

# Índice

0.1. Diseño Propuesto . . . . .	2
0.1.1. Análisis de realimentación negativa . . . . .	2
0.1.2. Bloques del Regulador . . . . .	3
0.1.3. Elemento de Referencia . . . . .	3
0.1.4. Amplificador de Error y Pre-regulador . . . . .	3
0.1.5. Circuito de Detección . . . . .	3
0.1.6. Transistor de Paso . . . . .	3
0.2. Protección por Corto-circuito . . . . .	3
0.2.1. Protección lineal . . . . .	3
0.2.2. Protección foldback . . . . .	4
0.3. Análisis de Componentes . . . . .	6
0.3.1. Amplificador Operacional . . . . .	6
0.3.2. Transistores de Paso . . . . .	6
0.3.3. Componentes de Protección . . . . .	6
0.3.4. Diodo de Referencia . . . . .	6
0.3.5. Fuentes de Alimentación . . . . .	6
0.4. Análisis de Potencia . . . . .	6
0.4.1. Amplificador Operacional . . . . .	6
0.4.2. Transistores . . . . .	6
0.4.3. Diodos y Resistencias . . . . .	7
0.5. Simulaciones . . . . .	7
0.5.1. Análisis Transitorio en Regulación . . . . .	7
0.5.2. Respuesta en Frecuencia . . . . .	7
0.5.3. Curva de Foldback . . . . .	7
0.5.4. Potencias . . . . .	7
0.6. Conclusiones . . . . .	7

## 0.1. Diseño Propuesto

Se requiere una fuente que se ajuste a las siguientes especificaciones: El cual se ajusta a las especificaciones de:

$$0V \leq V_o \leq 9V \quad \wedge \quad I_{o-Max} = 2.5A \quad (1)$$

Se optó por un diseño que muestre tensión y sume corriente. El diseño elegido para la fuente regulada es el siguiente.

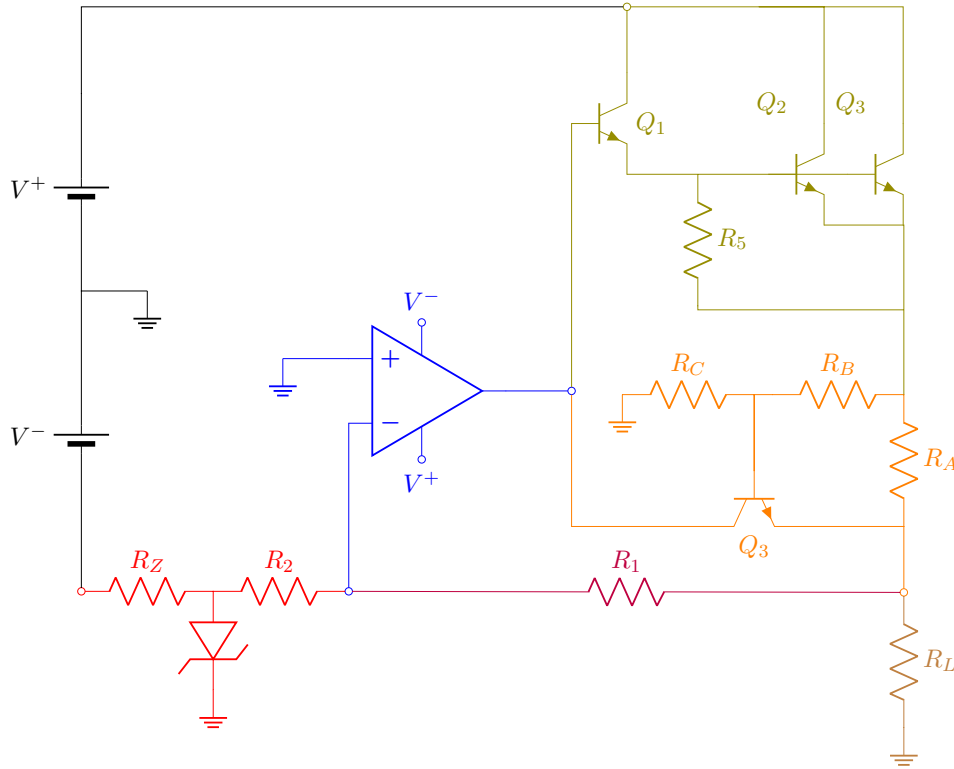


Figura 1: Circuito regulador de tensión propuesto.

