Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Estadística Aplicada

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES

Ing. Mario Alberto Reyes Calderón
Asesorado por la M. Sc. Ingrid Salomé Rodríguez García

Guatemala, mayo de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. MARIO ALBERTO REYES CALDERÓN
ASESORADO POR LA MSC. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ESTADÍSTICA APLICADA

GUATEMALA, MAYO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

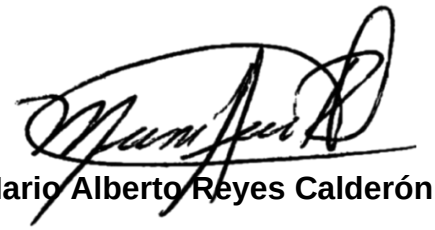
DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
DIRECTORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
EXAMINADORA	Dra. Aura Marina Rodríguez Pérez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 10 de noviembre de 2022.



Ing. Mario Alberto Reyes Calderón

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.157.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES,** presentado por: **Ing. Mario Alberto Reyes Calderón,** que pertenece al programa de Maestría en artes en Estadística aplicada después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO a.i.
Facultad de Ingeniería

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

Guatemala, mayo de 2024

JFGR/gaoc

Guatemala, mayo de 2024

LNG.EEP.OI.157.2024

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES"

presentado por **Ing. Mario Alberto Reyes Calderón** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Estadística aplicada** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECTORA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Guatemala, 21 de octubre de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES** del estudiante **Mario Alberto Reyes Calderón** quien se identifica con número de carné **201403607** del programa de Maestria En Estadistica Aplicada.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el ***Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.*** Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

Msc. Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
Coordinador
Maestria En Estadistica Aplicada
Escuela de Estudios de Postgrado

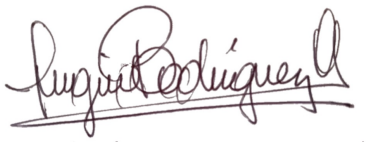
Guatemala, 21 de octubre de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES"** de el/la estudiante **Mario Alberto Reyes Calderón** del programa de **Maestria En Estadistica Aplicada** identificado(a) con número de carné 201403607.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356

Mtra. Inga. Ingrid Salomé Rodríguez García
Colegiado No. 5356
Asesora de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Padre de todo y dador de vida, sin ti nada sería posible.
Mi esposa	Nelly Tórtola, un logro más alcanzado, aún quedan muchos por cumplir, eres un pilar en mi vida.
Mi hijo	Mario Roberto Reyes Tórtola, que este logro y los de tu mamá sean una motivación para ti.
Mis padres	Mario Alberto Reyes Sánchez y Marina Alejandra Calderón Roldán, fueron y serán siempre, uno de los cimientos más importantes en mi vida.
Mis abuelos	Juan Francisco Calderón, Alejandra Roldán, Carlos Reyes y Antonieta Sánchez, este logro también es de ustedes.
Mis hermanos	En especial a Manuel Calderón, sé que siempre voy a contar con tu apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por permitirme alcanzar esta meta, brindarme la salud y sabiduría para culminar mis estudios.
Mi esposa	Nelly Tórtola, por ser una inspiración en mi vida, por tu amor, apoyo y consejo incondicional.
Mis padres	Mario Alberto Reyes Sánchez y Marina Alejandra Calderón Roldán, por todos sus consejos, amor perpetuo y apoyo en cada etapa de mi vida.
Familia Tórtola Morales	Por su apoyo y consejo en todo momento.
Mi asesora	M. Sc. Inga. Ingrid Rodríguez por todos los consejos y conocimientos compartidos.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme el acceso a la educación superior, especialmente a la facultad de ingeniería y a la dirección general de docencia.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por darme la oportunidad de aprender más, tanto de catedráticos como compañeros, en especial al M.A. Ing. William Fagiani.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES VII
LISTA DE SÍMBOLOS XI
GLOSARIO XIII
RESUMEN XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA XVII
OBJETIVOS XXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO XXIII
INTRODUCCIÓN XXIX

1. MARCO REFERENCIAL 1

2. MARCO TEÓRICO 9
2.1. Conceptos estadísticos 9
2.1.1. Estadística descriptiva 9
2.1.2. Estadística inferencial 10
2.1.3. Variables 10
2.1.3.1. Variables cualitativas 10
2.1.3.1.1. Dicotómicas 10
2.1.3.1.2. Politómicas 11
2.1.3.2. Variables cuantitativas 11
2.1.3.2.1. Discretas 11
2.1.3.2.2. Continuas 11
2.1.4. Escalas de medición 11
2.1.5. Medidas de tendencia central 12
2.1.5.1. Media 12
2.1.5.2. Mediana 13

2.1.5.3. Moda 13
2.1.5.4. Otras medidas 13
2.1.6. Medidas de dispersión 14
2.1.6.1. Rango 14
2.1.6.2. Desviación estándar 14
2.1.6.3. Varianza 15
2.1.7. Correlación 15
2.1.8. Regresión lineal 16
2.1.9. Normalidad 17
2.1.9.1. Pruebas de normalidad 18
2.1.9.1.1. Prueba de Kolmogórov-Smirnov 18
2.1.9.1.2. Prueba de Shapiro-Wilks 18
2.1.10. Homocedasticidad 19
2.1.11. Prueba de hipótesis 19
2.1.11.1. Pruebas paramétricas 21
2.1.11.1.1. Prueba de hipótesis para la media de una población 21
2.1.11.1.2. Prueba de hipótesis para la media de dos poblaciones 22
2.1.11.1.3. Prueba de hipótesis para datos pareados 23
2.1.11.2. Pruebas no paramétricas 24
2.1.11.2.1. Prueba de Wilcoxon 24
2.1.11.2.2. Prueba de U Mann Whitney 24

2.1.12. Prueba de concordancia 25
2.1.13. Diseño y análisis de experimentos 26
2.1.13.1. Experimento 27
2.1.13.2. Unidad experimental 27
2.1.13.3. Variables 27
2.1.13.4. Factores 27
2.1.13.5. Niveles 28
2.1.13.6. Errores 28
2.1.13.7. Tipos de experimentos 28
2.1.13.8. Etapas en el diseño de experimentos .. 29
2.1.13.9. Bases del experimento 30
2.1.14. Análisis de varianza 30
2.2. Electrónica 34
2.2.1. Metrología 34
2.2.1.1. Patrón de medición 34
2.2.1.2. Instrumento 35
2.2.2. Instrumentación 36
2.2.2.1. Tipos de sensores 36
2.2.2.1.1. Clasificación 37
2.2.2.2. Ultrasónico JSN-SR04T 38
2.2.3. Microcontroladores 39
2.2.3.1. Arduino 39

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 41
3.1. Objetivo 1: contrastar la media de las mediciones de distancia obtenidas con el sensor, en el agua, por medio de una prueba de hipótesis de diferencia de medias, para estimar si la medición se ve afectada al pasar de agua limpia a contaminada 41

3.1.1. Agua limpia y agua contaminada con tierra.....42
3.1.2. Agua limpia y agua contaminada con aceite 44
3.2. Objetivo 2: cotejar los resultados del sensor para una distancia, por medio de una prueba de hipótesis la diferencia de medias, para definir si hay diferencia significativa en los valores medidos fuera y dentro del agua 47
3.3. Objetivo 3: comparar el uso de un instrumento básico de medición, como la regla, con el sensor, por medio de un análisis de diferencia de medias para comprobar si las medias de las mediciones son significativamente diferentes 50
3.3.1. Ambiente abierto 50
3.3.2. Ambiente de vidrio.....52
3.3.3. Ambiente plástico 55
3.3.4. Ambiente con tela (caso 1).....57
3.3.5. Ambiente con tela (caso 2).....59
3.4. Objetivo general: aplicar pruebas de diferencia de medias en las mediciones del sensor ultrasónico JSN-SR04T, para identificar su comportamiento y evaluar su desempeño en diferentes ambientes.....62
3.4.1. ANOVA Kruskal Wallis 62
3.4.2. Análisis de regresión 64

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....73
4.1. Análisis interno.....73
4.2. Análisis externo.....76

CONCLUSIONES.....79

RECOMENDACIONES 81
REFERENCIAS 83
APÉNDICES 87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Flujograma del proceso de investigación XXVII
Figura 2. Curvas de densidad normal 17
Figura 3. Gráfico Q-Q plot, conjunto de datos grupal 43
Figura 4. Gráfico de Q-Q residuos estandarizados 45
Figura 5. Gráfico de Q-Q plot 48
Figura 6. Gráfico de Q-Q plot conjunto de datos, ambiente abierto 51
Figura 7. Gráfico de Q-Q plot, conjunto de datos, ambiente vidrio 54
Figura 8. Gráfico de Q-Q plot, conjunto de datos, ambiente plástico 56
Figura 9. Gráfico de Q-Q plot conjunto de datos ambiente con tela caso 1 58
Figura 10. Gráfico de Q-Q plot, conjunto de datos ambiente con tela caso 2 .. 61
Figura 11. Gráfico de correlación y densidades 66
Figura 12. Ajuste de las variables 68
Figura 13. Q-Q plot residuos estudentizados 69
Figura 14. Q-Q plot residuos absolutos 70
Figura 15. Histograma de residuos absolutos 71
Figura 16. Residuos - predichos 72

TABLAS

Tabla 1. Operativización de variables XXIV
Tabla 2. Prueba Kolmogorov-Smirnov individual 42
Tabla 3. Prueba de Kolmogorov-Smirnov grupal 42
Tabla 4.Estadística descriptiva de los datos AL y ACT 43

Tabla 5. Resultados, prueba de U Mann Whitnney AL y ACT 44
Tabla 6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov individual 44
Tabla 7. Prueba de Kolmogotrov-Smirnov grupal 45
Tabla 8. Estadística descriptiva de los datos AL y ACA.....46
Tabla 9. Resultados, prueba U Mann Whitney AL y ACA 46
Tabla 10. Prueba de Kolmogorov-Smirnov individual 47
Tabla 11. Prueba de Kolmogorov-Smirnov grupal 48
Tabla 12. Estadística descriptiva de los datos NS y S 49
Tabla 13. Resultados, prueba U Mann Whitney NS y S.....49
Tabla 14. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del sensor, ambiente abierto.....50
Tabla 15. Prueba de Kolmogorov-Smirnov general, ambiente abierto.....51
Tabla 16. Estadística descriptiva de los datos S y R, ambiente abierto 52
Tabla 17. Resultados, prueba de U Mann Whitney S y R, ambiente abierto 52
Tabla 18. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del sensor, ambiente de vidrio.....53
Tabla 19. Prueba de Kolmogorov-Smirnov general, ambiente de vidrio 53
Tabla 20. Estadística descriptiva de los datos S y R, ambiente vidrio 54
Tabla 21. Resultados, prueba de U Mann Whitney S y R ambiente vidrio.....55
Tabla 22. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del sensor ambiente plástico.....55
Tabla 23. Prueba de Kolmogorov-Smirnov general ambiente plástico.....55
Tabla 24. Estadística descriptiva de los datos S y R ambiente plástico.....56
Tabla 25. Resultados, prueba de U Mann Whitney S y R ambiente plástico 57
Tabla 26. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del censo con tela caso 1.....57
Tabla 27. Prueba de Kolmogorov-Smirnov general ambiente con tela caso 1..58
Tabla 28. Estadística descriptiva de los datos S y R ambiente con tela caso 1 59

Tabla 29. Resultados prueba de U Mann Whitnney S y R ambiente con tela caso 1 59
Tabla 30. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del sensor ambiente tela caso 2 60
Tabla 31. Prueba de Kolmogorov-Smirnov general ambiente con tela caso 2 . 60
Tabla 32. Estadística descriptiva de los datos S y R ambiente con tela caso 2 61
Tabla 33. Resultados prueba de U Mann Whitney S y R ambiente con tela caso 2……...62
Tabla 34. Prueba de Kruskal Walis según el tipo de agua 63
Tabla 35. Comparación por pares DSCF según tipo de agua 63
Tabla 36. Prueba de Kruskal Walllis sensor sumergido y no sumergido 63
Tabla 37. Prueba de Kruskal Wallis según el tipo de ambiente..... 64
Tabla 38. Comparación por pares DSCF según tipo de ambiente 64
Tabla 39. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para regresión..... 65
Tabla 40. Correlación de Spearman..... 65
Tabla 41. Análisis de regresión 66
Tabla 42. Coeficientes de regresión……..……67
Tabla 43. Cuadro de análisis de la varianza..... 67

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
cm	Centímetro
°C	Grados centígrados
Hz	Hertz
KHz	Kilohertz
m	Metro
mA	Miliamperio
mm	Milímetro
ms	Milisegundo
s	Segundo
V	Voltio

GLOSARIO

CPU	Siglas en inglés para *central processing unit*, unidad central de procesamiento, encargado de interpretar las instrucciones de un programa.
DC	Siglas en inglés para *direct current*, corriente continua, flujo de carga eléctrica constante en el tiempo.
E/S	Forma general para hacer referencia a un conjunto de entradas y salidas que posee el controlador.
Hardware	Parte física de un sistema digital.
IDE	Siglas en inglés para *integrated development environment, entorno de desarrollo integrado*, hace posible el desarrollo del código.
Sensor	Dispositivo capaz de variar una magnitud física como voltaje, corriente o resistencia ante un fenómeno físico existente.
Software	Parte intangible, no visible, de un sistema, hace referencia a todos los programas existentes, guardados en memoria.

Sonar	Técnica que utiliza la propagación del sonido para navegar, comunicar o detectar objetos.
Unidad fundamental	En metrología, hace referencia a las unidades de medición creados de cero, arbitrariamente; no son producto de la relación entre otras unidades.

RESUMEN

El propósito de la investigación fue aplicar pruebas de diferencia de medias en las mediciones del sensor ultrasónico JSN-SR04T, para identificar su comportamiento y evaluar su desempeño en diferentes ambientes.

Metodológicamente, la investigación, tuvo un enfoque cuantitativo, con diseño experimental, alcance descriptivo y correlacional, siendo la unidad de análisis u objeto de estudio el sensor ultrasónico JSN-SR04T, aplicando las técnicas estadísticas de correlación, regresión lineal, normalidad, diferencia de medias y análisis de varianza.

Tras el desarrollo del estudio, los resultados principales fueron P-valores menores a 0.001 en las comparaciones del sensor con los diferentes ambientes a excepción del agua limpia con la contaminada, con un P-valor mayor a la significancia de 0.05, una correlación de Spearman igual a 1.

Por último, se llegó a la conclusión de que el sensor presenta correlación positiva, un comportamiento lineal entre el tiempo de rebote de la onda y la estimación de distancia; al evaluar el desempeño del sensor, se observó que en función del ambiente y superficie de rebote las estimaciones del sensor varían de forma significativa, siendo el vidrio el que más afecta dichas mediciones. Así mismo, se recomienda, desarrollar ambientes con recipientes de vidrio, plástico y otros tipos de tela que tengan una forma, grosor y volumen distinto a los utilizados en este estudio y aplicar las mismas pruebas de diferencia de medias, pero, sobre un arreglo de sensores del mismo modelo para identificar el comportamiento y evaluar el desempeño de este en diferentes ambientes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Contexto general

Para realizar mediciones de diferentes fenómenos o circunstancias se utilizan sensores analógicos o digitales, estos últimos siendo los más prácticos. Una de las mediciones que más se hace es la de distancia, puede ser en procesos industriales, alimenticios, automotrices, entre otros, solo en estos tres se manejan diferentes materiales de superficie, diferentes ambientes y condiciones de operación.

Para estimar una distancia se puede utilizar un sensor ultrasónico, pero, independientemente del modelo, no se tiene mucha información sobre estos, sobre todo en su desempeño para diferentes situaciones o tipos de materiales. Tampoco se especifica qué tipo de pruebas fueron realizadas por el fabricante ni con qué confianza se llegó a la ecuación que modela el comportamiento, así como comparaciones con otros modelos o instrumentos básicos de medición.

Descripción del problema

El modelo de interés, JSN-SR04T, al ser un sensor capaz de medir la distancia que hay entre él y un objeto, este último puede tomar diferentes características, como piso, plástico, madera, tela, entre otros, adicionalmente tiene la capacidad de tomar la medida dentro del agua, por lo que se tendrían las características del objeto más las del agua.

Los fabricantes comparten las características generales del dispositivo, así como sus conexiones, pero no se cuenta con información sobre su comportamiento, por ejemplo, se desconoce si la medición de distancia se ve afectada por características del agua, si hay diferencia en la medición de una distancia dentro y fuera del agua y, si hay diferencia en el resultado del sensor con el de otro instrumento de medición como una regla o cinta métrica.

Formulación del problema

Pregunta central

¿Cómo es el comportamiento del sensor ultrasónico JSN-SR04T, en función de su entorno?

Preguntas auxiliares

- ¿Qué efecto presenta el agua limpia o contaminada sobre la medición del sensor?
- ¿Qué diferencia existe en la medición de una distancia dentro y fuera del agua?
- ¿Cuánta diferencia se tiene entre el resultado del sensor y el de otro instrumento de medición?

Delimitación del problema

Se tendrá como objeto de estudio al sensor ultrasónico JSN-SR04T, este tiene la capacidad de medir fuera y dentro del agua en un rango de 25 a 450

centímetros, con temperaturas entre -10° y 70° grados centígrados, envía la información recopilada en cada medición a su módulo de control. El sensor puede ser utilizado en diferentes ambientes, no se necesita de laboratorio o área industrial, una simple habitación de casa es suficiente, la estimación de una distancia se realiza en cuestión de segundos.

OBJETIVOS

General

Aplicar pruebas de diferencia de medias en las mediciones del sensor ultrasónico JSN-SR04T, para identificar su comportamiento y evaluar su desempeño en diferentes ambientes.

Específicos

1. Contrastar la media de las mediciones de distancia obtenidas con el sensor, en el agua, por medio de una prueba de hipótesis de diferencia de medias, para estimar si la medición se ve afectada al pasar de agua limpia a contaminada.

2. Cotejar los resultados del sensor para una distancia, por medio de una prueba de hipótesis la diferencia de medias, para definir si hay diferencia significativa en los valores medidos fuera y dentro del agua.

3. Comparar el uso de un instrumento básico de medición, como la regla, con el sensor, por medio de un análisis de diferencia de medias para comprobar si las medias de las mediciones son significativamente diferentes.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

En este apartado se exhibe la metodología de la investigación, se detallan el enfoque, diseño, tipo, alcance, unidad de análisis, variables y fases del estudio realizado.

La única fuente de información fue a través de la adquisición de datos del sensor en cada una de las mediciones durante la realización del experimento.

Enfoque

El enfoque del estudio es cuantitativo ya que se recolectó y se realizó un análisis de datos cuantitativos, en función de las mediciones y sus respectivas repeticiones.

Diseño

El diseño adoptado fue experimental ya que se manipuló el sensor, colocándolo a diferentes distancias en diferentes situaciones, con varias repeticiones, todo bajo condiciones controladas.

Tipo de estudio

Al ser experimental, es de tipo transversal debido a que el sensor fue analizado o estudiado por un periodo corto de tiempo, es decir, mientras se realizó el experimento; se tuvo un carácter prospectivo ya que toda la información recopilada fue de eventos que ocurren durante el desarrollo de este.

Alcance

El alcance del estudio es descriptivo y correlacional, ya que por medio de los datos obtenidos se describió lo observado en cada uno de los ambientes de prueba, se incluyó el análisis de las variables para encontrar su relación con el desempeño del sensor.

