

USO DE MINICOMPUTADORA DE BAJO COSTO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SENSOR INFRARROJO DE DISTANCIA

¹Edgar Hiram Robles Saucedo, eh.roblessauceda@ugto.mx /Estudiante

¹ Raúl Rivera Gutiérrez, r.rivera@ugto.mx /Estudiante

¹ Ana Cristina Negrete Martínez, ac.negretemartinez@ugto.mx /Estudiante

¹Jesús Everardo Martínez González, je.martinezgonzalez@ugto.mx /Estudiante

¹Felipe de Jesús Torres del Carmen, fdj.torres@ugto.mx /Docente

¹Antonio de Jesús Balvantín García, Antonio.balvantin@ugto.mx /Docente

RESUMEN

Este artículo presenta la caracterización experimental de un sensor infrarrojo de distancia Sharp GP-2Y0A21, donde la señal de voltaje análogo que genera el sensor es convertida por un convertidor analógico-digital ADS1115 y recibida en una minicomputadora de placa única, Raspberry Pi, la cual es programada en lenguaje Python para propósitos de comparación y análisis de la señal de salida. La distancia total de medición fue de 70 cm entre el sensor infrarrojo y la placa rígida móvil. Un promedio de 10 mediciones fue realizado cada 2 centímetros hasta completar la distancia total de muestreo entre el emisor y el receptor. Los valores obtenidos del muestreo experimental fueron almacenados y procesados para obtener cinco ecuaciones polinomiales diferentes, para calcular la distancia medida. La comparación gráfica de los resultados experimentales con los modelos de regresión, verifican una mayor efectividad para determinado grado polinomial, más aún, la metodología desarrollada puede ser aplicada para caracterizar diferentes tipos de sensores.

PALABRAS CLAVE

Python
Raspberry Pi
Regresión
Polinomial.

ABSTRACT

This paper presents the experimental characterization of a Sharp GP2Y0A21 infrared sensor, whose analog voltage signal was converted by a 16-bit analog/digital converter (ADS1115) and received in a single-board minicomputer, Raspberry Pi, which was programming in Python language for comparison and analysis purposes of the output signal. The total distance of the measurements was 70 cm between the infrared sensor and the rigid mobile plate. An average of 10 measurements was made for every 2 centimeters until completing the total test distance between the emitter and the receiver. The values obtained in the sampling were collected and processed for obtain five different polynomial regression equations, to calculate the distance measured. The graphical comparison of the experimental results with the regression models, verify a better effectiveness for a polynomial degree, moreover, the developed methodology could be applied to characterize other type of sensors.

KEYWORDS

Python
Raspberry Pi,
Polynomial
regression.

I. INTRODUCCIÓN

La instrumentación requiere de la correcta adquisición e interpretación de variables físicas individuales en los procesos industriales, tales como la distancia, temperatura, presión, fuerza, caudal, entre muchas otras. Cada uno de los parámetros antes mencionados, permite realizar la implementación del control debido a que es posible evaluar la variable de interés en el tiempo preciso (Vidal et al. 2020).

Particularmente, para medir la distancia con dispositivos de bajo costo, se recurre a sensores infrarrojos, o en su defecto a sensores ultrasónicos. Dependiendo el grado de precisión requerido en la instrumentación (Lokman et al. 2019). Por otro lado, el correcto manejo de los sensores y actuadores es una herramienta pedagógica poderosa al momento de desarrollar habilidades de lógica y de programación en las nuevas generaciones (Udvaros et al. 2023).

Los dispositivos infrarrojos tienen un gran campo de aplicación, en virtud que, pueden ser utilizados en procesos de producción y relacionarse con la Industria 4.0 y el IoT (Internet de las cosas, por sus siglas en inglés). Por ejemplo, en la creación de rutas de recolección y reciclaje de los desperdicios industriales como en Mastos et al. (2020).

