v. 2, n. 21, 2022

Journal of
Engineering
Research

ALGORITMO PARA CALCULAR LA RESISTENCIA EN UN TERMISTOR, BASADO EN LA ECUACIÓN DE STEINHART-HART

Oscar Leopoldo Pérez Castañeda
Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán. Departamento de Ingeniería Eléctrica-Electrónica
https://orcid.org/0000-0002-3271-5479

Jesús Daniel Pérez Castañeda
Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán. Departamento de Ingeniería Eléctrica-Electrónica
https://orcid.org/0000-0001-7774-8031

Gabriel Antonio Pérez Castañeda
Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán Carrera de Ingeniería Mecatrónica
http://orcid.org/0000-0003-2754-9485

José Enrique Salinas Carrillo
Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán Carrera de Ingeniería Civil
http://orcid.org/0000-0002-4559-3132

Jaime Leonardo Huerta Valencia
Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán. Departamento de Ingeniería Eléctrica-Electrónica

Ángel Joaquín Fabián Rosales
Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tehuacán. Departamento de Ingeniería Eléctrica-Electrónica

Resumen: En el diseño de un sistema de medición de temperatura, algunos sensores basados en componentes pasivos son utilizados, siendo el termistor uno de ellos. En este dispositivo, la resistencia varía con la temperatura de forma exponencial. Un método para obtener una ecuación que exprese dicha relación, está basado en la utilización de dos coeficientes de los termistores, y . Este método aunque útil, tiene la desventaja de que para ello, es necesario linealizar la ecuación exponencial y acondicionarla. Otro método propuesto por la mayoría de fabricantes de termistores, está basado en la ecuación de Steinhart-Hart, que relaciona la temperatura y la resistencia para el cálculo mencionado. En este trabajo, un algoritmo es propuesto, basado en la ecuación de Steinhart-Hart, para la obtención de un valor de resistencia, necesario en la utilización de un termistor, para el diseño de un sistema de medición de temperatura. Se utilizaron los métodos gráfico y de Newton-Raphson, para hallar las raíces de dicha ecuación. Dos programa en lenguaje de programamción Python fueron realizados, para acelerar los cálculos.
Palabras clave: Algoritmo, termistor, ecuación de Steinhart-Hart, Newton-Raphson.

INTRODUCCIÓN

El término temperatura es empleado en la vida cotidiana. En lenguaje común, lo asociamos con calor o frío. De manera general, la temperatura es una medida del calor contenido dentro de un material. De manera más específica, la temperatura mide el grado de agitación de las partículas en una substancia. La temperatura es importante en la vida cotidiana. Por ejemplo, en la salud, dependiendo de su valor, puede indicar la presencia o ausencia de un virus en el cuerpo. En la alimentación, es importante para la cocción de algunos alimentos. En la industria, dependiendo de la apicación, resulta importante conocer el valor de la temperatura, etc.

Debido a la importancia de conocer el valor de la temperatura, se ha vuelto imperante medirla. Se puede medir la temperatura de un material utilizando diversos instrumentos. En general, la temperatura se mide utilizando un instrumento que presenta el valor de la misma, de manera analógica o digital. Para ciertas aplicaciones, es suficiente la utilización de un termómetro analógico. Sin embargo, hay aplicaciones, para las cuales no es conveniente ni práctico la medición de la temperatura utilizando dicho instrumento. Para esos casos, se utilizan otro tipo de instrumentos, basados en dispositivos eléctricos o electrónicos. Hay instrumentos de medición de temperatura, basados en componentes pasivos, pero el comportamiento de dichos dispositivos, se describe a través de ecuaciones complicadas de resolver, por ejemplo, el termistor.

