

# 1 Sensor de Temperatura

## 1.1 Introducción

Se implementará un sensor de temperatura utilizando el circuito integrado LM35, un circuito integrado cuya tensión de salida varía linealmente con la temperatura.

Según la datasheet del integrado mencionado anteriormente del fabricante Texas Instruments "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors", con última revisión en diciembre de 2017, el integrado ofrece un rango de medición asegurada de entre  $-55^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$ , con una variación de  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , siendo el  $0^{\circ}\text{C}$  correspondiente a  $0\text{V}$ .

Se busca implementar a partir de estos valores, un sensor de temperatura capaz de medir con máxima excursión entre  $35^{\circ}\text{C}$  y  $45^{\circ}\text{C}$ , con  $0\text{V}$  correspondiendo a  $35^{\circ}\text{C}$  y  $5\text{V}$  a  $45^{\circ}\text{C}$ .

A partir del circuito se podrá utilizar un conversor analógico-digital para lograr manipular la información de temperatura como se requiera.

Se tuvo como prioridad minimizar la cantidad de componentes utilizados, garantizar la confiabilidad y precisión de los valores que el circuito devuelva. Se tuvo en cuenta la protección del circuito receptor de la señal, haciendo que la señal de salida no sobrepase el intervalo  $[-1;6]$  volts.

## 1.2 Análisis del LM35 y condiciones a tener en cuenta

Según la datasheet mencionada anteriormente, deben mencionarse ciertas consideraciones a tener en cuenta:

- El error máximo del LM35 para medir temperatura es de  $0.5^{\circ}\text{C}$ , por lo que el circuito derivado a partir de él no podrá asegurar un error menor a este mismo.
- La tensión de alimentación para el LM35 será de entre  $-0.2\text{ V}$  y  $35\text{ V}$  como valores máximos,  $4\text{V}$  y  $30\text{ V}$  como valores típicos.
- La máxima temperatura de juntura es  $150^{\circ}\text{C}$ , la cual no se contradice con el rango de valores elegidos para el circuito implementado. La máxima temperatura de juntura es la máxima temperatura que la juntura del semiconductor interno puede tolerar manteniendo al LM35 en estado operativo.
- La corriente de entrada del LM35 será baja, de  $60\mu\text{A}$  máximo.
- La corriente de salida del LM35 tomará un valor máximo de  $10\text{mA}$ .
- El LM35 tiene una impedancia de salida baja, de  $0.1\Omega$ .

Es importante hacer notar que una baja impedancia de salida se corresponde con un circuito emisor de señal como es el caso de un sensor de temperatura. Esto es así porque si la señal emitida en tensión deberá ser recibida por otro circuito que interpretará o modificará la señal recibida, y si la impedancia de entrada del circuito receptor fuera más baja que la de salida del emisor, entonces siendo  $Z_1$  la impedancia

de salida del emisor y  $z_2$  la impedancia de entrada del receptor, por divisor de tensión:  $V_o = \frac{z_2}{z_1 + z_2} V_i$

Donde  $V_i$  es la tensión de entrada y  $V_o$  la de salida. Si se asume que la potencia se mantiene constante en el traspaso entre los dos circuitos, se aprecia de aquí que si  $|z_1| \ll |z_2|$  y  $1 \ll |z_2|$ , entonces  $\frac{z_2}{z_1 + z_2} \approx 1$ , con lo cual la tensión de salida del circuito emisor original sería equivalente a la tensión de entrada del circuito receptor, por lo que la señal sería recibida correctamente en valor.

Es por esto que se intentará obtener una impedancia de entrada de nuestro circuito adaptador mucho mayor a la impedancia de salida de  $0.1\Omega$  del LM35.

### 1.3 Cambio de rango operacional

El comportamiento del LM35 puede ser representado matemáticamente con una transformación lineal de grados celsius a tensión en volts

$TL_{35}$ :  $c \in [-55; 150] \rightarrow v \in [-0.55; 1.5] / TL_{35}(c) = 0.01 \cdot c$ . El circuito a implementar pretende utilizar una transformación lineal

$TL_{cambio}$ :  $v_1 \in [0.35; 0.45] \rightarrow v_2 \in [0; 5]$  de forma tal que  $TL_{cambio}(TL_{35}(c)) = TL_{sensor}(c)$  donde  $TL_{sensor}$ :  $c \in [0.35; 0.45] \rightarrow v_2 \in [0; 5]$  será la transformación total del circuito.

Así, se deberá resolver el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} 0 = m \cdot 0.35 + b \\ 5 = m \cdot 0.45 + b \end{cases} \quad (1)$$

Que tiene como solución  $m=50 \cap b = -17.5$ .