Los sensores infrarrojos más comúnmente utilizados para medir distancia son: 2Y0A41, 2Y0A21 y 2Y0A02. Cada uno trabaja en rangos distintos: 4 a 30 cm, 10 a 80 cm y 10 a 150 cm, respectivamente. Los sensores infrarrojos calculan la distancia en base al voltaje, el cual puede ser medido de forma rudimentaria, utilizando un multímetro como en el caso de Siyal et al. (2021) o mediante una minicomputadora de placa única, Raspberry Pi, con lenguaje de programación en Python; o con el uso de Arduino (Azfar et al. 2023). Posteriormente, para la caracterización del sensor, deberá de realizarse un gran conglomerado de mediciones promedio a distintos valores de distancia y obtener así, una regresión matemática: lineal, exponencial o polinomial para aplicar de forma efectiva técnicas de control.

En cuanto a convertir la respuesta del sensor en unidades de longitud, Gonzales et al. (2020) utiliza el método de Mínimos Cuadrados (LS, por sus siglas en inglés), con un sensor infrarrojo 2Y0A02. Sin embargo, dicho modelo no representa de manera apropiada el comportamiento exponencial del sensor; ya que, el modelo de regresión empleado únicamente predijo en un 73% el rango total de medición del sensor. En contraste, un modelo de regresión lineal no es recomendable; pues conllevará cierto grado de imprecisión por el comportamiento no lineal del sensor infrarrojo (Oneil et al. 2019). Por su parte, en Martawati et al.

(2021) utilizaron un sensor infrarrojo 2Y0A21 para medir la distancia a unos espejos retrovisores y evitar colisiones, empleando únicamente el 37.5% del rango completo de funcionamiento del sensor. Klimenda et al. (2021) realizaron una linealización alrededor de un solo valor de distancia utilizando un modelo de regresión lineal, lo cual restringe el campo de aplicación del sensor infrarrojo 2Y0A41.

El objetivo de este trabajo consiste en diseñar e implementar de forma iterativa la regresión polinomial de un sensor infrarrojo 2Y0A21 para medición de distancia, de tal forma que, se probaron distintos grados del modelo polinomial a través de programación en Python para poder emplear de manera más efectiva el rango completo de medición del sensor, lo cual se traduciría en un beneficio económico y práctico, al no requerir de un nuevo sensor para cubrir un rango de medición mayor.

El artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2, se presenta al lector la descripción general de los componentes utilizados en el desarrollo del trabajo, así como sus características más importantes. El funcionamiento del algoritmo de regresión polinomial y su lógica de programación. Las conexiones eléctricas y puntos clave para la experimentación. En la sección 3 se agregan los resultados y los distintos modelos de regresión calculados; con su respectiva comparación con los valores de distancia reales. Para finalizar, la sección 4 presenta las conclusiones pertinentes del trabajo realizado.

II. METODOLOGÍA

Sensor infrarrojo Sharp 2Y0A21 Los sensores infrarrojos para medición de distancia Sharp son de gran utilidad para diversas aplicaciones, como el control de actuadores móviles, robots y vehículos no tripulados, entre otras. Esto debido a su fácil implementación y bajo costo, de manera particular, nos centraremos en el sensor Sharp 2Y0A21, mostrado en la Figura. 1, cuyo rango de medición es de 10 a 80 cm. Es importante resaltar que, de acuerdo con la hoja de datos de este sensor, se sabe que tiene un comportamiento no lineal, más cercano a un tipo exponencial.



Figura 1. Sensor Sharp 2Y0A21. Nota: Siyal et al. (2021).

La distancia a un objeto próximo es medida por la triangulación de la señal emitida por el LED IR y su recepción en el detector de luz incorporado también en el sensor, denominado como PSD (dispositivo de detección de posición, por sus siglas en inglés). Es decir, cuando la posición del objeto cambia, el ángulo del haz de luz reflejado también cambia (Bakker 2019). En la Tabla 1 se presentan las especificaciones técnicas del sensor y sus dimensiones. El sensor genera una señal de voltaje analógico como salida, la cual está en función del valor de la distancia medida.

