

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Prototipo para la detección de vibraciones y parámetros ambientales en el laboratorio de Ciencias de la Computación – C3

Felipe Hernández Ramos
Ingeniería Mecatrónica

Andrés Mauricio Muñoz García
Alexander Arias Londoño

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

01/11/2025

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo el diseño e implementación de un prototipo de bajo costo para la detección de vibraciones y el monitoreo de parámetros ambientales, desarrollado en el Laboratorio de Ciencias de la Computación – C3 del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM). El sistema busca ofrecer una herramienta de apoyo al análisis sísmico y ambiental mediante la integración de sensores electrónicos, procesamiento digital de señales y conectividad IoT, contribuyendo al fortalecimiento de las capacidades de observación y registro en entornos académicos y de investigación.

La metodología se basó en cuatro fases principales: análisis y selección de componentes, diseño del sistema electrónico, programación del firmware y configuración del entorno de monitoreo en la nube. El hardware se estructuró en torno a un microcontrolador ESP32, que gestiona la adquisición de datos provenientes de un sensor de vibración piezoeléctrico, junto con sensores de temperatura, humedad y precipitación. Los datos recolectados se almacenan y visualizan en tiempo real mediante las plataformas InfluxDB y Grafana, garantizando un acceso ágil y dinámico a la información.

Como resultado, se obtuvo un sistema funcional capaz de registrar variaciones sísmicas y condiciones ambientales con validación preliminar y funcionalidad. El prototipo demostró ser una solución viable para aplicaciones educativas y de investigación, al combinar funcionalidad, bajo costo y escalabilidad. Las pruebas realizadas evidenciaron un correcto desempeño en la detección de vibraciones y la transmisión de datos en entornos locales y de red.

Palabras clave: vibraciones, monitoreo ambiental, IoT, ESP32, sensores piezoeléctricos, InfluxDB, Grafana, sismología, prototipo electrónico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

El autor expresa su más sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) por brindar el espacio académico y el apoyo institucional necesarios para el desarrollo de este proyecto, así como por la oportunidad de participar en el programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores, el cual permitió fortalecer sus competencias en investigación aplicada y desarrollo tecnológico.

De igual manera, el autor agradece a los profesores Andrés Mauricio Muñoz García y Alexander Arias Londoño por su acompañamiento, orientación y compromiso durante el proceso de diseño, implementación y validación del prototipo. Su experiencia y guía fueron fundamentales para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Se extiende un especial agradecimiento al Grupo de Investigación Geofísica y Ciencias de la Computación (GCC3) y al Laboratorio de Ciencias de la Computación – C3, por facilitar los recursos, equipos y herramientas requeridos para el desarrollo del sistema.

Finalmente, el autor reconoce el apoyo de su compañero de laboratorio Diego Pabón, quien colaboró en el diseño de la interfaz gráfica y en la integración de las alertas del sistema, así como el respaldo constante de sus familiares y amigos a lo largo de este proceso académico y personal.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

AD620 Amplificador de instrumentación de precisión

C3 Laboratorio de Ciencias de la Computación

GCC3 Grupo de Investigación Geofísica y Ciencias de la Computación

ESP32 Microcontrolador de 32 bits con conectividad Wi-Fi y Bluetooth

Grafana Plataforma de visualización de datos en tiempo real

InfluxDB Base de datos orientada a series temporales

IoT Internet de las Cosas

ITM Instituto Tecnológico Metropolitano

PCB Placa de Circuito Impreso (Printed Circuit Board)

SEN-09199 Sensor piezoeléctrico de vibración

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Generalidades	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 Organización del trabajo	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Monitoreo de vibraciones	18
2.1.1 Nodos	18
2.1.2 Eventos	19
2.2 Sensores de vibración	19
2.2.1 Sensor piezoeléctrico SEN-09199	20
2.2.2 Sensor de vibración SW-420	21
2.3 Monitoreo climático	22
2.3.1 Estaciones de monitoreo climático	22
2.4 Sensores climáticos	23
2.4.1 Sensor DHT11	23
2.4.2 Sensor de lluvia YL-83	24
2.5 Arquitectura IoT del sistema	25
3. METODOLOGÍA	26
3.1. Soluciones existentes para el monitoreo sísmico	27
3.1.1 Solución 1: Geófono estándar	27
3.1.2 Solución 2: Geófono de baja frecuencia	28
3.1.3 Solución 3: Acelerómetros MEMS	29
3.1.4 Solución 4: Sensores híbridos	30
3.2 Soluciones existentes para el monitoreo climático	30
3.2.1 Solución 1: Sensor de temperatura y humedad EE181-L	31
3.2.2 Solución 2: Sensor de temperatura y humedad HMP155A	32
3.2.3 Solución 3: Pluviómetro TE525WS de 8 pulgadas	32
3.2.4 Solución 4: Pluviómetro TB4	33

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3 Circuito de acondicionamiento SEN-09199 + AD620 (vibraciones bajas y medias)	34
Paso 1. Investigación de alternativas y selección del sensor.....	34
Paso 2. Selección del sistema de amplificación	39
Paso 3. Diseño del circuito en software	41
Paso 4. Implementación en protoboard y validación experimental.....	42
Paso 5. Ensamblaje final e integración del sistema.....	44
3.4 Circuito de acondicionamiento SW-420 (vibraciones fuertes)	46
Paso 1. Investigación de alternativas y selección del sensor.....	46
Paso 2. Diseño y simulación del circuito con el sensor SW-420	49
Paso 3. Implementación en protoboard y validación experimental.....	50
Paso 4. Ensamblaje final e integración del sistema.....	52
3.5 Circuito de acondicionamiento YL-83 + DHT11 (monitoreo climático).....	54
Paso 1. Investigación de alternativas y selección de los sensores.....	54
Paso 2. Diseño y simulación del circuito con los sensores YL-83 y DHT11	60
Paso 3. Implementación en protoboard y validación experimental.....	62
Paso 4. Ensamblaje final e integración del sistema.....	64
3.6 Diseño de la base de datos en InfluxDB.....	67
Paso 1. Creación de cuenta y acceso a InfluxDB Cloud	67
Paso 2. Configuración inicial y creación del bucket en InfluxDB	70
3.7 Código de adquisición de datos en ESP32 y conexión con sensores e InfluxDB	73
Paso 1. Configuración inicial del código en el entorno de desarrollo	73
Paso 2. Integración de sensores ambientales y de vibración	77
Paso 2.1 Integración del sensor DHT11	77
Paso 2.2 Integración del sensor YL-83	78
Paso 2.3 Integración del sensor SW-420.....	79
Paso 2.4 Integración del sensor piezoeléctrico SEN-09199 (con AD620).....	79
Paso 3. Integración completa del sistema.....	80
Paso 4. Verificación en la plataforma	84
3.8 Diseño del dashboard en Grafana para la comunicación con InfluxDB.....	88
3.8.1 Pasos para el diseño e implementación del dashboard en InfluxDB y Grafana para la comunicación de datos.	88

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Paso 1. Creación del dashboard en InfluxDB	88
Paso 2. Configuración de Grafana e integración con InfluxDB.....	90
Paso 3. Diseño de paneles y visualización de datos	92
3.9 Diseño del prototipo mecánico.....	96
3.9.1 Diseño, construcción e implementación del prototipo mecánico del sistema	96
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	101
4.1 Evaluación de los prototipos desarrollados	102
4.1.1 Prototipo 1: Sensor piezoeléctrico SEN-09199.....	102
4.1.2 Prototipo 2: Integración de múltiples sensores.....	103
4.1.3 Prototipo 3: Sistema optimizado y funcional	105
4.1.4 Pruebas de campo.....	108
4.1.4.1 Prueba en el laboratorio.....	108
4.1.4.2 Pruebas en salón de clase	110
4.1.4.3 Pruebas en el parqueadero.....	110
4.1.5 Validación de variables ambientales	111
4.1.5.1 Registro de mediciones.....	112
4.1.5.2 Evidencia experimental.....	113
4.1.5.3 Análisis de resultados	118
4.1.5.4 Representación gráfica.....	118
4.1.6 Validación de vibraciones por flujo vehicular.....	120
4.1.6.1 Registro de mediciones	120
4.1.6.2 Evidencia experimental	120
4.1.6.3 Análisis de resultados.....	125
4.1.6.4 Representación gráfica.....	125
4.1.7 Validación de presencia de lluvia mediante sensor YL-83 y modelo de referencia SIATA	127
4.1.7.1 Registro de mediciones	127
4.1.7.2 Evidencia experimental	128
4.1.7.3 Análisis de resultados.....	130
4.1.7.4 Representación gráfica	131
4.2 Discusión de resultados.....	132

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.3	Análisis de costos y comparación con soluciones comerciales.....	133
4.3.1	Costos del sistema propuesto	133
4.3.2	Comparación con nodo meteorológico.....	133
4.3.3	Comparación con nodo sísmico	135
4.4	Conclusión del capítulo.....	136
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	137
5.1	Conclusiones	137
5.2	Recomendaciones.....	138
5.3	Trabajo futuro.....	138
6.	REFERENCIAS	138
6.1	Referencias.....	139
7.	APÉNDICE	141
	ANEXO A. Cotizaciones de componentes.....	141
	ANEXO B. Código del sistema en ESP32.....	145
	ANEXO C. Configuración del entorno de desarrollo en Arduino IDE.....	149

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.	Arquitectura general del sistema de monitoreo sísmico y climático.....	15
Figura 2.	Estructura general del documento del trabajo de grado.	16
Figura 3.	Sensor piezoeléctrico SEN-09199.....	20
Figura 4.	Sensor de vibración SW-420.....	21
Figura 5.	Sensor de temperatura y humedad DHT11.	24
Figura 6.	Sensor de lluvia YL83.....	25
Figura 7.	Integración del nodo sísmico y climático dentro de la red IoT.....	26
Figura 8.	Geófono estándar.	28
Figura 9.	Geófono de baja frecuencia.....	29
Figura 10.	Acelerómetro MEMS.....	29
Figura 11.	Sensor sísmico híbrido.	30
Figura 12.	Sensor de temperatura y humedad EE181-L.....	31
Figura 13.	Sensor de temperatura y humedad HMP155A.....	32

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 14. Pluviómetro TE525WS de 8 pulgadas.	33
Figura 15. Pluviómetro TB4.....	34
Figura 16. Geófono - SM-24	35
Figura 17. Geófono Omnidireccional EG-15	35
Figura 18. Módulo acelerómetro y giroscopio MPU6050.....	36
Figura 19. Módulo acelerómetro ADXL345.	37
Figura 20. Sensor SEN-09199	38
Figura 21. Comportamiento de la señal del sensor SEN-09199.....	38
Figura 22. Amplificador de instrumentación AD620.....	39
Figura 23. Configuración de ganancia del amplificador AD620.....	40
Figura 24. Conexión del circuito en Proteus.	41
Figura 25. Resultados de la simulación del circuito.	42
Figura 26. Esquema del circuito.	42
Figura 27. Montaje del circuito en protoboard.....	43
Figura 28. Señal obtenida durante las pruebas del sensor.	43
Figura 29. Preparación de la PCB y soldadura de pines header	44
Figura 30. Montaje del AD620 y del SEN-09199	45
Figura 31. Conexión con el ESP32.....	45
Figura 32. Verificación funcional.....	46
Figura 33. Sensor de vibración SW-18010P	47
Figura 34. Módulo de vibración KY-002	48
Figura 35. Sensor de vibración SW-420.....	49
Figura 36. Resultados de la simulación del circuito.	50
Figura 37. Esquema del circuito.	50
Figura 38. Montaje del circuito en protoboard.	51
Figura 39. Señal obtenida durante las pruebas del sensor.	51
Figura 40. Preparación de la protoboard y soldadura de pines header.	52
Figura 41. Montaje del sensor SW-420.	53
Figura 42. Conexión del SW-420 con el ESP32.	53
Figura 43. Verificación funcional del SW-420.	54
Figura 44. Sensor de lluvia FC-37.....	55
Figura 45. Módulo sensor de lluvia MH-RD.....	56
Figura 46. Sensor de lluvia YL-83	57
Figura 47. Sensor ambiental BME280	58
Figura 48. Sensor de temperatura y humedad DHT22	59
Figura 49. Sensor de temperatura y humedad DHT11	60
Figura 50. Conexión de los componentes.	61

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 51. Resultados de la simulación del circuito.	62
Figura 52. Esquema del circuito.	63
Figura 53. Montaje del circuito en protoboard.	63
Figura 54. Señal obtenida durante las pruebas del sensor.	64
Figura 55. Preparación de la protoboard y soldadura de pines header.	65
Figura 56. Montaje del sensor DHT11 y módulo YL-83.	66
Figura 57. Conexión de los sensores con el ESP32.....	66
Figura 58. Verificación funcional del sistema.....	67
Figura 59. Página principal de InfluxData	68
Figura 60. Registro o inicio de sesión en InfluxDB.....	69
Figura 61. Interfaz principal de InfluxDB Cloud en AWS.....	70
Figura 62. Creación del bucket desde la sección Sources.	70
Figura 63. Interfaz de configuración Setting up Arduino..	71
Figura 64. Creación del bucket.....	71
Figura 65. Código generado para Arduino IDE.	72
Figura 66. Visualización del bucket en la plataforma.	72
Figura 67. Visualización de la base de datos en Data Explorer.	73
Figura 68. Código generado en la sección Initialize Client.....	74
Figura 69. Configuración de credenciales WiFi en el código.....	75
Figura 70. Modificación del código base para integración de sensores.....	76
Figura 71. Configuración e inicialización del sensor DHT11.....	77
Figura 72. Lectura de temperatura y humedad..	78
Figura 73. Lectura y procesamiento de datos del sensor YL-83.....	78
Figura 74. Envío de datos del YL-83 a InfluxDB.	79
Figura 75. Configuración y lectura del sensor SW-420.....	79
Figura 76. Envío de datos del sensor SW-420 a InfluxDB.....	79
Figura 77. Configuración y lectura del sensor piezoeléctrico SEN-09199.	80
Figura 78. Envío de datos del sensor piezoeléctrico a InfluxDB.	80
Figura 79. Integración de los sensores en un único programa.	81
Figura 80. Inicialización de sensores en el sistema completo.	82
Figura 81. Lectura y estructuración de datos del sistema.....	83
Figura 82. Envío de datos del sistema completo a InfluxDB.	83
Figura 83. Conexión exitosa del ESP32 a la red WiFi y a InfluxDB.	84
Figura 84. Acceso a Data Explorer en InfluxDB Cloud.....	85
Figura 85. Selección del bucket y measurement en InfluxDB.	85
Figura 86. Selección de variables y visualización de datos en formato tabular.	86
Figura 87. Visualización gráfica de las variables de temperatura y humedad..	86