El cual puede ser separado en 5 bloques fundamentales.

- Amplificador error
- Transistor de paso
- Elemento de referencia
- Circuito de detección
- Circuito de protección

### 0.1.1. Análisis de realimentación negativa

La teoría de la realimentación negativa plantea que dado un sistema a lazo cerrado ideal con un número impar de inversiones de fase, la respuesta en frecuencia de este puede aproximarse como la inversa de la respuesta en frecuencia del lazo de realimentación si la ganancia a lazo abierto es mucho mayor a la unidad, es decir

donde  $\alpha$  es la respuesta a lazo abierto,  $f$  la respuesta del lazo realimentador y  $T$  es la ganancia de lazo. Se puede observar que si la ganancia de lazo es mucho mayor a la unidad en módulo, entonces se tiene que

$$H_{closedloop} \approx \frac{1}{f} \quad (2)$$

En el circuito realizado puede observarse un lazo de realimentación negativa el cual posee una inversión de fase producida por el amplificador operacional detallado en la Figura (??). También es de

**0.1.2. Bloques del Regulador****0.1.3. Elemento de Referencia****0.1.4. Amplificador de Error y Pre-regulador****0.1.5. Circuito de Detección****0.1.6. Transistor de Paso****0.2. Protección por Corto-circuito**

Implementar una protección de cortocircuito es una sección fundamental en el diseño de una fuente de tensión debido que uno desconoce con que cargas va a ser utilizado el circuito, en caso de que el usuario en contra-indicación de las especificaciones del equipo utilice una carga menor a la mínima, el circuito no sufra un daño irreversible. Para la protección de cortocircuito se evaluaron 2 alternativas:

**0.2.1. Protección lineal**

La implementación de una protección lineal resulta ser la mas sencilla debido a la facilidad de cálculo y que utiliza pocos componentes, como se ve a continuación:

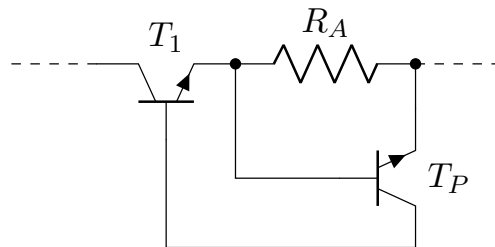


Figura 2: Circuito de Protección lineal.

El cálculo para la resistencia  $R_a = \frac{V_{be}}{I_{o-Max}}$ . Esta protección limita la corriente de salida del regulador haciendola constante. Esto es así debido a que el transistor de protección sensa la tensión sobre la resistencia  $R_a$  y al superar cierto valor  $V_a = R_a \cdot I_{o-Max}$  el transistor pasa a modo activo directo, quitándole corriente de la base al transistor de paso. Si bien la protección lineal es de sencilla implementación cuenta con la siguiente característica:

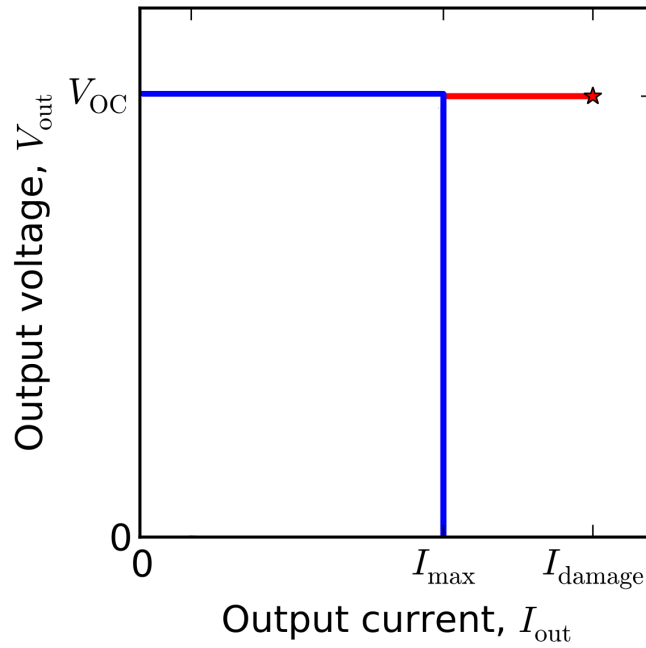


Figura 3: Característica de la Protección lineal.

Donde  $I_{max}$  corresponde a la máxima corriente que uno define para el circuito e  $I_{damage}$  es la corriente bajo la cual el circuito sufrirá un daño irreversible. Se puede notar que en el peor caso ( $V_o = 0$ ) sería máxima tanto la corriente de salida como la caída de potencia sobre el transistor de paso, haciendo que por consiguiente sea máxima la disipación de potencia sobre este, lo cual es un problema.

### 0.2.2. Protección foldback

La protección de Foldback es una variación de la lineal, la cual cuenta con 2 resistencias adicionales conectadas de la siguiente manera:

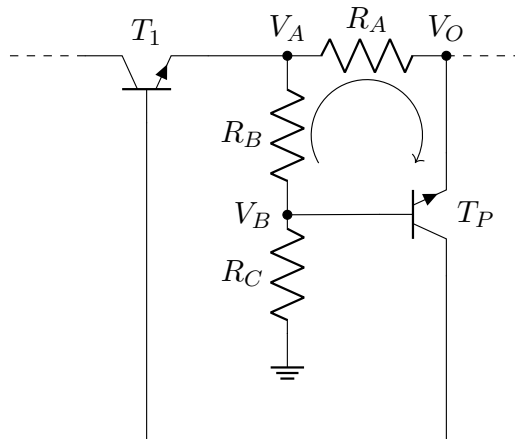


Figura 4: Circuito de Protección Foldback.

Si se desea resolver para  $I_{O-Max}$  bastará con recorrer la malla:

$$-I_{O-Max} \cdot R_a + V_{be} - (V_b - V_a) = 0 \quad (3)$$

$$V_b = V_a \cdot \frac{R_c}{R_c + R_b} \quad (4)$$

$$-I_{o-Max} \cdot R_a + V_{be} + V_a \cdot \left(1 - \frac{R_c}{R_c + R_b}\right) = 0 \quad (5)$$

$$-I_{o-Max} \cdot R_a + V_{be} + (I_{o-Max} \cdot R_a + V_o) \cdot \frac{R_b}{R_c + R_b} = 0 \quad (6)$$

lo cual despejando para  $I_{o-Max}$  queda:

$$I_{o-Max} = \frac{V_o \cdot R_b + V_{be} \cdot (R_b + R_c)}{R_a \cdot R_c} \quad (7)$$

De aquí se puede ver que la corriente caerá en función de la tensión de salida hasta establecerse en una corriente fija para la carga nula denominada  $I_{sc}$  la tiene un valor de.

$$I_{sc} = V_{be} \cdot \frac{R_b + R_c}{R_a \cdot R_c} \quad (8)$$

Luego graficando la curva se obtiene:

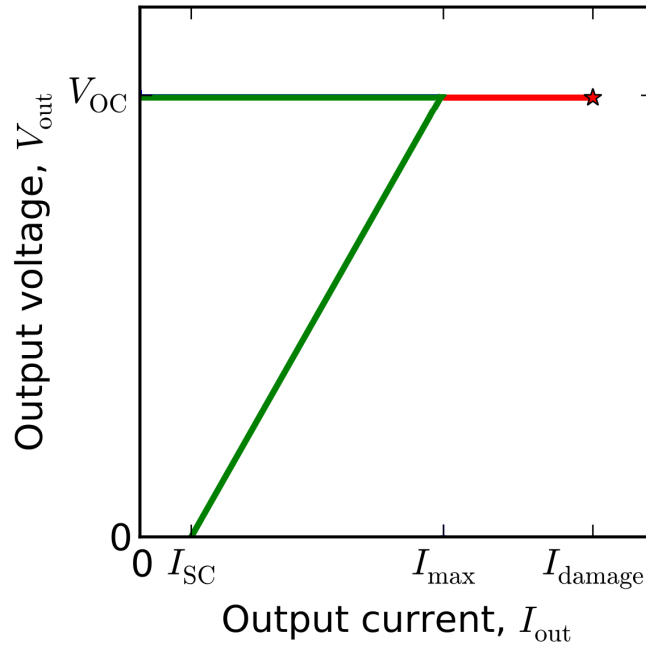


Figura 5: Característica de la Protección foldback.

Se puede apreciar también la razón de su nombre dado que la curva de la corriente se “dobla” sobre si misma. Si bien armar esta fuente resulta en una mayor cantidad de componentes, el hecho de que reduzca la corriente de paso al tener una carga nula, y que por ello reduzca la potencia consumida es un factor no menor. por esta razón esta fue la protección elegida a utilizar. Solo a modo ilustrativo se grafica ambas curvas de las protecciones.

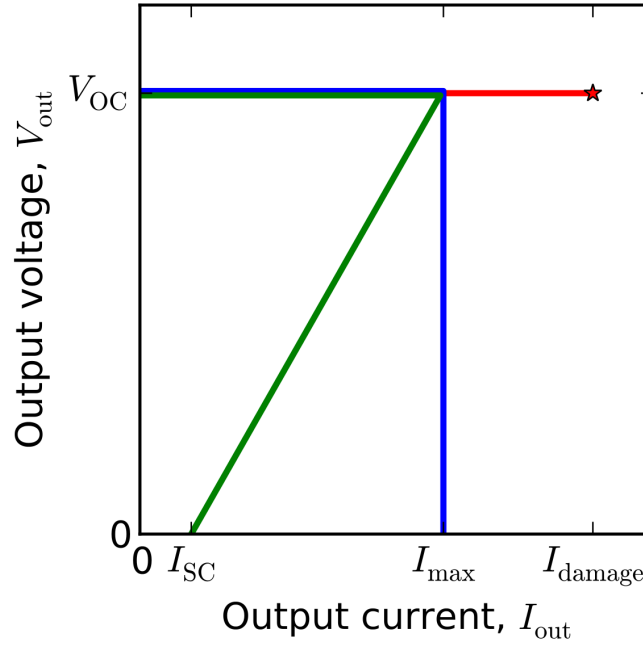


Figura 6: Característica de la Protección foldback y lineal.

### 0.3. Análisis de Componentes

#### 0.3.1. Amplificador Operacional

#### 0.3.2. Transistores de Paso

#### 0.3.3. Componentes de Protección

#### 0.3.4. Diodo de Referencia

#### 0.3.5. Fuentes de Alimentación

### 0.4. Análisis de Potencia

#### 0.4.1. Amplificador Operacional

#### 0.4.2. Transistores

- Transistor.pdf - Transistor.pdf - Transistor.pdf

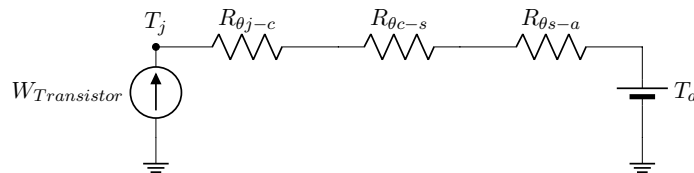


Figura 7: Circuito térmico para el cálculo de disipador del transistor.