Unidad de análisis

Para la estimación de distancia hay una población de sensores (infrarrojos o ultrasónicos), se tomó como subpoblación a los sensores ultrasónicos, siendo el único individuo u objeto de estudio el sensor ultrasónico JSN-SR04T, se analizó su desempeño en cada ambiente de prueba.

Operativización de variables

Operativización de variables

Tabla 1.

Operativización de variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa	Tipo y escala
Distancia (d)	Espacio, considerado desde una perspectiva lineal, entre una persona o cosa y otra.	Es la variable de respuesta, se tomará la medición por medio del sensor y una regla o cinta métrica, puede estar en el rango de 25 a 100 centímetros.	Cuantitativa continua, numérica de razón
Tipo de superficie (N/A)	Características de la superficie que puede modificar el funcionamiento del sensor.	Variable independiente, se mide por observación, es donde debería de rebotar la onda ultrasónica del sensor para estimar una distancia, ser usará para observar si hay relación	Cualitativa politómica, categórica nominal

Continuación Tabla 1.

		entre esta y el valor obtenido de la medición.	
Tipo de agua (N/A)	Características del agua que puede modificar el funcionamiento del sensor.	Variable independiente, se mide por observación, puede estar limpia o contaminada, se usará para observar si hay relación entre esta y el resultado de la medición.	Cualitativa dicotómica, categórica nominal
Tiempo (t)	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento.	Es una variable independiente, es medida por el sensor, en función de este se estima la distancia medida.	Cuantitativa continua, numérica de razón
Voltaje (V)	Tensión o diferencia de potencial que ejerce una fuerza sobre los electrones para establecer un flujo de corriente.	Es una variable independiente, alimenta al microcontrolador y este al sensor para que pueda operar.	Cuantitativa continua, numérica de razón

Nota. Detalle de las variables de interés para la realización de la investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

Fases del estudio

A continuación, se muestran las fases en las que se llevó a cabo la investigación y el desarrollo del experimento.

- Fase 1: revisión bibliográfica, con base en la idea de investigación se buscaron los temas relacionados a sensores ultrasónicos y la estimación de distancia, los cuales generaron un marco de referencia, al igual que los temas estadísticos que permitieron analizar la información para la obtención de los resultados.

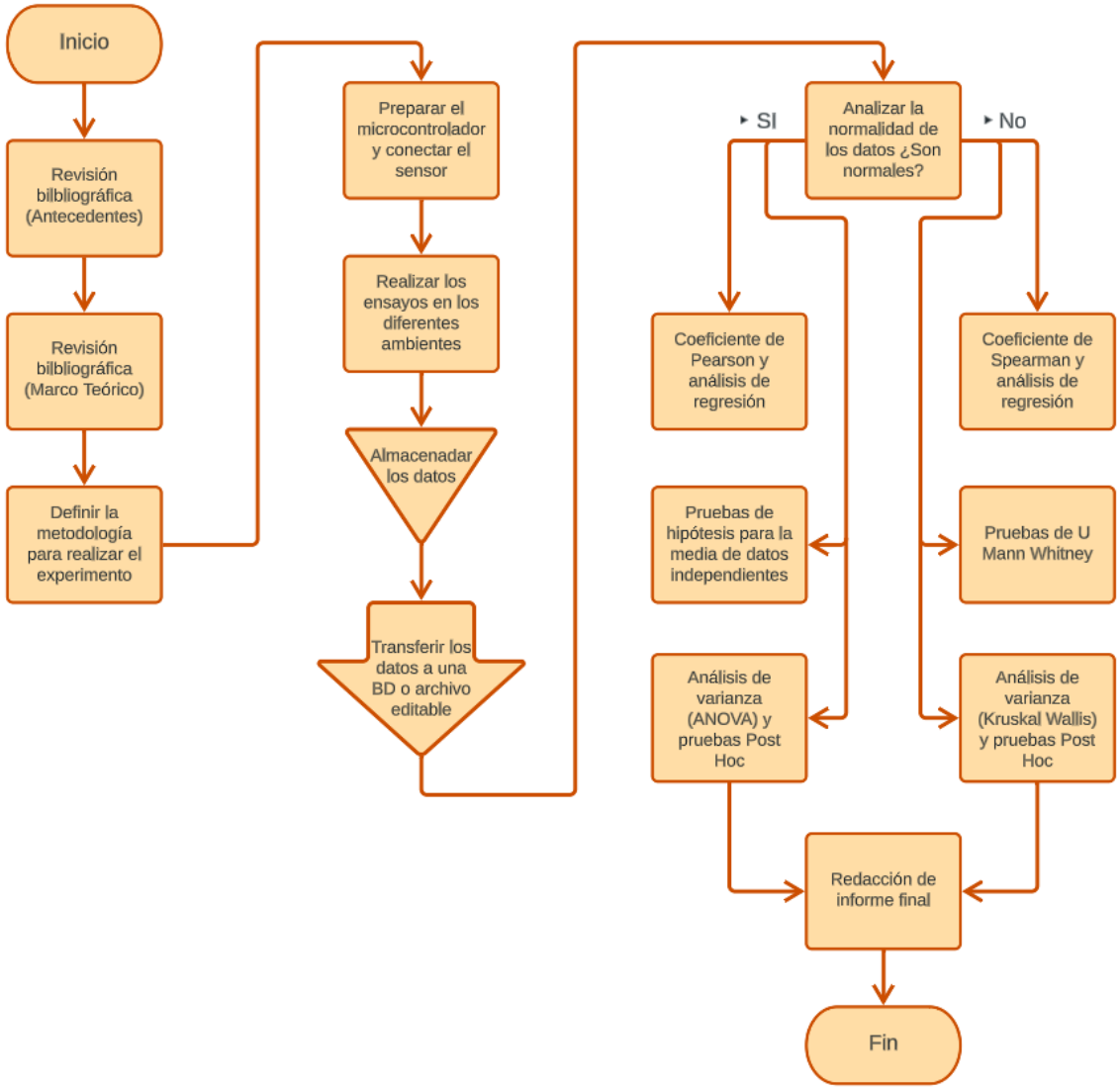
- Fase 2: recopilación y almacenamiento de la información, fue importante la adquisición del sensor y el microcontrolador para poder generar las

pruebas de medición y así recopilar los datos para luego almacenarlos en una base de datos o un archivo editable y se hizo posible analizar los mismos por medio de las pruebas estadísticas.

- Fase 3: realización de las pruebas estadísticas, con los datos almacenados fue posible analizarlos por medio de las pruebas de normalidad como la de Kolmogórov-Smirnov, al ser datos no paramétricos, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman, regresión lineal, prueba de hipótesis no paramétrica de U Mann Whitney y análisis de varianza con la prueba de Kruskal Wallis y su post hoc necesaria. La parte física que ayudó a la realización de las pruebas por medio de programas fue la computadora y para el uso del sensor el microcontrolador Arduino. Los pasos se detallan en la figura 1, se colocan los pasos en caso de que los datos resultaran normales.

Figura 1.

Flujograma del proceso de investigación



Nota. Descripción de los pasos para el desarrollo del proceso de investigación. Elaboración propia, realizado con Lucid.

- Fase 4: interpretación de resultados, tras la realización de las pruebas, se analizaron los resultados para poder interpretarlos, lo que les dio un sentido y luego se trasladaron al informe final con la confianza que brinda

cada uno para que se conozca el comportamiento y desempeño del sensor en cada uno de los ambientes de prueba que se utilizaron.

- Fase 5: redacción de informe final, elaboración del informe final, en el que se trasladó al lector toda la interpretación y resultados de la investigación, y se agregaron las recomendaciones y conclusiones respectivas.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación es una sistematización del proceso de identificar el comportamiento y evaluar el desempeño del sensor ultrasónico JSN-SR04T en diferentes ambientes.

El problema de investigación se basa en que los fabricantes comparten las características generales del sensor, así como sus conexiones, pero no se cuenta con información sobre el comportamiento del mismo y si sus estimaciones varían en función del ambiente en que se encuentra, es por esta razón que se realizaron las pruebas de diferencia de medias en las mediciones obtenidas del sensor.

El desarrollo de la investigación fue importante, ya que se generó una base sobre el desempeño del sensor en el que se tomaron en cuenta los resultados, y se mostraron con la confianza estadística al 95 %, de esta forma, el aprendizaje sobre el sensor no será solo empírico, está al alcance de todas las personas, estudiantes o profesionales interesados en el tema.

El estudio fue de enfoque cuantitativo, con diseño experimental y de tipo descriptivo, tuvo un alcance descriptivo y correlacional. Se manipuló el sensor, el cual se colocó a diferentes distancias en diferentes ambientes de prueba y por medio de los datos obtenidos se describió lo observado en cada uno de los ambientes de prueba, se incluyó el análisis de las variables, con lo que se encontró su relación con el desempeño del sensor.

Los resultados fueron confiables al 95 % y significativos para dejar identificado, de forma clara, el comportamiento del sensor, lo que facilita la comprensión para el lector y que el conocimiento adquirido pueda trasladarse y aplicarse en su desarrollo educativo y profesional, lo que lo constituye como el beneficio más importante, así mismo el aporte va en la línea del conocimiento, basado en resultados para entender qué factores y cómo pueden afectar estos la medición del sensor.

Para finalizar la investigación se desarrollaron las siguientes fases, revisiones bibliográficas para la creación de un marco referencial y un marco teórico, se definió la metodología para la realización del experimento; se hizo uso del microcontrolador y el sensor, se realizaron los ensayos en los diferentes ambientes, se almacenaron los resultados, con la aplicación de las pruebas estadísticas de normalidad y en función de los resultados, se aplicaron las pruebas no paramétricas; con estos se desarrolló la presentación y discusión de estos.

El desarrollo de la investigación fue viable ya que se contó con todos los recursos para su realización, así como el financiamiento de estos por parte del investigador.

El trabajo de investigación se divide de la siguiente manera.

Primer capítulo: presenta el marco referencial, es la revisión bibliográfica sobre los estudios previos, este fue de apoyo para la realización de la investigación.

Segundo capítulo: se muestra la base teórica que respalda el desarrollo de la investigación, así como del experimento, dividida en el área estadística, en

el que se tuvo como punto de partida la estadística descriptiva e inferencial, pruebas de normalidad, pruebas paramétricas y no paramétricas, así como el diseño y análisis de experimentos, para el área de electrónica, abarca los temas de metrología, instrumentación, sensores y microcontroladores.

Tercer capítulo: corresponde a la presentación de resultados obtenidos en cada una de las mediciones del sensor, así como los obtenidos en cada una de las pruebas estadísticas realizadas, ordenados según los objetivos específicos y, por último, el objetivo general.

Cuarto capítulo: en este se presenta la discusión de resultados, es decir, el análisis de los resultados obtenidos, se unieron la parte teórica y la práctica en análisis externo, contrastando con las referencias del capítulo uno con los resultados obtenidos y un análisis interno, se identificaron fallos, inconvenientes y posibles áreas de oportunidad para próximos estudios.

El trabajo de investigación finaliza con las conclusiones fundamentadas en los resultados y las recomendaciones que el autor considera oportunas.

1. MARCO REFERENCIAL

Para todos los seres humanos es importante tener una buena calidad de vida, pero para personas con capacidades diferentes, como ceguera, se vuelve complicado desenvolverse en ambientes con muchos obstáculos.

Alvarado et al., (2016), desarrollaron un dispositivo capaz de detectar objetos y poder estimar la distancia a la que se encuentra, se trasladó esa información hacia la persona invidente y que esta puede prevenir sus movimientos. Para esto utilizaron dos arreglos de 3 sensores ultrasónicos en cadena, uno para el frente y otro para la parte posterior, toda la información se envía al microcontrolador y luego por medio de sonido se indica en qué dirección se encuentra el obstáculo. Se llegó a la conclusión de que los sensores conectados en encadenamiento presentan una buena estabilidad, así como una buena detección de la cantidad de obstáculos, agregando confianza y ergonomía al desenvolvimiento del usuario. Alvarado et al., (2016) indican que: “Para conectar los sensores se realiza una conexión en forma de encadenamiento evitando la interferencia entre ellos mismos” (p.3).

La forma de conexión es interesante ya que puede garantizar el correcto funcionamiento de un arreglo de sensores ultrasónicos, lo que evitó la diafonía o *crosstalk*.

La enseñanza siempre ha sido importante en la sociedad para su desarrollo, a lo largo del tiempo se ha buscado la actualización constante en la forma de enseñar para el aprendizaje de los estudiantes.

Gonzáles et al. (2018), crearon un sistema de adquisición y procesamiento de datos para varios sensores, con el fin de generar diez prácticas de laboratorio para el área de física, uno de los sensores es el ultrasónico HC-SR04, con este desarrollaron los temas de cinemática, dinámica y empuje hidrostático, lo que hizo posible detectar los desplazamientos en cada uno de los objetos de prueba, se generaron así las curvas o gráficas de los sistemas. Con esto llegaron a la conclusión de que el uso del sensor fue aceptable y sensible, hasta para movimientos menores a 1 centímetro en distancias de 1 a 60 centímetros, así como una inmunidad a las condiciones lumínicas.

Es posible que independientemente de los modelos, al ser un principio ultrasónico, las mediciones no se vean afectadas por las condiciones lumínicas en los ambientes.

El uso de sensores es muy común, al mismo tiempo se puede pensar en una gran cantidad de factores que podría afectar la medición que estos realicen, por eso es importante la realización de pruebas para conocer su comportamiento.

En el trabajo de Gwirc et al., (2020) por medio de pruebas, para un sistema ultrasónico, analizaron el efecto que tiene la variación de parámetros como la amplitud de la señal de emisión, el tipo de pulso, tiempo de repetición y cantidad de pulsos con el retorno de la señal eco. Con esto llegan a la conclusión de que los cambios en los parámetros de la señal de emisión no afectan significativamente la zona muerta y que por medio de la amplitud de la señal emisora es posible manipular la señal eco. “Al existir una relación lineal entre la amplitud de la señal de eco y la cantidad de pulsos de la señal de emisión puede realizarse un control de ganancia variable con la cantidad de pulsos” (Gwirc et al., 2020, p.7).

Es de gran ayuda este trabajo ya que muestra la factibilidad de poder mejorar el comportamiento de sensores para la estimación de distancia gracias a la variación de parámetros en la señal emisora del sensor. Por último, también toma importancia el tema del aislamiento de las ondas que emite el sensor para mejorar la zona muerta del mismo y tener mejor retorno al receptor.

La implementación de sensores puede realizarse, prácticamente, en cualquier ámbito de la vida cotidiana, uno de ellos, el tráfico en las calles de una ciudad, esto permitiría estimar el flujo vehicular en determinadas áreas y con base en esa información tomar las acciones debidas.

Lozano et al., (2020), crearon un prototipo para simular un flujo vehicular de tres carriles, en el que hacen pasar dos, tres, cinco y nueve vehículos repartidos en esos tres carriles, colocan un arreglo de sensores para la detección y conteo de estos, este arreglo constaba de un sensor infrarrojo, un ultrasónico y uno de visión, colocados a diferentes distancias, siendo la del ultrasónico, 11.04 centímetros sobre la base del prototipo, con un ángulo de 30 grados; la prueba era hacer pasar 3 veces la cantidad de vehículos seleccionada y estas pruebas se repitieron 30 veces. Tras la recopilación de los datos y analizar el desempeño grupal e individual de los 3 sensores, llegan a la conclusión de que el sensor de visión es el que tuvo un mejor desempeño de forma individual, pero, si se agrega el sensor infrarrojo los resultados aumentan considerablemente, dejan con un desempeño deficiente al sensor ultrasónico.

La idea del prototipo es interesante ya que puede ser replicable y de alguna forma escalable, esto puede generar beneficios a mediano plazo para la solución del flujo vehicular, con relación a las pruebas, no se indica el modelo del ultrasónico, pero puede que la distancia a la que se colocó, este no tuviera la capacidad de realizar una medición.

Los experimentos con sensores suelen ser comunes, aunque no se publican, pero los que salen a la luz, en la mayoría de los casos, hace falta un análisis estadístico que permita respaldar las conclusiones con cierto nivel de confianza.

En el experimento de Martínez (2016), se realizaron pruebas con base en la tecnología de Arduino y el modelo de un sensor ultrasónico HC-SR04 para la medición de distancias con el fin de analizar sus prestaciones. Los resultados de las 20 pruebas para diferentes distancias y áreas fueron almacenados, generaron con ellos gráficas de dispersión. Llegaron a la conclusión de que hay variación significativa en la medición, sobre todo para áreas limitadas o formas específicas donde se tienen picos de errores por el comportamiento de las ondas, su reflexión y pérdidas. Martínez (2016) indica que para el sensor “Debido a su naturaleza, pueden sufrir fenómenos de reflexión, refracción y difusión” (p.60).

Sería factible coincidir con los resultados, pero estos solamente fueron graficados en un mapa de dispersión, no fueron analizados de tal forma que exista una confianza para determinar que las mediciones son significativamente diferentes entre sí, por lo que habría que analizarlo estadísticamente.

Por último, hay otros factores que pueden cambiar el resultado de la medición, como la temperatura, ya que cambia la velocidad del sonido o bien el ángulo que queda entre el sensor y la superficie de rebote o el objeto.

La aplicación de sensores es muy amplia, prueba de ello es que pueden dominar los movimientos o decidir sobre las acciones que pueda tomar algún sistema.

Nahuamel et al., (2020), crearon un sistema de detección de distancia para evitar que un carro a escala pudiera impactar contra objetos, para esto utilizaron un Arduino, sensor ultrasónico HC-SR04, motores, controladores, baterías, entre otros elementos. El sensor se encargaría de generar los pulsos constantemente para conocer el camino y enviar los datos al microcontrolador, para que, al momento de tener algún objeto a determinada distancia, el carro pudiera frenar, o bien, desviar su camino para evitar el impacto. Luego de las pruebas realizadas, estos autores llegan a la conclusión de que el sensor puede aplicarse de forma amplia, es decir, desde la ayuda a personas hasta la actualización de sistemas automatizados.

Claramente el sistema es escalable, su prototipo es el principio de funcionamiento de los robots actuales que realizan tareas de limpieza en casas o edificios, estos son capaces de comprender su entorno y evitar colisionar con este.

Hay una gran variedad de sistemas industriales, automotrices, acuáticos, entre otros, estos se conforman de piezas, las cuales pueden fallar, fracturarse o romperse en cualquier momento, en algunos casos los repuestos ya no se encuentran, o bien, hay que solicitarlos a otros países y los costos se pueden elevar.

Orozco, et al. (2014), realizaron un prototipo de modelado 3D para poder generar la copia de un objeto determinado, esto por medio de una base giratoria y un sistema vertical para el sensor ultrasónico, los datos del sensor serían recibidos por un microcontrolador y este se comunicaría con el software de MATLAB®, para recrear la forma del objeto. Cada vuelta completa de la base el sensor subía un centímetro hasta llegar a la parte más alta del objeto, de esta forma se puede tener información de los 360 grados a lo largo de su alto,

facilitando la interpretación de su forma. De esta forma, llegaron a la conclusión de que hubo ciertos errores con objetos cuadrados y caras planas, también tuvieron errores por la vibración mecánica del sistema, aún con esos detalles los resultados fueron aceptables.

La importancia de conocer las características del sensor es vital para poder tener una correcta aplicación y estimación de la medición, no se indica de forma concreta el modelo de sensor ultrasónico utilizado.

