

Universidad de San Carlos de Guatemala
Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas
Dulce María Mayorga Vásquez
Carnet: 202306444
Laboratorio de Reducción de Datos
Erick Díaz



PRACTICA 2: MEDICIONES Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON EL SENSOR HC-SR04

28 DE ABRIL DE 2025

Resumen

Se midieron distancias de 50 cm y 20 cm utilizando el sensor ultrasónico HC-SR04. Los datos se analizaron en Python calculando media, desviación estándar, error estándar e intervalo de confianza. Además, se graficaron histogramas, curvas normales, errores individuales y diagramas de caja. El análisis permitió evaluar la precisión y dispersión de las mediciones realizadas.

1. Objetivos

Objetivo general

Analizar los datos obtenidos mediante un sensor ultrasónico, evaluando las principales medidas de dispersión.

Objetivos específicos

- Obtener datos experimentales utilizando un sensor ultrasónico para medir la distancia en múltiples repeticiones.
- Calcular la media, desviación estándar, error estándar de la media (SEM) y coeficiente de variación (CV) a partir de los datos adquiridos.
- Representar gráficamente la distribución de los datos y analizar su dispersión mediante herramientas estadísticas.

2. Marco teórico

El uso de sensores ultrasónicos para la medición de distancias se basa en la emisión de pulsos de sonido de alta frecuencia que, al reflejarse en un objeto, retornan al emisor. Midiendo el tiempo de ida y vuelta del pulso, es posible determinar la distancia utilizando la relación entre velocidad del sonido y tiempo. Un ejemplo común de este tipo de dispositivos es el sensor HC-SR04, que opera en el rango de frecuencias ultrasónicas [1].

La distancia medida por un sensor ultrasónico puede verse afectada por diversas fuentes de error, tanto aleatorias como sistemáticas. Las variaciones aleatorias surgen debido a pequeñas fluctuaciones en el medio de propagación del sonido, el tiempo de respuesta del sensor, interferencias ambientales o variaciones electrónicas internas del sistema de medición [2]. Estas fluctuaciones justifican la necesidad de realizar múltiples mediciones de la misma magnitud y analizar estadísticamente su comportamiento.

Para describir la dispersión de los datos recolectados, es fundamental emplear medidas de dispersión estadísticas. Entre las principales se encuentran:

- La desviación estándar σ mide el grado de dispersión de los datos alrededor de la media. Una desviación estándar pequeña indica que los datos están muy concentrados cerca del valor medio, mientras que una desviación estándar grande indica una mayor variabilidad [3].
- El error estándar de la media (SEM) estima la precisión de la media calculada a partir de una muestra. El SEM disminuye a medida que aumenta el número de mediciones, siguiendo la relación inversa con la raíz cuadrada del tamaño muestral. Matemáticamente se expresa como:

$$SEM = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

donde σ es la desviación estándar y n el tamaño de la muestra [2].

- El coeficiente de variación (CV) proporciona una medida adimensional de la dispersión relativa de los datos, al expresar la desviación estándar como un porcentaje de la media:

$$CV = \left(\frac{\sigma}{\bar{x}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

donde \bar{x} es la media de las mediciones.

Adicionalmente, el intervalo de confianza es una herramienta estadística utilizada para estimar un rango dentro del cual se espera que se encuentre el valor real de la medición, con un nivel de confianza dado (usualmente 95 %). El intervalo de confianza para la media se calcula como:

$$ME = z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

donde z es el valor crítico de la distribución normal estándar asociado al nivel de confianza seleccionado. El intervalo de confianza ofrece una medida de la incertidumbre asociada a la media y permite interpretar el grado de confiabilidad de los resultados experimentales [3].

De esta manera, la aplicación combinada del sensor ultrasónico y el análisis estadístico de la dispersión permite no solo obtener una medición puntual, sino también evaluar su fiabilidad, su variabilidad inherente y el rango de incertidumbre dentro del cual se encuentra el valor real medido.

3. Procedimiento experimental

Materiales

- Cinta métrica para las mediciones reales.
- Sensor ultrasónico HC-SR04 para la medición de distancias.
- Computadora con acceso a *Jupyter Notebook*.
- Librerías de Python:
 - **numpy** para manejo de datos.
 - **matplotlib** para generación de gráficos.
- Cableado de conexión para el sensor.
- Software de programación compatible con el microcontrolador (Arduino IDE u otro).
- Ambiente controlado para la toma de mediciones (sin interferencias acústicas excesivas).