La curva característica de temperatura de un termistor, ilustra la respuesta de temperatura al cambio en la resistencia, la cual es la sensitividad térmica ofrecida por el cambio en la resistencia conforme la temperatura cambia. Los termistores pueden ser de tip NTC (Negative Temperature Coefficient) y PTC (Positive Temperature Coefficient). Los termistores tienen la característica de poseer una resistencia relativamente alta. A 25 ºC su rango de resistencia va de los cientos a los millones de ohms. Una importante característica de medición de temperatura de los termistores, es su alta sensibilidad, [Bentley, 2005]. Una mejora para la alta resistencia y sensibilidad del termistor, es su alta salida no lineal y rango de operación relativamente limitado. Dependiendo del tipo de termistor, rangos superiores son limitados alrededor de 300 ºC [Morris, 2021]. Esta no linealidad, complica la solución de la ecuación asociada al termistor.

Para el diseño de un sistema de medición

 DOI 10.22533/at.ed.3172212216097

de temperatura basado en un termistor, se disponen de dos métodos. El primero, consiste en utilizar la función exponencia del termistor en el rango de temperatura a utilizar, y después, linealizar la ecuación [Kufre, 2016], [Baker, 1999], este procedimiento en ocasiones resulta tedioso. El segundo método, consiste en utilizar una fórmula no lineal que algunos fabricante ofrecen; dicha fórmula se ajusta a usar una ecuación no lineal, [Texas Instruments, 2022], [BetaTherms]. Este segundo método, ofrece la ventaja de que sólo hay que trabajar sobre la solución de la ecuación no lineal, sin perder tanta precisión en la temperatura medida.

Este trabajo, se decanta por el segundo método, y a partir de él, propone un algoritmo simplificado para obtener la temperatura medida en base a la resistencia del termistor.

MARCO TEÓRICO

TIPOS DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

Los elementos electrónicos que componen un circuito son conectados juntos por conductores para formar un circuito completo. Básicamente existen dos tipos de componentes electrónicos: los activos y los pasivos.

COMPONENTE ACTIVO

Un componente activo es un componente electrónico, el cual suministra o entrega energía a un circuito. Algunos ejemplos de componentes activos son: las fuentes de voltaje y de corriente, los generadores (alternadores y generadores de CD), todos los diferentes tupos de transistores (bipolares MOSFETA, FETs y JFET) y los diodos (Zener, fotodiodos, LEDs, y otros.

COMPONENTES PASIVOS

Un componente pasivo es aquel que puede recibir energía, la cual puede ser disipada, absorbida, o almacenada en un campo eléctrico o campo magnético. Una particularidad que tienen los componentes pasivos, es que no pueden amplificar, atenuar, oscilar o generar una señal eléctrica. Algunos ejemplos de este tipo de componentes son: los resistores, inductores, capacitores y transformadores.

RESISTOR

Un resistor es considerado un elemento pasivo ya que no entrega energía a un circuito. En lugar de ello, un resistor solamente recibe energía, la cual disipa en forma de calor mientras la corriente fluye a través de él.

TERMISTOR

De manera general, la variación de la resistividad que presenta un dispositivo semiconductor con la temperatura, es usada para medirla. En particular, un resistor que varía su valor de resistencia en función de la temperatura, puede ser utilizado como un termistor. La palabra termistor, es un acrónimo de las palabras Thermally Sensitive Resistor (Resistor Sensible a la Temperatura). Los termistores son usados en una amplia variedad de aplicaciones incluyendo: remplazamiento de fusibles, tableros automotrices, osciladores controlados por temperatura, cabezales de impresoras 3D, circuitos de protección de baterías, etc.

La figura [1], muestra el comportamiento de un termistor NTC, que es el considerado en este trabajo. En la figura 1, se aprecia el decremento de la resistencia conforme aumenta la temperatura.

Como ya se mencionó previamente, hay termistores tipo NTC y PTC. El primero, es recomendado para mediciones precisas de temperatura; el segundo, para encendido-apagado (switching). El termistor tipo NTC ofrece tres modos diferentes de operación. Uno de esos modos, explora las características resistencia versus temperatura del termistor.

Los otros dos modos, toman ventaja de las características del termistor de voltaje versus corriente y corriente en el tiempo [Microchip, 1999]. El primer modo, extiende sus aplicaciones a la medición precisa de temperatura, control y compensación.