$$\frac{T_j - T_a}{R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}} = P \quad (9)$$

Asumiendo una temperatura ambiente de  $40^\circ C$ ; una temperatura máxima de juntura en funcionamiento de  $140^\circ C$ ,  $20^\circ C$  menor a la especificada por el fabricante; la  $R_{\theta jc}$  también especificada, de  $3.125 \frac{^\circ C}{W}$ ; el uso de una grasa siliconada de 0.002 pulgadas de espesor con una resistencia térmica de  $204 \frac{^\circ C \cdot inch}{W}$ , y área estándar de un empaquetado de TO-220 de  $0.41 \cdot 0.59 inch^2$ , obteniendo una  $R_{\theta cs}$  de  $1.6866 \frac{^\circ C}{W}$ ; y finalmente una potencia disipada de  $9.6W$ , levemente mayor a la máxima disipada; se obtiene

$$R_{\theta sa} = 4.57 \frac{^{\circ}C}{W} \quad (10)$$

#### 0.4.3. Diodos y Resistencias

### 0.5. Simulaciones

#### 0.5.1. Análisis Transitorio en Regulación

#### 0.5.2. Respuesta en Frecuencia

#### 0.5.3. Curva de Foldback

#### 0.5.4. Potencias

### 0.6. Conclusiones

En la siguiente sección, se busca elaborar una fuente regulada de tensión que cumpla con una salida que varíe entre 0 V y 9 V, con una corriente de salida máxima de 2.5 A. Dado que la tensión mínima debe ser nula, se implementó un regulador serie que utiliza un lazo de realimentación negativa que muestrea tensión y suma corriente, siendo así el circuito resultante el presentado a continuación.

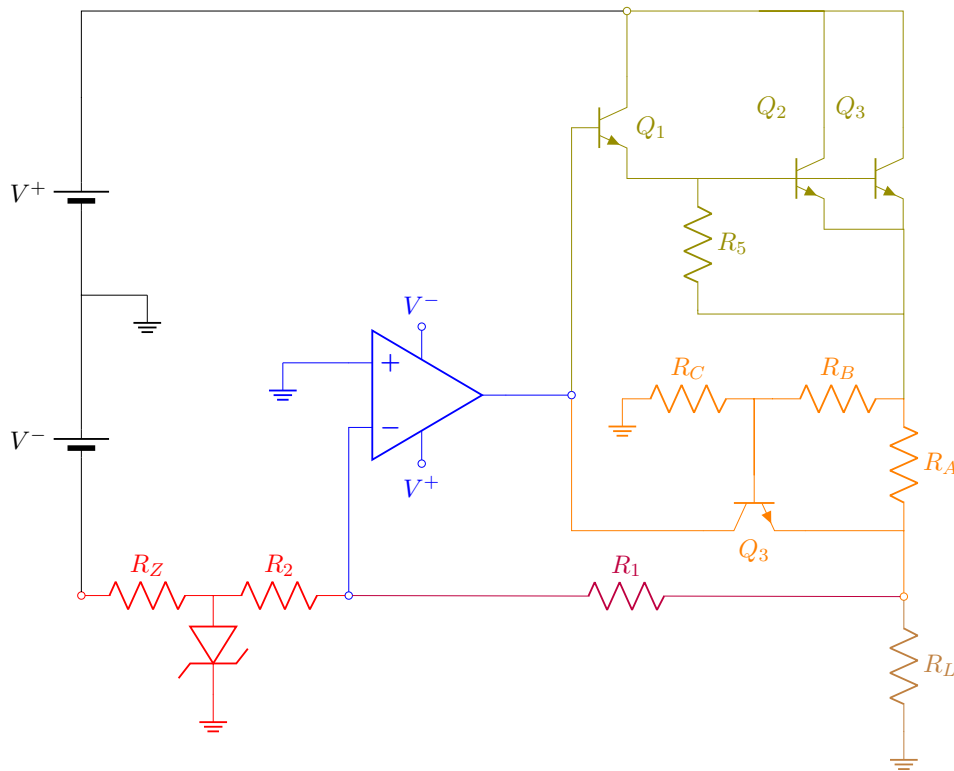


Figura 8: Circuito regulador de tensión.