Procedimiento

- Conectar el sensor ultrasónico HC-SR04 a un microcontrolador y configurar el sistema de medición tal y como se muestra en la Figura (1).
- Realizar múltiples mediciones consecutivas de distancia en condiciones ambientales controladas.
- Registrar y exportar los datos obtenidos para su procesamiento en *Jupyter Notebook*.
- Importar los datos utilizando la librería *numpy*.
- Calcular la media de las mediciones para obtener el valor representativo de la distancia.
- Determinar la desviación estándar de las mediciones para evaluar la dispersión de los datos.
- Calcular el error estándar de la media (SEM) como estimador de la precisión de la media.
- Obtener el coeficiente de variación (CV) para expresar la dispersión relativa respecto a la media.
- Construir el intervalo de confianza del 95 % para la media utilizando el valor de SEM.
- Generar un histograma de los datos con *matplotlib* para representar la distribución de las mediciones.
- Analizar la dispersión de los datos en función de los resultados obtenidos y su representación gráfica.

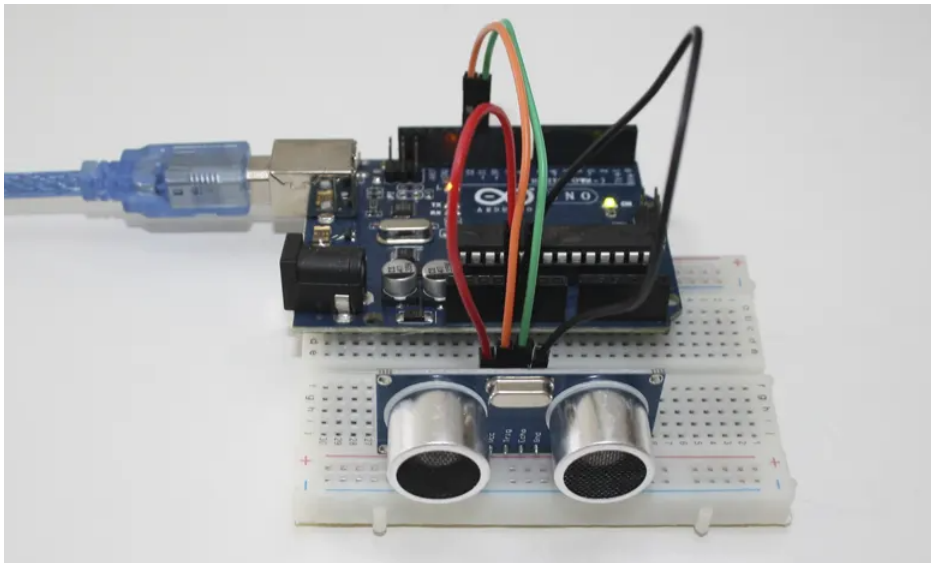


Figura 1: Esquema del diseño experimental. (Imagen tomada de *El octavo Bit*)^[4]

4. Resultados

Magnitud	50 cm	20 cm
Tamaño de muestra (n)	67	102
Distancia real	50.00 cm	20.00 cm
Media (μ)	52.99 cm	22.21 cm
Desviación estándar (σ)	5.53 cm	5.11 cm
Incertidumbre estándar (SEM)	0.68 cm	0.51 cm
Margen de error (95 %)	1.32 cm	0.99 cm
Intervalo de confianza (95 %)	[51.67 cm, 54.31 cm]	[21.22 cm, 23.20 cm]

Cuadro 1: Estadísticas de las mediciones

Magnitud	50 cm	20 cm
Error medio absoluto (MAE) (\pm)	2.99 cm	2.21 cm
Desviación estándar del error (\pm)	5.53 cm	5.11 cm