Voltaje de operación	4.5 a 5.5 V CD
Corriente de operación	30 mA
Rango de medición	10 a 80 cm
Tipo	Analógico
Dimensiones	29.5x13x13.5 mm
Agujeros de montaje	2x3.2 mm, espaciados a 37 mm.

Tabla 1. Especificaciones del sensor GP2Y0A21. Nota: Fuente propia.

Convertidor analógico/ digital ADS1115

Una de las características no convenientes de la minicomputadora Raspberry Pi es que no cuenta con un convertidor analógico/digital (ADC) integrado en su placa, por tanto, es necesario utilizar un ADC externo. En este caso el ADS1115 cuenta con una resolución de 16 bits y comunicación serial por el puerto I2C. Como se observa en la Figura. 2, puede recibir hasta 4 canales analógicos de entrada. Su función es la de convertir la señal analógica proveniente del sensor infrarrojo y transformarla en una señal digital.



Figura 2. Convertidor analógico/ digital ADS1115. Nota: Djatmiko et al. (2017).

A continuación, en la Tabla 2, se muestra de forma resumida las características más sobresalientes del ADS1115.

Resolución	16 bits
Velocidad de muestreo	8 a 860 muestras por segundo
Voltaje de alimentación	2 - 5.5 V CD
Rango de temperatura	-40° hasta 125° C

Tabla 2. Características ADS115. Nota: Ndeche et al. (2021).

Raspberry Pi 3B +

La Raspberry Pi (RPi) es una minicomputadora de placa única programable a través de distintos tipos de lenguajes de código abierto como JavaScript, Python y Mathematica. Utiliza un sistema operativo basado en Linux, en particular, la Fundación Raspberry Pi ofrece Raspbian. Existen distintos tipos de modelos, por ejemplo: 1A, 1B, 1A+, 1B+, 2B, 3B, 3B+, 3A+ y 4B. El modelo seleccionado en este trabajo fue la Raspberry Pi 3B+, mostrada en la Figura. 3. Sus especificaciones más destacables son: procesador quad-core de 1.2 GHz ARM Cortex-A53, conectividad 802.11 b/g/n Wireless LAN, RAM de 1 Gb y GPU de Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor (Raspberry Pi, 2015). Contiene 40 pines de entrada/salida de propósito general (GPIO), de los cuales 27 son programables y los restantes son usados para la alimentación con 5 V CD o 3.3 V CD, GND, entre otros (Lopez et al. 2020).



Figura 3. Minicomputadora Raspberry Pi modelo 3B+. Nota: Lopez et al. (2020).

Adquisición de datos y algoritmo de regresión polinomial

Para aproximar el funcionamiento no lineal del sensor Sharp 2Y0A21 se requiere de una ecuación de regresión matemática acotada en el rango completo de medición del sensor. El objetivo de un modelo de regresión lineal consiste en predecir “valores futuros” a partir de “valores pasados”, es decir, se requiere de una base de datos para aproximar por etapas como lo señala Kim et al. (2020). Estos “valores pasados” fueron obtenidos de manera experimental, fijando el sensor Sharp 2Y0A21 y moviendo el soporte móvil de medición, a través de la siguiente metodología:

- Convertir la señal analógica del Sharp 2Y0A21 por medio del ADS1115.
- Considerar el rango completo de medición del sensor Sharp 2Y0A21: 0 a 70 cm.
- Promediar 10 mediciones en cada punto de muestreo, el cual fue puesto cada 2 cm dentro del rango completo de medición.
- Guardar los datos obtenidos en un archivo con formato CVS (valores separados por coma, por sus siglas en inglés) de la siguiente metodología.

A manera de ejemplo, en la Tabla 3 se presenta la respuesta del convertidor, para los primeros cinco puntos de muestreo.

Distancia [cm]	Valores del ADS1115
0	5812.7
2	5840.76
4	5875.52
6	5910.2
8	5957.1

Tabla 3. Datos de los primeros cinco puntos de muestreo. Nota: Fuente propia.

