

# Caracterización del DIODO 1N4007

Diana C. Camargo, Diego A. Campos, Carlos A. Cruz

*Universidad Nacional de Colombia*

*Facultad de Ciencias. Departamento de física.*

29 de Septiembre de 2022

## Resumen

Se caracteriza el comportamiento del diodo 1N4007 al ser empleado como sensor de temperatura. Para la toma de datos se emplea la placa de microcontrolador Arduino UNO, al igual que su software Arduino IDE, resistencias de  $2k\Omega$  y  $4k\Omega$ , y el respectivo cableado. Entre las temperaturas tomadas para la calibración se determinaron las temperaturas de ebullición y fusión del agua, y la temperatura de agua al clima el día Jueves 15 de Septiembre en Bogotá, los resultados obtenidos corresponden a  $T_{\text{fusión}} = (0 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{ebullición}} = (90 \pm 1)^\circ\text{C}$  y  $T_{\text{clima}} = (20 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Se determinó que la relación del voltaje en el diodo con la temperatura puede aproximarse favorablemente a un modelo lineal con un coeficiente  $R^2 = 0,9983$  para una corriente de  $I_1 = (2,2 \pm 0,2)\mu\text{A}$  y de  $R^2 = 0,997$  para una corriente de  $I_2 = (1,1 \pm 0,2)\mu\text{A}$ . De dicha relación se observó que al disminuir la corriente de  $I_1$  a  $I_2$  el voltaje detectado  $V_0$  aumentó un 7 %, mientras que el coeficiente de temperatura del diodo  $k$  disminuyó un 15 %. Adicionalmente, se hallaron los tiempos de subida  $t_s = (11 \pm 0,2)\text{s}$  y  $t_s = (6 \pm 0,2)\text{s}$  tiempos de bajada  $t_b = (7,5 \pm 0,2)\text{s}$  y  $t_b = (8,5 \pm 0,2)\text{s}$  de temperatura para las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  respectivamente.

## 1. Introducción

El diodo ideal es un componente electrónico discreto que permite la circulación de corriente entre sus terminales en un determinado sentido, mientras que la bloquea en el sentido contrario. Una de las características de este elemento es que su cambio de voltaje cambio con respecto al cambio de corriente que pasa; también el cambio de voltaje depende de la temperatura del diodo, cuando la temperatura aumenta el cambio de voltaje disminuye [1]. El diodo utilizado para esta practica se utilizó el 1N4007, que se representa mediante la siguiente figura

### 1.1. Diodo 1N4007:

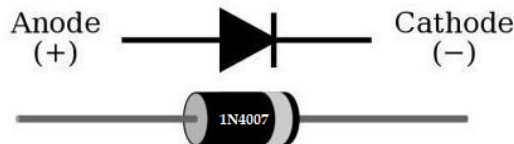


Figura 1: Diodo 1N4007 [2]

## 1.2. Divisor de Voltaje

Un divisor de voltaje es un circuito simple que reparte la tensión de una fuente entre una o más impedancias conectadas. Con solo dos resistencias en serie y un voltaje de entrada se puede obtener un voltaje de salida equivalente a una fracción del de entrada. Los divisores de voltaje son uno de los circuitos mas fundamentales en la electrónica.

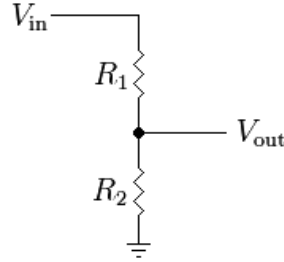


Figura 2: Divisor resistivo [2]

Asumiendo que todo el circuito de la Figura 2 es atravesado por una corriente  $I$ , se tiene al aplicar la Ley de Ohm [3] para la resistencia  $R_1$ :

$$I = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_1} \quad (1)$$

y para la resistencia  $R_2$ :

$$I = \frac{V_{out}}{R_2} \quad (2)$$

Al igualar las ecuaciones (1) y (2) y resolver para  $V_{out}$  se obtiene:

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

Con la ecuación (3) se calcula que para que en el diodo pase una corriente constante de aproximadamente  $4mA$  con una fuente de  $5V$  la resistencia debe ser de un valor de  $(1 \pm 0,1)k\Omega$ . Para este caso se observó que el diodo a una temperatura ambiente tiene una diferencia de potencial de  $0,54V$  lo cuál añade un favor de corrección sobre la ecuación (1).