Cuadro 2: Análisis de errores

Gráficos para 50cm

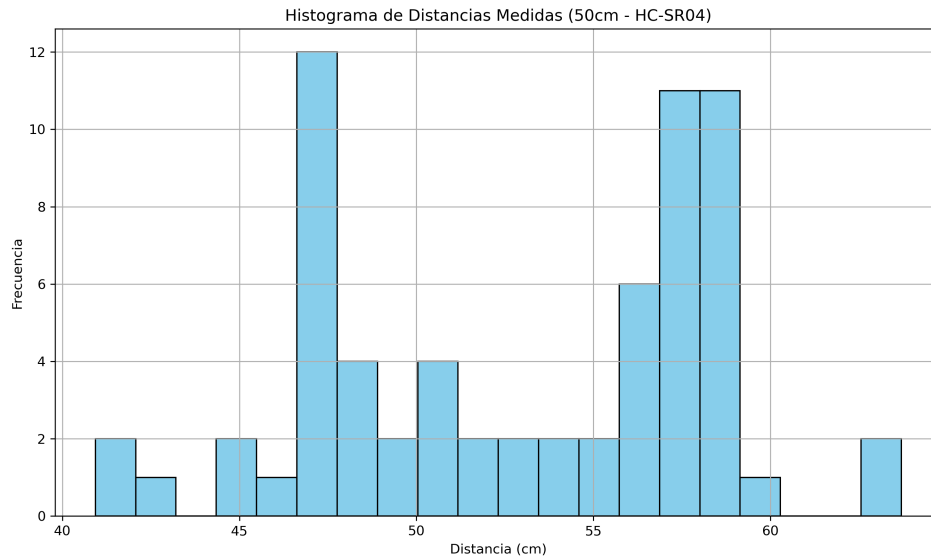


Figura 2: Histograma de distancias medidas para 50 cm utilizando el sensor ultrasónico HC-SR04

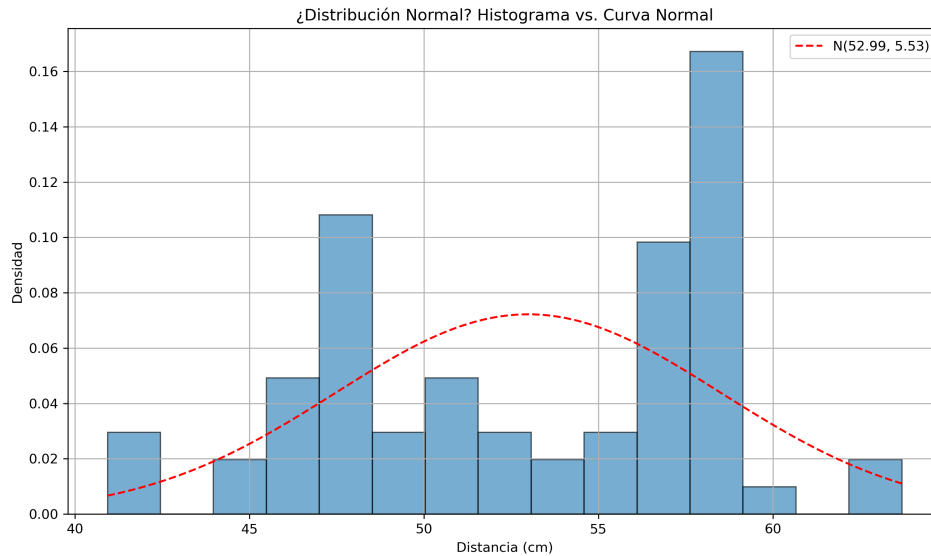


Figura 3: Histograma normalizado de distancias medidas para 50 cm, con curva de distribución normal ajustada.

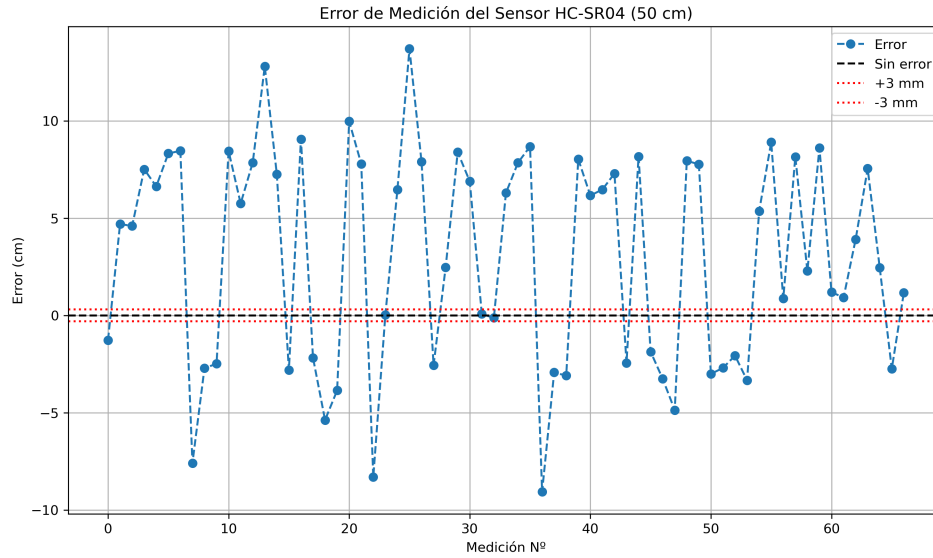


Figura 4: Gráfica del error de medición para 50 cm, mostrando la dispersión respecto a la distancia real.