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 88. Visualización gráfica de la intensidad de lluvia.....	87
Figura 89. Visualización gráfica del sensor piezoeléctrico SEN-09199.....	87
Figura 90. Visualización gráfica del sensor SW-420.	88
Figura 91. Creación del dashboard en InfluxDB.....	89
Figura 92. Creación de una nueva celda mediante la opción Add Cell.....	89
Figura 93. Configuración de las variables (fields) utilizando el Query Builder.....	90
Figura 94. Acceso a la interfaz principal de la plataforma	90
Figura 95. Configuración del Organization ID y bucket.	91
Figura 96. Ingreso del token de acceso para la autenticación.	91
Figura 97. Verificación de la conexión entre Grafana e InfluxDB.	92
Figura 98. Acceso a la opción Build Dashboard desde la interfaz principal.....	92
Figura 99. Adición de un nuevo panel mediante la opción Add Panel para la visualización de datos.	93
Figura 100. Acceso al editor de consultas dentro del panel de configuración.	93
Figura 101. Inserción y configuración del código en lenguaje Flux para la visualización de los datos.	94
Figura 102. Verificación y actualización de la consulta mediante Query Inspector.	94
Figura 103. Selección del tipo de gráfico (Time Series).	95
Figura 104. Visualización final del dashboard en Grafana.	95
Figura 105. Vista general del prototipo mecánico.....	96
Figura 106. Protoboard utilizada para pruebas iniciales.....	97
Figura 107. Elementos de conexión y montaje (jumpers, headers y PCB universal).....	97
Figura 108. Materiales de la carcasa y fijación (ABS, tornillos y bisagras)	98
Figura 109. Diseño CAD del prototipo mecánico Vista isométrica del modelo 3D	99
Figura 110. Diseño CAD del prototipo mecánico Vista superior	99
Figura 111. Planos de la carcasa del prototipo.	100
Figura 112. Conexión e integración del sistema completo.....	100
Figura 113. Prototipo mecánico en funcionamiento.....	101
Figura 114. Montaje físico del prototipo 1 basado en el sensor piezoeléctrico SEN-09199	102
Figura 115. Visualización de la señal de vibración en InfluxDB para el prototipo 1.	103
Figura 116. Montaje del prototipo 2 en placa universal con integración de sensores.....	104
Figura 117. Resultados obtenidos del prototipo 2 en la plataforma de visualización.	104
Figura 118. Evidencia de problemas de conexión en el prototipo 2.....	105
Figura 119. Montaje final del sistema con integración de sensores.	106
Figura 120. Visualización de datos en InfluxDB del sistema final.	107

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 121. Dashboard en Grafana para la visualización en tiempo real de las variables del sistema.	107
Figura 122. Pruebas realizadas en el laboratorio.	108
Figura 123. Pruebas realizadas en el laboratorio.	109
Figura 124. Pruebas realizadas en el laboratorio.	109
Figura 125. Pruebas realizadas en salón de clases.	110
Figura 126. Pruebas realizadas en parqueadero.	111
Figura 127. Medición realizada a las 10:50 a.m.	113
Figura 128. Medición realizada a las 11:53 a.m.	113
Figura 129. Medición realizada a las 12:55 p.m.	114
Figura 130. Medición realizada a la 1:50 p.m.	114
Figura 131. Ambiente controlado (Aire acondicionado).	115
Figura 132. Comparación de temperatura entre termohigrómetro y aire acondicionado.	115
Figura 133. Medición realizada a las 2:50 p.m.	116
Figura 134. Medición realizada a las 3:50 p.m.	116
Figura 135. Medición realizada a las 4:48 p.m.	117
Figura 136. Medición realizada a las 5:15 p.m.	117
Figura 137. Temperatura vs tiempo	119
Figura 138. Humedad relativa vs tiempo	119
Figura 139. Medición realizada a las 10:50 a.m.	121
Figura 140. Incremento de vibración por vehículo a alta velocidad (11:20 a.m.).	121
Figura 141. Estado del sistema con batería baja (11:48 a.m.).	122
Figura 142. Condiciones de flujo vehicular moderado (2:00 p.m.).	122
Figura 143. Registro de vibraciones con paso de vehículos pesados (2:46 p.m.).	123
Figura 144. Activación del sensor SW-420.	123
Figura 145. Tránsito de tractomulas y buses.	124
Figura 146. Disminución del flujo vehicular (4:00 p.m.).	124
Figura 147. Sistema descargado (fin de la prueba).	125
Figura 148. Nivel de vibración vs tiempo	126
Figura 149. Activación del sensor SW-420 vs tiempo	126
Figura 150. Prototipo desarrollado para el monitoreo y adquisición de datos ambientales.	128
Figura 151. Sensor YL-83 instalado en una primera posición durante el evento de lluvia para evaluar el comportamiento de las mediciones en condiciones reales.	129

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 152. Sensor YL-83 ubicado en una segunda posición con el fin de comparar la estabilidad y respuesta de los datos obtenidos bajo diferentes condiciones de instalación.	129
Figura 153. Comparación entre los datos del sistema y los registros de SIATA utilizando InfluxDB para validar el modelo desarrollado.	130
Figura 154. Nivel de señal del sensor YL-83 vs tiempo.	131
Figura 155. Comparación entre los datos del sistema desarrollado y los registros reportados por SIATA	131
Figura 156. Estación meteorológica profesional comercial	134
Figura 157. Geófono comercial SM-24.....	135

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El monitoreo de vibraciones y variables ambientales es una necesidad creciente en los ámbitos científico, académico y de gestión del riesgo. Los sistemas comerciales destinados a estas tareas suelen ser costosos, complejos y de difícil acceso para instituciones educativas o comunidades con recursos limitados.

Por ello, este trabajo de grado presenta una guía técnica para el diseño, implementación y validación dos nodos orientados al monitoreo de vibraciones y variables ambientales, basados en sensores electrónicos de bajo costo y tecnología IoT (Internet de las Cosas). La arquitectura del sistema diseñado se muestra en la Figura 1.

El sistema de monitoreo está compuesto por dos nodos. El primer nodo está orientado a la detección de vibraciones, utilizando sensores digitales y analógicos para el monitoreo de eventos vibratorios. El segundo nodo se encarga del registro de variables climáticas, como temperatura, humedad y presencia de lluvia.

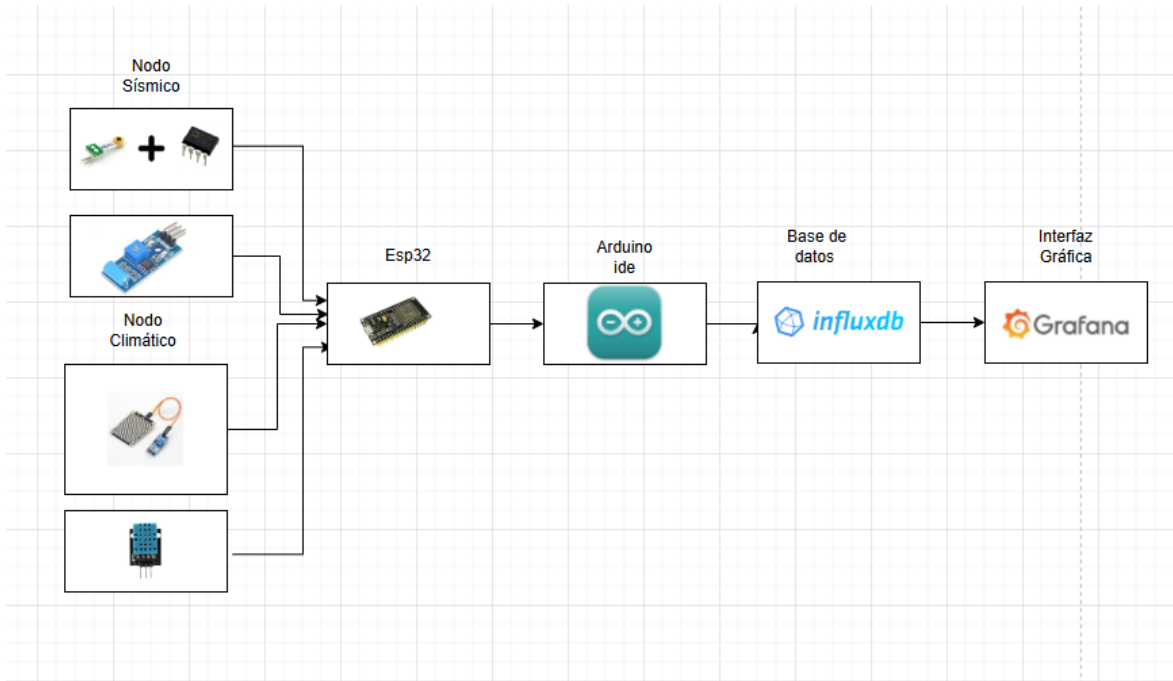
Ambos nodos transmiten la información adquirida a una plataforma de almacenamiento y visualización en tiempo real, lo que permite analizar la relación entre las condiciones ambientales y los eventos vibratorios registrados.

El proyecto se desarrolla en el marco del programa Jóvenes Investigadores e Innovadores ITM, dentro del Laboratorio de Ciencias de la Computación – C3 y el Grupo de Investigación Geofísica y Ciencias de la Computación (GCC3), integrando conocimientos de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

instrumentación electrónica, procesamiento de señales, programación embebida y gestión de datos en la nube.

Figura 1. Arquitectura general del sistema de monitoreo sísmico y climático.



1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar un prototipo de bajo costo para la detección de vibraciones y el registro de parámetros ambientales, basado en sensores electrónicos e infraestructura IoT.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar soluciones existentes para la detección de vibraciones y el monitoreo de parámetros ambientales de bajo costo, mediante una revisión bibliográfica que permita identificar tecnologías y enfoques adecuados.

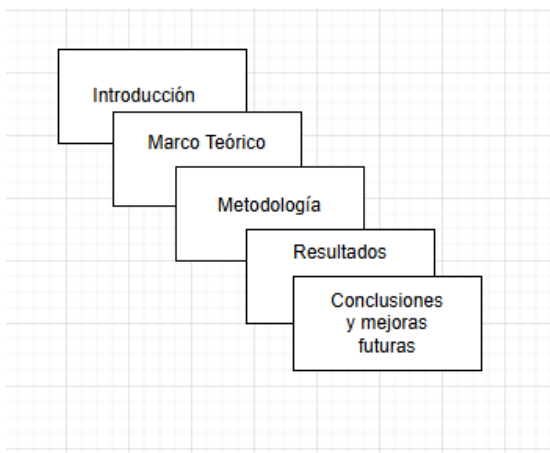
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Diseñar e implementar el prototipo electrónico, integrando sensores de vibración y ambientales con un microcontrolador ESP32, así como el desarrollo del firmware para la adquisición, transmisión y almacenamiento de datos en InfluxDB.
- Implementar un dashboard en Grafana que permita el monitoreo en tiempo real y la interpretación de los datos recolectados.
- Validar el desempeño del prototipo a través de pruebas de laboratorio y campo, empleando métodos comparativos y análisis estadístico de los datos registrados, evaluar su funcionamiento y respuesta frente a diferentes condiciones de operación.

1.3 Organización del trabajo

Este documento se estructura en cinco capítulos. En el Capítulo 1, se presentan las generalidades, objetivos y organización del trabajo. El Capítulo 2 expone el marco teórico, que aborda los fundamentos relacionados con sensores e vibración, climáticos y tecnologías IoT. El Capítulo 3 describe la metodología de implementación, detallando el diseño de hardware, firmware y arquitectura de comunicación. El Capítulo 4 presenta los resultados y análisis obtenidos durante las pruebas de laboratorio de ambos nodos. Finalmente, el Capítulo 5 incluye las conclusiones, recomendaciones y posibles mejoras futuras del sistema. La estructura se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Estructura general del documento del trabajo de grado.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de nodos multisensoriales compactos ha permitido integrar en un solo dispositivo la capacidad de monitorear simultáneamente variables sísmicas y ambientales. Esta convergencia tecnológica resulta fundamental para aplicaciones de bajo costo orientadas a la gestión del riesgo, el análisis estructural y la observación del entorno. Un nodo híbrido reúne sensores de vibración, sensores climáticos, un sistema de procesamiento y tecnologías de comunicación que permiten registrar en tiempo real tanto movimientos del suelo como condiciones atmosféricas, facilitando así la adquisición de datos precisos desde un único punto de medición.