## 1.3. Modelo Teórico:

El comportamiento del voltaje del diodo 1N4007 con la temperatura es lineal y se puede expresar como:

$$V - V_0 = k(T - T_0) \quad (4)$$

donde  $k$  es el coeficiente de temperatura del diodo,  $T_0 = 0^\circ C$  y  $V_0$  es el voltaje detectado a esta temperatura.

Por otro lado, cuando por un diodo pasa una corriente  $I$ , la diferencia de potencial entre sus bornes viene dada por la ecuación de Shockley [4]:

$$I = I_0 \left[ \exp \left( \frac{V_D}{\eta V_T} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

en esta expresión  $I_0$ , es la corriente inversa de saturación del diodo que depende de la estructura, del material, del dopado y fuertemente de la temperatura.  $\eta$ , es el factor de idealidad cuyo valor, que depende de las dimensiones del diodo, del material semiconductor, de la magnitud de la corriente  $I_0$  y de la potencia que disipa, está entre 1 y 2.  $V_D$  es el voltaje en el diodo y  $V_T$ , es el potencial térmico del diodo que a temperatura de  $27^\circ C$  es aproximadamente igual a  $25,852mV$ . Su valor se obtiene de la siguiente relación:

$$V_T = \frac{K}{e} T \quad (6)$$

donde  $k$  es la constante de Boltzmann ( $k = 1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{^\circ K}$ ),  $e$  corresponde a la carga del electrón ( $e = 1,6 \times 10^{-19} C$ ),  $T$  la temperatura del diodo. De la ecuación (5) se obtiene,

$$I = I_0 \left( \exp \left( \frac{eV}{KT} \right) - 1 \right) \quad (7)$$

donde  $V_0$  un potencial de referencia para una medida de corriente  $I_0$ . Si la temperatura no es demasiado alta, entonces el término exponencial es grande comparado y la ecuación (6) puede reescribirse como

$$I = I_0 \left( \exp \left( \frac{e(V - v_0)}{KT} \right) \right) \quad (8)$$

tal que si la corriente que pasa por el diodo es constante se obtiene [5]:

$$V = V_0 - AT \quad (9)$$

A continuación, se muestra el comportamiento típico del potencial del diodo en función de la temperatura para distintos valores de corriente

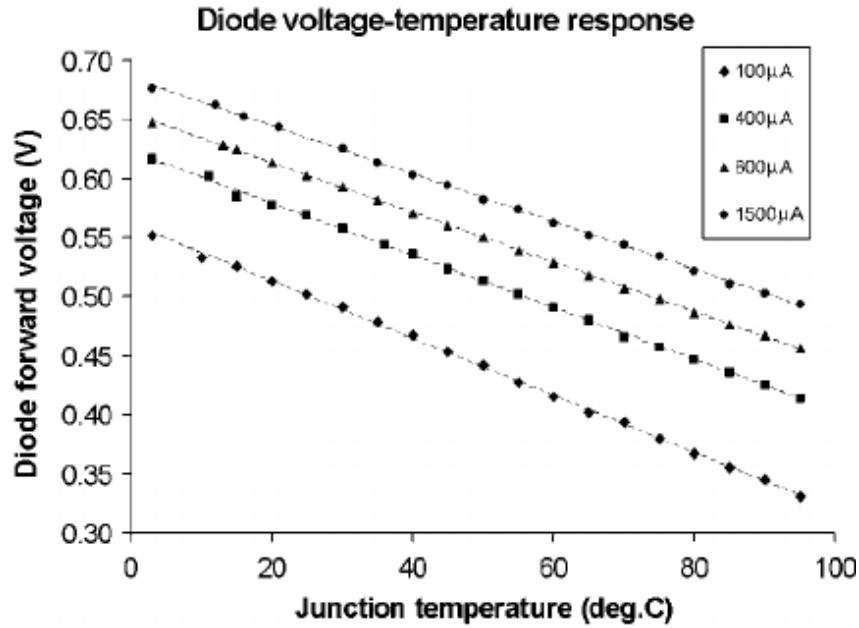


Figura 3: Curva característica del voltaje en función de la temperatura para un diodo [6]