Esta implementación se llevó a cabo en un periodo de tres meses; puesto que, la adquisición y el manejo de datos conlleva un alto grado de precisión y repetividad. Por otro lado, la programación en la Raspberry Pi se desarrolló por medio de código en Python, el cual fue basado en los modelos propuestos en la literatura por Ganesh (2018), Mathur (2020) y Yalçın et al. (2021).

Los valores adquiridos fueron introducidos al código desarrollado dentro de la variable x , relacionados con la variable y que son los valores de distancia real, de la siguiente manera:

```
x=np.array(data['Valores del ADS1115']);
y=np.array(data['Distancia']);
```

Finalmente, la información de entrada fue utilizada para ejecutar una primera aproximación por el método de Mínimos Cuadrados seguido de una progresión no lineal basada en los valores pasados. La lógica de programación se detalla brevemente a continuación:

- Datos de entrada y regresión lineal: primeramente, se introduce al programa el archivo con la base de datos experimentales, para obtener como primera aproximación una regresión lineal por el método de Mínimos Cuadrados.
- Predicción de valores futuros: el programa calcula los valores futuros mediante el comportamiento de los valores pasados; considerando el porcentaje de error cuadrado para cada punto de muestreo, y calculando el grado polinomial indicado.
- Ajuste gráfico de solución: como paso final, el programa despliega al usuario una gráfica de la aproximación lineal y la regresión polinomial.

Configuración de conexiones eléctricas

La configuración de las conexiones eléctricas entre el sensor infrarrojo Sharp 2Y0A21, el convertidor analógico digital ADS1115 y la Raspberry Pi 3B+ es mostrada en la Figura. 4.

Particularmente, el sensor infrarrojo cuenta con 3 conexiones (señal de salida, GND y alimentación de 5 V CD; de izquierda a derecha considerando que el usuario observa el sensor de manera frontal, (ver Figura. 1). La terminal de GND y voltaje de 5 V CD del sensor fueron conectadas a la Raspberry Pi en los pines (2 y 14; respectivamente).

El dispositivo ADS1115 cuenta con diversos pines, tales como:

- Alimentación del módulo (VDD).
- Línea de reloj (SCL).
- Línea de datos (SDA).
- Canales de entrada (A0, A1, A2 y A3).

Las conexiones para energizar el ADC (terminales VCC y GND), se conectaron a los pines 1 y 6 de la Raspberry Pi (3.3 V CD y GND, respectivamente). Posteriormente, las terminales SCL (línea de reloj) y SDA (línea de datos) se conectaron a los pines 5 y 3 (I2C1 SCL y I2C1 SDA, respectivamente) de la minicomputadora.

Por último, se asignó el canal 1 del ADS1115 (A1) para ingresar la señal analógica del sensor infrarrojo al convertidor; con esto la Raspberry Pi 3B+ puede recibir el valor digital del sensor infrarrojo.

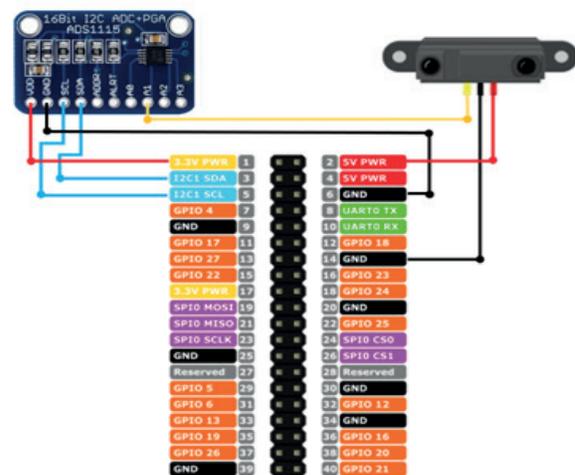


Figura. 4. Diagrama de conexión eléctrica. Nota: Fuente propia.

Montaje del sensor

Para la correcta medición de la distancia, se diseñaron e imprimieron por medio de manufactura aditiva (MA), dos piezas que permiten fijar el sensor infrarrojo y otra que será una pared móvil en donde se reflejará el haz de luz infrarroja. Sin embargo, de acuerdo con Minetola et al. (2020) se requiere considerar una diferencia geométrica o de forma entre el modelo desarrollado por computadora y el producto final. Por ello, es recomendable considerar un incremento dimensional, debido a la contracción térmica del material cuando este se enfría.