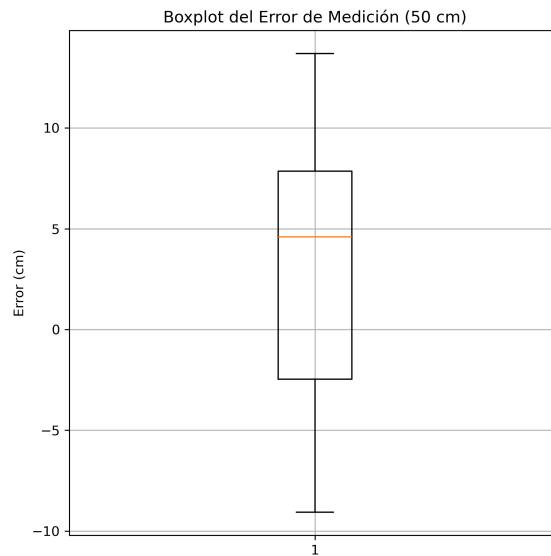


Figura 5: Boxplot del error de medición para 50 cm, indicando la variabilidad de los errores.

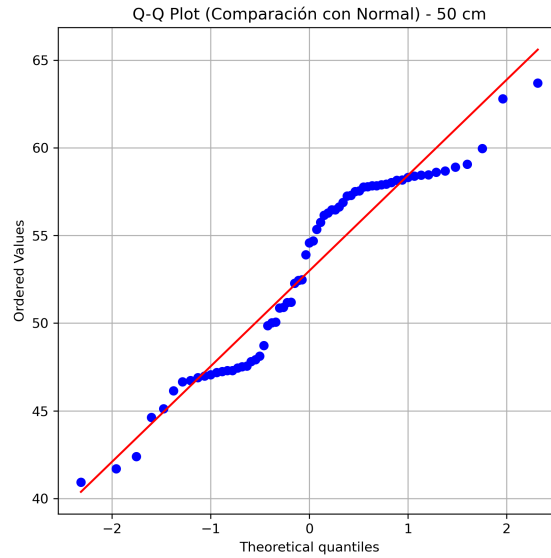


Figura 6: Gráfico Q-Q de distancias medidas para 50 cm, comparando la distribución experimental con la distribución normal teórica.

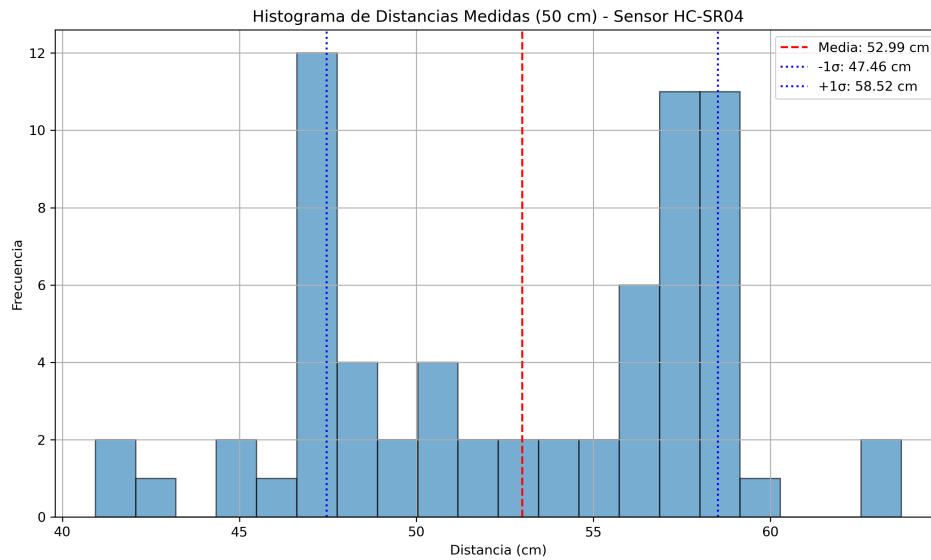


Figura 7: Histograma de distancias medidas para 50 cm, mostrando la media y los valores de $\mu \pm \sigma$.