En la Figura (8) se puede observar en distintos colores las diferentes etapas del sistema, siendo en azul el amplificador error, en verde el transistor de paso, en rojo el elemento de referencia, en violeta el circuito de detección y en naranja el circuito de protección.

$$\frac{V^- - V_Z}{R_Z} + I_Z = \frac{V_Z}{R_9} \quad (11)$$

$$V_{B1max} = V_{Oreg} + V_{Ra} + 1.4 V = 9 V + 1.25 V + 1.4 V = 11.65 \quad (12)$$

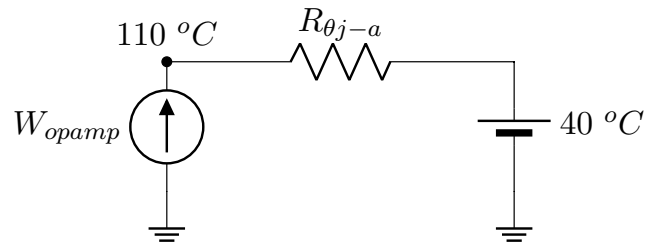
$$V_{2min} = 11.65 V + 1.5 V = 13.15 V \quad (13)$$

$$R_{Lmin} = \frac{V_{Omax}}{I_{Omax}} = 3.6 \, \Omega \quad (14)$$

$$R_{Lmax} = \infty \quad (15)$$

$$V_{Lmin} = R_Z \cdot \left( \frac{V_Z}{R_2} + I_z \right) + V_Z \quad (16)$$

El pre-regulador cumple la función de brindar corriente (**habría que desarrollar un poco más**). Para el caso presente, se observa que el amplificador operacional puede llegar hasta temperaturas de  $125 \, ^\circ C$  son problema. Asumiendo una temperatura ambiente de  $40 \, ^\circ C$ , la potencia máxima disipada por operacional es de  $0.7 \, W$ .



- Opamp.pdf - Opamp.pdf - Opamp.pdf

Figura 9: Circuito equivalente de potencias con  $R_{\theta a-j} = 103 \, \frac{^\circ C}{W}$ .

Es por ello que se analiza la potencia tanto en regulación como fuera de esta. Durante la primer etapa, la tensión de salida  $V_O$  es estable pero la corriente es cada vez mayor. A pesar de esto, la potencia disipada por el opamp se mantiene menor a la máxima. Por otro lado, con el circuito fodbk activado, la tensión decae, haciendo que también decaiga la potencia del amplificador, manteniendola por debajo del máximo.

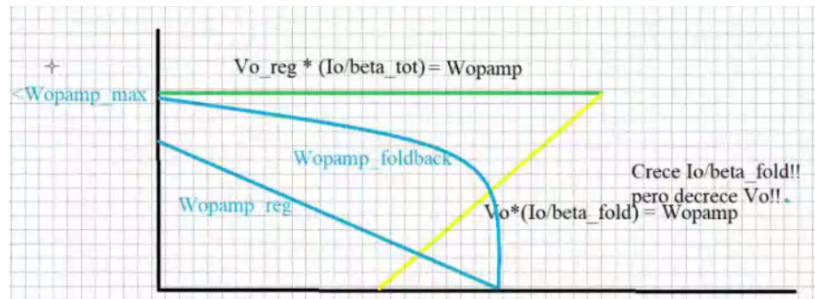


Figura 10: Curvas de potencia consumida.