Para comprender el funcionamiento del prototipo propuesto, es necesario revisar los fundamentos teóricos que sustentan cada subsistema integrado en el nodo. En primer lugar, se abordan los principios del monitoreo sísmico y la detección de eventos mediante sensores de vibración. A continuación, se describen los sensores empleados en esta área, específicamente el piezoeléctrico SEN-09199 y el SW-420. Posteriormente, se presentan los conceptos asociados al monitoreo climático y al funcionamiento de una estación meteorológica en formato reducido, explicando los sensores ambientales utilizados, como el DHT11 y el sensor de lluvia YL-83.

Finalmente, se introduce el papel del Internet de las Cosas (IoT), que permite que el nodo transmita sus mediciones hacia una plataforma digital para visualización, almacenamiento y análisis.

Este marco teórico proporciona las bases conceptuales necesarias para comprender la arquitectura, el funcionamiento y la relevancia del nodo multisensorial desarrollado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1 Monitoreo de vibraciones

El monitoreo de vibraciones es el proceso de medición y análisis de movimientos mecánicos presentes en el entorno o en estructuras, con el fin de detectar, registrar y estudiar eventos vibratorios.

Este tipo de monitoreo es fundamental para la prevención de riesgos, ya que permite identificar eventos vibratorios y evaluar posibles afectaciones en infraestructuras y edificaciones.

En Colombia, el Servicio Geológico Colombiano (Colombiano, s.f.) realiza el registro y seguimiento de la actividad sísmica, reportando eventos que pueden alcanzar magnitudes superiores a 4 en la escala EMS-98, lo que evidencia la importancia de estos sistemas de monitoreo.

En el monitoreo de vibraciones se analizan parámetros como la amplitud de la señal y la ocurrencia de eventos vibratorios, los cuales permiten caracterizar el comportamiento de las vibraciones registradas.

Para la adquisición de datos se emplean sensores como acelerómetros y dispositivos piezoeléctricos, los cuales convierten las vibraciones mecánicas en señales eléctricas que pueden ser procesadas por microcontroladores.

En el presente proyecto, el monitoreo de vibraciones se implementa mediante sensores electrónicos de bajo costo conectados a un sistema basado en ESP32, permitiendo capturar, procesar y transmitir información sobre eventos vibratorios para su posterior análisis.

2.1.1 Nodos

Un nodo es un dispositivo dentro de una red que tiene la capacidad de adquirir, procesar y transmitir información. Además, puede entenderse como un punto de conexión entre dos o

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

más dispositivos (ElProCus, 2026). Generalmente, un nodo está compuesto por sensores, un microcontrolador y un módulo de comunicación, lo que le permite interactuar con el entorno y con otros sistemas.

Los nodos cumplen la función de recolectar información del entorno, procesarla y enviarla a otros sistemas para su posterior análisis, siendo elementos fundamentales en sistemas de monitoreo e Internet de las Cosas (IoT).

2.1.2 Eventos

Un evento se define como cualquier cambio significativo detectado por el sistema. En sistemas de monitoreo, un evento ocurre cuando una de las variables medidas supera un umbral previamente establecido.

En este tipo de sistemas, se detectan eventos como vibraciones o cambios bruscos en la aceleración, los cuales se identifican cuando la señal registrada supera los valores definidos.

Para la detección de eventos se utilizan dispositivos como sensores de vibración y microcontroladores, los cuales permiten captar, procesar y analizar la información en tiempo real.

2.2 Sensores de vibración

Los sensores de vibración son dispositivos diseñados para detectar y medir las vibraciones del suelo o de estructuras, permitiendo identificar movimientos asociados a eventos sísmicos o perturbaciones mecánicas. Estos sensores convierten las vibraciones físicas en señales eléctricas que pueden ser analizadas por sistemas electrónicos (Latam).

La importancia de estos sensores radica en su capacidad para realizar el monitoreo continuo del comportamiento del entorno, facilitando la detección de eventos y el análisis de sus características.

En el presente proyecto se emplean sensores de vibración como el SEN-09199 y el SW-420. El primero genera una señal analógica proporcional a la vibración detectada, mientras que el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

segundo permite identificar la presencia o ausencia de vibración mediante una señal digital. A continuación, se describirá el funcionamiento de cada uno de estos sensores (Latam).

2.2.1 Sensor piezoeléctrico SEN-09199

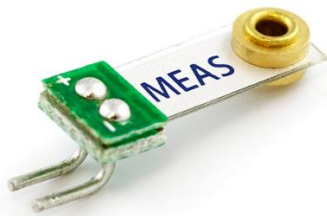
El sensor piezoeléctrico SEN-09199 es un dispositivo utilizado para la detección de vibraciones y cambios mecánicos, basado en el efecto piezoeléctrico. Este fenómeno consiste en la generación de una señal eléctrica cuando un material es sometido a una deformación mecánica (Measurement Specialties, 1999).

Este tipo de sensor es sensible a pequeñas vibraciones, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de monitoreo de vibraciones, detección de impactos y proyectos experimentales de instrumentación. (Measurement Specialties, 1999).

Debido a que la señal generada puede ser de baja amplitud, es necesario realizar un adecuado procesamiento para su correcta interpretación, permitiendo así obtener información relevante sobre el comportamiento de la señal.

Como se muestra en la Figura 3, el sensor piezoeléctrico utilizado en este proyecto permite captar vibraciones del entorno para su posterior análisis.

Figura 3. Sensor piezoeléctrico SEN-09199.



Nota. Tomado en Didácticas Electrónicas, “Sensor de vibración piezoeléctrico SEN-09199”. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/sen-09199-sensor-de-vibracion-piezo-electrico-ldtc-h-3878>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

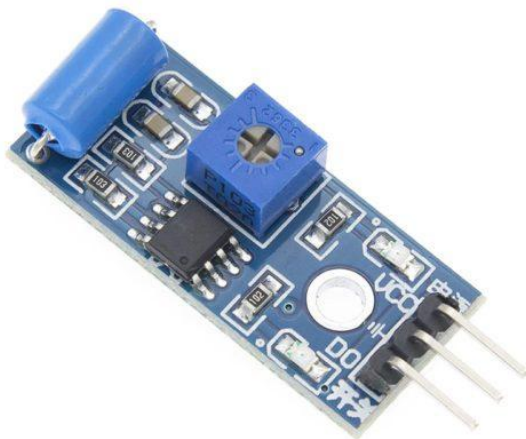
2.2.2 Sensor de vibración SW-420

El sensor de vibración SW-420 es un dispositivo diseñado para detectar la presencia de vibraciones o movimientos mediante una salida digital. Este sensor funciona a través de un mecanismo interno que responde a cambios mecánicos, activando una señal cuando se supera un umbral determinado, el cual puede ser ajustado mediante un potenciómetro integrado (uelectronics.com, 2026).

A diferencia de los sensores piezoeléctricos, el SW-420 no proporciona información sobre la magnitud de la vibración, sino que únicamente indica la presencia o ausencia de movimiento, lo que lo convierte en una opción adecuada para sistemas de detección básica o activación de eventos.

Este sensor es ampliamente utilizado en sistemas de alarma, detección de golpes o monitoreo de vibraciones simples, debido a su bajo costo y facilidad de implementación (uelectronics.com, 2026). Como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Sensor de vibración SW-420.



Nota. Tomado En Uelectronics, “SW-420 Módulo sensor de vibración”. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/sw-420-modulo-sensor-de-vibracion/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3 Monitoreo climático

El monitoreo climático es el proceso de medición, registro y análisis de variables ambientales, con el fin de evaluar las condiciones climáticas del entorno en un lugar determinado ((CTCN), Climate Technology Centre & Network). Este tipo de monitoreo permite la obtención de información relevante sobre los cambios del clima, facilitando la toma de decisiones en diferentes áreas como la agricultura, la investigación y la gestión de riesgos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).

Entre las principales variables analizadas en un sistema de monitoreo climático se encuentran la temperatura, la humedad y la precipitación. Estos datos son recolectados mediante sensores específicos y procesados por sistemas electrónicos para su almacenamiento y posterior análisis.

En el presente proyecto, el monitoreo climático se implementa mediante el uso del sensor DHT11 y el sensor de lluvia YL-83, conectados a un sistema basado en microcontroladores, lo que permite la adquisición de datos en tiempo real. Esta información complementa el monitoreo de vibraciones, proporcionando un contexto más completo sobre las condiciones del entorno.

2.3.1 Estaciones de monitoreo climático

Una estación de monitoreo climático es un sistema compuesto por diferentes sensores y dispositivos electrónicos diseñados para medir variables ambientales en una ubicación específica. Estas estaciones permiten la recolección continua de datos, los cuales pueden ser utilizados para análisis posteriores o para la generación de alertas en tiempo real (Proyecto RACiMo – Halley UIS, s.f.).

Generalmente, una estación climática está conformada por sensores de temperatura, humedad, presión y otros elementos según la aplicación. Estos sensores se conectan a un sistema de adquisición de datos, como un microcontrolador, encargado de procesar la información y transmitirla hacia sistemas de almacenamiento o visualización (Cordulus, s.f.).

Las estaciones de monitoreo pueden ser fijas o distribuidas en forma de red, lo que permite cubrir diferentes zonas y obtener un panorama más detallado del comportamiento ambiental. En tecnologías recientes, las estaciones suelen integrarse con IoT, facilitando el acceso remoto a los datos (Proyecto RACiMo – Halley UIS, s.f.).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el contexto de este proyecto, la estación de monitoreo climático forma parte del sistema general, integrando los sensores ambientales con el microcontrolador. Esto permite correlacionar las variables climáticas con los eventos de vibración detectados, mejorando el análisis del entorno.

2.4 Sensores climáticos

Los sensores climáticos son dispositivos electrónicos diseñados para medir y registrar variables ambientales como temperatura, humedad y presencia de lluvia. Estos sensores convierten las magnitudes físicas del entorno en señales eléctricas, las cuales pueden ser procesadas por microcontroladores o sistemas electrónicos para su análisis (Niuboltech, s.f.)

La importancia de estos sensores radica en su capacidad para realizar un monitoreo continuo del entorno, lo que permite la obtención de datos ambientales para su monitoreo, análisis y apoyo en la toma de decisiones dentro de sistemas automatizados (PRISMAB, s.f.)

En el presente proyecto se utilizan los sensores DHT11 y YL-83, los cuales están conectados a la ESP32, encargada de procesar la información y enviarla a los sistemas de almacenamiento y visualización. A continuación, se describirá el funcionamiento de cada uno de estos sensores con mayor detalle.

2.4.1 Sensor DHT11

El sensor DHT11 es un dispositivo electrónico diseñado para medir temperatura y humedad relativa del ambiente. Este sensor combina un termistor para la medición de temperatura y un sensor capacitivo para la humedad, generando señales digitales proporcionales a las variables detectadas (Mouser Electronics).

Su salida digital permite integrar el sensor con sistemas de almacenamiento y visualización de datos, facilitando el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales, útil en aplicaciones de monitoreo ambiental de bajo costo, proyectos académicos y sistemas IoT.

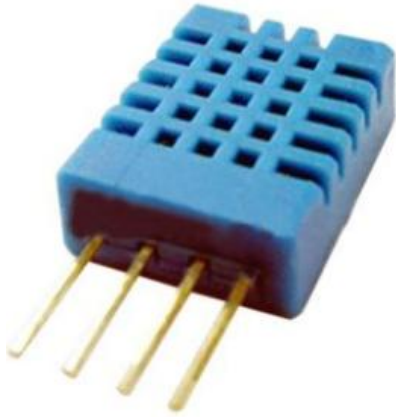
Es importante señalar que el DHT11 es un sensor de bajo costo con funcionalidad limitada en comparación con sensores meteorológicos profesionales. Por esta razón, en el presente

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

proyecto se emplea con fines de monitoreo ambiental y validación académica, sin pretender reemplazar instrumentos de referencia certificados.

Como se muestra en la Figura 5, el sensor DHT11 permite capturar los datos ambientales del proyecto para su posterior análisis.

Figura 5. Sensor de temperatura y humedad DHT11.



Nota. Tomado en DHT11 Humidity & Temperature Sensor – Technical Data Sheet (Translated Version). Recuperado de <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>

2.4.2 Sensor de lluvia YL-83

El sensor YL-83 es un dispositivo diseñado para detectar la presencia de agua sobre una superficie mediante la variación de su conductividad eléctrica. El módulo proporciona señales digitales y analógicas que permiten identificar condiciones de humedad o la presencia de lluvia sobre la placa de detección (Dualtrónica, 2026).

El YL-83 emplea una placa con pistas conductoras que modifican su comportamiento eléctrico al entrar en contacto con el agua. Cuando la superficie se humedece, la conductividad aumenta y el módulo convierte esta variación en una señal analógica relacionada con el nivel de humedad presente sobre la superficie de detección o en una señal digital que indica la presencia de agua (Panama Hi-Tek, s.f.).