Gráficos para 20cm

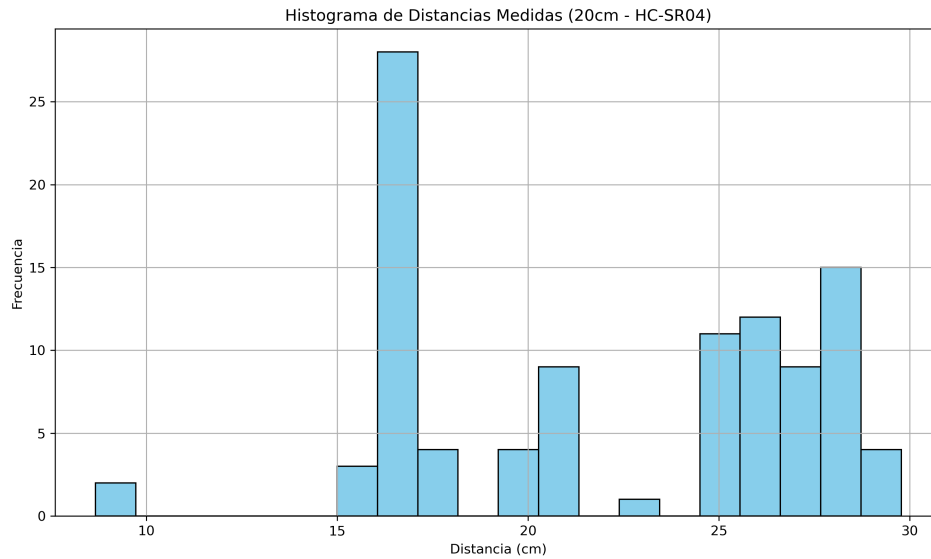


Figura 8: Histograma de distancias medidas para 20 cm

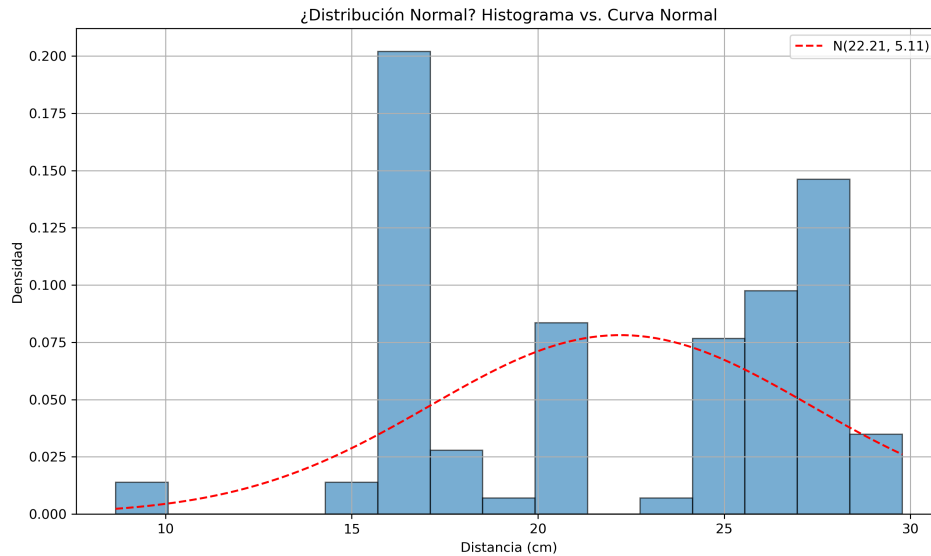


Figura 9: Histograma normalizado de distancias medidas para 20 cm, con curva de distribución normal ajustada.