En relación al diseño de un sistema de medición de temperatura, un termistor, presenta un comportamiento no lineal. Esta no linealidad del termistor, obliga a aplicar ecuaciones exponenciales, para determinar la temperatura según la corriente que circula por el termistor, o a la solución de una ecuación no lineal, la cual generalmente resulta complicada.

COEFICIENTES α Y β

En la literatura, generalmente se encuentran dos coeficientes utilizados para relacionar la resistencia con la temperatura de un termistor. Estos coeficientes son llamados α y β. El primero es llamado coeficiente de temperatura, y el segundo índice de sensibilidad.

COEFICIENTE DE TEMPERATURA α

α, una característica del material, está definida como el cambio porcentual de la resistencia por grado centígrado. α, también es conocida como el coeficiente de temperatura, y es un concepto básico en los cálculos del termistor, [BetaTherm].

α, está modelada por la ecuación (1).

$$\alpha = \frac{1}{R_T}\frac{dR}{dT}\ 100 \qquad (1)$$

Donde:

$\boldsymbol{R_T}$, es la resistencia del componente correspondiente a la temperatura relevante (ºC).

dR/dT, es el gradiente de la curva resistencia vs temperatura, en el punto de temperatura.

α, está expresada en unidades en cambios porcentuales por grado centígrado (%/ºC).

MODELO EXPONENCIAL DE LOS TERMISTORES NTC

COEFICIENTE β

Una relación simple para la relación entre resistencia y temperatura para un termistor NTC asume una relación exponencial entre ellos. Esta aproximación está basada en un simple ajuste de curvas para datos experimentales y para el comportamiento eléctrico intuitivo de los dispositivos semiconductores. La aproximación exponencial es un modelo matemático que aplica una ecuación que se expresa por la ecuación (2).

$$R_T = Ae^{\frac{\beta}{T}} \qquad (2)$$

Donde:

$\boldsymbol{R_T}$, es la resistencia en ohms a temperatura T.

T, es la temperatura en grados K.

A, es un factor lineal.

β, es el factor exponencial conocido como el valor β, o índice de sensibilidad del material del termistor.

El valor β, es un parámetro muy importante en la descripción y especificación de los materiales y componentes del termistor. Este valor de β, puede ser visto como un valor cuantitativo de los materiales del termistor, que es asignado como una constante del material, indicando la relación de la resistividad del material a la temperatura, [BetaTherm].

MODELO DEL TERMISTOR NTC

Las coeficientes α y β, relacionan la resistencia de un termistor con la temperatura, y están basados principalmente, sobre la caracterización y especificación de los materiales, en lugar de los parámetros del componente, [BetaTherm].

Mientras que el coeficiente de temperatura o valor de α, puede ser usado para calcular las temperarutas correspondientes a varios

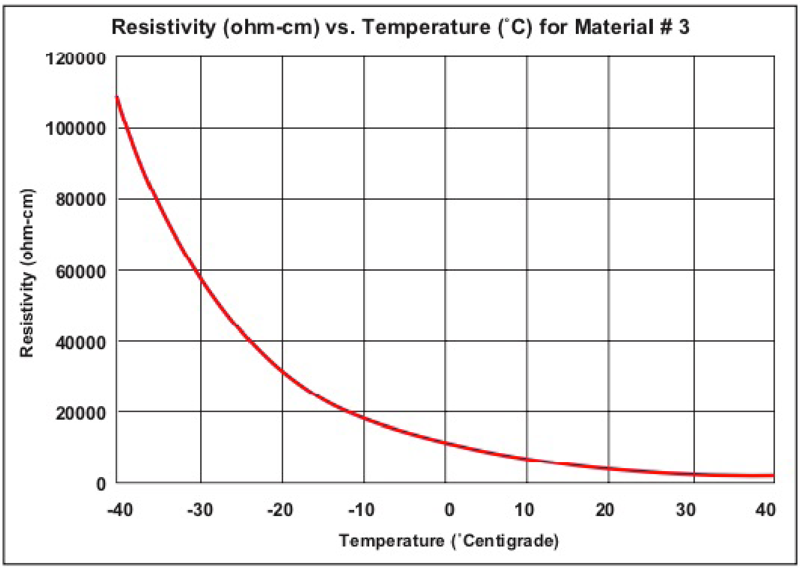

Figura 1. Gáfica de un termistor NTC, [BetaTherm].