Como se muestra en la Figura 6, el sensor YL-83 se utiliza en el presente proyecto para detectar la presencia de lluvia y registrar condiciones de humedad sobre la superficie de medición. Es importante señalar que este sensor permite detectar la presencia de agua, pero no medir la precipitación acumulada en milímetros como lo hacen los pluviómetros utilizados en estaciones meteorológicas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 6. Sensor de lluvia YL83



Nota. Tomado en Sensor de lluvia YL-83. Recuperado de <https://dualtronica.com/sensores/107-sensor-de-lluvia.html>

2.5 Arquitectura IoT del sistema

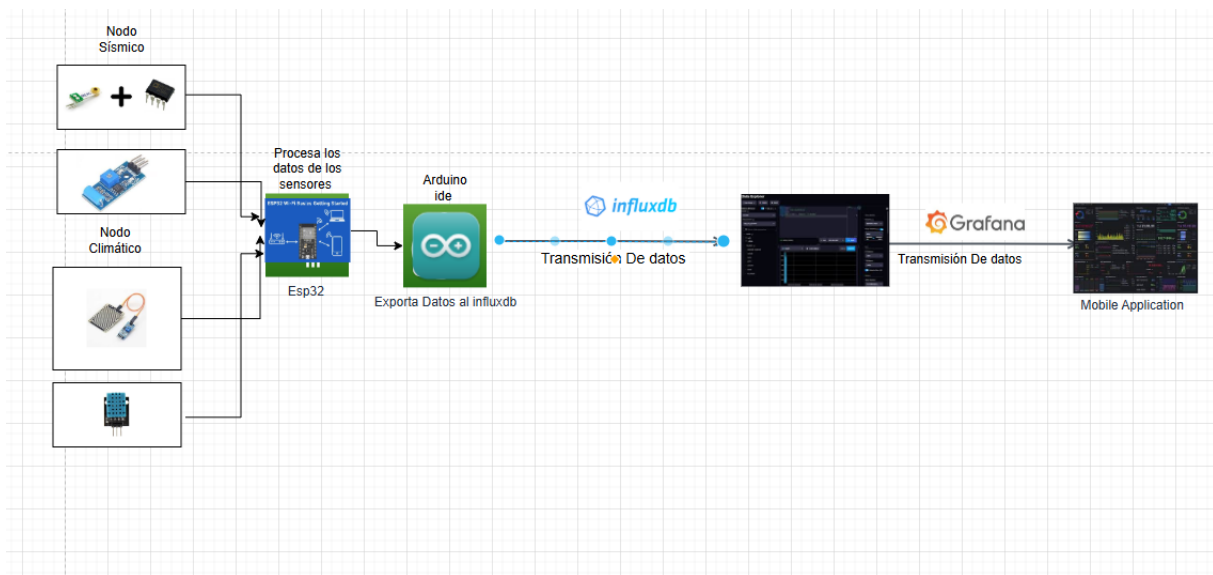
La arquitectura IoT (Internet de las Cosas) es un conjunto integrado de capas, dispositivos y sistemas interconectados que permite recolectar, transmitir, procesar y visualizar datos provenientes de sensores y actuadores en tiempo real. Su objetivo es facilitar el monitoreo y control de variables físicas o ambientales mediante redes y plataformas inteligentes.

En este proyecto, la arquitectura IoT se implementa para supervisar y correlacionar variables climáticas y eventos de vibración. Entre las variables medidas se incluyen la temperatura y humedad relativa mediante el sensor DHT11, la presencia de lluvia mediante el YL-83, las vibraciones del entorno con el SEN-09199 y la detección puntual de vibración mediante el SW-420. Esta combinación de sensores permite obtener un panorama general de las condiciones del entorno en tiempo real.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como se muestra en la Figura 7, Como se muestra en la Figura 7, la integración del nodo de monitoreo de vibraciones y del nodo climático dentro de la red IoT permite un seguimiento coordinado de las variables medidas, conformando un sistema orientado al monitoreo de vibraciones y variables ambientales.

Figura 7. Integración del nodo sísmico y climático dentro de la red IoT.



3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología empleada para el desarrollo del sistema de monitoreo ambiental y de vibraciones basado en tecnología IoT, Se presentan las etapas y procedimientos necesarios para el diseño, implementación e integración de los diferentes componentes que conforman el sistema, abarcando tanto el hardware como el software.

Inicialmente, se analizan las soluciones existentes para el monitoreo de vibraciones y variables ambientales, con el fin de establecer una base conceptual que permita seleccionar los sensores y tecnologías más adecuados para el proyecto. Posteriormente, se aborda el diseño de los circuitos de acondicionamiento de señal utilizados para la adquisición de datos, garantizando una adecuada captura y procesamiento de la información.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De igual manera, se describe la implementación del sistema de adquisición de datos mediante el uso del microcontrolador ESP32, así como el diseño de la base de datos en InfluxDB para el almacenamiento de la información. Adicionalmente, se presenta el desarrollo de la interfaz de visualización mediante dashboards en Grafana, permitiendo el monitoreo en tiempo real de las variables medidas.

Finalmente, se detalla el diseño del prototipo mecánico y el proceso de validación del sistema, con el fin de verificar su correcto funcionamiento y evaluar su desempeño en condiciones reales de operación.

3.1. Soluciones existentes para el monitoreo sísmico

El monitoreo sísmico permite la detección y análisis de vibraciones del suelo para identificar eventos sísmicos y evaluar su impacto. Aunque tradicionalmente se realiza con estaciones de alta precisión, actualmente existen soluciones de bajo costo basadas en sensores electrónicos e IoT que facilitan su implementación.

Entre las principales soluciones se encuentran los geófonos estándar, los geófonos de baja frecuencia, los acelerómetros MEMS y los sensores híbridos. Los geófonos estándar se utilizan para detectar vibraciones en rangos medios, mientras que los de baja frecuencia permiten captar movimientos más lentos asociados a eventos profundos. Por su parte, los acelerómetros MEMS ofrecen una alternativa moderna, económica y de fácil integración en sistemas electrónicos.

Finalmente, los sensores híbridos combinan geófonos y acelerómetros en un mismo dispositivo, permitiendo una mejor cobertura de diferentes rangos de frecuencia y amplitud, lo que mejora la calidad del registro sísmico y el análisis de los eventos detectados.

3.1.1 Solución 1: Geófono estándar

Los geófonos estándar son sensores ampliamente utilizados en el monitoreo sísmico. Su funcionamiento se basa en un principio electromagnético, en el cual el movimiento del suelo genera una variación de corriente en una bobina interna, produciendo una señal eléctrica proporcional a la vibración detectada. (IMS Seismology, s.f.)

Estos dispositivos son muy efectivos en rangos de frecuencia medios, lo que los hace adecuados para la detección de vibraciones superficiales y eventos sísmicos locales. Además, presentan respuesta coherente y viabilidad para fines académicos, siendo una de las soluciones más confiables en aplicaciones geofísicas. Véase la figura 8.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 8. Geófono estándar.



Nota. Tomado de IMS Seismology, Seismic Sensors | Geophones & Accelerometers.
<https://www.imseismology.org/sensors/>

3.1.2 Solución 2: Geófono de baja frecuencia

Los geófonos de baja frecuencia están diseñados para captar vibraciones más lentas en comparación con los geófonos estándar. Esto les permite detectar movimientos asociados a eventos sísmicos profundos o fenómenos geológicos de larga duración (IMS Seismology, s.f.).

Su principal ventaja radica en la capacidad de registrar señales que otros sensores no logran captar con facilidad, ampliando el rango de análisis del comportamiento del suelo. Sin embargo, suelen ser más especializados y pueden tener un mayor costo en comparación con otras alternativas. Véase la figura 9.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 9. Geófono de baja frecuencia



Nota. Tomado de IMS Seismology, Seismic Sensors | Geophones & Accelerometers.
<https://www.imseismology.org/sensors/>

3.1.3 Solución 3: Acelerómetros MEMS

Los acelerómetros MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) son sensores modernos que miden la aceleración del movimiento en uno o varios ejes (IMS Seismology, s.f.). Se caracterizan por su tamaño reducido, bajo costo y facilidad de integración con sistemas electrónicos como microcontroladores.

Estos dispositivos son ampliamente utilizados en sistemas IoT, ya que permiten obtener datos en tiempo real y procesarlos de manera eficiente. Aunque su precisión puede ser menor en comparación con sensores profesionales, representan una solución práctica y accesible para aplicaciones de monitoreo distribuido. Véase la figura 10.

Figura 10. Acelerómetro MEMS.



Nota. Tomado de IMS Seismology, Seismic Sensors | Geophones & Accelerometers.
<https://www.imseismology.org/sensors/>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.1.4 Solución 4: Sensores híbridos

Los sensores híbridos combinan diferentes tecnologías, como geófonos y acelerómetros, en un solo dispositivo (IMS Seismology, s.f.). Esta integración permite aprovechar las ventajas de ambos sensores, logrando una mayor cobertura en diferentes rangos de frecuencia y amplitud.

Gracias a esta combinación, los sensores híbridos ofrecen un mejor desempeño en la detección de eventos sísmicos, permitiendo registrar tanto vibraciones rápidas como movimientos más lentos. Esto los convierte en una solución avanzada para sistemas de monitoreo que requieren mayor precisión y confiabilidad (IMS Seismology, s.f.). Véase la figura 11.

Figura 11. Sensor sísmico híbrido.



Nota. Tomado de IMS Seismology, Seismic Sensors | Geophones & Accelerometers.
<https://www.imseismology.org/sensors/>

3.2 Soluciones existentes para el monitoreo climático

El monitoreo climático permite la medición y análisis de variables ambientales como la temperatura, la humedad y la precipitación, siendo fundamental en aplicaciones como la agricultura, la gestión del riesgo y el estudio del comportamiento ambiental. Tradicionalmente, este monitoreo se realiza mediante estaciones meteorológicas que integran sensores de alta precisión para obtener mediciones con bajos niveles de incertidumbre.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dentro de las soluciones existentes se encuentran dispositivos para la medición de la precipitación, como el pluviómetro TE525WS de 8 pulgadas y el pluviómetro TB4, diseñados para registrar la cantidad de lluvia acumulada en un periodo determinado, proporcionando datos confiables sobre la intensidad y volumen de las precipitaciones. De igual manera, se emplean sensores especializados para la medición de temperatura y humedad, como el EE181-L y el HMP155A, los cuales permiten obtener mediciones precisas de las condiciones ambientales y son ampliamente utilizados en estaciones meteorológicas profesionales.

En conjunto, estas soluciones representan sistemas de monitoreo climático de alta precisión; sin embargo, su costo y complejidad pueden limitar su implementación en proyectos de bajo presupuesto. Por esta razón, en el presente proyecto se opta por el uso de sensores de bajo costo como el DHT11 y el YL-83, los cuales permiten obtener información ambiental en tiempo real y facilitan su integración con sistemas IoT.

3.2.1 Solución 1: Sensor de temperatura y humedad EE181-L

El sensor EE181-L es un dispositivo utilizado para la medición de temperatura y humedad relativa del ambiente, caracterizado por su alta precisión y estabilidad en condiciones ambientales variables (INMTN, 2026). Este tipo de sensor es ampliamente empleado en estaciones meteorológicas y sistemas de monitoreo profesional, donde se requiere obtener datos confiables para el análisis climático.

Su funcionamiento se basa en la combinación de elementos sensibles que permiten detectar cambios en la temperatura y en la humedad del aire, generando señales que pueden ser procesadas por sistemas electrónicos. Gracias a su diseño, este sensor ofrece una respuesta rápida y mediciones consistentes en el tiempo, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de monitoreo continuo (INMTN, 2026). Véase figura 12.

Figura 12. Sensor de temperatura y humedad EE181-L.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota. Tomado de INMTN, Sensors. <https://www.inmtn.com/weather/sensors-components/sensors/>

3.2.2 Solución 2: Sensor de temperatura y humedad HMP155A

El sensor HMP155A es un instrumento de alta precisión diseñado para la medición de temperatura y humedad relativa en aplicaciones meteorológicas avanzadas (INMTN, 2026). Este sensor se destaca por su capacidad de operar en condiciones ambientales exigentes, ofreciendo mediciones confiables incluso en entornos con cambios bruscos de temperatura y humedad.

Su funcionamiento se basa en sensores capacitivos para la humedad y sensores térmicos para la temperatura, lo que permite obtener datos precisos y estables. Además, este tipo de sensor es ampliamente utilizado en estaciones meteorológicas profesionales debido a su alta exactitud, durabilidad y capacidad de integración con sistemas de adquisición de datos (INMTN, 2026). Véase la figura 13.

Figura 13. Sensor de temperatura y humedad HMP155A.



Nota. Tomado de INMTN, Sensors. <https://www.inmtn.com/weather/sensors-components/sensors/>

3.2.3 Solución 3: Pluviómetro TE525WS de 8 pulgadas

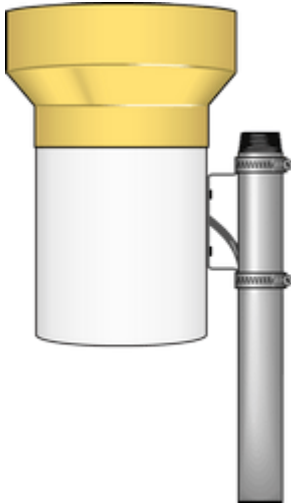
El pluviómetro TE525WS de 8 pulgadas es un instrumento utilizado para la medición de la precipitación, diseñado para registrar la cantidad de lluvia acumulada en un periodo determinado (INMTN, 2026). Este dispositivo es ampliamente empleado en estaciones meteorológicas debido a su alta precisión y confiabilidad en la recolección de datos.

Su funcionamiento se basa en un sistema de balancín (tipping bucket), el cual permite medir la cantidad de agua recolectada mediante el conteo de basculaciones, generando señales eléctricas proporcionales a la precipitación registrada. Gracias a este mecanismo, el

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

pluviómetro proporciona información precisa sobre la intensidad y volumen de lluvia (INMTN, 2026). Véase la figura 14.

Figura 14. Pluviómetro TE525WS de 8 pulgadas.



Nota. Tomado de INMTN, Sensors. <https://www.inmtn.com/weather/sensors-components/sensors/>

3.2.4 Solución 4: Pluviómetro TB4

El pluviómetro TB4 es un dispositivo diseñado para la medición de la precipitación, utilizado en aplicaciones meteorológicas profesionales (INMTN, 2026). Este sensor permite registrar la cantidad de lluvia acumulada, facilitando el monitoreo continuo de las condiciones climáticas.