Para el equipo de impresión 3D Ultimaker 2+, es recomendable estimar una reducción dimensional de 0.02 mm para agujeros ciegos o pasantes para evitar problemas de uniones en las piezas creadas. El material seleccionado para la impresión 3D, fue el Ultimaker blue ABS. El tiempo total de impresión fue aproximadamente 14 horas. En la Figura 5 se muestran los modelos geométricos desarrollados.

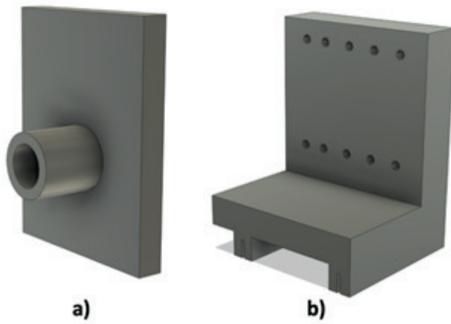


Figura 5. Modelos tridimensionales desarrollados en Autodesk Fusion 360®. Nota: a) Soporte móvil para medición de distancia y b) soporte fijo para el sensor infrarrojo. (Fuente propia).

El sistema de sujeción y pared móvil, mostrados en la Figura. 5 permite la sujeción adecuada del sensor y la adición de la pared móvil en la punta del émbolo de un cilindro hidráulico, tal como se muestra en la Figura. 6.

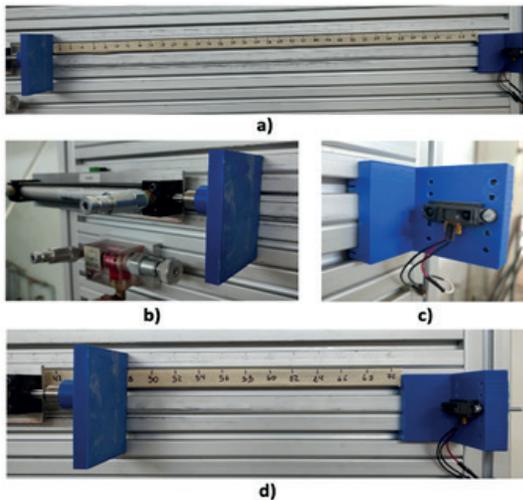


Figura 6. Colocación de elementos desarrollados por impresión 3D. Nota: a) longitud total de medición; b) soporte móvil; c) sujeción del sensor y d) acercamiento para distinguir regla de medición. (Fuente propia).

III. RESULTADOS

De acuerdo con la metodología descrita en la sección previa, se registraron los datos iniciales, teniendo un valor dado por el ADS1115 de 5812.7 para una distancia de 0 cm. Es decir, un offset que fue eliminado por medio de una diferencia aplicada a todos los valores siguientes para que existiera una coincidencia en los valores 0. Así, en la Figura. 7 se observa el comportamiento mostrado por el sensor infrarrojo sin aplicar ningún modelo de regresión.

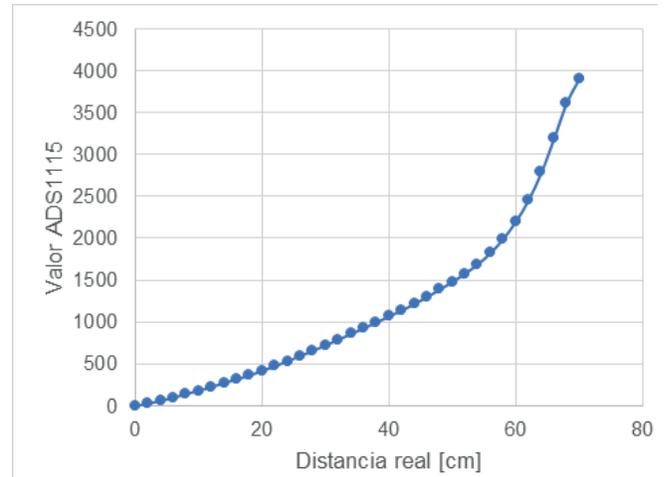


Figura 7. Gráfica del comportamiento del sensor infrarrojo con la distancia real y la lectura del ADS1115 sin aplicar modelo de regresión. Nota: Fuente propia.