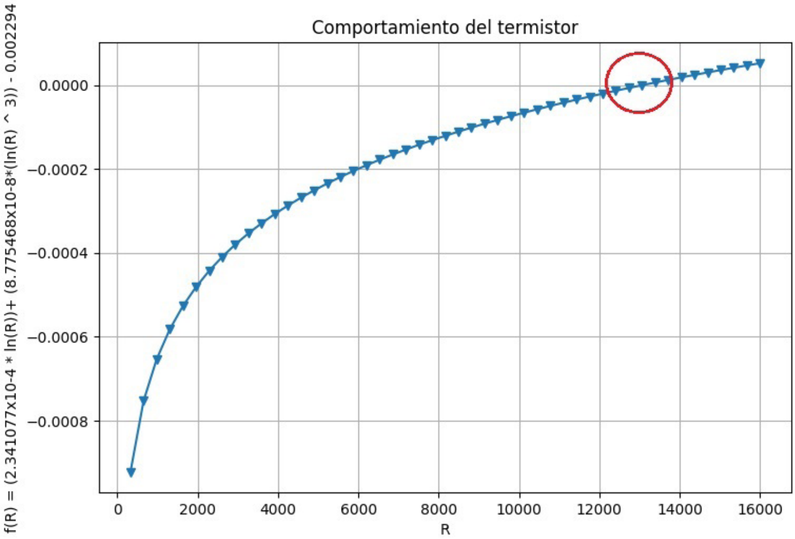

Figura 2. Gráfica de la ecuación 7.

valores de resistencias de un termistor, aún así, el método está limitado. Una búsqueda en la tabla de valores de resistencia versus temperatura para el termistor es requerido, y detalles de valores de α, en varios puntos son también necesarios; esto es muy útil y relevante en ciertas situaciones, pero limitado.

El uso de los valores de β, o índice de sensibilidad, y el modelo exponencial asociado, son útiles para la especificación del material, y para la comparación de la sensibilidad de los materiales a granel. El método es un poco limitado, para su uso general, en relacionar la resistencia de un termistor con la temperatura, sobre rangos específicos, principalmente debido a la dependencia del valor de β mismo.

En general, los termistores NTC son usados para medir temperatura, lo cual es logrado midiendo la resistencia del termistor y, entonces usar ese valor de resistencia para hacer una estimación de la temperatura. Los varios medios de relacionar la resistencia de un termistor con la temperatura, basados en los coeficientes de α y β, no son idealmente adecuados para realizar esta tarea. Lo conveniente es disponer de una sola ecuación, que pueda ser usada fácilmente, para relacionar la resistencia y temperatura de un termistor. El requerimiento más importante es optimizar el uso de las calculadoras y los microcontroladores [BetaTherm].

ECUACIÓN DE STEINHART-HART

El modelo matemático, usado generalmente en la industria, para ofrecer una sola ecuación que relacione la resistencia y temperatura de un termistor NTC, es conocido como la ecuación de Steinhart-Hart, la cual es utilizada por la mayoría de los fabricantes de termistores. La ecuación es derivada de una técnica de ajuste de curva y análisis de las características de la resistencia versus temperatura de los dispositivos termistores.

La ecuación (3), muestra dicha relación.

$$\frac{1}{T} = A_0 + A_1(\ln(R) + \cdots A_n(\ln(R))^n \qquad (3)$$

Donde:

$\boldsymbol{T}$, es la temperatura en grados Kelvin.

$\boldsymbol{A_n}$, son coeficientes polinómicos, que se reducen a constantes matemáticas.

El orden del polinomio a ser usado para modelar la relación entre R y T depende de la aproximación del modelo que es requerido, y de la no linealidad de la relación para un termistor específico. Generalmente, un polinomio de orden tres (3) es aceptado, como la ecuación única necesaria para relacionar R y T, [BetaTherm]. La ecuación (4), muestra este polinomio.

$$\frac{1}{T} = A + B(\ln(R) + C(\ln(R))^3 \qquad (4)$$

Donde:

A, ***B***, y ***C***, son factores constantes para el termistor que está siendo modelado.