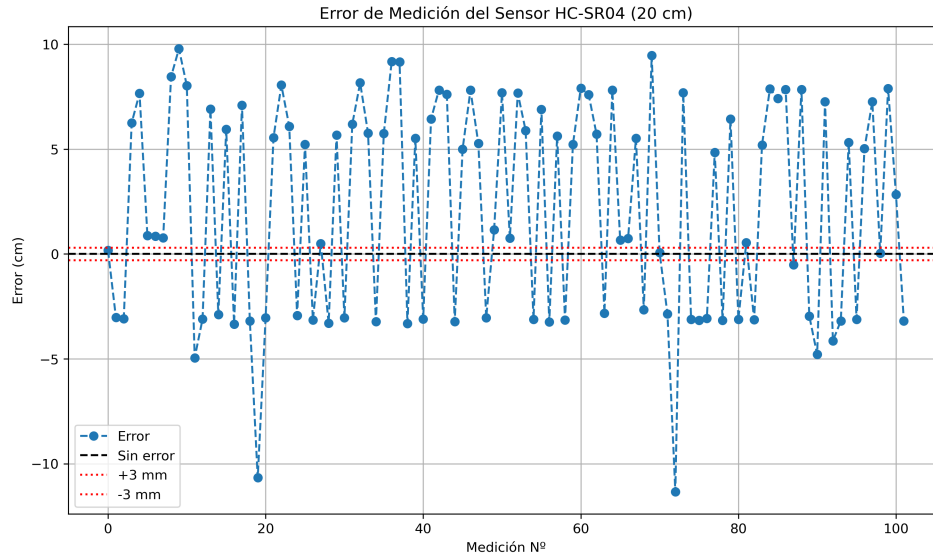


Figura 10: Gráfica del error de medición para 20 cm, mostrando la dispersión respecto a la distancia real.

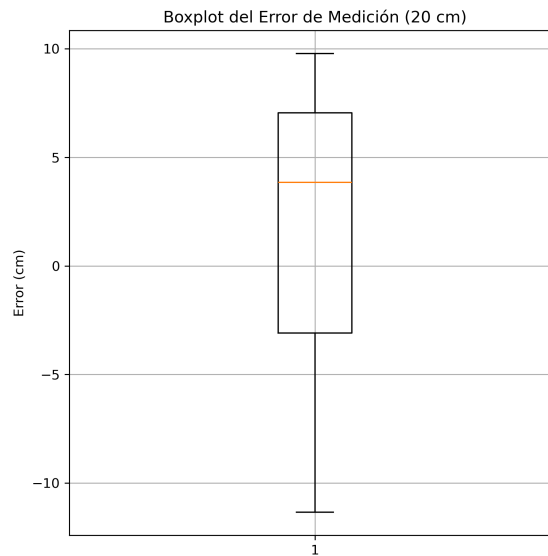


Figura 11: Boxplot del error de medición para 20 cm, indicando la variabilidad de los errores.

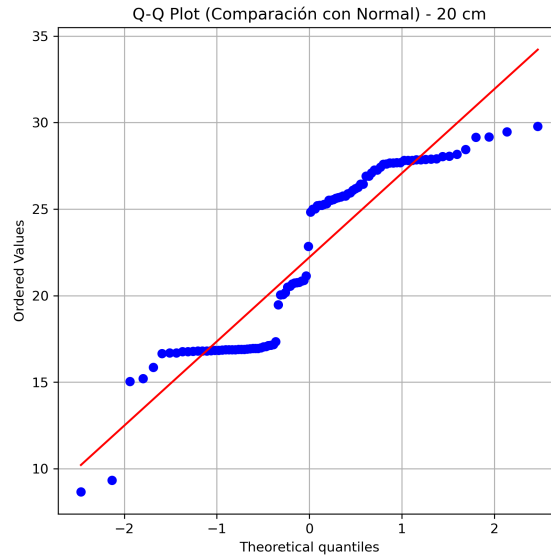


Figura 12: Gráfico Q-Q de distancias medidas para 20 cm, comparando la distribución experimental con la distribución normal teórica.

