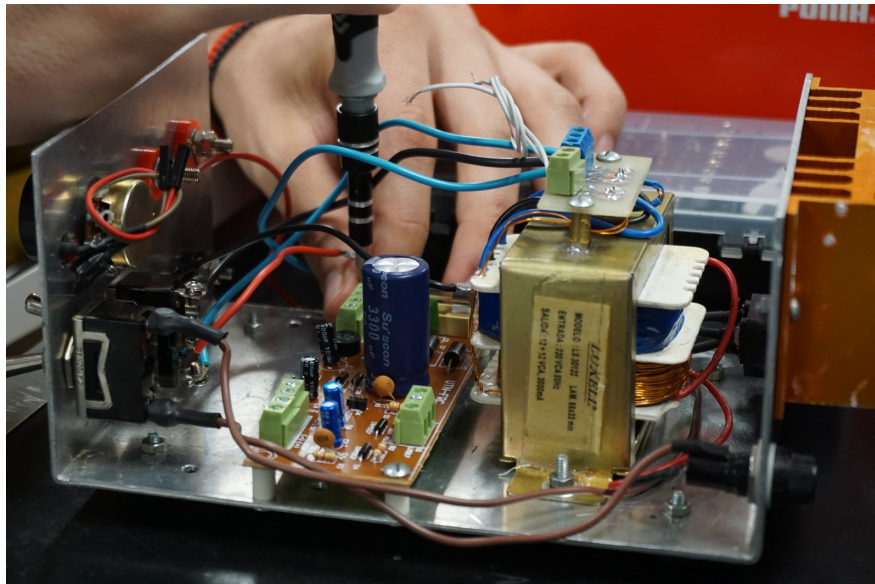
Factor de ripple:

$$F_R = \frac{0,83\text{ V}}{27,43\text{ V}} 100\% \quad (3.12)$$

$$F_R = 3,0258$$

Mediciones finales (con regulador)

A continuación, se llevarán a cabo una serie de mediciones destinadas a verificar el correcto funcionamiento del regulador LM317 en la fuente montada. Estas pruebas incluyen la medición de caída de tensión y corriente para alcanzar su potencia máxima, análisis de la regulación de voltaje tanto en vacío como a plena carga, evaluación del ripple mediante osciloscopio y cálculo de su factor, así como la medición de temperatura en el encapsulado del regulador para estimar su temperatura interna. Estas mediciones permitirán validar el desempeño eléctrico y térmico del circuito en condiciones reales de operación.



Regulación de voltaje.

$V_{vacío}$	16,92 V
$V_{PlenaCarga}$	16,29 V

$$RV = \frac{16,92 - 16,29}{16,29} 100 \% \quad (3.13)$$

$$RV = 3,867$$

Factor de ripple.

$$V_{RippleEficaz} = 353,55 \cdot 10^{-6} V = 353,5 \mu V \quad (3.14)$$

$$F_R = \frac{353,5 \mu V}{16,29 V} 100 \% \quad (3.15)$$

$$F_R = 2,1703 \cdot 10^{-3} \%$$

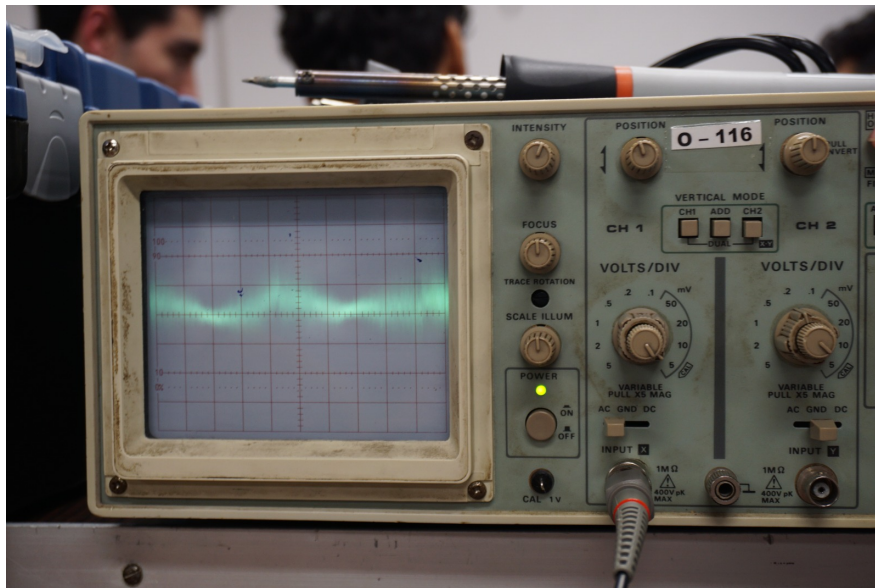


Figura 3.2: Visualización de ripple en osciloscopio

Cálculo de temperatura de juntura.