Conocer el contenido dentro de recipientes es importante dentro de los procesos alimenticios o soluciones, por ejemplo, si se tuviera un contenedor con líquido, pero este líquido se compone por dos que no se pueden mezclar, sería prudente conocer los niveles de ambos dentro del contenedor.

Restrepo et al., (2000), crearon un dispositivo capaz de medir el nivel de dos líquidos que no se pueden mezclar por medio de un sensor ultrasónico marca Murata, conectado a un sistema de adquisición de datos para almacenar e interpretar la información obtenida, el principio de funcionamiento se basa en que cualquier vibración al momento de cambiar el medio de propagación, una porción de su energía se refleja y la otra pasa al siguiente medio dentro de su trayectoria. Luego del desarrollo de su prueba, llegaron a la conclusión de que sin un sistema de amplificación es difícil detectar la señal proveniente del eco y que sería más rápido el sistema con un microcontrolador más veloz. Restrepo et al., (2000) indican que “El método de excitación más común en la medición de distancias es la transmisión de uno o varios pulsos hacia el medio de propagación” (p.4).

El sistema utilizado es para casos específicos, donde los líquidos no se pueden mezclar, a pesar de eso, queda la referencia de que es posible estimar distancias dentro de contenedores con uno o dos líquidos.

La importancia y el cuidado de los recursos ha tomado muchísima importancia a lo largo del tiempo, uno de los más importantes en la actualidad es el agua, un recurso vital que puede cuidarse con acciones tan simples como cerrar la llave si el agua no está en uso hasta acciones más grandes como almacenar toda el agua llovediza y tratarla para su uso posterior.

Velasco et al., (2021), pensaron en el diseño inalámbrico de un sistema capaz de medir el nivel de agua en un contenedor, como cisterna o tonel; esto con el fin de evitar el desperdicio de agua, al momento de que el contenedor esté lleno, se cierra el paso de agua y se habilita solo cuando el nivel descienda. Para esto aplicaron el internet de las cosas (IoT), lo que generó el envío y recepción de datos por medio de placas ESP y Arduino para determinar si se abre o no el paso de agua; para la detección del nivel de agua utilizaron un sensor ultrasónico JSN-SR04T, ya que es a prueba de agua. Su análisis está enfocado en el envío y recepción de datos vía wifi, dejando en segundo plano al sensor, a pesar de esto, llegan a la conclusión de que el sistema es viable, reduciendo el cableado, soportando distancias considerables. Velasco *et al*., (2021) indican que “el sensor ultrasónico JSNSR04T, que puede medir distancias de 20 cm hasta 4.5 m” (p.153).

Este diseño muestra que el sensor puede soportar estar sumergido en el agua el tiempo que sea necesario, pero no indican la realización de más pruebas con el sensor en diferentes tipos de ambientes, es decir, contenedores fabricados con materiales diferentes, para analizar su desempeño.

Siguiendo el tema de los recursos, uno de ellos es la energía eléctrica, donde se combina el tema de los costos por su uso, así mismo, hay ciertas actividades o trabajos que, por ergonomía, necesitan cierta iluminación o cantidad de lúmenes en el área de trabajo.

Yedra (2019), realizó un sistema electrónico capaz de adaptar la cantidad de lúmenes, es decir, variar la intensidad de la luz, de un arreglo de leds en función de la distancia que exista entre la lámpara y el área de trabajo. Este sistema lo realizó por medio de un Arduino para poder conectar el sensor ultrasónico y en función de las distancias que pueda estimar entre la lámpara y el área de trabajo, provocará que una parte del arreglo de leds o bien la totalidad se puedan encender, variando así la intensidad de la luz, teniendo así un ahorro en el costo de la energía eléctrica y cuidando la ergonomía laboral. Con esto llegó a la conclusión de que el sistema puede ser escalable para poder incorporarlo en corredores y áreas no laborales usó la distancia entre la persona y las luminarias, generando más ahorro energético y optimizando los recursos en los hogares.

El desarrollo de este sistema genera cierta expectativa ya que se aplica sobre diferentes superficies, lo que provocó la especulación de que el sensor se puede comportar muy parecido, aunque cambien ciertos elementos; a pesar de esto, no hay pruebas de la certeza en las distancias estimadas por el sensor para modificar la intensidad de la luz.

Cada uno de los marcos de referencia previos brindaron información para generar una idea general del funcionamiento de los sensores ultrasónicos, ya que estos no son afectados por la cantidad de lúmenes en el ambiente, se puede cambiar los parámetros de funcionamiento, tienen una distancia mínima de medición, no hay pruebas estadísticas para identificar diferencias en mediciones, posibilidad de medir en líquidos que no se mezclan, puede estar sumergido por un tiempo indefinido y permite la especulación de que la superficie no afecta las mediciones; a partir de estos se estableció el planteamiento y la formulación del problema, aunque no son los mismos modelos de sensores, el principio de funcionamiento sí, lo que hizo factible el establecimiento del plan con el que se desarrolló el experimento y las pruebas que fueron aplicadas.

2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico estará dividido en dos partes, la primera enfocada en la parte estadística y la segunda en la parte electrónica.

2.1. Conceptos estadísticos

La estadística es una ciencia y un camino proveniente de la matemática que se enfoca en analizar, estudiar datos y encontrar explicaciones para los elementos que pueden cambiar los resultados. Es la piedra angular para la toma de decisiones en ámbitos sociales, científicos, industriales, deportivos, entre otros.

2.1.1. Estadística descriptiva

Es una clasificación de la estadística que se enfoca en sintetizar el conjunto de datos, incluyendo características de estos para deducir su comportamiento (Devore, 2008; Navidi, 2006).

Estas deducciones son posibles por medio de:

- Porcentajes
- Razones
- Distribución de frecuencias
- Medidas de posición
- Medidas de dispersión

2.1.2. Estadística inferencial

Llamada estadística inductiva, pretende estimar, por medio del análisis de datos y prueba de hipótesis, los parámetros de una población a un nivel de confianza determinado. (Walpole et al., 2012)

Es importante considerar:

- El universo de los datos
- Objeto de estudio
- Temporalidad
- Muestra

2.1.3. Variables

Las variables son particularidades que pueden adquirir valores distintos de un grupo a otro y los datos se convierten en los valores que registran las variables.

2.1.3.1. Variables cualitativas

Son aquellas que permiten transmitir una cualidad, característica o peculiaridad del objeto, fenómeno o estudio que se esté llevando a cabo.

2.1.3.1.1. Dicotómicas

También llamadas binarias, contienen únicamente dos posibilidades, siendo una o la otra, por ejemplo; un interruptor, puede estar encendido o apagado.

2.1.3.1.2. Politómicas

Se caracterizan por permitir más de dos valores para representar al objeto de estudio, por ejemplo; el nivel de picante percibido por un comensal en un restaurante.

2.1.3.2. Variables cuantitativas

Tienen la capacidad de representar al fenómeno por medio de cifras.

2.1.3.2.1. Discretas

Están enfocadas en el conteo y los valores que puede tomar son específicos, por ejemplo; el número de estudiantes presentes en un salón.

2.1.3.2.2. Continuas

Pueden tomar cualquier valor, ya sea positivo o negativo y no necesariamente debe ser un entero, por ejemplo; la temperatura del cuerpo humano.

2.1.4. Escalas de medición

Las variables cualitativas o categóricas poseen las siguientes escalas:

- Nominal: es la escala más básica y separa las variables por categorías, etiquetas o conjuntos, por ejemplo; el estado civil de una persona.

- Ordinal: permite ordenar las observaciones del objeto de estudio, por ejemplo; calificar el servicio prestado por alguna institución.

Para variables cuantitativas o numéricas se tiene:

- De intervalo: también llamada cardinal, se tiene una idea de cuánto se está midiendo y el valor cero no representa la ausencia de algo, por ejemplo; la temperatura del agua o el nivel de pH.

- De razón: conocida como escala de proporción, tienen características como las de orden o intervalo, pero el cero si representa la ausencia de una propiedad, por ejemplo; el volumen de agua en un depósito.

2.1.5. Medidas de tendencia central

Pueden tomar el nombre de medidas de localización ya que pueden ofrecer por medio de valores cuantitativos, ya sea estadísticos o parámetros, la posición de los datos en una muestra o población respectivamente (Walpole et al., 2012).

2.1.5.1. Media

Es sinónimo de promedio aritmético, representa el punto de equilibrio de la distribución, se trata de sumar todos los valores de la muestra o población y dividir la suma entre el número de datos n o N que se tenga. Se representa por $\bar{x}\ o\ \mu$ para muestra o población y se expresa de la siguiente forma.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad \text{(Ec. 01)}$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{N} \quad \text{(Ec. 02)}$$

2.1.5.2. Mediana

Esta medida, siempre y cuando estén ordenados los datos n de menor a mayor, indica el dato del medio, es decir, se tiene la misma cantidad de datos a la izquierda y a la derecha de ese valor obtenido en esa posición. Se representa por Me y la operación cambia en función de la cantidad de datos que se tengan.

Si el número de datos (n) es impar, (n_1, n_2, n_3), la mediana es el valor en la posición central, (n_2), en el caso de ser pares, (n_1, n_2, n_3, n_4), la mediana es el promedio de los valores en las posiciones centrales, (n_2, n_3).

$$Me = \frac{n+1}{2} \quad \text{(Ec. 03)}$$

$$Me = promedio\ entre\ \frac{n_2}{2}\ y\ \frac{n_3}{2} \quad \text{(Ec. 04)}$$

2.1.5.3. Moda

Está representada por el valor que más se repite o aparece dentro del conjunto de datos que se esté analizando.

2.1.5.4. Otras medidas

Es posible dividir el conjunto de datos en más de dos grupos con la misma cantidad de datos, en función de la cantidad de divisiones que se tengan es que reciben su nombre, los más comunes son:

- Deciles: dividen el conjunto de datos en 10 grupos
    - Decil 5 es equivalente al cuartil 2

- Cuartiles: dividen el conjunto de datos en 4 grupos
    - Cuartil 2 es el equivalente a la mediana

- Percentiles: dividen el conjunto de datos en 100 grupos
    - Percentil 25 es el cuartil 1
    - Percentil 50 es el cuartil 2
    - Percentil 75 es el cuartil 3

2.1.6. Medidas de dispersión

Denominadas también medidas de variabilidad se aplican para conocer aún más las características de los datos, sabiendo qué tan alejados están los datos de su centro (Walpole et al., 2012).

2.1.6.1. Rango

Es la diferencia que existe entre el dato de mayor valor con el de menor valor, mide la amplitud de la variación del conjunto de datos.

2.1.6.2. Desviación estándar

Representa el promedio de la distancia que tienen los datos con la media, es decir, cuán esparcidos están los datos de la media, a mayor dispersión, mayor desviación se tiene. Se utiliza σ o S.

Para muestras

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{(Ec. 05)}$$

Para población

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{N}} \quad \text{(Ec. 06)}$$

2.1.6.3. Varianza

Indica la variabilidad de los datos, pero en unidades cuadradas.

Para muestras

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{(Ec. 07)}$$

Para población

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{N} \quad \text{(Ec. 08)}$$

2.1.7. Correlación

Es el grado de asociación lineal que pueden tener dos o más variables de una población, o bien, a partir de una muestra, es posible evaluar la tendencia de los datos, ya sea creciente o decreciente. Se puede estimar por medio del coeficiente de Pearson (Ec. 09) o coeficiente de Spearman (Ec. 10) para datos

paramétricos y no paramétricos respectivamente. Los valores de los coeficientes pueden variar de -1 a 1, si la tendencia es creciente y el aumento de una variable hace que la otra aumente el valor será aproximadamente 1; si es decreciente, el aumento de una variable provocará que la otra disminuya y el valor será aproximadamente -1, si no hay una tendencia o la relación es aleatoria el valor será aproximadamente 0 (Navidi 2006).

$$\rho_{XY} = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{Var(X) * Var(Y)}} \quad \text{(Ec. 09)}$$

$$r_s = 1 - \frac{6 * \sum {d_i}^2}{n * (n^2 - 1)} \quad \text{(Ec. 10)}$$

2.1.8. Regresión lineal

Corresponde a una técnica estadística para analizar datos y por medio de esta es posible generar un modelo de ecuación lineal a partir de la variable dependiente y la independiente que sea capaz de representar el comportamiento de los datos. La regresión sigue cuatro supuestos (Devore, 2008; Navidi, 2006).

- Relación lineal: las dos variables deben tener relación lineal
- Independencia de residuos: los residuos, (observados-previstos), no deben tener un patrón específico o identificable.
- Normalidad: los residuos deben distribuirse según la normal
- Homocedasticidad: los residuos deben tener una varianza constante

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \quad \text{(Ec. 11)}$$

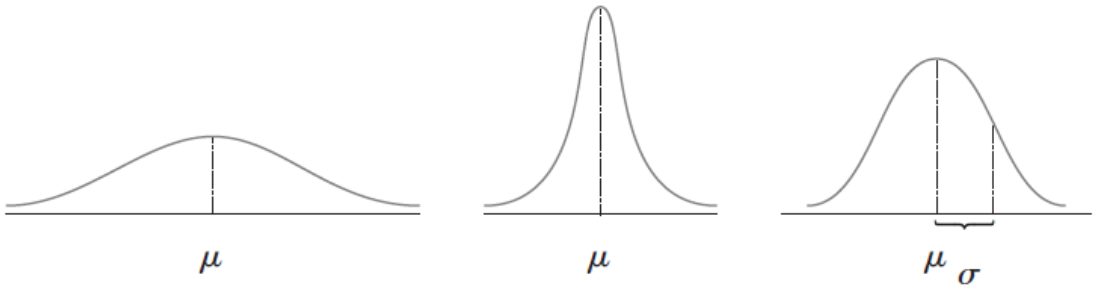
2.1.9. Normalidad

La distribución normal o distribución de Gauss es tipo continua, es fundamental dentro de la estadística ya que la mayoría de las poblaciones se pueden caracterizar con mucha precisión por medio de una curva normal. Para que pueda existir una distribución normal, la media tiene rango $(-\infty \leq \mu \leq \infty)$, con varianza $\sigma > 1$, en función de está se puede ver afectada la forma de la curva normal, mientras más pequeña sea, más puntiaguda será la curva sobre el valor de la media, ver Figura 2.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \qquad \text{(Ec. 12)}$$

Figura 2.

Curvas de densidad normal



Nota. Formas que puede adoptar una distribución normal. Obtenido de Devore (2008). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias.* (p.145.) Cengage Learning™

Una distribución normal estándar tendría una media cero con varianza 1.

2.1.9.1. Pruebas de normalidad

Como primera instancia se podrían graficar los datos en un histograma, agregando la curva normal en el mismo gráfico, inspeccionando el resultado y obtener una conclusión visual. Esta inspección se puede confirmar por medio de pruebas más formales.

2.1.9.1.1. Prueba de Kolmogórov-Smirnov

Es un tipo de prueba de bondad de ajuste para una distribución específica, la normal, busca determinar si los datos proceden de este tipo de distribución. Esta prueba toma como referencia las frecuencias teóricas acumuladas, $F_O(X)$, y las contrasta con las frecuencias observadas acumuladas, $F_n(X)$, cuyo estadístico de prueba es la máxima diferencia, D, entre ambas.

$$D = \text{máx}\,|\mathrm{F_n}(X) - F_o(X)| \qquad \text{(Ec. 13)}$$

2.1.9.1.2. Prueba de Shapiro-Wilks

Busca probar el supuesto de normalidad para un conjunto de datos no mayor a 50 observaciones, ordenados de menor a mayor, conociendo la media y la varianza de la muestra o población. Se debe conocer la diferencia entre el primer y último dato, continuando así con el segundo y penúltimo, entre otros. Y aplicando la corrección Shapiro-Wilk y sumando todas D, se tiene el siguiente estadístico W.

$$W = \frac{D^2}{n * S^2} \qquad \text{(Ec. 14)}$$

2.1.10. Homocedasticidad

También llamada homogeneidad de varianzas considera que la varianza es constante, es decir, no varía entre diferentes grupos. Es posible su comprobación por método gráfico o por medio de alguna prueba de significancia, como la de Levene.

Prueba de Levene

$$L = \frac{(N-k)\sum_{i=1}^{k} N_i(\overline{V}_{i.} - \overline{V}_{..})^2}{(k-1)\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{N_i}\left(V_{ij} - \overline{V}_{i.}\right)^2} \quad \text{(Ec. 15)}$$

2.1.11. Prueba de hipótesis

En el desarrollo de una investigación se pueden estimar diferentes parámetros para entender a la población, pero la mayoría de las veces también se necesita probar que esa interpretación es la adecuada, la mejor forma de probarlo es con las pruebas de hipótesis. Estas pruebas se pueden aplicar para una o dos muestras (Devore, 2008; Navidi, 2006 y Walpole et al., 2012).

Las pruebas contienen:

- Hipótesis nula: punto o interpretación que se quiere probar, se representa por H_o, utiliza cierto grado de igualdad ($=, \leq, \geq$).

- Hipótesis alterna: contraparte del punto o interpretación que se quiere probar, se representa por H_a o H_1, no hay grado de igualdad ($\neq, <, >$).

- Estadístico de prueba: valor obtenido a partir de la muestra y con base en la hipótesis alterna (H_1) es posible tomar la decisión de rechazar o no rechazar la hipótesis nula.

- Región de aceptación: zona de valores que pueden tomar los estadísticos de prueba para no rechazar la hipótesis nula.

- Valor P: representa el valor más pequeño de significancia al cual se puede rechazar la hipótesis nula, por tanto, si el valor P es mayor que el nivel de significancia que se asignó a la prueba no se rechaza H_0.

De manera muy general, para la realización de una prueba sería necesario:

- Detectar la hipótesis nula y la alterna, así como deliberar qué datos se usarán y sus condiciones.

- Determinar el tipo de prueba que más se acerque al diseño de la investigación y sus características.

- Escoger un número adecuado para los elementos de la muestra, así como el nivel de confianza con el que se quieren presentar los resultados o bien el nivel de significancia α.

- Definir la zona de rechazo, si es de dos colas o de una cola.

- Recolectar los datos y analizarlos con los medios necesarios y en función de los resultados tomar la decisión de rechazar o no rechazar la hipótesis nula.

Cada vez que se realiza una prueba de hipótesis, se tiene la posibilidad de cometer dos tipos de error.

- Error tipo I: es la probabilidad de rechazar una H_0 verdadera, se expresa con la letra α y puede ser del 1, 5 o 10 por ciento.

- Error tipo II: es la probabilidad de aceptar una H_0 falsa, se expresa con la letra griega β.

2.1.11.1. Pruebas paramétricas

Si los datos provienen de una distribución normal se pueden aplicar las siguientes pruebas de hipótesis.

2.1.11.1.1. Prueba de hipótesis para la media de una población

Para cualquier tipo de proceso es importante analizar su media y saber si esta se parece o difiere con respecto a otro valor de media previamente conocido, hay casos donde se conoce la varianza de los datos y otros, siendo la mayoría, donde no se conoce.