Este instrumento también emplea un mecanismo de balancín que convierte la recolección de agua en señales eléctricas, permitiendo su integración con sistemas de adquisición de datos. Su diseño robusto y su alta exactitud lo convierten en una solución confiable para estaciones meteorológicas y sistemas de monitoreo ambiental (INMTN, 2026). Véase la figura 15.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 15. Pluviómetro TB4.



Nota. Tomado de INMTN, Sensors. <https://www.inmtn.com/weather/sensors-components/sensors/>

3.3 Circuito de acondicionamiento SEN-09199 + AD620 (vibraciones bajas y medias)

Para la implementación del circuito de acondicionamiento del sensor piezoeléctrico SEN-09199 junto con el amplificador de instrumentación AD620, se desarrolló una metodología estructurada en varias etapas, con el objetivo de garantizar la correcta adquisición, amplificación y procesamiento de la señal de vibración generada por el sensor. Este proceso incluyó desde la selección del sensor hasta la validación del sistema completo en condiciones reales de operación.

Paso 1. Investigación de alternativas y selección del sensor

- I. En la etapa inicial se realizó una investigación sobre las diferentes tecnologías disponibles para la detección de vibraciones. En primer lugar, se analizaron geófonos comerciales, los cuales son ampliamente utilizados en aplicaciones sísmicas debido a su alta precisión y confiabilidad; sin embargo, estos dispositivos presentan un costo elevado, lo cual no se ajustaba a los requerimientos del proyecto. Véase la figura 16 y 17.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 16. Geófono - SM-24

HOME / SENSORS / ENVIRONMENTAL SENSORS / SEISMOGRAPH

Share:   



Geophone - SM-24, with Insulating Disc

★★★★★ 3 reviews

SKU: SEN-11744

The SM-24 geophone element is designed to offer the highest performance in seismic exploration based upon field-proven I/O Sensor technology.

\$69.95

- 1 + **Add to Cart**

IN STOCK STOCK/DISCOUNTS

ADD TO WISH LIST COMPARE

Nota. Tomado de SparkFun Electronics, Geophone - SM-24 with Insulating Disc.
Disponible en: <https://www.sparkfun.com/geophone-sm-24-with-insulating-disc.html>

Figura 17. Geófono Omnidireccional EG-15

Geófono Omnidireccional EG-15-OD-I en Oferta, 15 Hz de Alta Sensibilidad, Sensibilidad del Geófono de 15 Hz, 65 V/m/s

Ver reseñas · 1 vendido/s

EGL Tcherb Inc CN · 6 años en Alibaba.com

4.8/5.0 (250 reseñas) · Tasa de recompra: 6% · Tiempo de respuesta ≤ 2h · Tasa de entregas a tiempo ≥ 100%



Fotos Video Atributos

Otras recomendaciones para tu negocio

1 - 19 unidades	20 - 99 unidades
COP 226.943	COP 219.378
100 - 299 unidades	>= 300 unidades
COP 208.031	COP 189.119

Precio de muestra: COP 189.119 [Pedir muestra](#)

Cantidad: - 1 +

Opciones de personalización

- Caso del geófono (Pedido mínimo: 1 unidad)
- Plomo en cable (Pedido mínimo: 1 unidad)
- Conector (Pedido mínimo: 1 unidad)

Envío

Tarifa de envío y fecha de entrega por definir. Chatea con el proveedor para confirmar los detalles.

Subtotal del artículo COP 226.943

Total del envío Por definir

Total antes de impuestos \$ 226.943,00 (\$ 226.943,00/unidad)

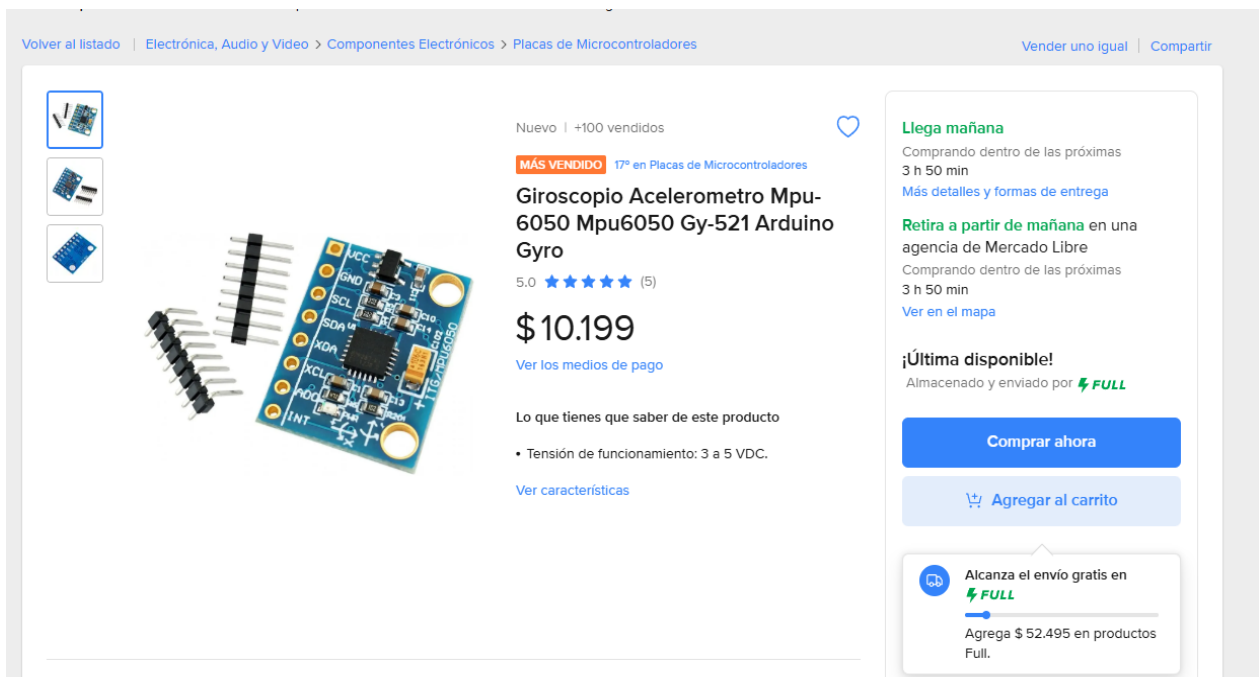
Cotizar [Chatea ahora](#)

Nota. Tomado de Alibaba, Hot Sale EG-15-OD-I Geophone, plataforma de comercio electrónico. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Hot-Sale-EG-15-OD-I-1600648919284.html>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- II.** Posteriormente, se evaluaron acelerómetros como una alternativa de bajo costo. Aunque estos sensores presentan ventajas en términos de tamaño y facilidad de integración con sistemas electrónicos, se determinó que su precisión no era suficiente para el tipo de medición requerida, especialmente en la detección de vibraciones de baja intensidad. Además, su implementación implica una mayor carga computacional debido al uso de protocolos de comunicación como I2C, lo que puede afectar el rendimiento del sistema. Véase la figura 18 y 19.

Figura 18. Módulo acelerómetro y giroscopio MPU6050.



Volver al listado | Electrónica, Audio y Video > Componentes Electrónicos > Placas de Microcontroladores Vender uno igual | Compartir



Nuevo | +100 vendidos 🔖

MÁS VENDIDO 17° en Placas de Microcontroladores

Giroscopio Acelerometro Mpu-6050 Mpu6050 Gy-521 Arduino Gyro

5.0 ★★★★★ (5)

\$10.199

[Ver los medios de pago](#)

Lo que tienes que saber de este producto

- Tensión de funcionamiento: 3 a 5 VDC.

[Ver características](#)

Llega mañana
Comprando dentro de las próximas 3 h 50 min
[Más detalles y formas de entrega](#)

Retira a partir de mañana en una agencia de Mercado Libre
Comprando dentro de las próximas 3 h 50 min
[Ver en el mapa](#)

¡Última disponible!
Almacenado y enviado por **FULL**

[Comprar ahora](#)

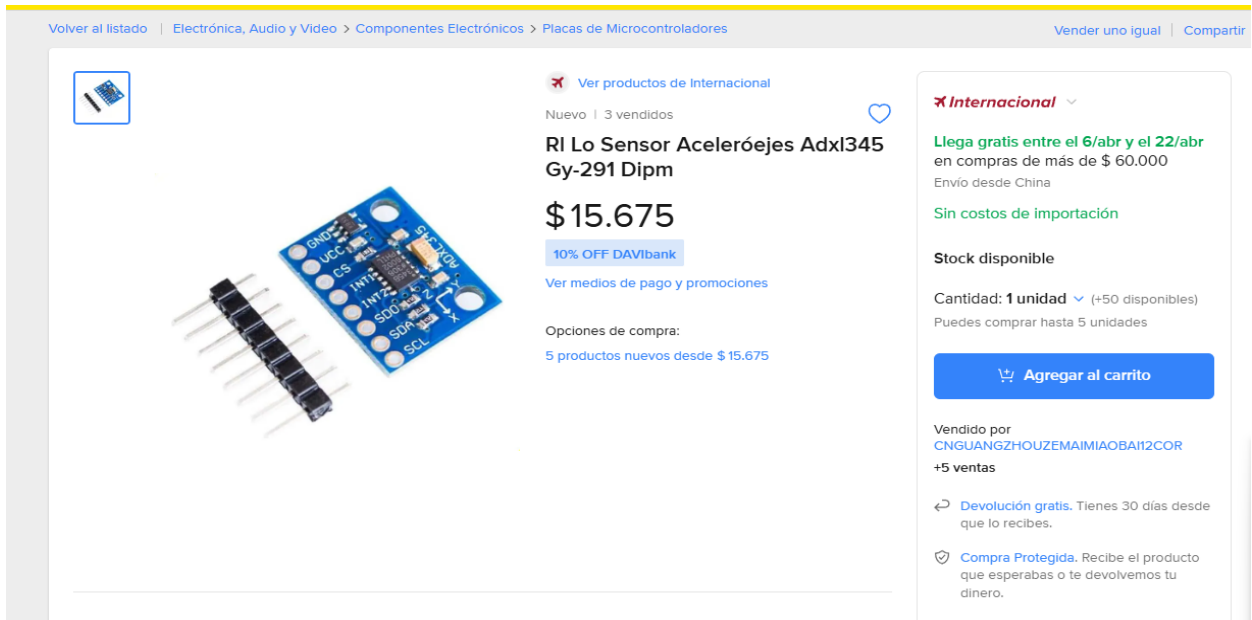
[Agregar al carrito](#)

Alcanza el envío gratis en FULL
Agrega \$ 52.495 en productos Full.

Nota. Tomado de Mercado Libre, Giroscopio acelerómetro MPU6050 GY-521. Disponible en: <https://www.mercadolibre.com.co/giroscopio-acelerometro-mpu-6050-mpu6050-gy-521-arduino-gyro/p/MCO32624993>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 19. Módulo acelerómetro ADXL345.



Volver al listado | Electrónica, Audio y Video > Componentes Electrónicos > Placas de Microcontroladores

Vender uno igual | Compartir

 Ver productos de Internacional

Nuevo | 3 vendidos

RI Lo Sensor Acelerójees Adxl345 Gy-291 Dipm

\$15.675

10% OFF DAVibank

Ver medios de pago y promociones

Opciones de compra:
5 productos nuevos desde \$15.675

Internacional

Llega gratis entre el 6/abr y el 22/abr en compras de más de \$60.000
Envío desde China

Sin costos de importación

Stock disponible

Cantidad: 1 unidad (+50 disponibles)
Puedes comprar hasta 5 unidades

 Agregar al carrito

Vendido por
CNGUANGZHOUZEMAIMIAOBAI12COR
+5 ventas

 Devolución gratis. Tienes 30 días desde que lo recibes.

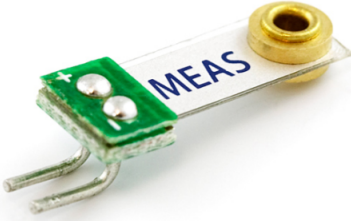
 Compra Protegida. Recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

Nota. Tomado de Mercado Libre, Acelerómetro ADXL345 GY-291. Disponible en:
<https://www.mercadolibre.com.co/y-acelerometro-adxl345-gy-291/p/MCO2065706932>

- III.** Finalmente, se seleccionó el sensor piezoeléctrico SEN-09199, debido a que presenta una adecuada relación entre costo, sensibilidad y facilidad de implementación. Además, este tipo de sensor ha sido empleado en aplicaciones de monitoreo de vibraciones e instrumentación experimental, lo que evidencia su viabilidad para sistemas de adquisición de datos de bajo costo. Véase la figura 20.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 20. Sensor SEN-09199



Shop / Sensor de vibración piezoeléctrico LDTC-H

[SEN-09199] Sensor de vibración piezoeléctrico LDTC-H

\$ 36.861,44 IVA incluido.

- 1 + [Agregar al carrito](#)

♥ [Agregar a lista de deseos](#)

Solo 1 Unidades disponibles.

Share: [f](#) [x](#) [p](#) [e](#)

[Descripción](#)
[Specifications](#)

Sensor de vibración montaje en vertical con masa para mejorar sensibilidad al movimiento a bajas frecuencias. Útil para detectar las vibraciones. Se crea una pequeña corriente y voltaje grande (hasta +/- 90V) cuando la película se mueve. Una simple resistencia debe recibir el voltaje a y se lleva a niveles de ADC.

También se puede utilizar para la detección de impacto o un interruptor flexible.