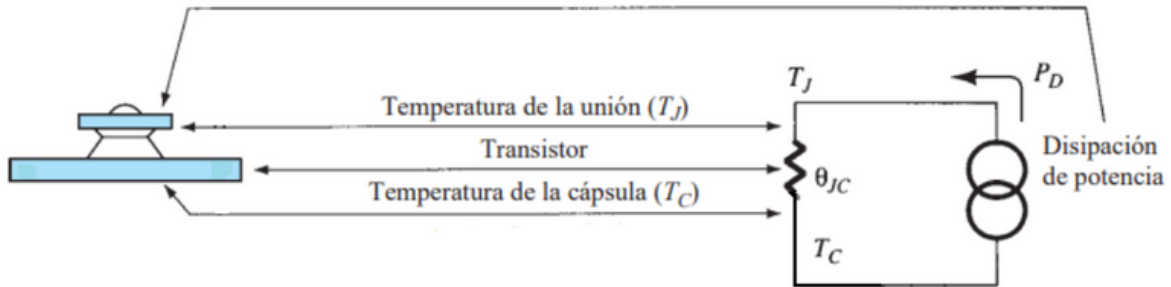


Figura 3.3: Calculo de la temperatura

$$T_J - T_C = \theta_{JC} \times P_D \quad \Rightarrow \quad T_J = \theta_{JC} \times P_D + T_C \quad (3.16)$$

T_J : Temperatura de la juntura interna

T_C : Temperatura que mediremos del regulador

θ_{JC} : Resistencia termica de la juntura

Medimos la temperatura del regulador y usamos el dato de la resistencia termica de la juntura.

$$\theta_{jc} = 5 \frac{^{\circ}C}{W} \quad (3.17)$$

$$T_C = 60^{\circ}C \quad (3.18)$$

Entonces podemos calcular.

$$T_J = \left(5 \frac{^{\circ}C}{W} \cdot 15,19W\right) + 60^{\circ}C \quad (3.19)$$

$$T_J = 135,95^{\circ}C \quad (3.20)$$

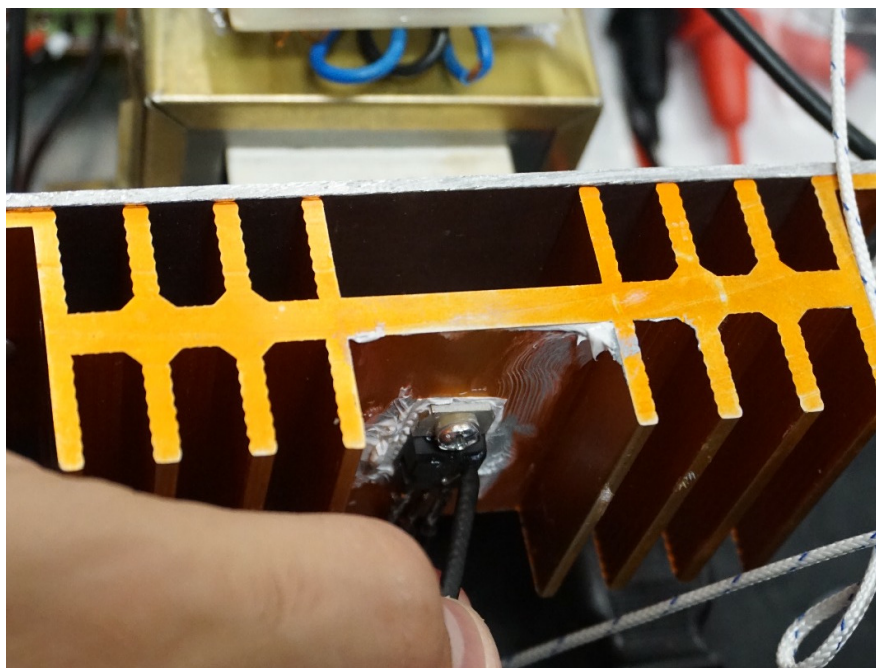


Figura 3.4: Medicion de la tempera en LM317

Conclusiones

Analisis de mediciones

Mediciones con y sin regulador LM317

Pudimos observar durante las primeras mediciones realizadas, en las cuales se encontraba la fuente sin regulador, se obtuvo un factor de ripple de 3,0258 y una caída de tensión aproximada de 10V en el punto de mayor demanda, lo cual evidencia una tensión de salida poco constante y dependiente de la carga. Por otra parte, las mediciones realizadas con el regulador incorporado, se pudo apreciar una mejora significativa en la calidad de la tensión de salida. Se midió un ripple de 353,5 μV , con un factor de ripple inferior al 0,003 % valores considerablemente mejores que los estimados inicialmente y plenamente satisfactorios para los requerimientos del proyecto.

Complicaciones termicas

Sin embargo, en el aspecto térmico no obtuvimos resultados óptimos. Bajo condiciones de máxima carga, el LM317 alcanzó una temperatura de juntura estimada de 135°C, a pesar de la incorporación de grasa disipadora. Este valor se aproxima al límite térmico del componente, por lo que en futuras implementaciones lo ideal sería trabajar con el regulador y un disipador térmico de mayor tamaño o incorporar una fuente de disipación forzada.