- Varianza conocida o muestra mayor igual a 30 elementos; para este caso se procede la siguiente forma:

    - Definir la hipótesis nula y alternativa
    - Establecer el nivel de significancia
    - Conocer la zona de rechazo

- Obtener el estadístico de prueba con

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \quad \text{(Ec. 16)}$$

- Si $Z > Z_{\alpha/2}\ o\ Z < -Z_{\alpha/2}\ o\ Z > Z_{\alpha}\ o\ Z < -Z_{\alpha}$ se rechaza H_0

- Varianza desconocida o muestra menor a 30 elementos

  - Definir la hipótesis nula y alternativa
  - Establecer el nivel de significancia y grados de libertad n-1
  - Conocer la zona de rechazo
  - Obtener el estadístico de prueba con

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\hat{S}/\sqrt{n}} \quad \text{(Ec. 17)}$$

  - Si $t > t_{\alpha/2}\ o\ t < -t_{\alpha/2}\ o\ t > t_{\alpha}\ o\ t < -t_{\alpha}$ se rechaza H_0

2.1.11.1.2. Prueba de hipótesis para la media de dos poblaciones

- Varianzas conocidas o muestras que tengan por lo menos 30 elementos

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_o}{\sigma^2_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}} \quad \text{(Ec. 18)}$$

$$\sigma_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad \text{(Ec. 19)}$$

  - Si $Z > Z_{\alpha/2}\ o\ Z < -Z_{\alpha/2}\ o\ Z > Z_{\alpha}\ o\ Z < -Z_{\alpha}$ se rechaza H_0

- Varianzas iguales, desconocidas y muestras menores a 30 elementos

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_o}{S_p\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{(Ec. 20)}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\,{S_1}^2 + (n_2 - 1){S_2}^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad \text{(Ec. 21)}$$

  - Si $t > t_{\alpha/2}\ o\ t < -t_{\alpha/2}\ o\ t > t_{\alpha}\ o\ t < -t_{\alpha}$ se rechaza H_0

- Varianzas diferentes y desconocidas

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_o}{\sqrt{\frac{{S_1}^2}{n_1} + \frac{{S_2}^2}{n_2}}} \quad \text{(Ec. 22)}$$

  - Si $t > t_{\alpha/2}\ o\ t < -t_{\alpha/2}\ o\ t > t_{\alpha}\ o\ t < -t_{\alpha}$ se rechaza H_0

2.1.11.1.3. Prueba de hipótesis para datos pareados

Los datos pareados corresponden a muestras en las que se quiere evaluar un antes y un después con los mismos elementos.

$$t = \frac{\bar{d} - d_o}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \quad \text{(Ec. 23)}$$

Si $t > t_{\alpha/2}\ o\ t < -t_{\alpha/2}\ o\ t > t_{\alpha}\ o\ t < -t_{\alpha}$ se rechaza H_0

2.1.11.2. Pruebas no paramétricas

Si los datos no provienen de una distribución normal se pueden aplicar las siguientes pruebas de hipótesis.

2.1.11.2.1. Prueba de Wilcoxon

Esta prueba es el equivalente a la prueba paramétrica de muestras pareadas, se basa en la asignación de rangos, toma en cuenta el signo y la magnitud de las diferencias.

$$Z = \frac{W - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{12}}} \quad \text{(Ec. 24)}$$

- W es el mínimo de (W^+, W^-)
- W^+ es la suma de rangos con signo positivo
- W^- es la suma de rangos con signo negativo

2.1.11.2.2. Prueba de U Mann Whitney

Es utilizada para comparar dos muestras independientes por medio de la mediana, es equivalente a la prueba paramétrica de diferencia entre muestras independientes. Es importante que, si uno de los grupos tiene menos elementos, este sea el grupo 1, todas las observaciones se ordenan de forma creciente, asignar los rangos y en caso de empate, valores iguales, el rango será el promedio entre estos.

$$U_1 = \sum R_1 - \frac{n_1(n_1+1)}{2} \quad \text{(Ec. 25)}$$

$$U_2 = \sum R_2 - \frac{n_2(n_2+1)}{2} \quad \text{(Ec. 26)}$$

Si ambas muestras son mayores a 20, se puede aproximar a la normal

$$\mu_U = \frac{n_1 n_2}{2} \quad \text{(Ec. 27)}$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad \text{(Ec. 28)}$$

$$Z = \frac{U_i - \mu_U}{\sigma_U} \quad \text{(Ec. 29)}$$

2.1.12. Prueba de concordancia

Método que permite comparar dos o más técnicas de medición sobre una misma variable, este método puede aplicarse por medio del coeficiente Kappa de Cohen para variables nominales u ordinales, coeficiente de correlación intraclase o gráfico de Bland-Altman, todos siguiendo el supuesto de que los datos son normales.

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad \text{(Ec. 30)}$$

Proporción de acuerdo observados P_o

Proporción de acuerdo esperados por azar P_e

$$CCI = \frac{{\sigma_b}^2}{{\sigma_b}^2 + {\sigma_w}^2} \quad \text{(Ec. 31)}$$

Componente de varianza entre conglomerados ${\sigma_b}^2$

Componente de varianza dentro de conglomerados $\sigma_w{}^2$

2.1.13. Diseño y análisis de experimentos

La realización de experimentos es común en los diferentes ámbitos de la industria, en la mayoría de los casos, estos se realizan sin tener alguna planificación, van sobre la “prueba y error” y en función de lo observado se toma alguna decisión de forma intuitiva. Este método puede tener funcionalidad, pero es mejor tener una ruta de trabajo para obtener resultados más eficaces, provenientes de la toma de decisiones con base en pruebas planificadas (Gutiérrez, 2008; Melo, 2020; Montgomery, 2004 y Navidi, 2006).

El diseño de experimentos permite:

- Comparar materiales para seleccionar el más adecuado con respecto a las especificaciones.
- Contrastar instrumentos de medición para validar si responden con la misma precisión y exactitud.
- Encontrar los elementos o factores relevantes dentro de un proceso que pueden afectar su desempeño.
- Conocer las mejores condiciones de operación para que un proceso mejore.
- Reducción de tiempos de operación.
- Tener un proceso inmune a cambios por variables ambientales.
- Colaborar con diseños o modificaciones en nuevos procesos.

2.1.13.1. Experimento

Es efectuar modificaciones a las condiciones en que se encuentra un objeto, sistema o proceso, esto con el objetivo de analizar el efecto que este puede causar sobre las propiedades de dicho objeto, se realizan en un entorno controlado y permite conocer aún más el sistema.

2.1.13.2. Unidad experimental

Es la muestra o pieza que se analizará al momento de efectuar las modificaciones.

2.1.13.3. Variables

Son los elementos de respuesta del experimento, permiten conocer los efectos con cada prueba realizada, pueden representar calidad o desempeño.

2.1.13.4. Factores

Son variables de entrada del proceso.

- Controlables: estos se pueden cambiar o manipular para cambiar su operación y así generar nuevas respuestas en la salida.

- No controlables: conocidos como ruido, no se pueden manipular en ningún espacio del proceso.

- Estudiados: son las variables que se estudian dentro del proceso ya que pueden influir sobre la variable de respuesta.

2.1.13.5. Niveles

Es la variedad de valores que se le pueden asignar a los factores y la combinación de estos niveles llevan a los tratamientos.

2.1.13.6. Errores

Dentro de cualquier experimento siempre se tendrá cierto nivel de error en los resultados, pero dependen de su naturaleza.

- Error aleatorio: se debe a causas comunes o aleatorias del proceso, no se pueden controlar ni explicar, se absorbe el error experimental.

- Error experimental: es parte del error aleatorio, pero se debe a la mala planeación o ejecución del experimento.

2.1.13.7. Tipos de experimentos

- Absoluto: se enfoca en la estimación y determinación de las características físicas del sistema de estudio, estas deberían ser constantes.

- Comparativo: ideal cuando se quieren analizar diferentes tratamientos sobre la unidad experimental y con base en los resultados llegar a indicar cuál de ellos puede ser el mejor. En este tipo de experimento, es importante considerar:
    - Simplicidad: el entorno de experimentación y la elección de tratamientos debe ser simple.
    - Precisión: el experimento debe cumplir con los grados de precisión establecidos por el investigador para analizar los tratamientos.

- Error sistemático: contemplar que las unidades experimentales no difieran entre sí, solo debe cambiar el tratamiento, para tener resultados sin sesgo.
- Validez: el experimento debe brindar conclusiones con un rango amplio de validez.
- Incertidumbre: tener la capacidad de que los resultados presenten una incertidumbre por la aleatoriedad únicamente.

2.1.13.8. Etapas en el diseño de experimentos

Independientemente del tipo de diseño, se debe buscar que su realización sea al menor costo posible, esto incluye las pruebas y tratamientos seleccionados, así como el total de repeticiones para obtener la información necesaria; todo esto se conoce como matriz de diseño e incluye.

- Planeación y realización
  - Comprender y delimitar el tema de investigación
  - Seleccionar la variable o variables de respuesta que se medirán
  - Determinar los factores de estudio
  - Seleccionar los niveles de cada factor
  - Planificación del trabajo experimental
  - Realización del experimento
- Análisis: estudiar los resultados del experimento por medio de los distintos métodos estadísticos inferenciales y garantizar que pueden representar a la población o proceso.

- Interpretación: con base en los resultados y su confianza es posible realizar una interpretación, verificación y selección de nuevos descubrimientos, supuestos y tratamientos respectivamente.

- Control y conclusiones: implementación de medidas, garantía de mantener las mejoras y compartir todos los frutos obtenidos.

2.1.13.9. Bases del experimento

La planeación y validez es importante, pero también lo es garantizar que el experimento cuenta con estos principios.

- Aleatorización: consiste en que las corridas del experimento se hagan de forma aleatoria para que exista una independencia de errores.

- Repetición: es la realización de los tratamientos más de una vez, pero no seguidas para respetar la aleatoriedad.

- Bloqueo: es considerar únicamente los factores que pueden afectar la respuesta del sistema y que esta sea lo más homogénea posible.

2.1.14. Análisis de varianza

Denominado ANOVA, esta prueba tiene como propósito evaluar si dos o más poblaciones tienen la misma media, el diseño más común es el completamente al azar, o bien, denominado de un factor. Se puede aplicar a datos que siguen una distribución normal, varianzas iguales e independencia de las muestras, ahora bien, si no se cumplen estos supuestos, se puede aplicar la

prueba de Kruskal Wallis, siendo esta el equivalente no paramétrico (Devore, 2008; Walpole et al., 2012).

En el análisis de varianza paramétrico cada observación puede escribirse de la siguiente forma:

μ es la media de las medias de cada tratamiento

α_i es el efecto del tratamiento

ϵ_{ij} es el error aleatorio

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \quad \text{(Ec. 32)}$$

Suma de cuadrados total

$$SST = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n}\left(y_{ij} - \bar{y}\right)^2 \quad \text{(Ec. 33)}$$

Suma de cuadrados del tratamiento

$$SST_r = \sum_{i=1}^{k}(\bar{y}_i - \bar{y})^2 \quad \text{(Ec. 34)}$$

Suma de cuadrados del error

$$SSE = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n}\left(y_{ij} - \bar{y}_i\right)^2 \quad \text{(Ec. 35)}$$

Cuadrado medio del tratamiento

$$CMT_r = \frac{SST_r}{k-1} \quad \text{(Ec. 36)}$$

Cuadrado medio del error

$$CME = \frac{SSE}{N-k} \quad \text{(Ec. 37)}$$

$$F = \frac{CMT_r}{CME} \quad \text{(Ec. 38)}$$

Para el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal Wallis, si no hay empate:

$$H = \left[\frac{12}{n(n+1)}\sum_{j=1}^{k}\frac{{R_j}^2}{n_j}\right] - 3(n+1) \quad \text{(Ec. 39)}$$

En caso de empate:

$$H = \frac{\left[\frac{12}{n(n+1)}\sum_{j=1}^{k}\frac{{R_j}^2}{n_j}\right] - 3(n+1)}{1 - \frac{\sum_1^g({t_i}^3 - t_i)}{n^3 - n}} \quad \text{(Ec. 40)}$$

Si los resultados del ANOVA muestran que hay diferencia entre las poblaciones se deben aplicar las pruebas post hoc para identificar cuáles son diferentes; puede ser la prueba de Tukey o Duncan para datos normales y en caso de datos no paramétricos puede ser la prueba de Nemenyi, Dunn o Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF).

Para Tuckey

$$T = q_{\alpha,k,v}\sqrt{\frac{CME}{n}} \quad \text{(Ec. 41)}$$

Para Duncan

$$D_p = d_{\alpha,k,v}\sqrt{\frac{CME}{n}} \quad \text{(Ec. 42)}$$

Para Nemenyi balanceado

$$s.e. = \sqrt{\frac{k(n+1)}{12}} \quad \text{(Ec. 43)}$$

Para Nemenyi desbalanceado

$$s.e. = \sqrt{\frac{n(n+1)}{24} * \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_f}\right)} \quad \text{(Ec. 44)}$$

Para Dunn balanceado

$$s.e. = \sqrt{\frac{k(n+1)}{6}} \quad \text{(Ec. 45)}$$

Para Dunn desbalanceado

$$s.e. = \sqrt{\frac{n(n+1)}{12} * \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_f}\right)} \quad \text{(Ec. 46)}$$

Para DSCF

$$W_{ij} = \frac{\frac{n_i(n_i + n_j + 1)}{2}}{\frac{n_i n_j}{24}} \left[n_i + n_j + 1 - \frac{\sum_{b=1}^{g_{ij}} (t_b - 1) t_b (t_b + 1)}{(n_i + n_j)(n_i + n_j - 1)} \right] \quad \text{(Ec. 47)}$$

2.2. Electrónica

Es una rama de la ingeniería que permite crear tecnología para el mantenimiento de sistemas electrónicos en el área eléctrica, telecomunicaciones, salud, entre otras. Involucra el uso de microprocesadores, microcontroladores e instrumentación en conjunto con sistemas analógicos y digitales.

2.2.1. Metrología

Se trata de la ciencia de la medición, todos los sistemas que en algún momento se utilizan necesitan de la metrología para su eficiente y confiable operación. Toda la metrología toma como base los patrones (Escamilla, 2014; Marbán & Pellecer, 2002).

2.2.1.1. Patrón de medición

Es la referencia física para definir, conservar o reproducir el valor de una magnitud, puede ser arbitrario o de carácter natural, incluye constantes físicas y atómicas.

- Internacionales: representan unidades de medida con la mayor exactitud, se evalúan y verifican periódicamente en términos de unidades fundamentales.

- Primarios: se encuentran en laboratorios de patrones nacionales, representan unidades fundamentales y algunas mecánicas o eléctricas.
- Secundarios: referencias básicas presentes en laboratorios industriales, con el fin de tener calibraciones independientes para sus procesos.

- De trabajo: se reducen a los instrumentos de medición de uso cotidiano como las reglas, multímetros analógicos o digitales, entre otros.

2.2.1.2. Instrumento

En el proceso de medición, generalmente, se necesita de alguna herramienta, un instrumento, para poder determinar la magnitud de una variable, pero es importante considerar lo siguiente:

- Exactitud: es una aproximación con la que una lectura o medición de un instrumento se acerca al valor real de la variable medida.

- Precisión: es el grado de concordancia dentro de un grupo de mediciones o instrumentos, es cuánto difiere una medición con otra.

- Sensibilidad: es la relación de la señal de salida del instrumento respecto al cambio de la entrada o variable medida.

- Resolución: es el cambio más pequeño en el valor medido al cual responde el instrumento.
- Error: desviación de la variable medida con respecto al valor real.
    - Grave: principalmente, se debe a fallas humanas, debido a las lecturas realizadas o el mal uso de los instrumentos, incluyendo la tabulación y cálculos de las mediciones.

- Sistemáticos: se dividen en dos
  - Instrumentales: se relacionan con los propios instrumentos a causa de su estructura mecánica y su calibración.
  - Ambientales: se da por las condiciones externas que afectan la operación del dispositivo como la temperatura, humedad, interferencias, entre otras.
- Aleatorios: debidos a causas desconocidas, no tienen explicación y son constantes dentro de todos los procesos.

2.2.2. Instrumentación

Es el proceso en el que se utiliza un conjunto de instrumentos para observar, analizar y controlar las magnitudes físicas eléctricas y no eléctricas, abarca los ámbitos eléctricos, electrónicos, industriales y mecánicos. (Creus, 2011; Granda & Mediavialla, 2015 y Reyes, 2019)

Una de las necesidades en instrumentación es la adquisición de datos por medio de sensores y transductores.

- Transductor: es un dispositivo capaz de transformar un fenómeno físico como caudal, luz, entre otros, a una señal eléctrica de voltaje o corriente.

- Sensor: elemento capaz de medir una variable física.

2.2.2.1. Tipos de sensores

- Activos: entrega en salida una variación de voltaje o de corriente en función de la medición, es el equivalente a un transductor.

- Pasivos: varía únicamente su valor resistivo, capacitivo o inductivo, en función de la medición detectada. Este necesita un circuito extra para generar una variación de voltaje o corriente con respecto a su propia variación.

2.2.2.1.1. Clasificación

- Resistivos: dependiendo de la variable medida adoptarán cierto valor resistivo, como una fotorresistencia, con base en la luz incidente, un termistor, dependiendo de la temperatura.

- Capacitivos: funcionan con respecto a la variación de la distancia entre sus placas y por lo tanto del campo eléctrico.

- Inductivos: funcionan con respecto a la variación de su propio campo magnético para la detección de objetos metálicos.

- Piezoeléctricos: proporcionan un valor de voltaje en salida, proporcional a la fuerza mecánica que se aplica sobre sus placas.

- Ópticos: su funcionamiento depende de la emisión y recepción de un haz de luz, pueden clasificarse en:

    - Óptico de barrera: emisor y receptor se encuentran colocados uno enfrente del otro.
    - Óptico por difusión: emisor y receptor se encuentran contiguos entre sí esperando que el haz de luz se refleje y retorne al receptor.

- Óptico por difracción: emisor y receptor se encuentran contiguos entre sí, pero el haz de luz es reflejado en un prisma, regresando al receptor.

- De posición: son capaces de indicar la posición de determinado objeto, ofreciendo en salida un código, que en su mayoría de casos son binarios.

- Ultrasónicos: se encargan de medir una distancia utilizando ondas ultrasónicas, basándose en el tiempo que tarde en viajar la onda hacia el objeto y regresar al mismo sensor.

2.2.2.2. Ultrasónico JSN-SR04T

Se basa en el principio del sonar, para tratar de estimar una distancia en un rango de 25 a 450 centímetros, tiene la propiedad de ser resistente al agua, intemperie o humedad, además de que es relativamente pequeño y fácil de manipular.

Funciona de la siguiente manera, para cada estimación se emite un pulso de sonido denominado TRIG, el cual se envía hacia la superficie final de medición, esperando el pulso de retorno ECO, tomando el tiempo de este y por medio de la diferencia entre ambos pulsos, considerando la velocidad del sonido c, se estima la distancia D. Presenta la siguiente expresión (Restrepo et al., 2000; Velazco et al., 2021).

$$D = \frac{Pulso\ ECO * c}{2} \qquad \text{(Ec. 48)}$$

Algunas especificaciones del sensor son:

- Alimentación: 5V DC
- Corriente de operación: 30mA
- Rango de detección: 25cm - 450cm
- Frecuencia: 40KHz
- Parte delantera a prueba de agua
- Dimensiones de la placa: 41*28.5 mm
- Dimensiones del transductor: D25*L19 mm
- Temperatura de operación: -10 ºC hasta 70 ºC

2.2.3. Microcontroladores

Es un circuito o dispositivo electrónico que está integrado por un gran número de componentes, con la característica de ser programable, siendo capaz de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones previamente definidas por el usuario. Se compone de tres elementos.

- CPU
- Memorias
- E/S

2.2.3.1. Arduino

Es una placa de hardware libre, que contiene un microcontrolador programable y consta de diferentes modelos.