Estos resultados mostrados en la Figura. 7 comprueban el comportamiento esperado del sensor infrarrojo, una progresión matemática del tipo exponencial. La cual cuenta con una zona linealmente estable entre los valores de 0 a 56 cm para el eje horizontal y 0 a 1826 para el eje vertical.

Con estos datos como entradas para el código del modelo de regresión polinomial, se diseñaron cinco modelos con grados 3, 4, 5, 6 y 7. Las ecuaciones polinomiales se detallan a continuación:

Grado 3:

$$y = 3.095419184249152 \times 10^{-9}x^3 - 1.7220094606967064 \times 10^{-5}x^2 + 0.05163965085607757x + 0.8450563191689934 \quad (1)$$

Grado 4:

$$y = -5.32478018266473 \times 10^{-12}x^4 + 2.2080649438983813 \times 10^{-8}x^3 - 3.847235937825542 \times 10^{-5}x^2 + 0.05947455968154649x + 0.2923994411877367 \quad (2)$$

Grado 5:

$$y = 2.7423887235350508 \times 10^{-15}x^5 - 1.7648966685303886 \times 10^{-11}x^4 + 4.148736020798641 \times 10^{-8}x^3 - 5.104141748956347 \times 10^{-5}x^2 + 0.06240838264744478x + 0.16089060818477352 \quad (3)$$

Grado 6:

$$y = 1.484445779645353 \times 10^{-18}x^6 - 5.2773123209740556 \times 10^{-15}x^5 - 1.400712242445846 \times 10^{-12}x^4 + 2.6271407301893496 \times 10^{-8}x^3 - 4.4538743120616094 \times 10^{-5}x^2 + 0.06136135685734897x + 0.19262583478608422 \quad (4)$$

Grado 7:

$$y = 7.333180401513634 \times 10^{-21}x^7 - 3.967354329149921 \times 10^{-17}x^6 + 8.499539349710757 \times 10^{-14}x^5 - 9.909285816477753 \times 10^{-11}x^4 + 8.034142189182784 \times 10^{-8}x^3 - 5.8793755473514575 \times 10^{-5}x^2 + 0.06278971657061022x + 0.16773462189539917 \quad (5)$$

donde,

y: es la distancia medida [cm].

x: es el valor de salida del convertidos ADS 1115 [-].

Ahora bien, en el código de implementación de la medición del sensor infrarrojo de distancia, se agregó cada una de las ecuaciones polinomiales para conocer el funcionamiento real de cada regresión. De esta manera, cada resultado fue registrado mediante el despliegue de la distancia medida por el sensor en la pantalla del monitor conectado a la Raspberry Pi. En la Figura 8, se presenta la comparación entre dichos modelos matemáticos.

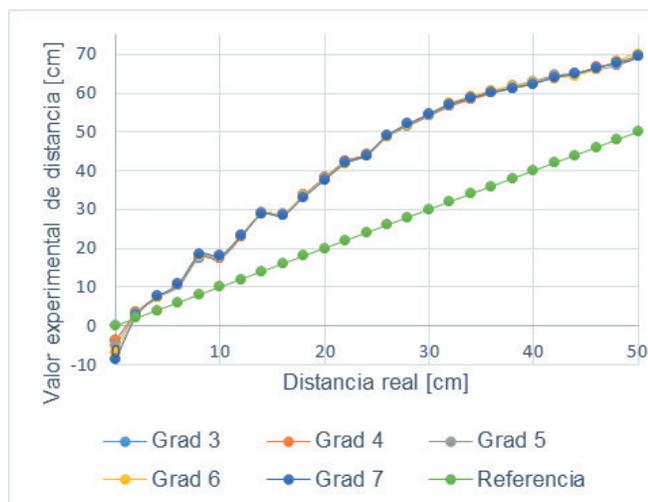


Figura 8. Comparativa de los resultados experimentales de las ecuaciones de regresión y la distancia real. Nota: Fuente propia.