## 2. Dispositivo experimental y procedimiento

### 2.1. Circuitos

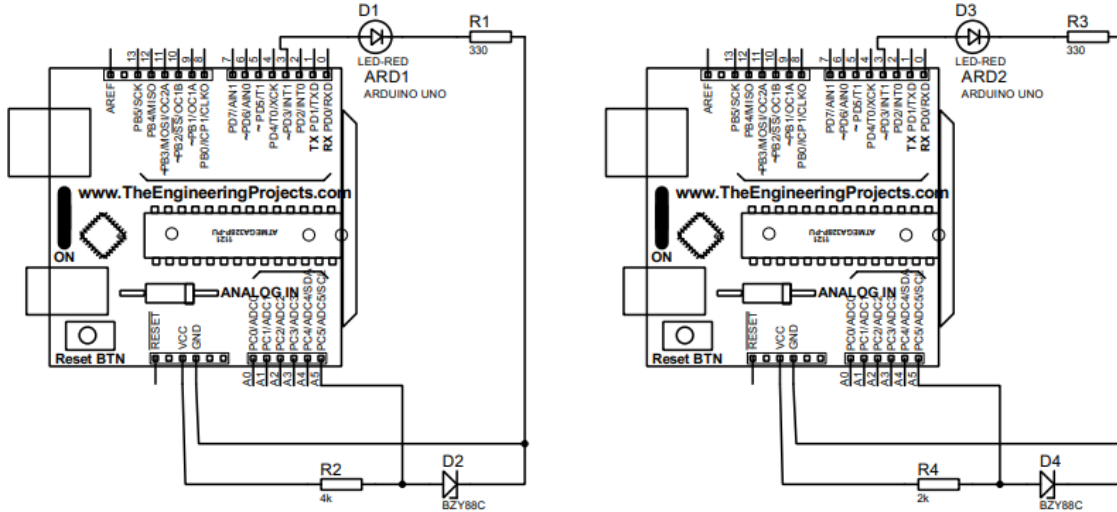


Figura 4: Montaje experimental

### 2.2. Materiales

Para el experimento se usaron los siguientes materiales:

- 3 recipientes para agua.
- Contenedor con nitrógeno líquido.
- Arduino UNO.
- resistencias:
  - $330\Omega$
  - $4k\Omega$
  - $2k\Omega$
- Led rojo.
- Diodo.

### 2.3. Procedimiento

Para la realización del experimento, se construyeron los circuitos mostrados en la figura 4, utilizando un diodo con una resistencia de  $4k\Omega$  y una resistencia de  $2k\Omega$ . Para caracterizar este sensor dividimos el procedimiento en tres partes; calibración, linealización y tiempos de reacción.

Para establecer los tres puntos de calibración utilizamos nitrógeno líquido para poner a cero grados un recipiente de agua, otro recipiente de agua se deja a temperatura ambiente a  $(20 \pm 0,5)^\circ C$ , y con una estufa eléctrica se calienta agua a  $(90 \pm 0,5)^\circ C$ . Se miden los voltajes de entrada en cada uno de los puntos, utilizando el multímetro con termocupa de tipo

$K$  y la respectiva termo-resistencia y con esto se obtiene el comportamiento de ambas termo-resistencias.

Una vez terminada la calibración, se utilizan los códigos de caracterización para medir el tiempo de respuesta de los diodos al cambiar del agua a  $(0 \pm 0,5)^{\circ}C$  al agua a  $(90 \pm 0,5)^{\circ}C$ , y viceversa. Se determina si la diferencia de voltaje del diodo 1N4007 tiene un comportamiento lineal respecto a la temperatura medida por el termopar.

Finalmente, los tiempos de reacción corresponden al tiempo que le toma al diodo en ascender al 90 % de cierta temperatura de referencia y el tiempo que le toma en descender a su temperatura inicial. En este caso, las temperaturas de referencia corresponden a las temperaturas de fusión y ebullición del agua.