- Arduino Mega 2560
- Arduino Mega ADK

- Arduino Ethernet
- Los adaptadores USB-Serie
- PoE (“Power Over Ethernet”)
- Arduino Fio
- Arduino Pro
- Arduino Lilypad
- Arduino Nano
- Arduino Mini
- Arduino Pro Mini
- Arduino Leonardo
- Arduino Micro

Al igual que el hardware, el software y el lenguaje de programación que maneja es libre, este último, se basa en C/C++.

El lenguaje de programación se desarrolla en un IDE que contiene todas las herramientas para poder desarrollar la programación y generar las pruebas necesarias.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados correspondientes al desarrollo del experimento, recordando que la unidad de análisis es el sensor ultrasónico JSN-SR04T y que para cada objetivo se generó el ambiente necesario, siendo estos independientes entre sí, tomando los datos y trasladándolos a una hoja de cálculo.

A continuación, se desglosan los objetivos específicos hasta llegar al objetivo general y dar respuesta al problema de investigación.

3.1. Objetivo 1: contrastar la media de las mediciones de distancia obtenidas con el sensor, en el agua, por medio de una prueba de hipótesis de diferencia de medias, para estimar si la medición se ve afectada al pasar de agua limpia a contaminada

Se consideró como limpia el agua proveniente del grifo (AL) y se depositó en un recipiente de vidrio para tomar la medición, sujetando el sensor a la regla y corriendo los programas. Para el agua contaminada se tienen dos casos, uno de agua contaminada con tierra y piedras (ACT); el otro caso es agua combinada con aceite de cocina (ACA), en ambos casos se sujetó nuevamente el sensor a la regla para realizar las mediciones, usando un recipiente de vidrio. A continuación, se desglosan ambos casos.

3.1.1. Agua limpia y agua contaminada con tierra

Para el primer caso (AL y ACT), se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov - Smirnov al conjunto de datos, tanto individual, como grupal y determinar la normalidad o falta de esta en los datos. Los resultados se muestran en las tablas 2 y 3 respectivamente.

Tabla 2.

Prueba Kolmogorov-Smirnov individual

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) AL	0.285	< 0.001
Distancia (cm) ACT	0.236	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 3.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov grupal

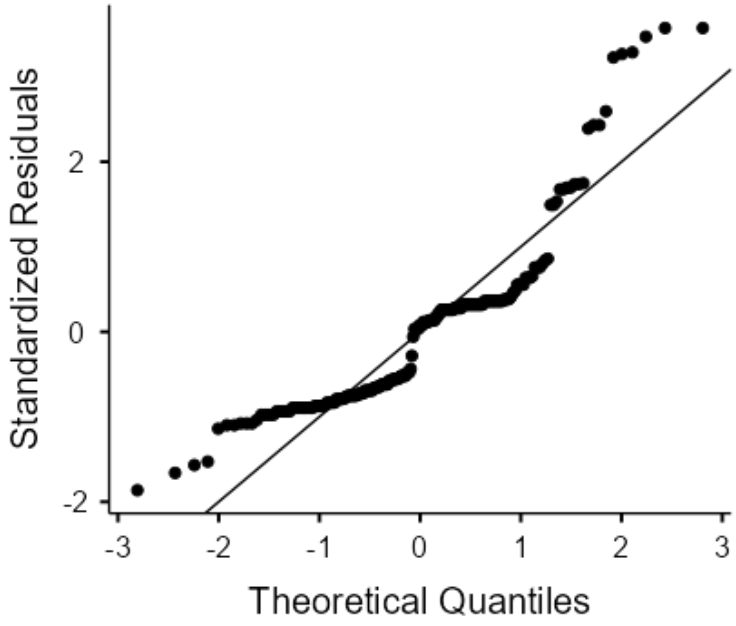
Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) (AL y ACT)	0.163	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

También se realizó el gráfico de Q-Q plot al conjunto de datos grupal para tener una referencia visual de la distribución de los datos, tomando como base los cuantiles teóricos y los residuos estandarizados.

Figura 3.

Gráfico Q-Q plot, conjunto de datos grupal



Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

En la tabla 4 se muestra la estadística descriptiva de los datos utilizados.

Tabla 4.

Estadística descriptiva de los datos AL y ACT

Variable	Grupo	Datos	Media	Mediana	Desviación Estándar
Distancia (cm)	AL	100	22.0	21.7	0.65
	ACT	100	21.9	22.0	0.25

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dada la falta de normalidad en los datos; se aplicó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney al conjunto de datos. Los resultados se resumen en la tabla 5.

Tabla 5.

Resultados, prueba de U Mann Whitnney AL y ACT

Variable	Estadístico	P-valor	Diferencia media
Distancia (cm)	4749	0.539	-0.03

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor obtenido, no se tiene evidencia de que existan diferencias significativas en la estimación de distancias por medio del sensor en ambientes con agua limpia o contaminada con tierra y piedras.

3.1.2. Agua limpia y agua contaminada con aceite

Para el segundo caso (AL y ACA), también se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov al conjunto de datos, tanto individual como grupal y determinar la normalidad o falta de esta en los datos. Los resultados se muestran en las tablas 6 y 7 respectivamente.

Tabla 6.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov individual

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) AL	0.285	< 0.001
Distancia (cm) ACA	0.282	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 7.

Prueba de Kolmogotrov-Smirnov grupal

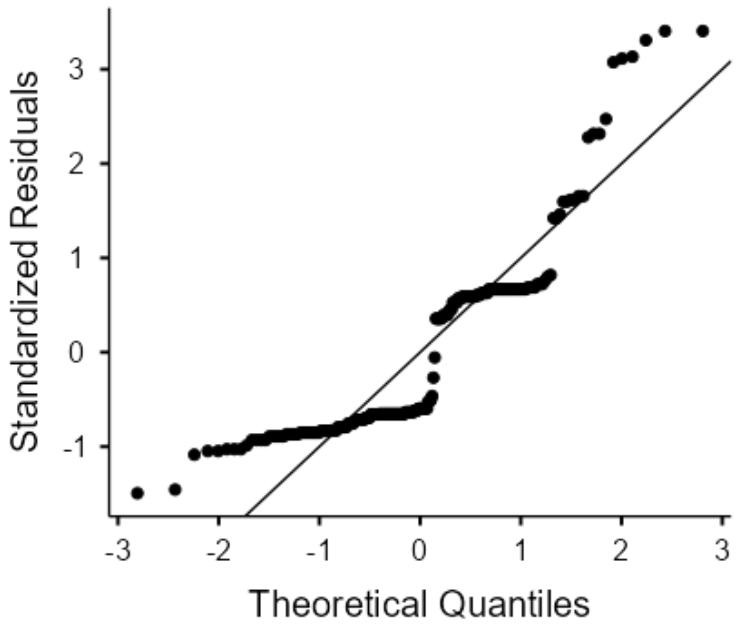
Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) (AL y ACA)	0.255	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

También se realizó el gráfico de Q-Q plot al conjunto de datos grupal para tener una referencia visual de la distribución de los datos, tomando como base los cuantiles teóricos y los residuos estandarizados.

Figura 4.

Gráfico de Q-Q residuos estandarizados



Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

En la Tabla 8 se muestra la estadística descriptiva de los datos utilizados.

Tabla 8.

Estadística descriptiva de los datos AL y ACA

Variable	Grupo	Datos	Media	Mediana	Desviación Estándar
Distancia (cm)	AL	100	22.0	21.7	0.65
	ACA	100	21.4	21.6	0.33

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dada la falta de normalidad en los datos; se aplicó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney al conjunto de datos. Los resultados se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9.

Resultados, prueba U Mann Whitney AL y ACA

Variable	Estadístico	P-valor	Diferencia media
Distancia (cm)	2473	< 0.001	0.59

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor obtenido, se tiene evidencia de que existen diferencias significativas en la estimación de distancias por medio del sensor en ambientes con agua limpia o contaminada con aceite de cocina.

3.2. Objetivo 2: cotejar los resultados del sensor para una distancia, por medio de una prueba de hipótesis la diferencia de medias, para definir si hay diferencia significativa en los valores medidos fuera y dentro del agua

Primero se tomó el agua del grifo y se depositó en un recipiente de vidrio para tomar la medición con el sensor dentro del agua o sumergido (S), sujetando el sensor a la regla y corriendo los programas. Para la segunda parte se tomó nuevamente el recipiente de vidrio sin agua y secó para tomar una nueva medición con el sensor, es decir, se encuentra fuera del agua o no sumergido (NS); se sujetó nuevamente el sensor a la regla para realizar las mediciones.

Se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov al conjunto de datos (NS y S), tanto individual como grupal y así determinar la normalidad o falta de esta en ellos. Los resultados se muestran en las Tablas 10 y 11 respectivamente.

Tabla 10.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov individual

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) NS	0.313	< 0.001
Distancia (cm) S	0.289	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 11.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov grupal

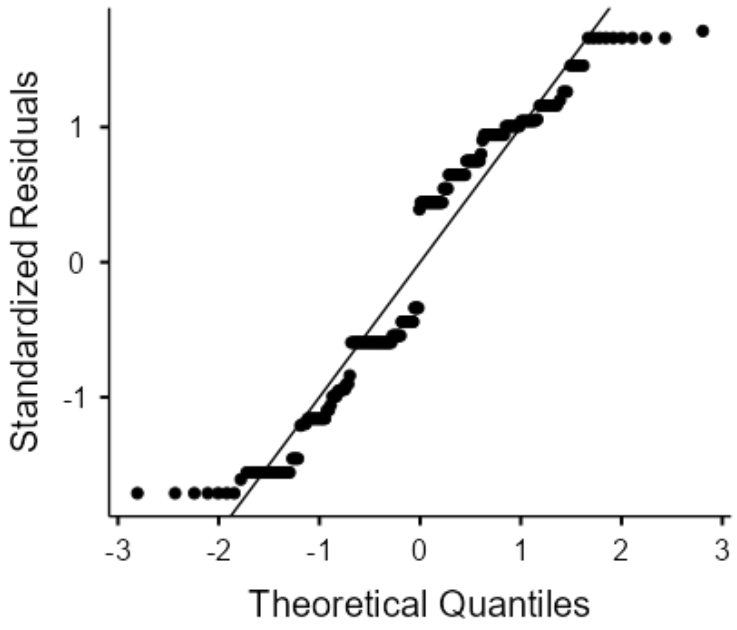
Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) (NS y S)	0.171	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

También se realizó el gráfico de Q-Q plot al conjunto de datos grupal para tener una referencia visual de la distribución de los datos, tomando como base los cuantiles teóricos y los residuos estandarizados.

Figura 5.

Gráfico de Q-Q plot



Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

En la Tabla 12 se muestra la estadística descriptiva de los datos utilizados.

Tabla 12.

Estadística descriptiva de los datos NS y S

Variable	Grupo	Datos	Media	Mediana	Desviación Estándar
Distancia (cm)	NS	100	29.7	29.8	0.21
	S	100	22.1	22.0	0.19

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dada la falta de normalidad en los datos; se aplicó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney al conjunto de datos. Los resultados se resumen en la Tabla 13.

Tabla 13.

Resultados, prueba U Mann Whitney NS y S

Variable	Estadístico	P-valor	Diferencia media
Distancia (cm)	0.00	< 0.001	7.51

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor obtenido, se tiene evidencia de que existen diferencias significativas en la estimación de distancias por medio del sensor en ambientes donde se encuentra sumergido y no sumergido.

3.3. Objetivo 3: comparar el uso de un instrumento básico de medición, como la regla, con el sensor, por medio de un análisis de diferencia de medias para comprobar si las medias de las mediciones son significativamente diferentes

Se utilizó una regla y el sensor se sujetó a está en una medida específica para tomarla como referencia y que esa medida o valor se pudiera comparar con las estimaciones del sensor. Para esto se crearon cuatro ambientes, según la superficie de rebote; siendo, abierto (A), vidrio (V), plástico (P) y con tela (CT), en cada ambiente se sujetó el sensor a la regla para realizar las mediciones. En todos los ambientes se estableció (S) como la medición del sensor y (R) como la medición realizada con la regla, siendo esta de 27.6 centímetros.

3.3.1. Ambiente abierto

En el ambiente abierto, el sensor esta libre y sujetó a la regla, la única superficie de rebote es la madera del escritorio o mesa de trabajo utilizada, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a las mediciones del sensor y a los datos en general.

Tabla 14.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del sensor, ambiente abierto

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) S	0.273	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 15.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov general, ambiente abierto

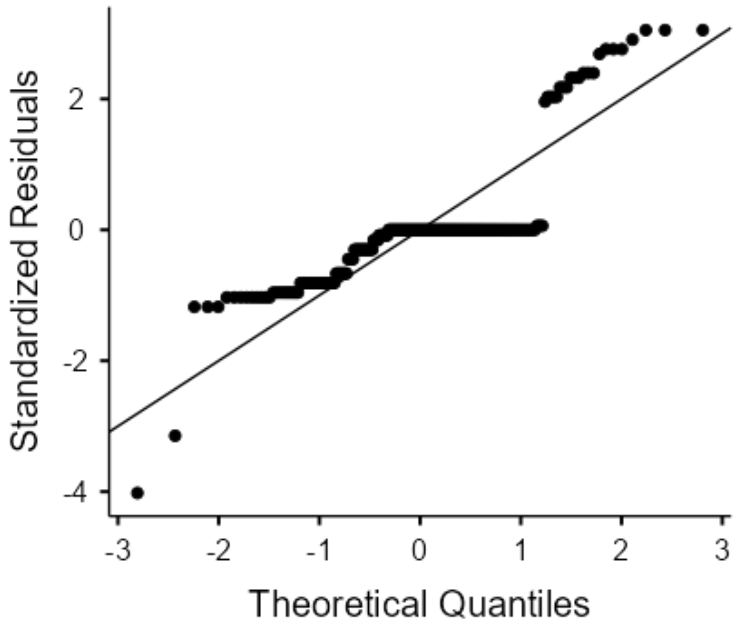
Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) (S y R)	0.375	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

También se realizó el gráfico de Q-Q plot al conjunto de datos grupal para tener una referencia visual de la distribución de los datos, tomando como base los cuantiles teóricos y los residuos estandarizados.

Figura 6.

Gráfico de Q-Q plot conjunto de datos, ambiente abierto



Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

En la Tabla 16 se muestra la estadística descriptiva de los datos utilizados.

Tabla 16.

Estadística descriptiva de los datos S y R, ambiente abierto

Variable	Grupo	Datos	Media	Mediana	Desviación Estándar
Distancia (cm)	S	100	27.4	27.3	0.194
	R	100	27.6	27.6	0.00

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dada la falta de normalidad en los datos; se aplicó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney al conjunto de datos. Los resultados se resumen en la Tabla 17.

Tabla 17.

Resultados, prueba de U Mann Whitney S y R, ambiente abierto

Variable	Estadístico	P-valor	Diferencia media
Distancia (cm)	2200	< 0.001	-0.30

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor obtenido, se tiene evidencia de que existen diferencias significativas en la estimación de distancias por medio del sensor en un ambiente abierto comparado con la medida de una regla.

3.3.2. Ambiente de vidrio

En el ambiente de vidrio el sensor se encuentra dentro del recipiente de vidrio y sujetó a la regla, la superficie de rebote es el fondo de vidrio del recipiente

utilizado, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a las mediciones del sensor y a los datos en general.

Tabla 18.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del sensor, ambiente de vidrio

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) S	0.262	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 19.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov general, ambiente de vidrio

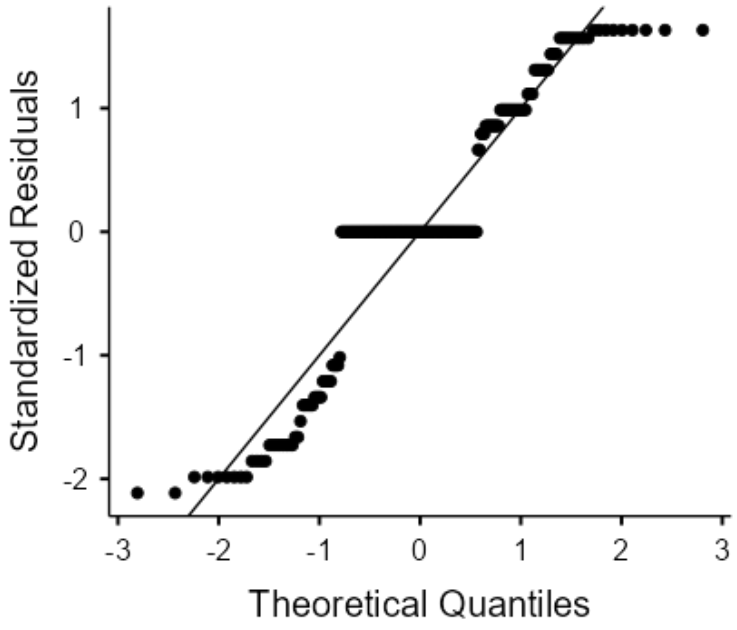
Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) (S y R)	0.285	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

También se realizó el gráfico de Q-Q plot al conjunto de datos grupal para tener una referencia visual de la distribución de los datos, tomando como base los cuantiles teóricos y los residuos estandarizados.

Figura 7.

Gráfico de Q-Q plot, conjunto de datos, ambiente vidrio



Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

En la tabla 20 se muestra la estadística descriptiva de los datos utilizados.

Tabla 20.

Estadística descriptiva de los datos S y R, ambiente vidrio

Variable	Grupo	Datos	Media	Mediana	Desviación Estándar
Distancia (cm)	S	100	26.7	26.8	0.219
	R	100	27.6	27.6	0.00

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dada la falta de normalidad en los datos; se aplicó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney al conjunto de datos. Los resultados se resumen en la Tabla 21.

Tabla 21.

Resultados, prueba de U Mann Whitney S y R ambiente vidrio

Variable	Estadístico	P-valor	Diferencia media
Distancia (cm)	0.00	< 0.001	-0.76

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor obtenido, se tiene evidencia de que existen diferencias significativas en la estimación de distancias por medio del sensor en un ambiente de vidrio comparado con la medida de una regla dentro del mismo ambiente.

3.3.3. Ambiente plástico

En el ambiente de plástico el sensor se encuentra dentro del recipiente plástico y sujetó a la regla, la superficie de rebote es el fondo de plástico del recipiente utilizado, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a las mediciones del sensor y a los datos en general.

Tabla 22.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del sensor ambiente plástico

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) S	0.452	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 23.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov general ambiente plástico

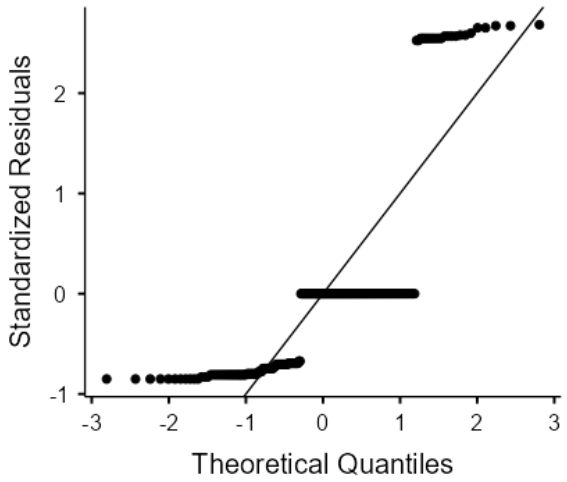
Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) (S y R)	0.385	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

También se realizó el gráfico de Q-Q plot al conjunto de datos grupal para tener una referencia visual de la distribución de los datos, tomando como base los cuantiles teóricos y los residuos estandarizados.