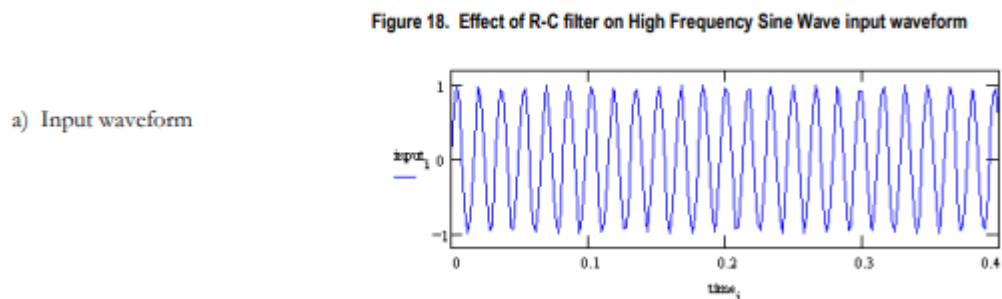
Viene con pines de soldadura que permite el montaje vertical.

Nota. Tomado de Didácticas Electrónicas I+D. Disponible en:

<https://www.didacticaselectronicas.com/shop/sen-09199-sensor-de-vibracion-piezoelctrico-ldtc-h-3878>

- IV. Adicionalmente, mediante el análisis de la hoja de datos del sensor, se identificó que la señal generada corresponde a variaciones de voltaje de muy baja amplitud, lo cual dificulta su lectura directa por parte del microcontrolador. Véase la figura 21.

Figura 21. Comportamiento de la señal del sensor SEN-09199



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*Nota. Tomado de Measurement Specialties Inc., Piezo Film Sensors Technical Manual.
Disponible en:*

https://cdn.sparkfun.com/assets/d/a/a/b/b/Piezo_Film_Sensors_Technical_Manual.pdf

Paso 2. Selección del sistema de amplificación

- I. Una vez identificado el problema asociado a la baja amplitud de la señal, se procedió a investigar diferentes alternativas de amplificación. Inicialmente, se consideraron amplificadores operacionales convencionales; sin embargo, estos presentan limitaciones en términos de ruido, deriva y estabilidad cuando se trabaja con señales de muy baja magnitud.
- II. Por esta razón, se seleccionó el amplificador de instrumentación AD620, el cual está diseñado específicamente para el acondicionamiento de señales diferenciales de baja amplitud. Este dispositivo permite operar con una alimentación de 5 V, evitando la necesidad de implementar elevadores de voltaje adicionales. Además, ofrece alta ganancia configurable, bajo nivel de ruido y excelente estabilidad térmica, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de medición precisa. **Veáse la figura 22.**

Figura 22. Amplificador de instrumentación AD620.



Nota. Tomado de Electronilab, Módulo amplificador de instrumentación AD620.

Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/modulo-amplificador-de-instrumentacion-ad620/>

- III. El AD620 permite ajustar la ganancia mediante una resistencia externa, lo que facilita adaptar la señal del sensor a niveles adecuados para su lectura

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

por el microcontrolador. Esta característica resulta fundamental para garantizar una correcta adquisición de datos. **Veáse** la figura 23.

Figura 23. Configuración de ganancia del amplificador AD620.

GAIN SELECTION

The AD620 gain is resistor-programmed by R_G , or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The AD620 is designed to offer accurate gains using 0.1% to 1% resistors. Table 5 shows required values of R_G for various gains. Note that for $G = 1$, the R_G pins are unconnected ($R_G = \infty$). For any arbitrary gain, R_G can be calculated by using the formula:

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G - 1}$$

To minimize gain error, avoid high parasitic resistance in series with R_G ; to minimize gain drift, R_G should have a low TC—less than 10 ppm/°C—for the best performance.

Table 5. Required Values of Gain Resistors

1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003.0

Nota. Tomado de Analog Devices, AD620 Data Sheet, p. 15. Disponible en:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad620.pdf>

Paso 2.1 Caracterización del circuito de acondicionamiento

Con el fin de adaptar la señal generada por el sensor piezoeléctrico SEN-09199 al rango de lectura del convertidor analógico-digital (ADC) del ESP32, se implementó un circuito de acondicionamiento basado en el amplificador de instrumentación AD620.

El AD620 fue seleccionado debido a sus características de bajo ruido, alta impedancia de entrada y capacidad para amplificar señales de baja amplitud provenientes de sensores

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

piezoeléctricos. Durante el desarrollo del proyecto se utilizó el módulo comercial AD620 empleando la configuración incorporada por el fabricante del módulo.

El circuito fue alimentado mediante una tensión de 5 V suministrada por la tarjeta ESP32-WROOM-32D. La señal de salida del amplificador fue conectada a una entrada analógica del microcontrolador, permitiendo la adquisición de las variaciones de voltaje generadas por el sensor ante diferentes estímulos de vibración.

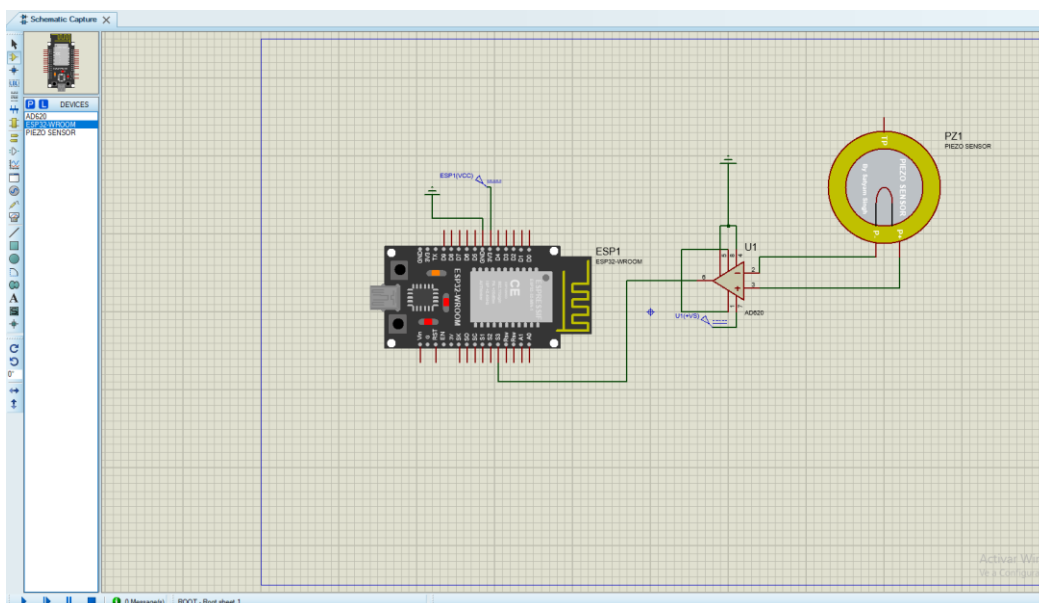
Durante las pruebas experimentales se verificó que la señal amplificada pudiera ser adquirida correctamente por el ADC del ESP32, observándose cambios coherentes entre el estado de reposo y los eventos de vibración aplicados. Asimismo, se comprobó que la señal permaneciera dentro del rango de operación del sistema durante las condiciones normales de prueba.

Con el fin de mejorar la estabilidad de las mediciones, se aplicó un procesamiento digital básico en el ESP32 mediante la lectura periódica y el almacenamiento de los valores adquiridos.

Paso 3. Diseño del circuito en software

- I. Se realizó la simulación del circuito de acondicionamiento utilizando Proteus con el fin de validar la integración entre el sensor SEN-09199, el amplificador AD620 y el ESP32. La simulación permitió verificar las conexiones eléctricas y el comportamiento general del sistema. Véase la Figura 24.

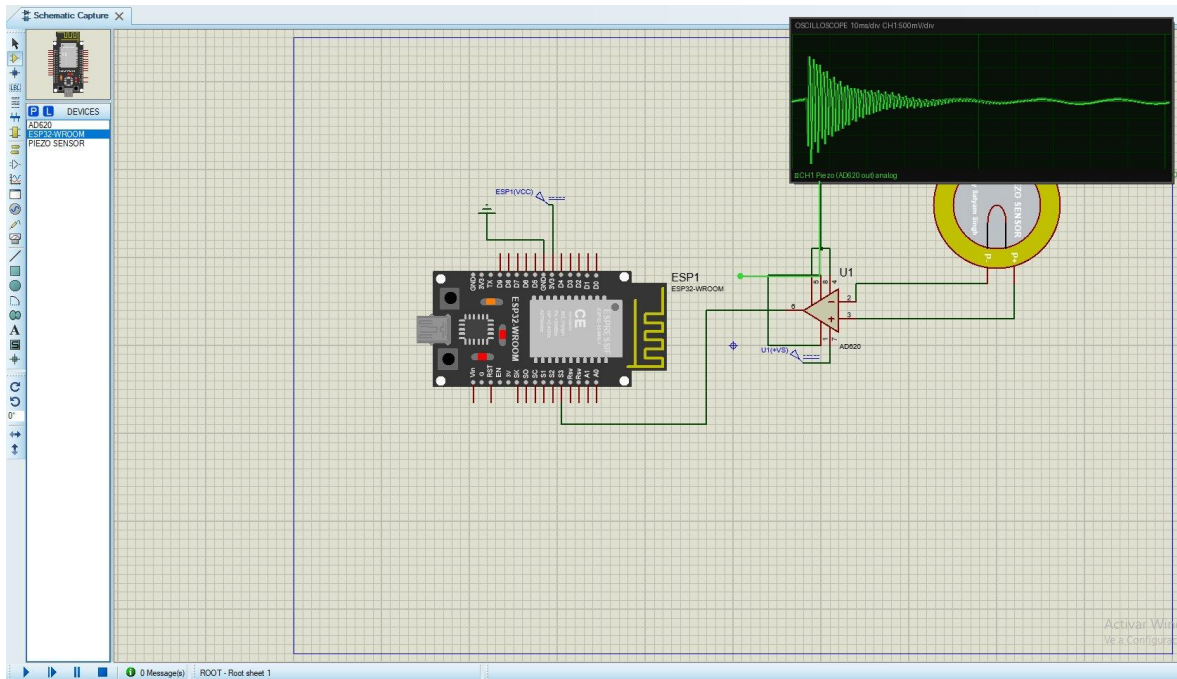
Figura 24. Conexión del circuito en Proteus.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- II. Posteriormente, se ejecutaron pruebas de simulación para evaluar la respuesta del circuito ante diferentes estímulos de vibración y comprobar que la señal amplificada pudiera ser adquirida correctamente por el convertidor analógico-digital del ESP32. Véase la Figura 25.

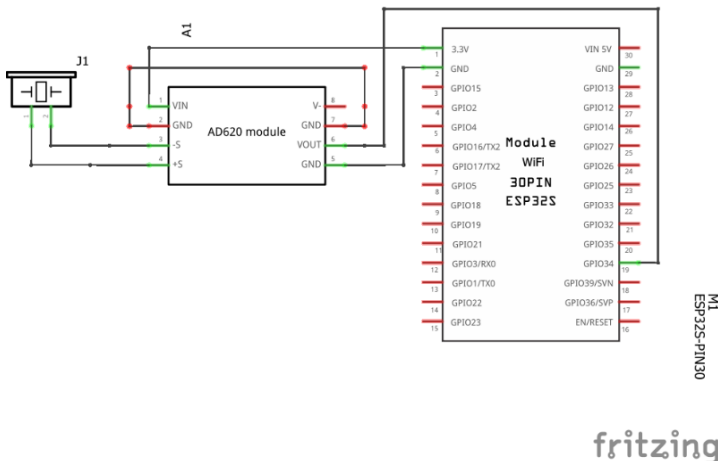
Figura 25. Resultados de la simulación del circuito.



Paso 4. Implementación en protoboard y validación experimental

- I. Después de validar el diseño simulador, se procede al montaje físico del circuito en una protoboard, siguiendo el esquema previamente definido. Véase la figura 26.

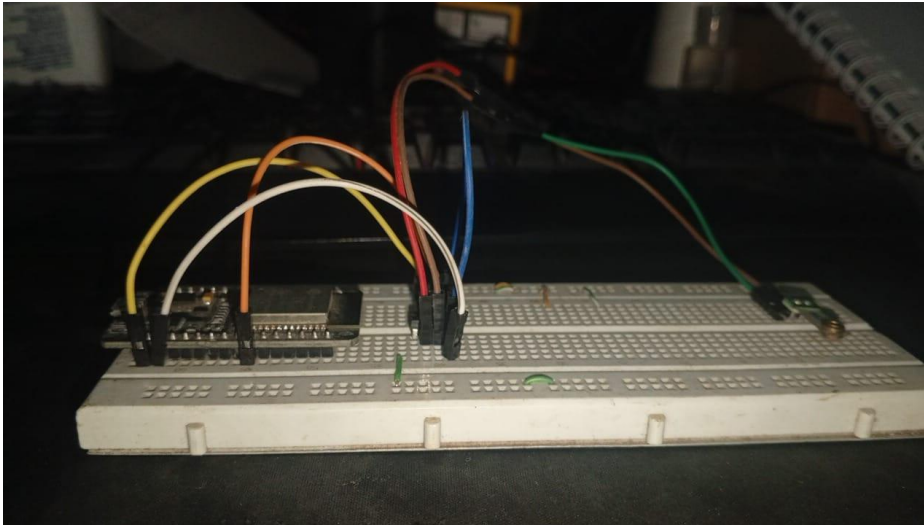
Figura 26. Esquema del circuito.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- II.** Durante esta etapa, se debe prestar especial atención a la correcta conexión de los pines del amplificador y del sensor, apoyándose en las hojas de datos de los componentes. Véase la figura 27.