## 2.4. Código

Para calibrar las medidas se hace uso del software ARDUINO IDE 1.8.16 con el siguiente programa:

```
diodo/codigos/CalibrationCode.ino

1 #define VT 4.65
2 #define LED 3
3 #define termoRes A5
4
5 int v = 0;
6
7 void setup() {
8   pinMode(LED, OUTPUT);
9   Serial.begin(9600);
10 }
11
12 float vV(float v)
13 {
14   return (v * 5.0 / 1023.0);
15 }
16
17 void loop() {
18   v = analogRead(termoRes);
19   Serial.print(v);
20   Serial.print("\t");
21   Serial.println(vV(v));
22 }
```

Siguiendo a esto, están los códigos de caracterización de la termo-resistencia PT10K y termo-resistencia PT100K:

diodo/codigos/caracterizationCode.ino

```

1 #define LED 3
2 #define termoRes A5
3 #define GRACETIME 60
4
5 int v = 0;
6 int vB;
7
8 void setup() {
9   pinMode(LED, OUTPUT);
10  Serial.begin(9600);
11  vB = analogRead(termoRes);
12  digitalWrite(LED, LOW);
13 }
14
15 float vV(float v)
16 {
17   return (v * 5.0 / 1023.0);
18 }
19
20 float time()
21 {
22   return ((millis() / 100)/10.0);
23 }
24
25 void loop() {
26   v = analogRead(termoRes);
27   Serial.print(time());
28   Serial.print("\t");
29   Serial.println(v);
30   if (time() > GRACETIME && v < vB)
31   {
32     Serial.println("FINALE");
33     digitalWrite(LED, HIGH);
34     delay(120000);
35   }
36   delay(500);
37 }

```

### 3. Resultados y análisis

Dados los valores de las resistencia con las que se trabajaron en el laboratorio, los valores de corriente de dichos montajes están dados por la ecuación 1, de manera que:

$$I_1 = \frac{0,54V(5V - 0,54V)}{2000\Omega * 0,54V} = (2,2 \pm 0,2)\mu A \quad (10)$$

Análogamente para el montaje de la resistencia de  $4k\Omega$  se calculo una corriente  $I_2 = (1,1 \pm 0,2)\mu A$

#### 3.1. Corriente constante $I_1 = (2,2 \pm 0,2)\mu A$

##### 3.1.1. Calibración:

Inicialmente se hizo la calibración diodo tomando los valores de la diferencia de potencial junto con algunos valores de temperatura medidos por la termocupla, obteniendo así en la figura 5 que el termodiodo se comporta linealmente con el ajuste  $V = (0,0020 \pm 0,0001)T + (0,661 \pm 0,002)$  con un coeficiente  $R^2$  para el rango de temperatura estudiado.

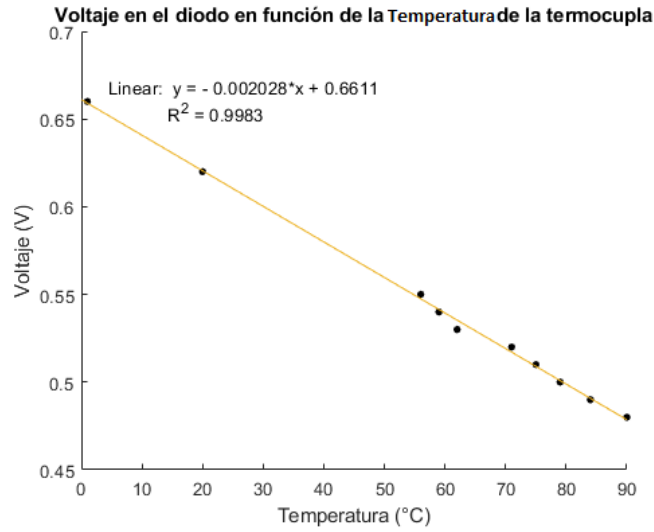


Figura 5: Calibración para el termodiodo a corriente constante  $(2, 2 \pm 0, 2)\mu A$