Para realizar la transformación lineal sobre la salida del LM35, se decidió utilizar un opamp con realimentación negativa, dispuesto de la siguiente manera:

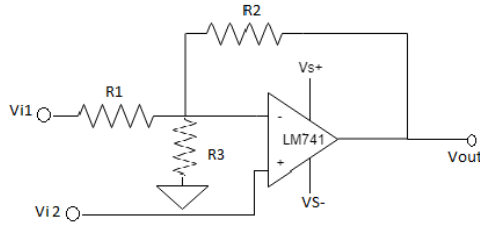


Figura 1: Cambio de rango operacional en circuito

El cual se resolverá por superposición (suponemos que el opamp está operando en su zona lineal) para mostrar que cumple con la necesidad de la multiplicación y la resta necesarias:

- Pasivamos la fuente  $V_{i1}$ , dejando un no inversor:

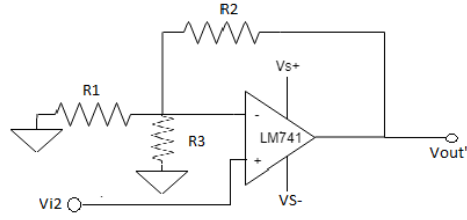


Figura 2: Vi1 pasivada

Entonces  $V_{out}' = (1 + \frac{R2(R1+R3)}{R1R3}) \cdot Vi2$

- Pasivamos la fuente Vi2, dejando un inversor:

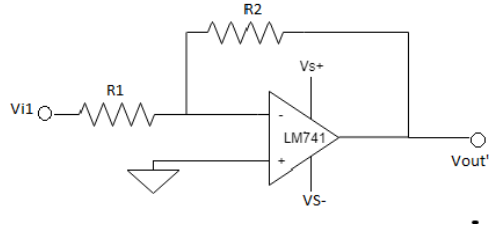


Figura 3: Vi2 pasivada

Entonces  $V_{out}'' = -\frac{R2}{R1} \cdot Vi1$

- Obtenemos la salida como la superposición de los dos estados calculados anteriormente:

$$V_{out} = V_{out}' + V_{out}'' = (1 + \frac{R2(R1+R3)}{R1R3}) \cdot Vi2 - \frac{R2}{R1} \cdot Vi1$$

Si Vi1 es una entrada continua positiva de valor Vs+ y Vi2 es la salida del LM35, entonces, para cumplir con  $y = mx + b$  y la solución al sistema de ecuaciones mencionada anteriormente:

$$\begin{cases} 50 = 1 + \frac{R2(R1+R3)}{R1R3} \\ -17,5 = -\frac{R2}{R1} \cdot Vs+ \end{cases} \quad (2)$$

Por lo que como Vs+ será la alimentación del LM35 y dados los requerimientos del mismo se podrá alimentar en el rango recomendado con cualquier valor de tensión de entre 4V y 30V, si se elige Vs+ = 7V,

El sistema queda definido como:

$$\begin{cases} R2 = \frac{35R1}{2Vs+} = \frac{5 \cdot R1}{2} \\ R3 = \frac{5R1}{14Vs+-5} = \frac{5 \cdot R1}{93} \end{cases} \quad (3)$$

## 1.4 Protección del circuito a conectar

Dado que el nuevo sensor a implementar será utilizado para alguna aplicación en concreto, deberá ser conectado a un segundo circuito "receptor" que utilice la información de la temperatura actual, por ejemplo un conversor analógico-digital. Es por esta razón que se prohibirán tensiones de salida que puedan resultar peligrosas para el receptor. Se garantiza que la salida, por ende, no será superior a 6V ni inferior a -1V.

Para lograr lo anterior, se utilizará un diodo Zener, que hará clipping asimétrico a la señal de salida (ver pedal de distorsión o ej5 para mayor información sobre clipping).

Los diodos Zener suelen usarse para protección de circuitos y pueden ser representados por su curva característica:

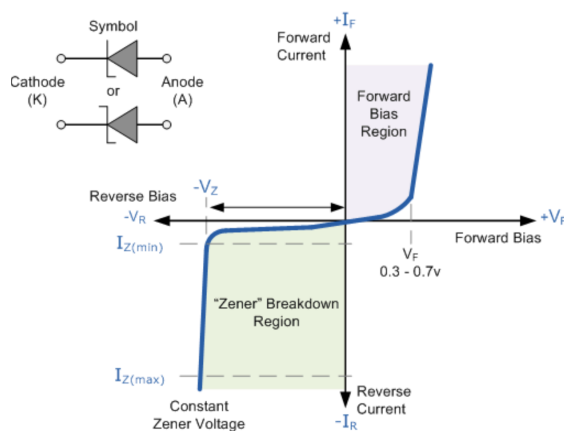


Figura 4: Curva característica del diodo Zener

De esta curva se hace notar que al superar el valor de tensión  $V_f$  o al llegar a un nivel de tensión menor a  $V_z$ , la demanda de corriente por parte del diodo aumentará exponencialmente. Es aquí cuando recordamos una de las condiciones de la subsección **Análisis del LM35 y condiciones a tener en cuenta**: La corriente de salida del LM35 tomará un valor máximo de 10mA. Esto deberá ser tenido en cuenta cuando se presente la implementación final del circuito.