La ecuación (4), es la ecuación de Steinhart-Hart, con la temperatura T como la variable principal.

En este trabajo, se propone un algoritmo simplificado, para obtener el valor de la temperatura en función de la resistencia en un termistor, basados en la fórmula de Steinhart-Hart. Para la solución de la ecuación no lineal, se utiliza el método de Newton Raphson, usado para la obtención de las raíces de una ecuación no lineal. Con la finalidad de acelerar los cálculos, se utiliza, Python, un lenguage de programación. Para ilustrar lo anterior, un ejemplo es presentado.

PRESENTACIÓN DEL ALGORITMO

PROBLEMA

Para el termistor 10K3A del fabricante Betatherm, la relación entre la resistencia R del termistor y la temperatura T, está dada por la ecuación (5).

$$\frac{1}{T} = 1.129241x10^{-3} + 2.341077x10^{-4}\ln(R) +$$

$$8.775486x10^{-8}\{\ln(R)\}^3 \quad (5)$$

Donde T viene dado en grados Kelvin y R en Ω (ohms). Encontrar el rango de la resistencia que se encuentre dentro del límite aceptable en 19 ºC, sabiendo que un error de ± 0.01 ºC es aceptable.

SOLUCIÓN

Considerando la ecuación (5), se ve que es una ecuación no lineal. Para este ejemplo, resulta necesario resolver dos ecuaciones no lineales, una para el valor máximo y otra para el valor mínimo, del rango solicitado. Así que, los pasos propuestos para resolver este problema son descritos en el algoritmo 1.

ALGORITMO 1

1. Graficar la ecuación no lineal a resolver.
2. Identificar un valor cercano a la raíz, a partir de la gráfica del paso 1, para aplicarlo al método de Newton-Raphson.
3. Aplicar el método de Newton-Raphson utilizando el valor guess (inicio) obtenido en el paso 2, para hallar la raíz. Si no se puede obtener la raíz, indicarlo al usuario y finalizar el programa.
4. Presentar el resultado de la raíz obtenida en el paso 3.

La aplicación del método de Newton-Raphson debe sujetarse a los criterios del mismo, ver [Pérez, 2021], [Pérez, 2022]. Debido a que el error permitido tiene un rango de ± 0.01 ºC y el valor base de temperatura es 19 ºC, se tienen que resolver dos ecuaciones, una para el límite superior del rango, con valor de 19.01, y otra para el límite inferior con valor de 18.99 (19.0 – 0.01 = 18.99).

Como ya se mencionó anteriormente, la temperatura T de la ecuación (5) viene dada en ºK. Entoces, sustituyendo los valores de T en la ecuación (5), se obtiene la ecuación (6), para el valor superior del rango solicitado.

$$\frac{1}{19.01 + 273.15} = 1.129241x10^{-3} +$$

$$2.341077x10^{-4}\ln(R) + 8.775486x10^{-8}\{\ln(R)\}^3 \quad (6)$$

Manipulando algebraicamente la ecuación (6), se obtiene la ecuación (7).

$$0.002294 = 2.341077x10^{-4}\ln(R) +$$

$$8.775486x10^{-8}\{\ln(R)\}^3 \quad (7)$$

La segunda ecuación del rango solicitado, es presentada en la ecuación (8).

$$\frac{1}{18.99 + 273.15} = 1.129241x10^{-3} +$$

$$2.341077x10^{-4}\ln(R) + 8.775486x10^{-8}\{\ln(R)\}^3 \quad (8)$$

Manipulando algebraicamente la ecuación (8), se obtiene la ecuación (9).

$$0.002294 = 2.341077x10^{-4}\ln(R) +$$

$$8.775486x10^{-8}\{\ln(R)\}^3 \quad (9)$$

Como puede verse, las ecuaciones (7) y (9) son iguales. A partir de esto, cualquiera de las dos ecuaciones puede utilizarse para aplicar el algoritmo de solución propuesto.