Figura 8.

Gráfico de Q-Q plot, conjunto de datos, ambiente plástico



Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

En la tabla 24 se muestra la estadística descriptiva de los datos utilizados.

Tabla 24.

Estadística descriptiva de los datos S y R ambiente plástico

Variable	Grupo	Datos	Media	Mediana	Desviación Estándar
Distancia (cm)	S	100	28.1	27.4	1.36
	R	100	27.6	27.6	0.00

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dada la falta de normalidad en los datos; se aplicó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney al conjunto de datos. Los resultados se resumen en la Tabla 25.

Tabla 25.

Resultados, prueba de U Mann Whitney S y R ambiente plástico

Variable	Estadístico	P-valor	Diferencia media
Distancia (cm)	2300	< 0.001	-0.25

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor obtenido, se tiene evidencia de que existen diferencias significativas en la estimación de distancias por medio del sensor en un ambiente plástico comparado con la medida de una regla dentro del mismo ambiente.

3.3.4. Ambiente con tela (caso 1)

El ambiente con tela se puede tomar como un ambiente abierto, el sensor esta libre y sujetó a la regla, la diferencia radica en agregar la tela, es decir, la superficie de rebote es la madera del escritorio o mesa de trabajo más la tela, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a las mediciones del sensor y a los datos en general.

Tabla 26.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del censo con tela caso 1

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) S	0.177	0.004

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 27.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov general ambiente con tela caso 1

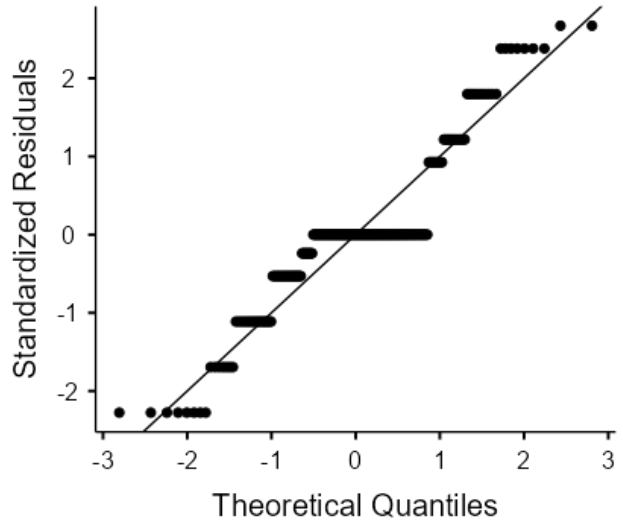
Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) (S y R)	0.305	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

También se realizó el gráfico de Q-Q plot al conjunto de datos grupal para tener una referencia visual de la distribución de los datos, tomando como base los cuantiles teóricos y los residuos estandarizados.

Figura 9.

Gráfico de Q-Q plot conjunto de datos ambiente con tela caso 1



Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

En la Tabla 28 se muestra la estadística descriptiva de los datos utilizados.

Tabla 28.

Estadística descriptiva de los datos S y R ambiente con tela caso 1

Variable	Grupo	Datos	Media	Mediana	Desviación Estándar
Distancia (cm)	S	100	27.8	27.8	0.049
	R	100	27.6	27.6	0.00

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dada la falta de normalidad en los datos; se aplicó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney al conjunto de datos. Los resultados se resumen en laTabla 29.

Tabla 29.

Resultados prueba de U Mann Whitnney S y R ambiente con tela caso 1

Variable	Estadístico	P-valor	Diferencia media
Distancia (cm)	0.00	< 0.001	0.20

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor obtenido, se tiene evidencia de que existen diferencias significativas en la estimación de distancias por medio del sensor en un ambiente abierto con doble superficie, madera y tela, comparado con la medida de una regla.

3.3.5. Ambiente con tela (caso 2)

El ambiente con tela se puede definir como un ambiente abierto, dado que el sensor se sujetó a la regla en 27.6 centímetros y esta se colocó en la orilla del escritorio o mesa de trabajo; allí mismo se colocó la tela estirada (superficie adicional entre el sensor y el suelo), la distancia del escritorio al suelo (piso

cerámico) es de 73.9 centímetros, significa que de la posición del sensor al suelo hay 101.5 centímetros, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a las mediciones del sensor y a los datos en general.

En promedio, la medición del sensor fue 98.5 centímetros, por esta razón, el contraste de la medición del sensor será con la distancia total, es decir, la posición del sensor hasta el suelo.

Tabla 30.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov en mediciones del sensor ambiente tela caso 2

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) S	0.223	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 31*.*

Prueba de Kolmogorov-Smirnov general ambiente con tela caso 2

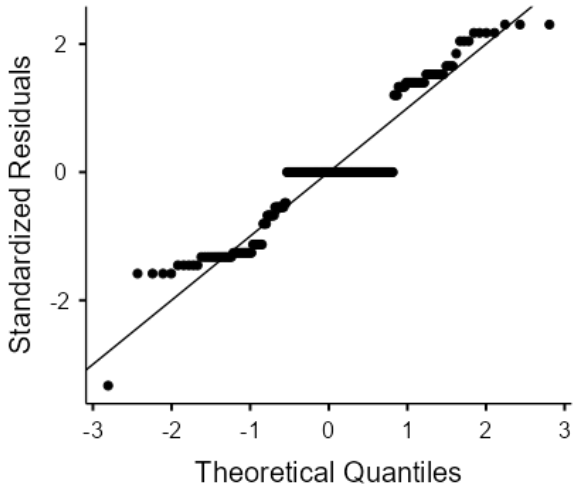
Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm) (S y R)	0.295	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

También se realizó el gráfico de Q-Q plot al conjunto de datos grupal para tener una referencia visual de la distribución de los datos, tomando como base los cuantiles teóricos y los residuos estandarizados.

Figura 10.

Gráfico de Q-Q plot, conjunto de datos ambiente con tela caso 2



Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

En la Tabla 32 se muestra la estadística descriptiva de los datos utilizados.

Tabla 32.

Estadística descriptiva de los datos S y R ambiente con tela caso 2

Variable	Grupo	Datos	Media	Mediana	Desviación Estándar
Distancia (cm)	S	100	98.5	98.4	0.219
	R	100	102	102	0.00

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dada la falta de normalidad en los datos; se aplicó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney al conjunto de datos. Los resultados se resumen en la Tabla 33.

Tabla 33.

Resultados prueba de U Mann Whitney S y R ambiente con tela caso 2

Variable	Estadístico	P-valor	Diferencia media
Distancia (cm)	0.00	< 0.001	-3.10

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor obtenido, se tiene evidencia de que existen diferencias significativas en la estimación de distancias por medio del sensor en un ambiente con superficie tela interpuesta en el espacio, comparado con la medida de una regla dentro del mismo ambiente.

3.4. Objetivo general: aplicar pruebas de diferencia de medias en las mediciones del sensor ultrasónico JSN-SR04T, para identificar su comportamiento y evaluar su desempeño en diferentes ambientes

Se desarrollaron las pruebas con el sensor en cada uno de los ambientes planteados previamente, de esta forma se evaluó su desempeño; haciendo constar que, a excepción de la prueba entre agua limpia y agua contaminada con tierra, con un 95 por ciento de confianza, hay evidencia de diferencias significativas en las mediciones del sensor en función de los ambientes en que se encuentre o si se compara su resultado con el de un instrumento básico como la regla, presentando un resumen a través del ANOVA no paramétrico de Kruskal Wallis; así mismo, se identificó que el sensor presenta un comportamiento lineal, esto por medio del análisis de regresión.

3.4.1. ANOVA Kruskal Wallis

Todo el conjunto de pruebas, sabiendo de los análisis previos la falta de normalidad en los datos, se dividió en tres análisis de varianza no paramétrica, según los objetivos.

Tabla 34.

Prueba de Kruskal Walis según el tipo de agua

Variable	χ^2	Grados de libertad	P-valor
Distancia (cm)	76.4	2	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

De esta forma se sabe que hay diferencia entre alguna de las variables, logrando identificar estas variables por medio de la comparación por pares.

Tabla 35.

Comparación por pares DSCF según tipo de agua

Variable	Par	Estadístico	P-valor
Distancia (cm)	AL – ACT	0.870	0.812
	AL – ACA	-8.748	< 0.001
	ACT – ACA	-12.433	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Solo entre agua limpia y agua contaminada con tierra no hay diferencias significativas mientras que en los demás pares si existe diferencia significativa.

Tabla 36.

Prueba de Kruskal Walllis sensor sumergido y no sumergido

Variable	χ^2	Grados de libertad	P-valor
Distancia (cm)	150	1	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

De esta forma se sabe que hay diferencia significativa cuando el sensor está sumergido y cuando no lo está, al ser solo dos variables, no se hizo uso de la comparación por pares.

Tabla 37.

Prueba de Kruskal Wallis según el tipo de ambiente

Variable	χ^2	Grados de libertad	P-valor
Distancia (cm)	301	3	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

De esta forma se sabe que hay diferencia entre alguna de las variables, logrando identificar estas variables por medio de la comparación por pares.

Tabla 38.

Comparación por pares DSCF según tipo de ambiente

Variable	Par	Estadístico	P-valor
Distancia (cm)	A – V	-17.04	< 0.001
	A – P	6.16	< 0.001
	A – CT	16.99	< 0.001
	V – P	17.30	< 0.001
	V – CT	17.30	< 0.001
	P – CT	9.35	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Para todos los casos hay diferencias significativas, el desempeño del sensor puede variar según la superficie de rebote que encuentre dentro de su ambiente de operación.

3.4.2. Análisis de regresión

Para este análisis se utilizaron las variables de tiempo y distancia obtenidas, iniciando por su tipo de distribución.

Tabla 39.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para regresión

Datos	Estadístico	P-valor
Distancia (cm)	0.273	< 0.001
Tiempo (µs)	0.267	< 0.001

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Ninguna de las variables en normal y por eso se utilizó el coeficiente de Spearman, tomando como hipótesis nula que las variables estén correlacionadas positivamente.

Tabla 40.

Correlación de Spearman

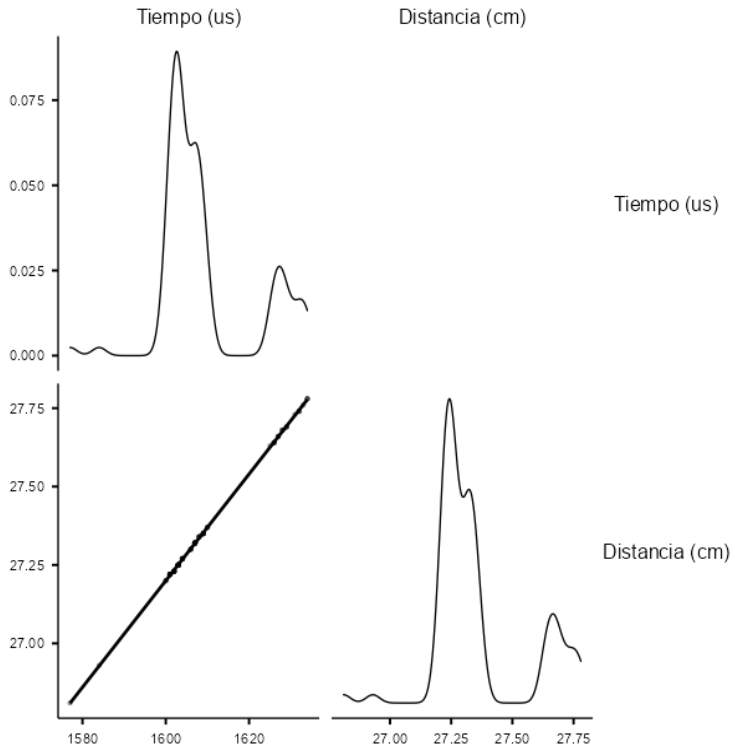
Spearman (ρ)	P-valor
1.0	1.0

Nota. Resultados de la prueba en Jamovi para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dado el P-valor, no se rechaza la hipótesis nula, por lo que las variables si están correlacionadas de manera positiva, con forme aumenta el tiempo, aumenta la distancia. Esto se puede apreciar en la Figura 11.

Figura 11.

Gráfico de correlación y densidades



Nota. Gráfico de correlación y densidad para las variables tiempo y distancia. Elaboración propia, realizado con Jamovi.

Sabiendo que las variables esta correlacionadas se procedió con las pruebas de regresión para obtener un modelo que represente esa correlación.

Tabla 41.

Análisis de regresión

Variable	N	R^2	ECMP	AIC	BIC
Distancia (cm)	100	0.999835	0.000007	-909.522541	-901.707030

Nota. Resultados de la prueba en Infostat para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

El coeficiente de determinación R^2 muestra que hay un buen ajuste y que el 99.98 % de la varianza de la variable dependiente (distancia) esta siendo explicada por la regresión, un error cuadrático medio de predicción muy bajo, al igual que los criterios de información son bajos y negativos.

Tabla 42.

Coeficientes de regresión

Coeficiente	**Estadístico**	**Limite Inf.**	**Limite Sup.**	**P-valor**	**Error Estan.**
Constante	0.007975	-0.062534	0.078485	0.8229	0.035530
Tiempo (µs)	0.016995	0.016951	0.017039	< 0.001	0.000022

Nota. Resultados de la prueba en Infostat para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

Dados los resultados, se tiene el siguiente modelo.

$$Distancia\ (cm) = 0.016995 * Tiempo\ (\mu s) + 0 \quad \text{(Ec. 49)}$$

Desde el punto de vista de la varianza, se tiene un valor F elevado, correspondiente a la bondad de ajuste.

Tabla 43.

Cuadro de análisis de la varianza

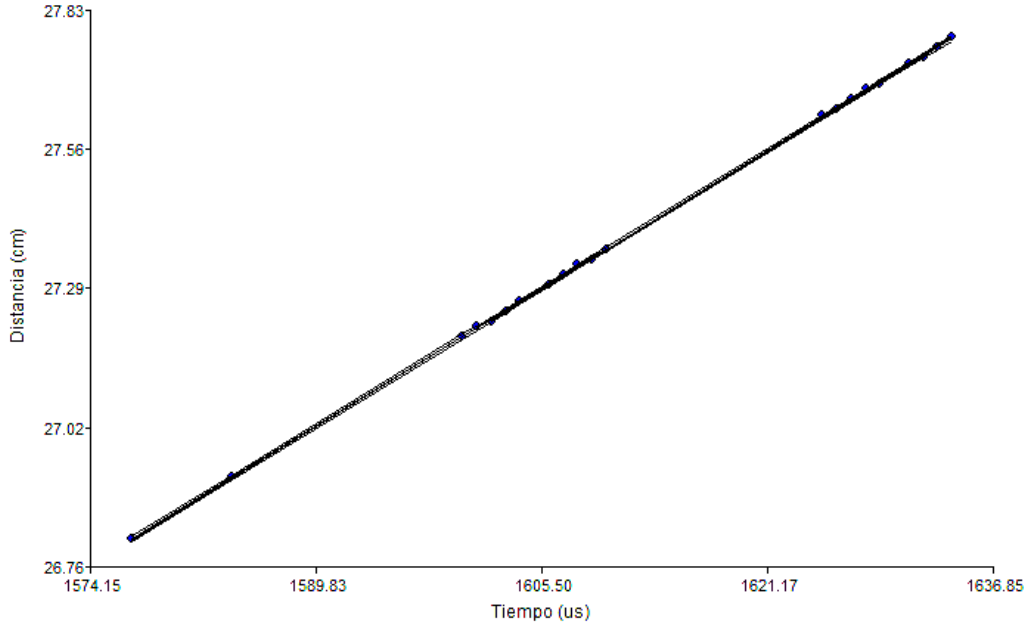
Factor de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-valor
Modelo	3.741785	1	3.741785	592711.248	<0.001
Tiempo ($\boldsymbol{\mu s}$)	3.741785	1	3.741785	592711.248	<0.001
Error	0.000619	98	0.000006		
Total	3.742404	99			

Nota. Resultados de la prueba en Infostat para los datos utilizados. Elaboración propia, realizado con Word.

A continuación, las gráficas asociadas al análisis de regresión.

Figura 12.

Ajuste de las variables

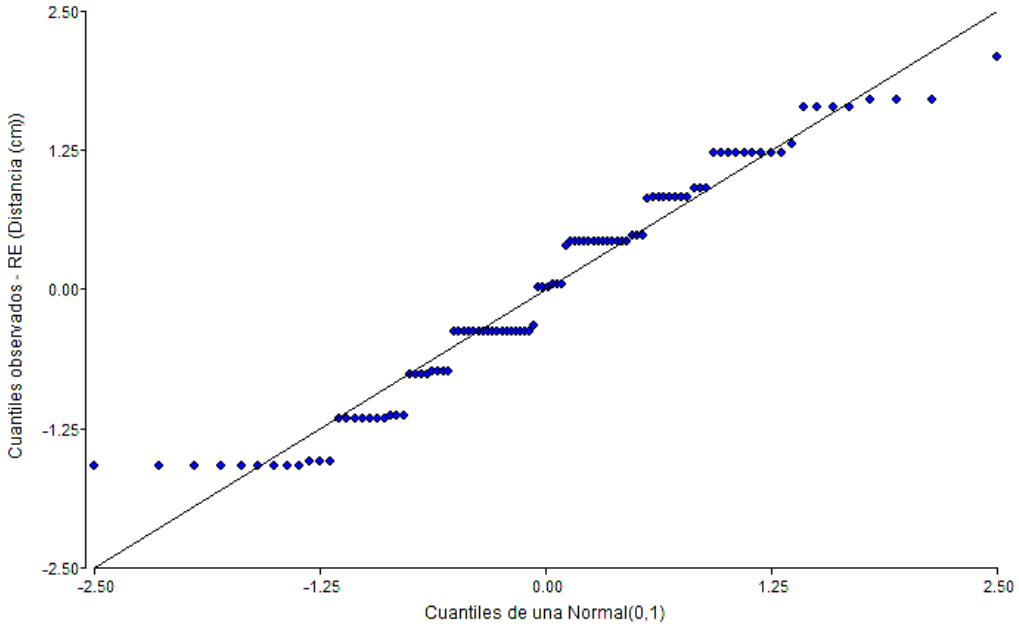


Nota. Gráfico del ajuste entre la variable independiente y dependiente. Elaboración propia, realizado con Infostat.

Con respecto a la normalidad de residuos se tomarán en cuenta los siguientes gráficos.

Figura 13.