### 3.1.2. Tiempos de reacción

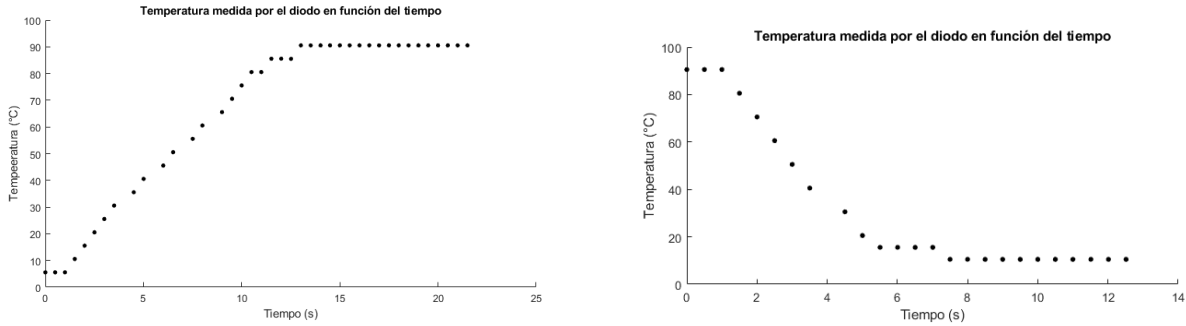


Figura 6: Gráfica de subida y bajada.

De la figura 6 se ve que el diodo inicialmente se encuentra a una temperatura de  $5,5^{\circ}C \pm 0,1^{\circ}C$  (en agua fría) y cuando es sumergida en el agua hirviendo aumenta su temperatura subitamente hasta estabilizarse en  $90,5^{\circ}C \pm 0,1^{\circ}C$ . Posteriormente, cuando el termodiodo es nuevamente sumergido en el agua fría, empieza a descender su temperatura rápidamente hasta estabilizarse alrededor de  $10,6^{\circ}C \pm 0,1^{\circ}C$ . De la misma figura 6 se obtuvieron los siguientes tiempos de reacción:

$$\begin{aligned} t_s &= (11 \pm 0,2)s \\ t_b &= (7,5 \pm 0,2)s \end{aligned} \quad (11)$$

Donde se puede destacar que el tiempo de bajada es un 31 % menor al de subida. Los tiempo de reacción resultaron con valores similares debido a la alta linealidad del diodo.