Figura 27. Montaje del circuito en protoboard.



- III.** Posteriormente, se realizaron pruebas experimentales aplicando diferentes niveles de vibración al sensor. Durante estas pruebas se monitoreó la señal de salida del AD620 mediante el ADC del ESP32, verificando que los valores adquiridos aumentaran proporcionalmente ante incrementos de vibración y permanecieran estables en condiciones de reposo. Asimismo, se comprobó que el rango de voltaje generado no alcanzara niveles de saturación que afectaran la adquisición de datos. Véase la figura 28.

Figura 28. Señal obtenida durante las pruebas del sensor.

```

sketch_mar20a.ino
1  const int piezoPin = 34;
2
3  void setup() {
4      Serial.begin(115200);
5      analogReadResolution(12); // 0-4095
6      analogSetAttenuation(ADC_11db); // rango completo
7  }
8
9  void loop() {
10     int valor = analogRead(piezoPin);

```

Salida Monitor Serie x

Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'ESP32 Dev Module' a 'COM3')

Nueva línea 115200 baud

```

14:10:29.120 -> Piezo:345
14:10:29.140 -> Piezo:360
14:10:29.160 -> Piezo:375
14:10:29.180 -> Piezo:390
14:10:29.200 -> Piezo:405
14:10:29.220 -> Piezo:420
14:10:29.240 -> Piezo:435
14:10:29.260 -> Piezo:450
14:10:29.280 -> Piezo:465
14:10:29.300 -> Piezo:480
14:10:29.320 -> Piezo:495
14:10:29.340 -> Piezo:510
14:10:29.360 -> Piezo:525
14:10:29.380 -> Piezo:540
14:10:29.400 -> Piezo:555
14:10:29.420 -> Piezo:570
14:10:29.440 -> Piezo:585
14:10:29.460 -> Piezo:600
14:10:29.480 -> Piezo:615
14:10:29.500 -> Piezo:630
14:10:29.520 -> Piezo:645
14:10:29.540 -> Piezo:660
14:10:29.560 -> Piezo:675
14:10:29.580 -> Piezo:690
14:10:29.600 -> Piezo:705
14:10:29.620 -> Piezo:720
14:10:29.640 -> Piezo:735
14:10:29.660 -> Piezo:750
14:10:29.680 -> Piezo:765
14:10:29.700 -> Piezo:780
14:10:29.720 -> Piezo:795
14:10:29.740 -> Piezo:810
14:10:29.760 -> Piezo:825
14:10:29.780 -> Piezo:840
14:10:29.800 -> Piezo:855
14:10:29.820 -> Piezo:870
14:10:29.840 -> Piezo:885
14:10:29.860 -> Piezo:900
14:10:29.880 -> Piezo:915
14:10:29.900 -> Piezo:930
14:10:29.920 -> Piezo:945
14:10:29.940 -> Piezo:960
14:10:29.960 -> Piezo:975
14:10:29.980 -> Piezo:990
14:10:29.1000 -> Piezo:1005
14:10:29.1020 -> Piezo:1020
14:10:29.1040 -> Piezo:1035
14:10:29.1060 -> Piezo:1050
14:10:29.1080 -> Piezo:1065
14:10:29.1100 -> Piezo:1080
14:10:29.1120 -> Piezo:1095
14:10:29.1140 -> Piezo:1110
14:10:29.1160 -> Piezo:1125
14:10:29.1180 -> Piezo:1140
14:10:29.1200 -> Piezo:1155
14:10:29.1220 -> Piezo:1170
14:10:29.1240 -> Piezo:1185
14:10:29.1260 -> Piezo:1200
14:10:29.1280 -> Piezo:1215
14:10:29.1300 -> Piezo:1230
14:10:29.1320 -> Piezo:1245
14:10:29.1340 -> Piezo:1260
14:10:29.1360 -> Piezo:1275
14:10:29.1380 -> Piezo:1290
14:10:29.1400 -> Piezo:1305
14:10:29.1420 -> Piezo:1320
14:10:29.1440 -> Piezo:1335
14:10:29.1460 -> Piezo:1350
14:10:29.1480 -> Piezo:1365
14:10:29.1500 -> Piezo:1380
14:10:29.1520 -> Piezo:1395
14:10:29.1540 -> Piezo:1410
14:10:29.1560 -> Piezo:1425
14:10:29.1580 -> Piezo:1440
14:10:29.1600 -> Piezo:1455
14:10:29.1620 -> Piezo:1470
14:10:29.1640 -> Piezo:1485
14:10:29.1660 -> Piezo:1500
14:10:29.1680 -> Piezo:1515
14:10:29.1700 -> Piezo:1530
14:10:29.1720 -> Piezo:1545
14:10:29.1740 -> Piezo:1560
14:10:29.1760 -> Piezo:1575
14:10:29.1780 -> Piezo:1590
14:10:29.1800 -> Piezo:1605
14:10:29.1820 -> Piezo:1620
14:10:29.1840 -> Piezo:1635
14:10:29.1860 -> Piezo:1650
14:10:29.1880 -> Piezo:1665
14:10:29.1900 -> Piezo:1680
14:10:29.1920 -> Piezo:1695
14:10:29.1940 -> Piezo:1710
14:10:29.1960 -> Piezo:1725
14:10:29.1980 -> Piezo:1740
14:10:29.2000 -> Piezo:1755
14:10:29.2020 -> Piezo:1770
14:10:29.2040 -> Piezo:1785
14:10:29.2060 -> Piezo:1800
14:10:29.2080 -> Piezo:1815
14:10:29.2100 -> Piezo:1830
14:10:29.2120 -> Piezo:1845
14:10:29.2140 -> Piezo:1860
14:10:29.2160 -> Piezo:1875
14:10:29.2180 -> Piezo:1890
14:10:29.2200 -> Piezo:1905
14:10:29.2220 -> Piezo:1920
14:10:29.2240 -> Piezo:1935
14:10:29.2260 -> Piezo:1950
14:10:29.2280 -> Piezo:1965
14:10:29.2300 -> Piezo:1980
14:10:29.2320 -> Piezo:1995
14:10:29.2340 -> Piezo:2010
14:10:29.2360 -> Piezo:2025
14:10:29.2380 -> Piezo:2040
14:10:29.2400 -> Piezo:2055
14:10:29.2420 -> Piezo:2070
14:10:29.2440 -> Piezo:2085
14:10:29.2460 -> Piezo:2100
14:10:29.2480 -> Piezo:2115
14:10:29.2500 -> Piezo:2130
14:10:29.2520 -> Piezo:2145
14:10:29.2540 -> Piezo:2160
14:10:29.2560 -> Piezo:2175
14:10:29.2580 -> Piezo:2190
14:10:29.2600 -> Piezo:2205
14:10:29.2620 -> Piezo:2220
14:10:29.2640 -> Piezo:2235
14:10:29.2660 -> Piezo:2250
14:10:29.2680 -> Piezo:2265
14:10:29.2700 -> Piezo:2280
14:10:29.2720 -> Piezo:2295
14:10:29.2740 -> Piezo:2310
14:10:29.2760 -> Piezo:2325
14:10:29.2780 -> Piezo:2340
14:10:29.2800 -> Piezo:2355
14:10:29.2820 -> Piezo:2370
14:10:29.2840 -> Piezo:2385
14:10:29.2860 -> Piezo:2400
14:10:29.2880 -> Piezo:2415
14:10:29.2900 -> Piezo:2430
14:10:29.2920 -> Piezo:2445
14:10:29.2940 -> Piezo:2460
14:10:29.2960 -> Piezo:2475
14:10:29.2980 -> Piezo:2490
14:10:29.3000 -> Piezo:2505
14:10:29.3020 -> Piezo:2520
14:10:29.3040 -> Piezo:2535
14:10:29.3060 -> Piezo:2550
14:10:29.3080 -> Piezo:2565
14:10:29.3100 -> Piezo:2580
14:10:29.3120 -> Piezo:2595
14:10:29.3140 -> Piezo:2610
14:10:29.3160 -> Piezo:2625
14:10:29.3180 -> Piezo:2640
14:10:29.3200 -> Piezo:2655
14:10:29.3220 -> Piezo:2670
14:10:29.3240 -> Piezo:2685
14:10:29.3260 -> Piezo:2700
14:10:29.3280 -> Piezo:2715
14:10:29.3300 -> Piezo:2730
14:10:29.3320 -> Piezo:2745
14:10:29.3340 -> Piezo:2760
14:10:29.3360 -> Piezo:2775
14:10:29.3380 -> Piezo:2790
14:10:29.3400 -> Piezo:2805
14:10:29.3420 -> Piezo:2820
14:10:29.3440 -> Piezo:2835
14:10:29.3460 -> Piezo:2850
14:10:29.3480 -> Piezo:2865
14:10:29.3500 -> Piezo:2880
14:10:29.3520 -> Piezo:2895
14:10:29.3540 -> Piezo:2910
14:10:29.3560 -> Piezo:2925
14:10:29.3580 -> Piezo:2940
14:10:29.3600 -> Piezo:2955
14:10:29.3620 -> Piezo:2970
14:10:29.3640 -> Piezo:2985
14:10:29.3660 -> Piezo:3000
14:10:29.3680 -> Piezo:3015
14:10:29.3700 -> Piezo:3030
14:10:29.3720 -> Piezo:3045
14:10:29.3740 -> Piezo:3060
14:10:29.3760 -> Piezo:3075
14:10:29.3780 -> Piezo:3090
14:10:29.3800 -> Piezo:3105
14:10:29.3820 -> Piezo:3120
14:10:29.3840 -> Piezo:3135
14:10:29.3860 -> Piezo:3150
14:10:29.3880 -> Piezo:3165
14:10:29.3900 -> Piezo:3180
14:10:29.3920 -> Piezo:3195
14:10:29.3940 -> Piezo:3210
14:10:29.3960 -> Piezo:3225
14:10:29.3980 -> Piezo:3240
14:10:29.4000 -> Piezo:3255
14:10:29.4020 -> Piezo:3270
14:10:29.4040 -> Piezo:3285
14:10:29.4060 -> Piezo:3300
14:10:29.4080 -> Piezo:3315
14:10:29.4100 -> Piezo:3330
14:10:29.4120 -> Piezo:3345
14:10:29.4140 -> Piezo:3360
14:10:29.4160 -> Piezo:3375
14:10:29.4180 -> Piezo:3390
14:10:29.4200 -> Piezo:3405
14:10:29.4220 -> Piezo:3420
14:10:29.4240 -> Piezo:3435
14:10:29.4260 -> Piezo:3450
14:10:29.4280 -> Piezo:3465
14:10:29.4300 -> Piezo:3480
14:10:29.4320 -> Piezo:3495
14:10:29.4340 -> Piezo:3510
14:10:29.4360 -> Piezo:3525
14:10:29.4380 -> Piezo:3540
14:10:29.4400 -> Piezo:3555
14:10:29.4420 -> Piezo:3570
14:10:29.4440 -> Piezo:3585
14:10:29.4460 -> Piezo:3600
14:10:29.4480 -> Piezo:3615
14:10:29.4500 -> Piezo:3630
14:10:29.4520 -> Piezo:3645
14:10:29.4540 -> Piezo:3660
14:10:29.4560 -> Piezo:3675
14:10:29.4580 -> Piezo:3690
14:10:29.4600 -> Piezo:3705
14:10:29.4620 -> Piezo:3720
14:10:29.4640 -> Piezo:3735
14:10:29.4660 -> Piezo:3750
14:10:29.4680 -> Piezo:3765
14:10:29.4700 -> Piezo:3780
14:10:29.4720 -> Piezo:3795
14:10:29.4740 -> Piezo:3810
14:10:29.4760 -> Piezo:3825
14:10:29.4780 -> Piezo:3840
14:10:29.4800 -> Piezo:3855
14:10:29.4820 -> Piezo:3870
14:10:29.4840 -> Piezo:3885
14:10:29.4860 -> Piezo:3900
14:10:29.4880 -> Piezo:3915
14:10:29.4900 -> Piezo:3930
14:10:29.4920 -> Piezo:3945
14:10:29.4940 -> Piezo:3960
14:10:29.4960 -> Piezo:3975
14:10:29.4980 -> Piezo:3990
14:10:29.5000 -> Piezo:4005
14:10:29.5020 -> Piezo:4020
14:10:29.5040 -> Piezo:4035
14:10:29.5060 -> Piezo:4050
14:10:29.5080 -> Piezo:4065
14:10:29.5100 -> Piezo:4080
14:10:29.5120 -> Piezo:4095
14:10:29.5140 -> Piezo:4110
14:10:29.5160 -> Piezo:4125
14:10:29.5180 -> Piezo:4140
14:10:29.5200 -> Piezo:4155
14:10:29.5220 -> Piezo:4170
14:10:29.5240 -> Piezo:4185
14:10:29.5260 -> Piezo:4200
14:10:29.5280 -> Piezo:4215
14:10:29.5300 -> Piezo:4230
14:10:29.5320 -> Piezo:4245
14:10:29.5340 -> Piezo:4260
14:10:29.5360 -> Piezo:4275
14:10:29.5380 -> Piezo:4290
14:10:29.5400 -> Piezo:4305
14:10:29.5420 -> Piezo:4320
14:10:29.5440 -> Piezo:4335
14:10:29.5460 -> Piezo:4350
14:10:29.5480 -> Piezo:4365
14:10:29.5500 -> Piezo:4380
14:10:29.5520 -> Piezo:4395
14:10:29.5540 -> Piezo:4410
14:10:29.5560 -> Piezo:4425
14:10:29.5580 -> Piezo:4440
14:10:29.5600 -> Piezo:4455
14:10:29.5620 -> Piezo:4470
14:10:29.5640 -> Piezo:4485
14:10:29.5660 -> Piezo:4500
14:10:29.5680 -> Piezo:4515
14:10:29.5700 -> Piezo:4530
14:10:29.5720 -> Piezo:4545
14:10:29.5740 -> Piezo:4560
14:10:29.5760 -> Piezo:4575
14:10:29.5780 -> Piezo:4590
14:10:29.5800 -> Piezo:4605
14:10:29.5820 -> Piezo:4620
14:10:29.5840 -> Piezo:4635
14:10:29.5860 -> Piezo:4650
14:10:29.5880 -> Piezo:4665
14:10:29.5900 -> Piezo:4680
14:10:29.5920 -> Piezo:4695
14:10:29.5940 -> Piezo:4710
14:10:29.5960 -> Piezo:4725
14:10:29.5980 -> Piezo:4740
14:10:29.6000 -> Piezo:4755
14:10:29.6020 -> Piezo:4770
14:10:29.6040 -> Piezo:4785
14:10:29.6060 -> Piezo:4800
14:10:29.6080 -> Piezo:4815
14:10:29.6100 -> Piezo:4830
14:10:29.6120 -> Piezo:4845
14:10:29.6140 -> Piezo:4860
14:10:29.6160 -> Piezo:4875
14:10:29.6180 -> Piezo:4890
14:10:29.6200 -> Piezo:4905
14:10:29.6220 -> Piezo:4920
14:10:29.6240 -> Piezo:4935
14:10:29.6260 -> Piezo:4950
14:10:29.6280 -> Piezo:4965
14:10:29.6300 -> Piezo:4980
14:10:29.6320 -> Piezo:4995
14:10:29.6340 -> Piezo:5010
14:10:29.6360 -> Piezo:5025
14:10:29.6380 -> Piezo:5040
14:10:29.6400 -> Piezo:5055
14:10:29.6420 -> Piezo:5070
14:10:29.6440 -> Piezo:5085
14:10:29.6460 -> Piezo:5100
14:10:29.6480 -> Piezo:5115
14:10:29.6500 -> Piezo:5130
14:10:29.6520 -> Piezo:5145
14:10:29.6540 -> Piezo:5160
14:10:29.6560 -> Piezo:5175
14:10:29.6580 -> Piezo:5190
14:10:29.6600 -> Piezo:5205
14:10:29.6620 -> Piezo:5220
14:10:29.6640 -> Piezo:5235
14:10:29.6660 -> Piezo:5250
14:10:29.6680 -> Piezo:5265
14:10:29.6700 -> Piezo:5280
14:10:29.6720 -> Piezo:5295
14:10:29.6740 -> Piezo:5310
14:10:29.6760 -> Piezo:5325
14:10:29.6780 -> Piezo:5340
14:10:29.6800 -> Piezo:5355
14:10:29.6820 -> Piezo:5370
14:10:29.6840 -> Piezo:5385
14:10:29.6860 -> Piezo:5400
14:10:29.6880 -> Piezo:5415
14:10:29.6900 -> Piezo:5430
14:10:29.6920 -> Piezo:5445
14:10:29.6940 -> Piezo:5460
14:10:29.6960 -> Piezo:5475
14:10:29.6980 -> Piezo:5490
14:10:29.7000 -> Piezo:5505
14:10:29.7020 -> Piezo:5520
14:10:29.7040 -> Piezo:5535
14:10:29.7060 -> Piezo:5550
14:10:29.7080 -> Piezo:5565
14:10:29.7100 -> Piezo:5580
14:10:29.7120 -> Piezo:5595
14:10:29.7140 -> Piezo:5610
14:10:29.7160 -> Piezo:5625
14:10:29.7180 -> Piezo:5640
14:10:29.7200 -> Piezo:5655
14:10:29.7220 -> Piezo:5670
14:10:29.7240 -> Piezo:5685
14:10:29.7260 -> Piezo:5700
14:10:29.7280 -> Piezo:5715
14:10:29.7300 -> Piezo:5730
14:10:29.7320 -> Piezo:5745
14:10:29.7340 -> Piezo:5760
14:10:29.7360 -> Piezo:5775
14:10:29.7380 -> Piezo:5790
14:10:29.7400 -> Piezo:5805
14:10:29.7420 -> Piezo:5820
14:10:29.7440 -> Piezo:5835
14:10:29.7460 -> Piezo:5850
14:10:29.7480 -> Piezo:5865
14:10:29.7500 -> Piezo:5880
14:10:29.7520 -> Piezo:5895
14:10:29.7540 -> Piezo:5910
14:10:29.7560 -> Piezo:5925
14:10:29.7580 -> Piezo:5940
14:10:29.7600 -> Piezo:5955
14:10:29.7620 -> Piezo:5970
14:10:29.7640 -> Piezo:5985
14:10:29.7660 -> Piezo:6000
14:10:29.7680 -> Piezo:6015
14:10:29.7700 -> Piezo:6030
14:10:29.7720 -> Piezo:6045
14:10:29.7740 -> Piezo:6060
14:10:29.7760 -> Piezo:6075
14:10:29.7780 -> Piezo:6090
14:10:29.7800 -> Piezo:6105
14:10:29.7820 -> Piezo:6120
14:10:29.7840 -> Piezo:6135
14:10:29.7860 -> Piezo:6150
14:10:29.7880 -> Piezo:6165
14:10:29.7900 -> Piezo:6180
14:10:29.7920 -> Piezo:6195
14:10:29.7940 -> Piezo:6210
14:10:29.7960 -> Piezo:6225
14:10:29.7980 -> Piezo:6240
14:10:29.8000 -> Piezo:6255
14:10:29.8020 -> Piezo:6270
14:10:29.8040 -> Piezo:6285
14:10:29.8060 -> Piezo:6300
14:10:29.8080 -> Piezo:6315
14:10:29.8100 -> Piezo:6330
14:10:29.8120 -> Piezo:6345
14:10:29.8140 -> Piezo:6360
14:10:29.8160 -> Piezo:6375
14:10:29.8180 -> Piezo:6390
14:10:29.8200 -> Piezo:6405
14:10:29.8220 -> Piezo:6420
14:10:29.8240 -> Piezo:6435
14:10:29.8260 -> Piezo:6450
14:10:29.8280 -> Piezo:6465
14:10:29.8300 -> Piezo:6480
14:10:29.8320 -> Piezo:6495
14:10:29.8340 -> Piezo:6510
14:10:29.8360 -> Piezo:6525
14:10:29.8380 -> Piezo:6540
14:10:29.8400 -> Piezo:6555
14:10:29.8420 -> Piezo:6570
14:10:29.8440 -> Piezo:6585
14:10:29.8460 -> Piezo:6600
14:10:29.8480 -> Piezo:6615
14:10:29.8500 -> Piezo:6630
14:10:29.8520 -> Piezo:6645
14:10:29.8540 -> Piezo:6660
14:10:29.8560 -> Piezo:6675
14:10:29.8580 -> Piezo:6690
14:10:29.8600 -> Piezo:6705
14:10:29.8620 -> Piezo:6720
14:10:29.8640 -> Piezo:6735
14:10:29.8660 -> Piezo:6750
14:10:29.8680 -> Piezo:6765
14:10:29.8700 -> Piezo:6780
14:10:29.8720 -> Piezo:6795
14:10:29.8740 -> Piezo:6810
14:10:29.8760 -> Piezo:6825
14:10:29.8780 -> Piezo:6840
14:10:29.8800 -> Piezo:6855
14:10:29.8820 -> Piezo:6870
14:10:29.8840 -> Piezo:6885
14:10:29.8860 -> Piezo:6900
14:10:29.8880 -> Piezo:6915
14:10:29.8900 -> Piezo:6930
14:10:29.8920 -> Piezo:6945
14:10:29.8940 -> Piezo:6960
14:10:29.8960 -> Piezo:6975
14:10:29.8980 -> Piezo:6990
14:10:29.9000 -> Piezo:7005
14:10:29.9020 -> Piezo:7020
14:10:29.9040 -> Piezo:7035
14:10:29.9060 -> Piezo:7050
14:10:29.9080 -> Piezo:7065
14:10:29.9100 -> Piezo:7080
14:10:29.9120 -> Piezo:7095
14:10:29.9140 -> Piezo:7110
14:10:29.9160 -> Piezo:7125
14:10:29.9180 -> Piezo:7140
14:10:29.9200 -> Piezo:7155
14:10:29.9220 -> Piezo:7170
14:10:29.9240 -> Piezo:7185
14:10:29.9260 -> Piezo:7200
14:10:29.9280 -> Piezo:7215
14:10:29.9300 -> Piezo:7230
14:10:29.9320 -> Piezo:7245
14:10:29.9340 -> Piezo:7260
14:10:29.9360 -> Piezo:7275
14:10:29.9380 -> Piezo:7290