APLICACIÓN DEL ALGORITMO 1

1. Graficar la ecuación a resolver. Para este ejemplo, cualquiera de las ecuaciones (7) y (9) puede utilizarse ya que son iguales. La gráfica de la ecuación (7), es presentada en la figura 2.
2. Obtener el valor cercano a la raíz, de la gráfica del paso 1, para aplicarlo al método de Newton-Raphson.

De la figura 2, se aprecia que existe una sola raíz en el intervalo [0,14000]. Así que, un valor propuesto cercano a la raíz o valor guess, puede ser 14000.

3. Aplicar el método de Newton-Raphson para hallar la raíz, utilizando el valor guess (inicio) obtenido en el paso 2. Aplicando el método de Newton con una valor inicial de R_0 = 14000 y un error permitido de e = 1 x 10^{-9}, se obtiene la raíz, con un valor de R = 13089.8293193248 Ω, ver figura 3.

COMPROBACIÓN

El valor exacto de R arrojado por el método de Newton-Raphson es R = 13089.8293193248 Ω. Así que, se realiza la comprobación para los dos valores, el primero de tipo entero y el segundo considerando los dígitos decimales. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 4.

RESULTADOS

La figura 2, muestra lo conveniente que es graficar la función obtenida de la ecuación no lineal, para tener una idea de la posible raíz o solución de la ecuación no lineal.

Los valores presentados en la figura 3, muestran que al menos para esta ecuación no lineal, la aplicación del método de Newton-Raphson y el valor guess propuesto, la convergencia a la raíz es rápida, con apenas cuatro iteraciones. El valor de la raíz o solución obtenido, es suficientemente cercano a la raíz, dándole celeridad a la convergencia.

Los valores de la figura 4, muestran que al considerar solamente la parte entera de la raíz o el valor de la parte entera con la decimal, al evaluarlos en la función, ambos arrojan un valor de cero; dándonos una idea clara de la aproximación al resultado obtenido.

DISCUSIÓN

En electrónica, en particular en el diseño de sistemas de medición de temperatura, con frecuencia nos encontramos con que se tiene que resolver una ecuación no lineal.

La aplicación del algoritmo propuesto en este trabajo, para la obtención del valor de un resistor R asociada a su temperatura de un termistor, para el diseño de un sistema de medición de temperatura, ilustra la utlidad del mismo. De acuerdo al algoritmo propuesto en este trabajo, obtener primero un valor de inicio cercano a la raíz, ayuda a proponer el valor guess (inicio), para que inicie la aplicación del método de Newton-Raphson. Esta valor cercano a la raíz, favorece al método de Newton-Rahson, para acelerar su convergencia a la raíz, si es que ésta existe. Se dispone de otros métodos numéricos para la obtención de la raíz, pero el método de Newton-Raphson ofrece generalmente una convergencia más rápida, comparada con los otros métodos. La utilización de un lenguaje de programación como Python, ayudó de dos formas. En primer lugar, en la graficación de la ecuación a resolver, ilustrando de manera gráfica el comportamiento de la ecuación pero sobre todo, a identificar el valor cercano a la raíz. En segundo lugar, favorece la aplicación del método de Newton-Raphson, economizando tiempo y aportando precisión a la solución.

CONCLUSIONES

La utilización del método generalizado para el cálculo de la temperatura en función de resistencia, basados en los coeficientes y , no son tan convenientes. Los frabicantes de termistores sugieren el uso de la ecuación de Steinhart-Hart, reducida a una ecuación no lineal.

De los resultados obtenidos, se aprecia que el algoritmo propuesto en este trabajo, muestran la utilidad práctica y la relativa facilidad, en la obtención de un valor de resistencia asociado a un termistor, para el diseño de un sistema de medición de temperatura basado en un termistor.