Q-Q plot residuos estudentizados

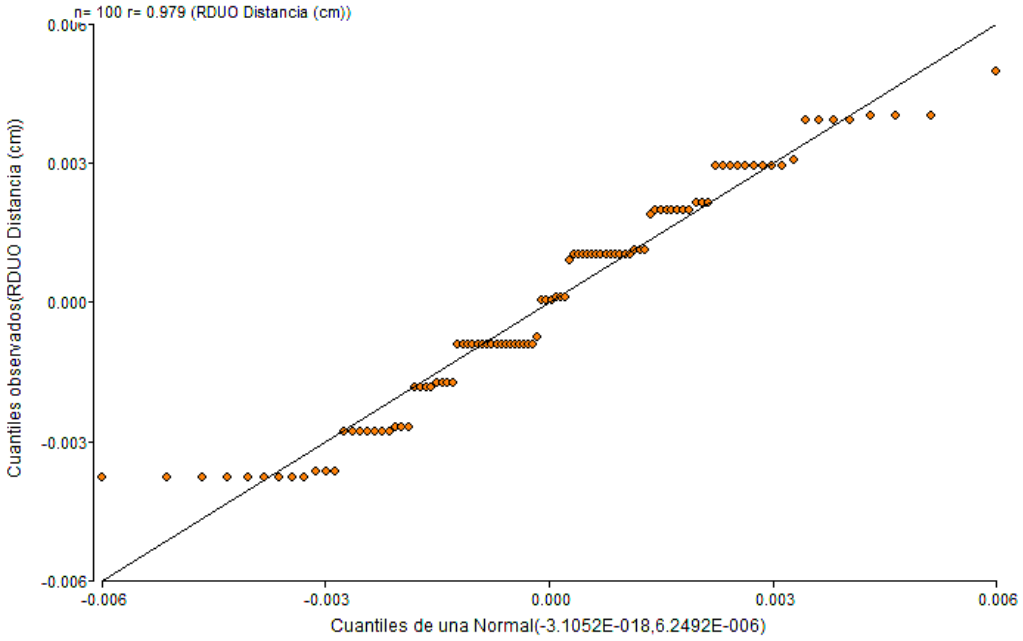


Nota. Gráfico de cuantiles y residuos estandarizados. Elaboración propia, realizado con Infostat.

Los residuos estudentizados presentan falta de normalidad, pero hay simetría en la forma de los puntos, esto representa una media cero.

Figura 14.

Q-Q plot residuos absolutos

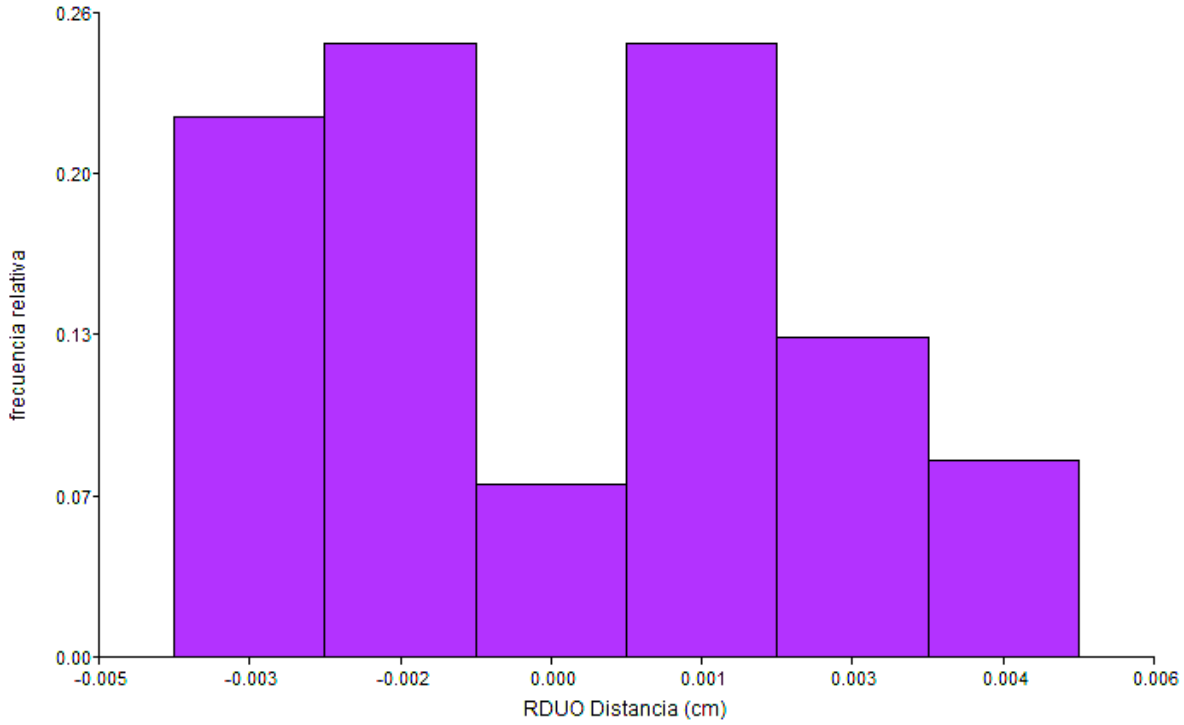


Nota. Gráfico de cuantiles y residuos absolutos. Elaboración propia, realizado con Infostat.

Los residuos absolutos no tienen una distribución normal, igual que el gráfico anterior, hay simetría en los puntos, estos residuos también tienen media cero. Esta simetría se puede ver también en el histograma de la Figura 15.

Figura 15.

Histograma de residuos absolutos

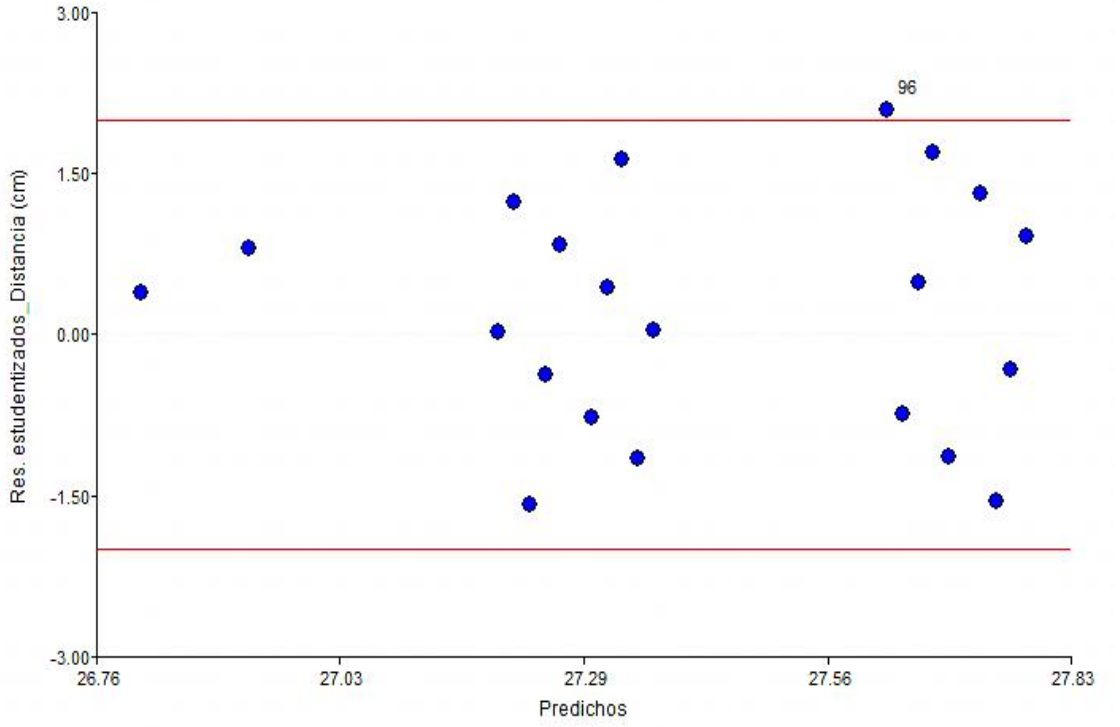


Nota. Histograma de los residuos absolutos. Elaboración propia, realizado con Infostat.

Por último, para la igualdad de varianzas e independencia se utilizó el análisis gráfico.

Figura 16.

Residuos - predichos



Nota. Gráfico de residuos contra predichos. Elaboración propia, realizado con Infostat.

Los puntos dentro del gráfico no muestran ningún patrón especifico por lo que hay homocedasticidad e independencia entre los residuos.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de la investigación fue aplicar pruebas de diferencia de medias en las mediciones del sensor ultrasónico JSN-SR04T, para identificar su comportamiento y evaluar su desempeño en diferentes ambientes, dados los resultados expuestos, se presentan los siguientes análisis.

4.1. Análisis interno

Dadas las características del estudio, a lo largo del desarrollo de las pruebas para responder a los objetivos, se realizaron análisis descriptivos, pruebas de normalidad, pruebas de diferencia de medias, análisis de varianza, correlaciones y una prueba de regresión lineal, durante la ejecución se fueron encontrando limitaciones y áreas de oportunidad, las cuales se presentan a continuación.

Durante el desarrollo del primer objetivo la limitante fue la cantidad de recipientes que se pudieron utilizar, esto por las dimensiones de estos, porque pueden ser muy grandes o pequeños, se utilizó uno de vidrio con el que fue posible depositar el agua limpia, contaminada, incluir el sensor y que cumplía con una altura superior a los 20 cm para realizar las mediciones. La cantidad de datos era superior a los 50 valores, por esto, la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (capitulo 2, sección 7.1.9.1.) fue la más adecuada, resultando que los datos no siguen una distribución normal, por esta razón se empleó la prueba de U Mann Whitney tanto para el caso 1 (sección 3.1.1.) como para el caso 2 (sección 3.1.2.).

Para el caso 1 se obtuvo un P-valor de 0.539, al ser mayor a 0.05, no hay diferencias significativas entre las mediciones; pero por la limitante del recipiente solo fue posible agregar 5 cm de tierra al agua para contaminarla, es posible que al ser una altura pequeña no se afecte la medición y por eso no haya diferencia, pero con un recipiente de mayor altura o volumen sería factible agregar más tierra y realizar la prueba de U Mann Whitney nuevamente. En el caso 2 se utilizó aceite como liquido inmiscible y se obtuvo un P-valor menor a 0.001, que es mucho menor a 0.05, por lo que, si hay diferencias significativas, esta prueba podría realizarse con otros líquidos inmiscibles como petróleo o jabón líquido, pero económicamente y por el desperdicio de los recursos no fue posible.

Para el segundo objetivo la limitante vuelve a ser el recipiente, ya que solo el de vidrio podría usarse con agua. Se optó por la prueba de Kolmogorov-Smirnov nuevamente ya que los datos superan las 50 unidades y por medio de U Mann Whitney, con un P-valor menor a 0.001, mucho menor que la significancia 0.05, indica que hay diferencias significativas cuando el sensor está sumergido y cuando no lo está. Estas diferencias pueden deberse a que las ondas se comportan de forma distinta en agua que fuera del agua, pueden sufrir reflexión, refracción o difusión, así mismo se podría buscar un valor distinto a la velocidad del sonido en el aire que pueda corregir esa diferencia en la medición del sensor al estar sumergido. Quedando la oportunidad para que con recipientes de mayor volumen y diferente material se pueda probar si hay diferencias en las mediciones al momento de realizar las mediciones.

Para el tercer objetivo no se hace uso de líquidos, al ser más de 50 datos nuevamente se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, resultado que los datos no son normales, se compararon los ambientes por pares con la prueba de U Mann Whitney y para cada ambiente (abierto, vidrio, plástico y con tela) se identificaron evidencias significativas ya que el P-valor fue menor a 0.001 en

todos, por lo que el material en el que se encuentra operando el sensor afecta sus mediciones, siendo el vidrio el que mayor diferencia media presenta, 0.76 cm entre la medición del sensor y la de la regla y la tela la que menos diferencia media tiene, 0.20 cm, significa que el vidrio generar más pérdida de la energía de la onda comparado con los otros materiales. Más que una limitante o un error, es importante considerar que la regla utilizada es metálica, al estar el sensor sujeto a la misma, no se sabe si el material de la regla afecta la onda y la medición.

Por último, el objetivo general, se realizó la prueba de Kruskal Wallis para identificar diferencias en más de dos variables, comparando todas contra todas; así, para el primer objetivo, se corroboró que agua limpia y agua contaminada con tierra no presentan diferencias significativas y que entre las dos aguas contaminadas (tierra y aceite) también hay diferencias (ver Tabla 35), para el tercer objetivo, las mediciones en los diferentes ambientes son diferentes entre sí, todos los P-valores son menores a 0.001, cada material genera diferente comportamiento sobre la onda y por esto las distancias medidas varían significativamente.

Para el análisis de regresión se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov a los datos, estos no son normales, a pesar de esto, es posible hacer la regresión, luego un análisis de correlación de Spearman cuyo P-valor fue de 1, así que entre el tiempo de viaje de la onda y la distancia estimada hay una correlación lineal positiva, conforme una aumenta la otra también lo hará, esto era de esperarse puesto que a mayor tiempo de viaje de la onda, significa que más distancia está recorriendo y por ende, la distancia sería mayor que la de un tiempo de viaje menor, independiente del material o si está sumergido el sensor, esta linealidad positiva entre las dos variables se mantiene. Sabiendo que hay linealidad se realizó la regresión; este análisis presentó un R^2 de 99.98 %, por lo que hay un

excelente ajuste del modelo y la varianza de la variable distancia se explica en ese mismo porcentaje, el excelente ajuste se manifiesta también en el ECMP (0.000007), siendo un valor muy cercano a cero y los criterios de información AIC y BIC (-909.52 y -901.71) que son muy pequeños, menores a cero.

La ecuación, Ec. 49, que ajusta los datos coincide con la ecuación planteada con el fabricante, Ec. 48, los residuos tienen homocedasticidad e independencia, ahora bien, con relación a la normalidad de los residuos estudentizados parece que se desvían de la normalidad, pero los puntos presentan cierta simetría, dados los resultados de la regresión se prefirió revisar los residuos absolutos, estos presenta cierta simetría en el Q-Q plot y se puede apreciar que los valores son muy pequeños, su media es cero y su varianza es minúscula (0.00000625), prácticamente insignificante, se agregó el histograma de residuos absolutos mostrando lo cerca que están del cero y mostrando nuevamente cierta simetría por lo que los sesgos se compensan, un punto tiene un reflejo al otro lado de la distribución y por eso la media no se cambia y sigue siendo cero, por esta razón se desestima el supuesto de normalidad de los residuos y se toma como valido el modelo que representa el comportamiento de los datos.

4.2. Análisis externo

Tomando como punto de partida el marco referencial, el uso de sensores ultrasónicos es muy amplio, desde usos básicos como prácticas de laboratorio hasta usos específicos en ahorro de recursos vitales como el agua.

Alvarado et al. (2016), presentan un dispositivo para ayudar a personas invidentes, detectando obstáculos presentes, hacen uso de un arreglo de 3 sensores ultrasónicos. Para este estudio se tuvo la limitante en los tamaños de

los recipientes, sobre todo en las pruebas que involucraban agua, debido a esto se optó por el uso de un solo sensor para la estimación de distancias.

Martínez (2016), realiza un experimento basado en pruebas para un sensor ultrasónico HC-SR04 y la medición de distancias, por medio de gráficas de dispersión, sin pruebas estadísticas, llega a la conclusión de que hay variación significativa. A pesar de que el modelo es distinto y excluyendo los ambientes con agua, en este estudio, a través de las pruebas estadísticas de diferencia de medias, se llegó a la misma conclusión que Martínez (2016), dependiendo de los ambientes y la superficie de rebote, las estimaciones de distancia son significativamente diferentes por fenómenos como reflexión, refracción o difusión que afectan a la onda.

Para Orozco et al., (2014), en su prototipo de modelado 3D, aunque no especifican el modelo de sensor, llegan a la conclusión de que hubo errores relacionados a la forma de los objetos y por las vibraciones del sistema. A través del estudio, se tiene concordancia con Orozco et al., (2014), la forma cilíndrica y cuadrada de los recipientes usados en los ambientes generan cambios en las mediciones, la posición en la que se coloca el sensor también puede afectar las mismas.

Restrepo et al., (2000), se enfocaron en mediciones de nivel, relacionadas a dos líquidos que no se pueden mezclar, no hay modelo especificado, pero, se sabe que una onda o vibración cuando cambia de medio, una parte de su energía se refleja y la otra pasa al siguiente medio; esto es justamente lo que ocurrió en la prueba con agua limpia y contaminada con aceite, al ser agua y aceite dos líquidos inmiscibles, se tienen dos medios de propagación, esto genera que las mediciones sean distintas para la estimación de una misma distancia si se compara solo con agua.

Velasco et al., (2021), también desarrollan un medidor de nivel de agua, no se mencionan pruebas estadísticas ni pruebas en distintos contenedores, utilizan el mismo modelo de sensor, JSN-SR04T, mencionan una distancia mínima de 20 cm. Por medio de este estudio y desde el punto de vista electrónico, el sensor funciona muy bien, independientemente del tiempo que pase sumergido o activo, en cada prueba realizada, se intentó hacer mediciones menores a 20 cm, pero la respuesta del sensor fue inadecuada, mostrando distancias muy elevadas, la distancia máxima de 4.5 m no fue posible de corroborar ya que no se contaba con el espacio suficiente. Desde el punto de vista estadístico, dependiendo del material del contenedor y si el sensor este o no sumergido, las estimaciones de distancias van a variar significativamente.

Por último, Yedra (2019), realizó un sistema que adapta la cantidad de lúmenes según la distancia que presente una luminaria con el área de trabajo, carece de pruebas en la certeza de las distancias estimadas por el sensor, esto permite especular que el sensor funcionara bien independientemente del material. Con los resultados presentados en el capítulo 3 se identifica que dependiendo de la superficie de rebote las distancias pueden variar y esto afectaría directamente cualquier sistema que dependa de la distancia que este pueda estimar.

CONCLUSIONES

1. Se contrastó la media de las mediciones del sensor en el agua por medio de la prueba no paramétrica de U Mann Whitney, al evaluar que, entre agua limpia y contaminada con tierra, al 95 % de confianza y un P-valor de 0.539, no hay evidencia de diferencias significativas en la medición de distancia, así mismo, entre agua limpia y contaminada con aceite, al 95 % de confianza y un P-valor menor a 0.001, si hay evidencia de diferencias significativas en la medición de distancia.

2. Se cotejaron los resultados del sensor para una distancia por medio de la prueba no paramétrica de U Mann Whitney, definiendo al 95 de confianza con un P-valor menor a 0.001, hay evidencia de diferencias significativas en la medición de distancia cuando el sensor se encuentra sumergido y cuando no lo está.

3. Se comparó el uso de una regla y el sensor; primero con la prueba no paramétrica de U Mann Whitney y luego por medio del análisis de varianza con la prueba de Kruskal Wallis, comprobando al 95 % de confianza y P-valores menores a 0.001, que hay diferencias significativas en las mediciones entre ambos instrumentos, tanto en ambiente abierto como en ambiente con superficie de vidrio, plástico y tela, siendo el vidrio el que más afecta las mediciones generando una diferencia media de 0.76 centímetros.

4. Se aplicaron pruebas de diferencia de medias en las mediciones del sensor ultrasónico JSN-SR04T, identificando una correlación positiva, ρ

de Spearman igual a 1, un comportamiento lineal entre el tiempo de rebote de la onda y la estimación de distancia; evaluando el desempeño del sensor, observando que en función del ambiente y superficie de rebote las estimaciones del sensor varían de forma significativa.

RECOMENDACIONES

1. Incorporar más tipos de agua contaminada con líquidos inmiscibles, como el petróleo o jabón líquido, a la prueba para contrastar la media de las mediciones del sensor para estimar si hay diferencias significativas entre ellas, el contraste podría realizarse a través de un análisis de varianza.

2. Repetir la prueba con materiales distintos al vidrio, de preferencia, que no sean transparentes y que sean de mayor volumen para cotejar los resultados del sensor para la medición de una distancia y definir si hay diferencias significativas en las distancias cuando el sensor está sumergido y cuando no lo está.

3. Desarrollar ambientes con recipientes de vidrio, plástico y otros tipos de tela que tengan una forma, grosor y volumen distinto a los utilizados en este estudio para comparar el uso del sensor con un instrumento básico de medición, así como se realizó con la regla, para comprobar si las medias de las mediciones son significativamente diferentes.