De esta manera, se buscará que los valores de  $V_f$  y  $V_z$  sean tales que la demanda de corriente sea tan alta luego de los mismos que la tensión tenga que caer a estos valores para que se logre suplir. De esta manera, se muestra gráficamente la tensión de salida en función de la tensión de entrada:

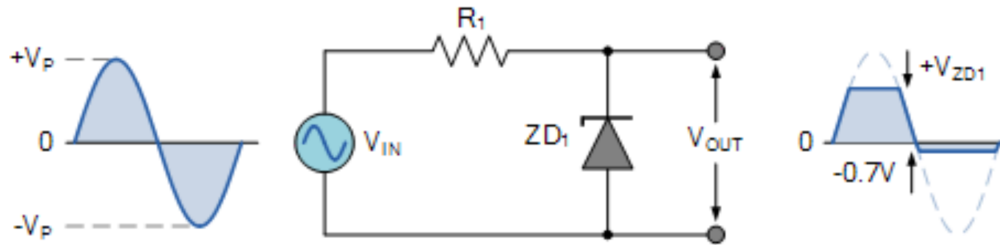


Figura 5: Efecto del diodo Zener sobre la entrada

Así es como se observa que  $V_f = -0.7V$  y  $V_z \approx 6V$ . Cabe destacar que el valor de  $V_z$  es aproximado a 6V porque el valor no podrá ser excedido en absoluto como restricción de protección, por lo que  $V_z < 6V$ .

## 1.5 Calibración del sensor

Debido al uso de fuentes no ideales y a los requerimientos de corriente de los opamps que generan ripple para la fuente, la tensión  $V_{s+}$  de alimentación para el LM35 no necesariamente administrará el valor fijo de tensión antes designado de 7V, sino que será un valor cercano al anterior.

Es por esto que los valores de resistencias que se elijan de antemano no convergerán precisamente al offset y a la escala requeridas previamente (valores de m y b). De aquí que es necesario un proceso de calibración del sensor para su correcto funcionamiento.

El proceso de calibración, por ende, requerirá de ajustar los valores de resistencia de la sección **Cambio de rango operacional**.

Como tanto  $R_2$  como  $R_3$  dependen de  $R_1$  y  $R_2$  a su vez también depende de  $V_{s+}$ , es posible lograr variar  $R_1$  a modo tal que el sensor quede calibrado en sus constantes de escalamiento correctamente. Es por esta razón que  $R_1$  ahora quedará expresada como la combinación de un potenciómetro y un valor fijo de resistencia en serie, de la siguiente manera:

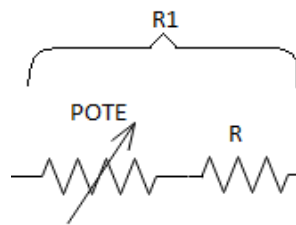


Figura 6: Expresión de  $R_1$  como combinación de potenciómetro en serie con resistencia fija.

A su vez, una fuente externa se utilizará para calibrar el circuito, que simulará el input por parte del LM35. La señal a utilizar puede ser cualquiera que permita ajustar tanto la escala como la tensión de offset. Se elige una señal triangular para la calibrar.

### Método de calibración:

## 1.6 Implementación del circuito

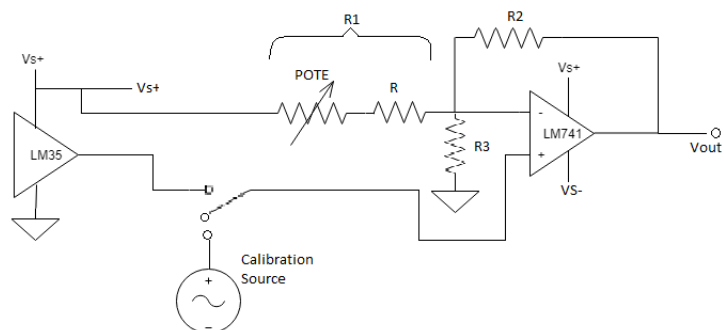


Figura 7: Circuito propuesto como sensor