### 3.1.3. Voltaje en función de la temperatura

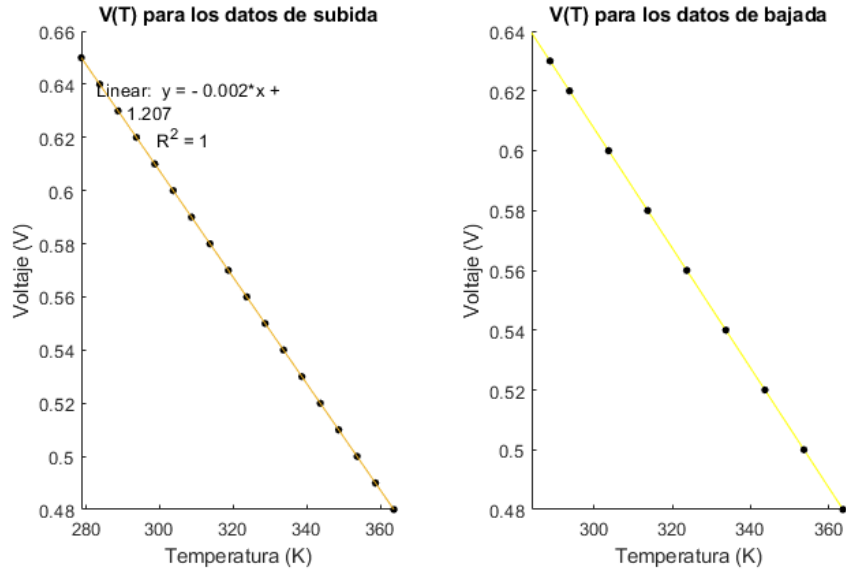


Figura 7

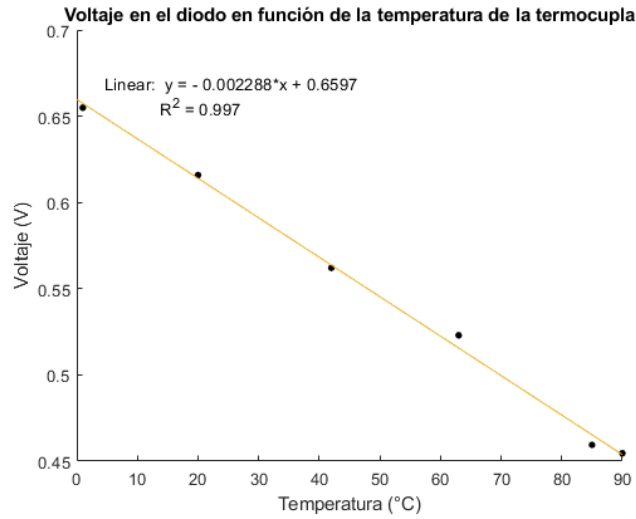
Una vez tomados los datos de temperatura del termiodiodo de subida y de bajada en la figura 7 se graficaron el voltaje en el diodo en función de temperatura en Kelvin, obteniendo que ambos se ajustan linealmente a la recta  $V = (-0,0020 \pm 0,0003)T + (1,207 \pm 0,002)$  con un coeficiente  $R^2 = 1$ , donde el coeficiente de temperatura del diodo corresponde a la pendiente  $k = 0,002 \pm 0,0001$  y  $V_0 = 1,207 \pm 0,002$

### 3.2. Corriente constante $I_2 = (1,1 \pm 0,2)\mu A$

### 3.3. Calibración:

Inicialmente se hizo la calibración diodo tomando los valores de la diferencia de potencial junto con algunos valores de temperatura medidos por la termocupla, obteniendo así en la figura 8 que el termiodiodo se comporta linealmente con el ajuste  $V = (0,0023 \pm 0,0001)T + (0,660 \pm 0,001)$  con un coeficiente  $R^2 = 0,997$  para el rango de temperatura estudiado.




 Figura 8: Calibración para el termodiodo a corriente constante  $(2,2 \pm 0,2)\mu A$ 

### 3.3.1. Tiempos de reacción

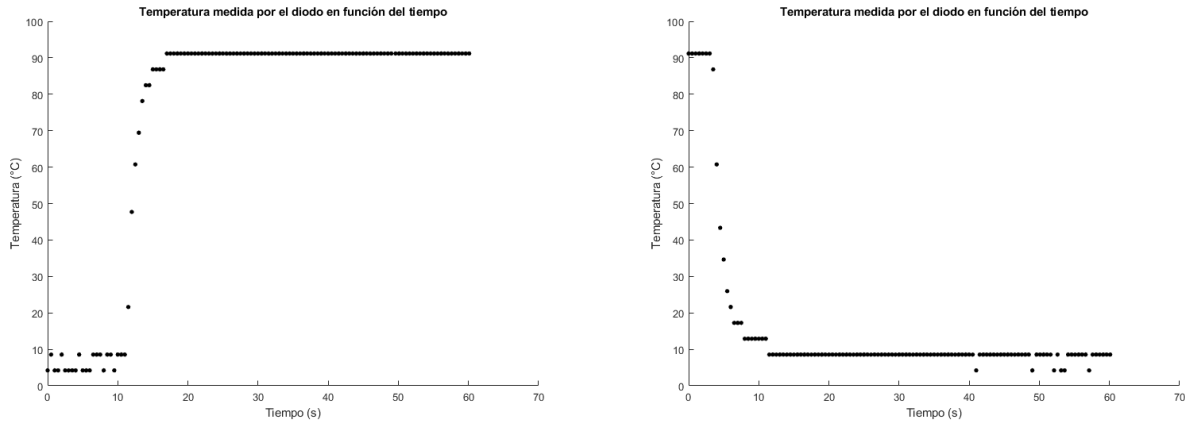


Figura 9: Gráfica de subida y bajada.