4. Aplicar las mismas pruebas de diferencia de medias, pero, sobre un arreglo de sensores del mismo modelo para identificar el comportamiento, evaluar el desempeño de este en diferentes ambientes e indicar si hay mejoría.

REFERENCIAS

Alvarado, J. D., & Mosquera, V. H. (2016). Sistema de detección de obstáculos para invidentes. *Visión Electrónica algo más que un estado sólido*, 10(1), 96-101. https://doaj.org/article/25d85c62ae5d43fab1da87cd65f70b35

Barreto Villanueva, A. (2012). El progreso de la Estadística y su utilidad en la evaluación del desarrollo. *Papeles de población*, 18(73), 1-31. https://www.scielo.org.mx/pdf/pp/v18n73/v18n73a10.pdf

Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores Aplicaciones con Arduino*. Grupo Editorial Patria.

Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial*. Alfaomega.

Devore, J. (2008). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

Escamilla Esquivel, A. (2014). *Metrología y sus aplicaciones*. Grupo Editorial Patria.

González, Y., Pérez, J., & Dunia, E. (2018). Diseño de un sistema de adquisición y procesamiento de datos con el uso de multisensores para laboratorios de física universitarios. *Revista Ingeniería UC*, 25(1), 76-85. https://doaj.org/article/9485e8ab9ea24d8e933a15f0b5407e4f

Granda Miguel, M., & Mediavialla Bolado, E. (2015). *Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal*. Universidad de Cantabria.

Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill Interamericana S.A. de C.V.

Helfrick, A. D., & Cooper, W. D. (1991). *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. Prentice Hall Hispanoamérica S.A.

Lozano Barrón, J. J., Vergara Villegas, O. O., Noriega Morales, S., Cruz Sánchez, V. G., (2020). Evaluación del desempeño de sensores infrarrojo, ultrasónico y visión para el conteo de vehículos. *Research in Computing Science,* 149(11), 327. https://www.rcs.cic.ipn.mx/rcs/2020_149_11/RCS_149_11_2020.pdf

Marbán, R. M., & Pellecer C, J. A. (2002). *Metrología para no-metrólogos*. Producción y Servicios Incorporados S.A.

Martínez Fuentes, V. (2016). *Introducción a la plataforma Arduino y al Sensor ultrasónico HC-SR04: experimentado en una aplicación para medición de distancias.* [Tesis de grado, Universidad Carlos III de Madrid.]. Archivo digital. https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/22916

Melo, O. O., López, L. A., & Melo, S. E. (2020). *Diseño de experimentos Métodos y aplicaciones*. Universidad Nacional de Colombia. http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Estadistica/Diseno_de_Experimentos/DisenodeExperimentos.pdf

Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa S.A. de C.V.

Nahuamel Sarce, D. A., Ortega Álvarez, R., & Arangure T, E. (2020). *Programación en arduino para recorrido de un carrito robot usando sensor ultrasónico (octubre de 2020)*. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/344844091_Robot_autonomo_que_esquiva_objetos_mediante_un_sensor_ultrasonico

Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros*. McGraw-Hill Interamericana S.A de C.V.

Orozco Quiceno, J. A., Romero Acero, Á., Marín Cano, A., & Jiménez Builes, J. A. (2014). Modelado 3D de objetos usando Matlab mediante sensor ultrasónico. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(23). 12-23 https://www.researchgate.net/publication/268206896_MODELADO_3D_DE_OBJETOS_USANDO_MATLAB_MEDIANTE_SENSOR_ULTRASONICO

Restrepo Girón, A., Millán Barco, J., Barandica López, A., & Caicedo Bravo, E. (2000). *Medición de nivel en líquidos inmiscibles con un sensorultrasónico inteligente*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/279752617_MEDICION_DE_NIVEL_EN_LIQUIDOS_INMISCIBLES_CON_UN_SENSOR_ULTRASONICO_INTELIGENTE

Reyes Calderón, M. A. (2019). *Propuesta y desarrollo de prácticas sobre el uso y programación de controladores lógicos programables, para el*

mejoramiento en el área de automatización de la carrera de ingeniería electrónica. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0581_EO.pdf

Torrente Artero, Ó. (2013). *Arduino. Curso práctico de formación*. Alfaomega.

Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Pearson Educación.

Yedra Álvarez, E. (2019). Distancia e intensidad de luz de lampara inteligente*. Building & Management, 3.* ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/337894886_Distance_Light_Intensity_Smart_Lamp_Distancia_e_intensidad_de_luz_de_lampara_inteligente

APÉNDICES

Apéndice 1.

Matriz de coherencia

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES			
ELEMENTOS	**PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Problema estadístico**	**PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**	**OBJETIVOS**
GENERAL O CENTRAL	Falta de información sobre el desempeño del sensor ultrasónico JSN-SR04T.	¿Cómo es el comportamiento del sensor ultrasónico JSN-SR04T, en función de su entorno?	Identificar el comportamiento de las mediciones del sensor ultrasónico JSN-SR04T, por medio de pruebas de normalidad, correlación, diferencia de medias y concordancia para evaluar su desempeño en diferentes ambientes.
ESPECÍFICOS O AUXILIARES	01. Se desconoce si la medición de distancia se ve afectada por las características del agua.	01. ¿Qué efecto tiene el agua limpia o contaminada sobre la medición del sensor?	01. Contrastar la media de las mediciones de distancia obtenidas con el sensor, en el agua, por medio de una prueba de hipótesis de diferencia de medias, para estimar si la medición se ve afectada al pasar de agua limpia a contaminada.
	02. Se desconoce si hay diferencia en la medición de una distancia dentro y fuera del agua.	02. ¿Qué diferencia existe en la medición de una distancia dentro y fuera del agua?	02. Cotejar los resultados del sensor para una distancia, por medio de una prueba de hipótesis para la diferencia de medias, para definir si hay diferencia significativa en los valores medidos fuera y dentro del agua.
	03. Se desconoce si hay diferencia en el resultado del sensor y el de otro instrumento de medición (ej.: regla).	03. ¿Cuánta diferencia se tiene entre el resultado del sensor y el de otro instrumento de medición?	03. Comparar el uso de un instrumento básico de medición, como la regla, con el sensor, por medio de un análisis de diferencia de medias para comprobar si las medias de las mediciones son significativamente diferentes.

Continuación de Apéndice 1.

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES	
ELEMENTOS	**METODOLOGÍA**
GENERAL O CENTRAL	El enfoque del estudio es cuantitativo ya que se recolecto y se realizó un análisis de datos cuantitativos, en función de las mediciones y sus respectivas repeticiones. El diseño adoptado fue experimental ya que se manipulo el sensor, colocándolo a diferentes distancias en diferentes situaciones, con varias repeticiones, todo bajo condiciones controladas. Al ser experimental, es de tipo transversal debido a que el sensor fue analizado o estudiado por un periodo corto de tiempo, es decir, mientras se realizó el experimento; teniendo un carácter prospectivo ya que toda la información recopilada fue de eventos que ocurren durante el desarrollo de este.
ESPECÍFICOS O AUXILIARES	El alcance del estudio es descriptivo y correlacional ya que por medio de los datos obtenidos se describió lo observado en cada uno de los ambientes de prueba, incluyendo el análisis de las variables para encontrar su relación con el desempeño del sensor. Para la estimación de distancia hay una población de sensores (infrarrojos o ultrasónicos), se tomó como subpoblación a los sensores ultrasónicos, siendo el único individuo u objeto de estudio el sensor ultrasónico JSN-SR04T, analizando su desempeño en cada ambiente de prueba

Continuación de Apéndice 1.

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES			
ELEMENTOS	**RESULTADOS**	**CONCLUSIONES**	**RECOMENDACIONES**
GENERAL O CENTRAL	Se realizó una correlación de Spearman entre las variables de tiempo y distancia, obteniendo un coeficiente de 1. La regresión presentó un coeficiente de determinación de 0.9998, un ECMP 0.000007, criterios de información menores a -900; el modelo se ajusta al modelo del fabricante. Mediante una prueba de Kruskal Wallis se confirman los resultados del objetivo uno, dos y tres.	Se aplicaron pruebas de diferencia de medias en las mediciones del sensor ultrasónico JSN-SR04T, identificando una correlación positiva, ρ de Spearman igual a 1, un comportamiento lineal entre el tiempo de rebote de la onda y la estimación de distancia; evaluando el desempeño del sensor, observando que en función del ambiente y superficie de rebote las estimaciones del sensor varían de forma significativa.	Aplicar las mismas pruebas de diferencia de medias, pero, sobre un arreglo de sensores del mismo modelo para identificar el comportamiento, evaluar el desempeño del mismo en diferentes ambientes e indicar si hay mejoría en el desempeño del mismo.
ESPECÍFICOS O AUXILIARES	01. Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov a los datos; obteniendo un P-valor menor a 0.001. La prueba de diferencia de medias para agua limpia y contaminada con tierra presentó un P-valor de 0.539, para agua limpia y contaminada con aceite un P-valor menor a 0.001	01. Se contrastó la media de las mediciones del sensor en el agua por medio de la prueba no paramétrica de U Mann Whitney, al evaluar que, entre agua limpia y contaminada con tierra, al 95% de confianza y un P-valor de 0.539, no hay evidencia de diferencias significativas en la medición de distancia, así mismo, entre agua limpia y contaminada con aceite, al 95% de confianza y un P-valor menor a 0.001, si hay evidencia de diferencias significativas en la medición de distancia.	01. Incorporar más tipos de agua contaminada con líquidos inmiscibles, como el petróleo o jabón líquido, a la prueba para contrastar la media de las mediciones del sensor para estimar si hay diferencias significativas entre ellas, el contraste podría realizarse a través de un análisis de varianza.

Continuación de Apéndice 1.

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE DIFERENCIA DE MEDIAS EN LAS MEDICIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO JSN-SR04T, PARA IDENTIFICAR SU COMPORTAMIENTO Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN DIFERENTES AMBIENTES			
ELEMENTOS	**RESULTADOS**	**CONCLUSIONES**	**RECOMENDACIONES**
	02. Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov a los datos; obteniendo un P-valor menor a 0.001. La prueba de diferencia de medias entre el sensor sumergido y no sumergido presentó un P-valor menor a 0.001.	02. Se cotejaron los resultados del sensor para una distancia por medio de la prueba no paramétrica de U Mann Whitney, definiendo al 95 de confianza con un P-valor menor a 0.001, hay evidencia de diferencias significativas en la medición de distancia cuando el sensor se encuentra sumergido y cuando no lo está.	02. Repetir la prueba con materiales distintos al vidrio, de preferencia, que no sean transparentes y que sean de mayor volumen para cotejar los resultados del sensor para la medición de una distancia y definir si hay diferencias significativas en las distancias cuando el sensor está sumergido y cuando no lo está.
	03. Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov a los datos; obteniendo un P-valor menor a 0.001. La prueba de diferencia de medias entre el sensor y la regla para los diferentes ambientes presentaron P-valores menores a 0.001, encontrando la mayor diferencia media, 0.76, entre sensor y regla dentro del ambiente de vidrio.	03. Se comparo el uso de una regla y el sensor; primero con la prueba no paramétrica de U Mann Whitney y luego por medio del análisis de varianza con la prueba de Kruskal Wallis, comprobando al 95% de confianza y P-valores menores a 0.001, que hay diferencias significativas en las mediciones entre ambos instrumentos, tanto en ambiente abierto como en ambiente con superficie de vidrio, plástico y tela, siendo el vidrio el que más afecta las mediciones generando un diferencia media de 0.76 centímetros.	03. Desarrollar ambientes con recipientes de vidrio, plástico y otros tipos de tela que tengan una forma, grosor y volumen distinto a los utilizados en este estudio para comparar el uso del sensor con un instrumento básico de medición, así como se realizó con la regla, para comprobar si las medias de las mediciones son significativamente diferentes.

Nota. Síntesis del trabajo de investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 2.

Agua limpia (objetivo 1)

Nota. Proceso de medición en agua limpia. Elaboración propia.

Apéndice 3.

Agua contaminada con tierra (objetivo 1)

Nota. Proceso de medición en agua contaminada con tierra. Elaboración propia.

Apéndice 4.

Agua contaminada con aceite (objetivo 1)

Nota. Proceso de medición en agua contaminada con aceite. Elaboración propia.

Apéndice 5.

Recipiente de vidrio sin agua (objetivo 2)

Nota. Proceso de medición en recipiente de vidrio sin agua. Elaboración propia.

Apéndice 6.

Recipiente de vidrio con agua (objetivo 2)

Nota. Proceso de medición en recipiente de vidrio con agua. Elaboración propia.

Apéndice 7.

Sensor contra regla, ambiente abierto (objetivo 3)

Nota. Proceso de medición sensor contra regla. Elaboración propia.

Apéndice 8.

Sensor contra regla, ambiente vidrio (objetivo 3)

Nota. Proceso de medición sensor contra regla. Elaboración propia.

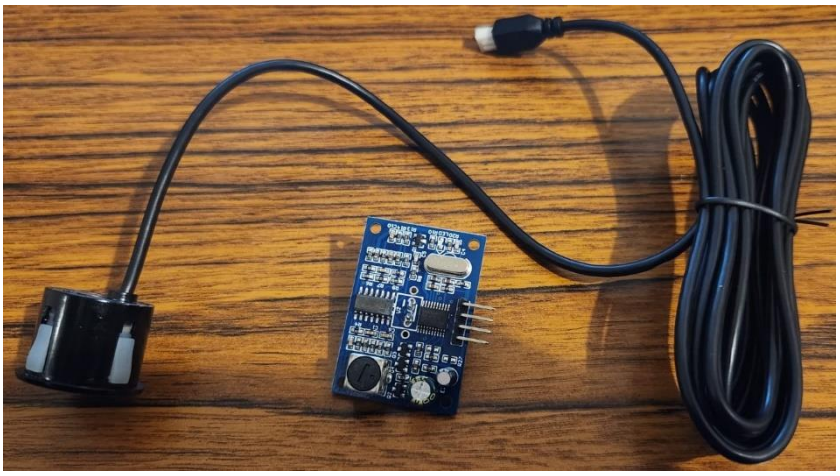
Apéndice 9.

Sensor contra regla, ambiente plástico (objetivo 3)

Nota. Proceso de medición sensor contra regla. Elaboración propia.

Apéndice 10.

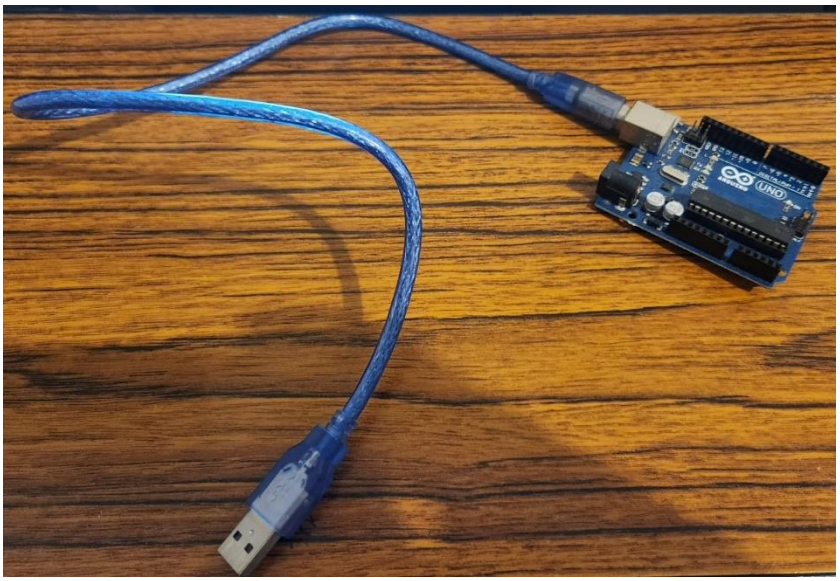
Sensor ultrasónico JSN-SR04T



Nota. Apariencia del sensor y su controlador. Elaboración propia.

Apéndice 11.

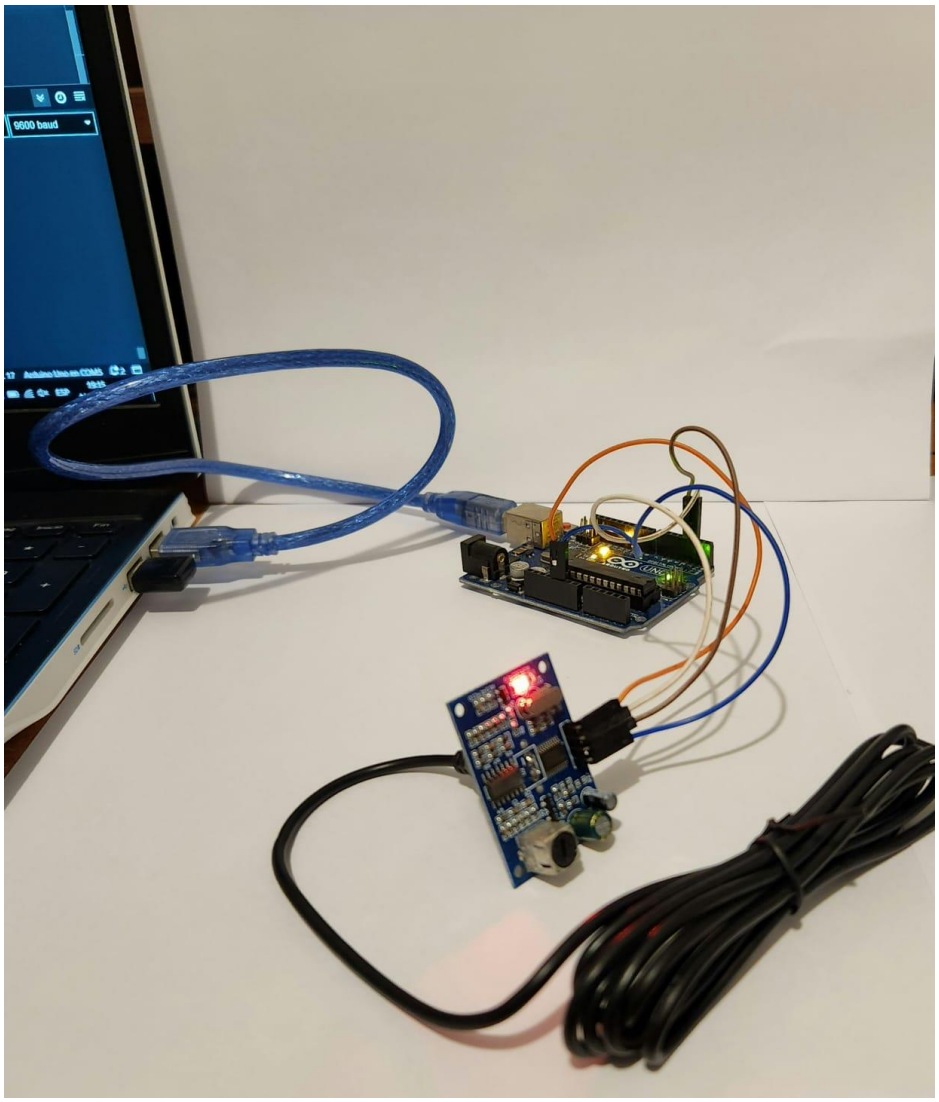
Microcontrolador Arduino



Nota. Apariencia del microcontrolador. Elaboración propia.

Apéndice 12.

Sensor y microcontrolador conectados a la computadora



Nota. Interconexión entre sensor, controlador, microcontrolador y computadora. Elaboración propia.