A partir de los datos experimentales mostrados en la Figura 8, es claro que los modelos de regresión no siguen los valores reales de distancia esperados. Sin embargo, se verifica de forma gráfica que, el incremento polinomial de la regresión no influye de forma directa en la precisión de la respuesta del sistema, por lo cual puede utilizarse el modelo de regresión polinomial de grado tres para calcular la distancia con el sensor infrarrojo; minimizando el esfuerzo computacional realizado por la RPi, ya que se trata de un proceso iterativo.

IV. CONCLUSIONES

Las ecuaciones de regresión polinomiales son útiles para predecir el comportamiento de mediciones no lineales, reduciendo el costo de la instrumentación, al no necesitar un sensor de mayor rango de medición o de mayor precisión. Así, se logró la caracterización del comportamiento del sensor infrarrojo Sharp 2Y0A21 utilizando un código predictivo que calcula en primera instancia una regresión por Mínimos Cuadrados, para posteriormente calcular la ecuación de regresión polinomial indicada por el usuario.

Esto ha sido realizado mediante el porcentaje de error cuadrático en cada punto de muestreo a través del comportamiento de los valores pasados y futuros de la base de datos.

Los valores de distancia obtenidos utilizando los modelos de regresión propuestos no generaron de forma adecuada los valores de las mediciones reales. Sin embargo, el ajuste polinomial para un comportamiento exponencial no mejora de forma significativa al incrementar de forma sucesiva el grado polinomial de la ecuación de regresión.

Finalmente, durante la experimentación se pudo comprobar que los coeficientes constantes que acompañan a las variables polinomiales de una ecuación de regresión deben de ser agregados con todos los decimales indicados, para asegurar la correcta progresión de los modelos de regresión. En trabajos futuros se probará realizar una regresión polinomial a partir de los resultados presentados con la finalidad de superar la discrepancia entre los valores de distancia por regresión y las mediciones reales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azfar, S., Nadeem, A., Ahsan, K., Mehmood, A., Siddiqui, M. S., Saeed, M., y Ashraf, M. (2023). An IoT-Based System for Efficient Detection of Cotton Pest. *Applied Sciences*, 13(5), 2921. <https://doi.org/10.3390/app13052921>
- Bakker, B. (2019). How to use a SHARP GP2Y0A21YK0F IR Distance Sensor with Arduino. *Makerguides.com*.
- Djatmiko, W. (2017). Prototipe resistansi meter digital. *Prosiding Semnastek*.
- Ganesh, T. V. (2018). Deep Learning from first principles: In vectorized Python, R and Octave (pp. 108-109).
- Kim, K., y Jeong, J. (2020). Deep learning-based data augmentation for hydraulic condition monitoring system. *Procedia Computer Science*, 175, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.07.007>
- Klimenda, F., Cizek, R., Pisarik, M., y Sterba, J. (2021). Stopping the mobile robotic vehicle at a defined distance from the obstacle by means of an infrared distance sensor. *Sensors*, 21(17), 5959. <https://doi.org/10.3390/s21175959>
- Lokman, A., y Ramasamy, R. K. (2019). Smart toilet: threats and challenges identifying human presence using iot sensors. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Big Data and Internet of Things* (pp. 56-60). <https://doi.org/10.1145/3361758.3361765>
- López, F., Torres, F. J., Martínez, I., Aguirre, F. A., & Mejía, C. O. (2020). An Electrohydraulic Automation System based on Internet by a Single-Board Minicomputer.
- Mathur, P. (2020). IoT Machine Learning Applications in Telecom, Energy, and Agriculture. *Minetola, P., Calignano, F., y Galati, M.* (2020). Comparing geometric tolerance capabilities of additive manufacturing systems for polymers. *Additive Manufacturing*, 32, 101103.