Se puede apreciar en la figura 9 que inicialmente el diodo se encuentra a una temperatura de  $4,2^{\circ}C \pm 0,1^{\circ}C$  (en agua fría) y cuando es sumergida en la olla con el agua hirviendo aumenta su temperatura hasta  $91,2^{\circ}C \pm 0,1^{\circ}C$ . Posteriormente, cuando el termodiodo es sumergida en el agua fría, empieza a descender su temperatura rápidamente hasta estabilizarse más lentamente alrededor de  $8,6^{\circ}C \pm 0,1^{\circ}C$ . De la figura 9 se obtuvieron los siguientes tiempos de reacción para el termodiodo a una corriente constante  $I_2$ :

$$\begin{aligned} t_s &= (6 \pm 0,2)s \\ t_b &= (8,5 \pm 0,2)s \end{aligned} \quad (12)$$

Donde el tiempo de bajada es un 29 % mayor al de subida. los tiempos de reacción tiene valores similares debido a la linealidad del diodo.

### 3.3.2. Voltaje en función de la temperatura

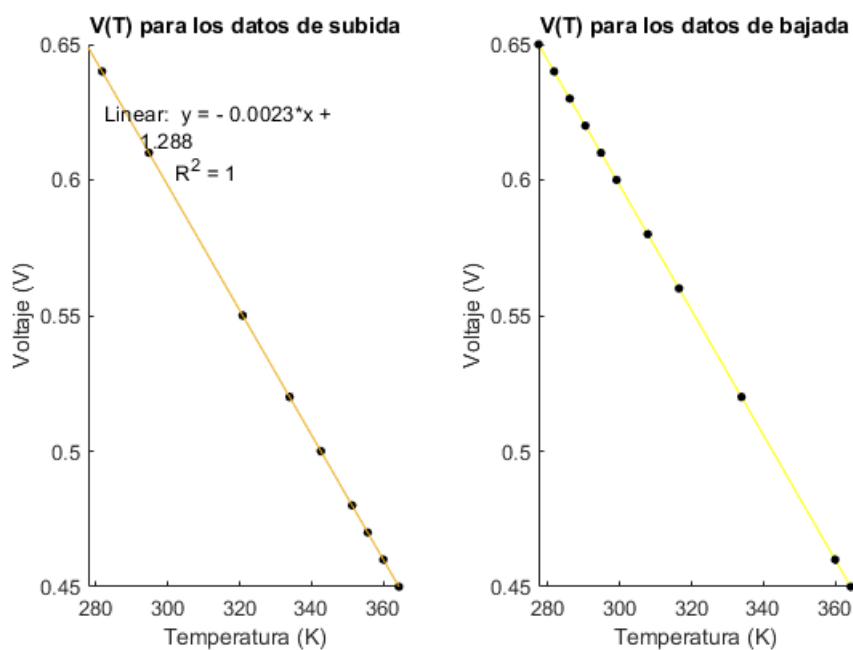


Figura 10

Una vez tomados los datos de temperatura del termodiodo de subida y de bajada en la figura 10 se graficaron el voltaje en el diodo en función de temperatura en Kelvin, obteniendo que ambos se ajustan linealmente a la recta  $V = (0,0023 \pm 0,0001)T + (1,288 \pm 0,002)$  con un coeficiente  $R^2 = 1$ , donde el coeficiente de temperatura del diodo corresponde a la pendiente  $k = 0,0023 \pm 0,0001$  y  $V_0 = 1,288 \pm 0,002$ .