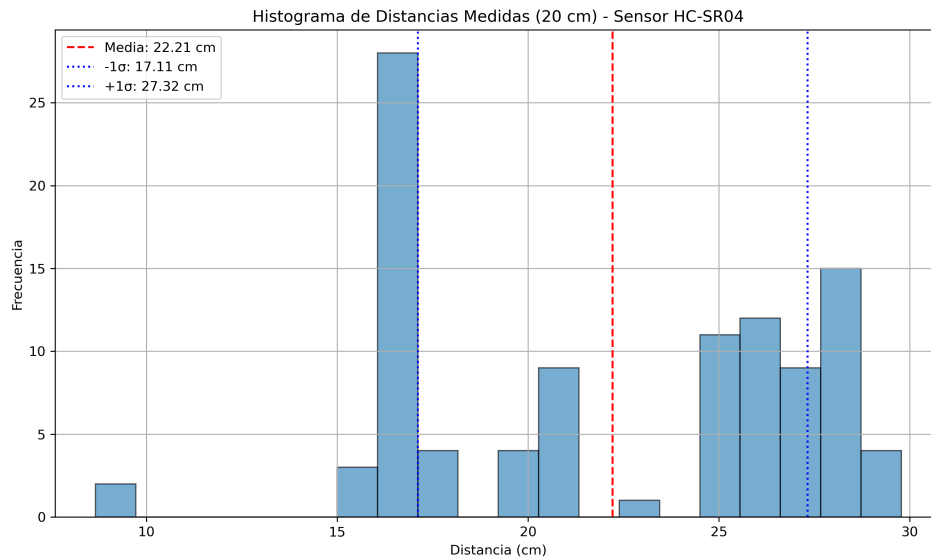


Figura 13: Histograma de distancias medidas para 20 cm, mostrando la media y los valores de $\mu \pm \sigma$.

5. Discusión de Resultados

Medida de 50cm

En las mediciones a 50 cm se observa que los resultados estuvieron un poco dispersos. El histograma revela que muchas mediciones se concentraron cerca de los 47 cm y 58 cm, lo que genera una distribución algo irregular. La curva normal no se ajusta bien a los datos, y el gráfico Q-Q muestra varias desviaciones de la línea esperada.

En el gráfico del error, hay una buena cantidad de mediciones alrededor de cero, pero también se presentaron errores positivos y negativos significativos. El boxplot confirma esta dispersión, mostrando un rango amplio entre los valores.

Aunque hubo cierta variabilidad, el intervalo de confianza se mantuvo razonablemente cerca del valor esperado de 50 cm. En general, el sensor HC-SR04 mostró un desempeño aceptable, aunque no perfecto, para mediciones de esta distancia.

Medida de 20cm

Al analizar las mediciones realizadas a 20 cm, notamos varios aspectos importantes. Empezando por el histograma, podemos ver que las mediciones se agrupan en dos zonas principales: una alrededor de 17 cm y otra cerca de 27 cm. Esto nos indica que el sensor no fue completamente consistente al medir una distancia fija, ya que idealmente todo debería agruparse cerca de los 20 cm reales.

La comparación entre el histograma y la curva normal muestra que los datos no siguen una distribución normal perfecta. Hay una asimetría notable que sugiere la presencia de errores sistemáticos o variaciones externas durante las mediciones. Esto también se refleja en el gráfico Q-Q, donde los puntos se desvían de la línea ideal, especialmente en los extremos.

En el gráfico del error, aunque muchos valores están cerca del cero, hay bastante variabilidad, y algunos errores fueron más grandes de lo deseado. El boxplot confirma esto, mostrando una dispersión importante y varios valores extremos.

A pesar de todo, el intervalo de confianza quedó relativamente cerca del valor real, lo cual es aceptable considerando el tipo de sensor que usamos. En general, aunque las mediciones a 20 cm fueron más inestables que a 50 cm, el sensor se comportó razonablemente bien para ser un equipo sencillo.

6. Conclusiones

- Se logró medir distancias utilizando el sensor ultrasónico HC-SR04, observándose que aunque la mayoría de las mediciones se acercaron a los valores reales esperados, existieron variaciones notables, especialmente en las mediciones a 50 cm.
- Al calcular las medidas estadísticas como la media, la desviación estándar y la incertidumbre, se comprobó que el sensor tiene un margen de error considerable, pero aún dentro de un intervalo de confianza aceptable para experimentos básicos.
- Los gráficos generados facilitaron visualizar la dispersión y la tendencia de los datos, mostrando que las mediciones no siguen perfectamente una distribución normal, pero permitieron entender mejor el comportamiento del sensor y la importancia del análisis estadístico.

Referencias

- [1] MikroElektronika. (2019). *HC-SR04 Ultrasonic Sensor User Guide*. Recuperado de <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
- [2] Montgomery, D. C. (2017). *Introducción al análisis estadístico de datos experimentales*. Limusa Wiley.
- [3] Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (9ª ed.). Pearson Educación.