Aunque la ecuación de Steinhart-Hart resuelta en este trabajo es de grado tres

```
************************************************************
************************************************************

***** Método de Newton para la obtención de las raíces de:
(2.341077x10-4 * ln(R))+ (8.775468x10-8*(ln(R)^3)) - 0.002294
***** con un valor inicial R0 dado y un error e dado.

************************************************************
************************************************************

Ingresar el valor de R0: 14000
Ingresar el valor del error permitido: 0.000000001
La raíz es:  13089.829319325496
******* Los valores obtenidos son: *******

Iteración                Ri                   Error
     0           14000.0000000000         940.4916609676
     1           13059.5083390324         30.2865540709
     2           13089.7948931033         0.0344262215
     3           13089.8293193248         0.0000000007

 El valor de la raíz es:  13089.829319325496
```

Figura 3. Resultados de la aplicación del método de Newtoh-Raphson.

```
***** Comprobación del valor de R obtenido por Newton-Raphson.*****
f(R) = (2.341077x10-4 * ln(R))+ (8.775468x10-8*(ln(R)^3)) - 0.002294
con valores de a)R = 13089 y b)13089.829319325.

a)f(13089) = 0.000000

b)f(13089.829319325) = 0.000000000
```

Figura 4. Muestra los resultados considerando ambos valores de R.

(3) (porque así lo sugiere el fabricante), el algoritmo propuesto en este trabajo, sigue siendo vigente para polinomios o ecuaciones de grado superior a tres (3). Graficar previamente dicha ecuación, es de gran utilidad, para determinar las raíces y proponer el valor de inicio para el método de Newton-Raphson.

Este algoritmo no está limitado a la utilización del cálculo de valores de resistencia. El uso de este algoritmo, puede extenderse a la solución de circuitos electrónicos, los cuales presentan ecuaciones o sistemas de ecuaciones no lineales, para su solución. En el área de simulación electrónica, en los cuales también presentan ecuaciones no lineales. De hecho, en cualquier problema en el que se presente una ecuación o sistema de ecuaciones no lineales, este algoritmo puede ser aplicado con sus reservas.

REFERENCIAS

[1] Baker B. **Thermistors in Single Supply Temperature Sensing Circuits**. 1999 Microchip Technology Inc. DS00685B, 1999.

[2] Bentley, J. P. **Principles of Measurement systems**, Fourth Edition, Prentice

[3] BetaTherms sensors. **Temperature solutions**. NTC thermistor theory.Hall, USA, 2005.

[4] Kufre E, Nwangwu E, Agwu, Ugwunna O. **A Simple Thermistor Design for Industrial Temperature Measurement**. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)e-ISSN: 2278-1676,p-ISSN: 2320-3331, Volume 11, Issue 5 Ver. III (Sep - Oct 2016), PP 57-66 www.iosrjournals.org 2016.

[5] Microchip. **Thermistors in Single Supply Temperature Sensing Circuits**. Microchip Technology Inc. DS00685B, 1999.

[6] Morris, A. S. **Measurement and Instrumentation Principles**, Third Edition, 2021.

[7] Munifah S, Wiendartun, Aminudin. **Design of temperature measuring instrument using NTC thermistor of Fe2TiO5 based on microcontroller ATmega 328**. Journal of Physics: Conference Series. 1280 (2019) 022052 doi:10.1088/1742-6596/1280/2/022052, 2019.

[8] Pérez C. O L, P. C. J D, Huerta V. J L, **Aplicación en la Electrónica del método de Newton-Raphson para Hallar Raíces Simples**. Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya, Guanajuato, México Celaya 2021 © Academia Journals 2021 10 al 12 de noviembre de 2021. ISSN online 1946-5351, Vol. 13, páginas 1967-1974, 2021.

[9] Pérez C. O L, Pérez C. J D, Pérez C. G A, Salinas C. J E, Huerta V. J L, **Métodos de Graficado y Newton-Raphson para la solución de ecuaciones no lineales**. Journal of Engineering Research, ISSN 2764-1317, v. 2, n. 12, 2022, páginas 1-11. DOI 10.22533/at.ed.31721222300610, 2022.

[10] Texas Instruments. **Analog engineer's circuit monitoring ntc thermistor circuit with single-ended adc**. SBAA338A – march 2019 – revised june 2022.