### 3.4. Voltaje en función de la temperatura para 2 corrientes contantes

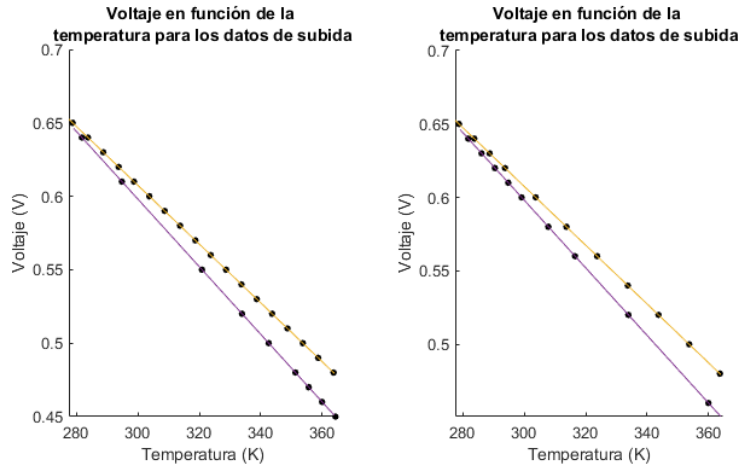


Figura 11: Gráficas de voltaje en función de la temperatura. Las rectas amarillas corresponden a los datos para  $I_1$  y la moradas para los datos de  $I_2$

Podemos ver que en la figura 11 que al graficar el voltaje del diodo en función de su temperatura para 2 corrientes  $I_1 = (2, 2 \pm 0, 2) \mu A$  y  $I_2 = (1, 1 \pm 0, 2) \mu A$  se ve que al variar la corriente se desplaza la recta resultante en dicha gráfica. Al disminuir la corriente de  $I_1$  a  $I_2$  se encontró que el coeficiente de temperatura del diodo  $k$  disminuyó un 15 % y  $V_0$  aumentó un 7 %.

## 4. Conclusiones

Al realizar la caracterización del diodo a 2 corrientes constantes de  $I_1 = (2, 2 \pm 0, 2) \mu A$  y  $I_2 = (1, 1 \pm 0, 2) \mu A$  se encontró que el voltaje a través del mismo se relaciona linealmente con su temperatura dado por los ajustes  $V = (0, 0020 \pm 0, 0001)T + (0, 661 \pm 0, 002)$  y  $V = (0, 0023 \pm 0, 0001)T + (0, 660 \pm 0, 001)$  con coeficientes  $R^2 = 0, 998$  y  $R^2 = 0, 997$  respectivamente. Posteriormente, al tomar los datos de temperatura en función del tiempo se determinó que para la corriente  $I_1$  el tiempo de bajada es un 31 % menor al de subida, y para la corriente  $I_2$  el tiempo de bajada fue un 29 % mayor al de subida. Estos tiempos son simétricos de subida y de bajada debido a la alta linealidad del diodo. Una vez tomados los datos de temperatura se graficaron el voltaje en función en la temperatura (ver Figuras 7 y 10) para las corriente anteriormente mencionadas y se encontró que estas cantidades se relacionan linealmente donde para el caso de  $I_1$  la pendiente, que corresponde al coeficiente térmico del diodo es  $k = -(0, 0020 \pm 0, 0003)$  y el intercepto, que es el voltaje medido por el diodo, es  $V_0 = (1, 207 \pm 0, 002)$ . Cuando se disminuyó a una corriente  $I_2$  se encontró que el coeficiente térmico  $b$  disminuyó un 15 % y  $V_0$  aumentó un 7 %, dando como resultado que al graficar  $V(t)$  para ambas corrientes se observen rectas desplazadas. El anterior hecho se ajusta al modelo matemático de la figura 3 para el voltaje de un diodo en función de su temperatura.

## Referencias

- [1] Ahmed Ragab, DIY Temperature Sensor Using One Diode (consultado en enero de 2022). Disponible en: <https://www.instructables.com/DIY-Temperature-Sensor-Using-One-Diode/>
- [2] <https://compras.patagoniatec.com/productos/diodo-1n4007-1a-1000v/>

- [3] [https://es.wikipedia.org/wiki/Divisor\\_de\\_tensin](https://es.wikipedia.org/wiki/Divisor_de_tensin)
- [4] W. Shockley. The Theory of p-n Junctions in Semiconductors and p-n Junction TransistorsThe Bell System Technical Journal. 28
- [5] F. W. Inman, D. Wooddruff. The Thermometric properties of a diode, Phys. Teach 33-120 (1995)
- [6] Ocaya, Richard and Luhanga, P. A fresh look at the semiconductor bandgap using constant current data. European Journal of Physics (2011)