```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

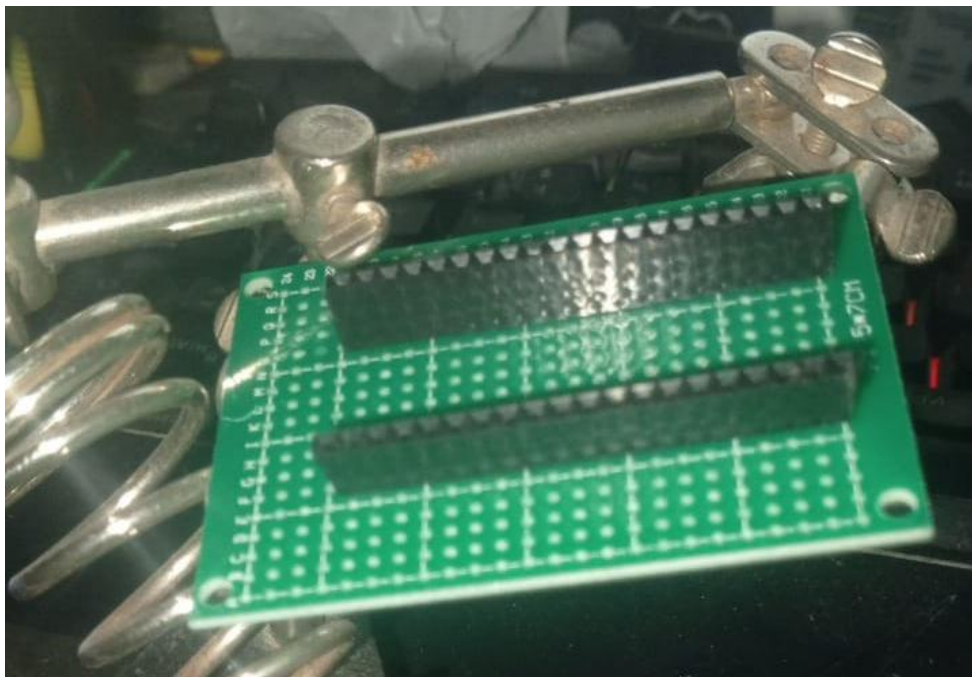
- IV.** Asimismo, se deben comparar los valores obtenidos con los rangos esperados según la documentación técnica, lo cual permitió validar el correcto funcionamiento del circuito de acondicionamiento.

Paso 5. Ensamblaje final e integración del sistema

Una vez confirmado el funcionamiento adecuado del sensor SEN-09199 y del amplificador AD620 durante las pruebas iniciales, se procedió al ensamblaje final del sistema. Este proceso tuvo como objetivo integrar todos los componentes de forma organizada y segura, asegurando una estructura modular que facilite futuras reparaciones, reemplazos o mejoras sin afectar el resto del circuito.

- I.** Se inicia preparando una PCB universal donde se montarían los componentes. Para permitir reemplazos rápidos sin necesidad de desoldar, se instalan pines tipo header en las posiciones del AD620, el SEN-09199 y las conexiones hacia el ESP32. Se debe revisar la continuidad con multímetro para asegurar un ensamble limpio y sin cortos. Véase la figura 29.

Figura 29. Preparación de la PCB y soldadura de pines header

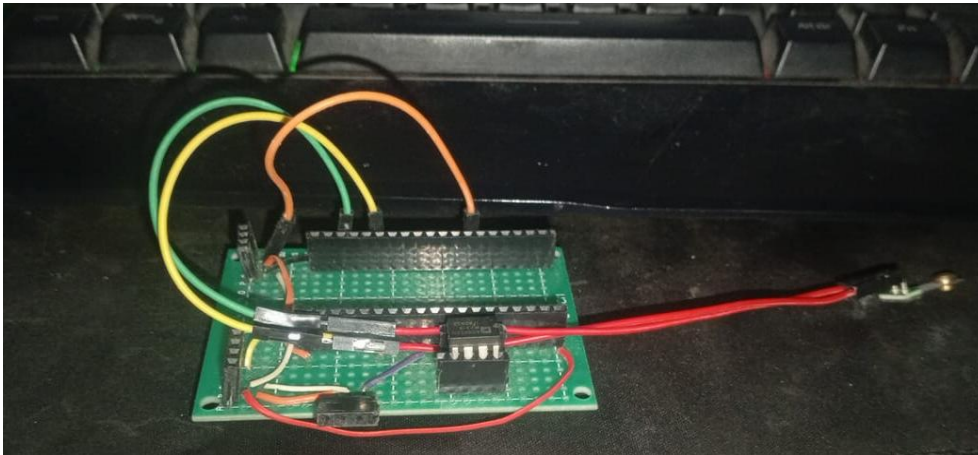


- II.** Con los headers instalados, se colocara el amplificador AD620 y el sensor SEN-09199 siguiendo el esquema eléctrico previamente validado. Se verifica la polaridad del sensor, el resistor de ganancia del AD620 y se fija el elemento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

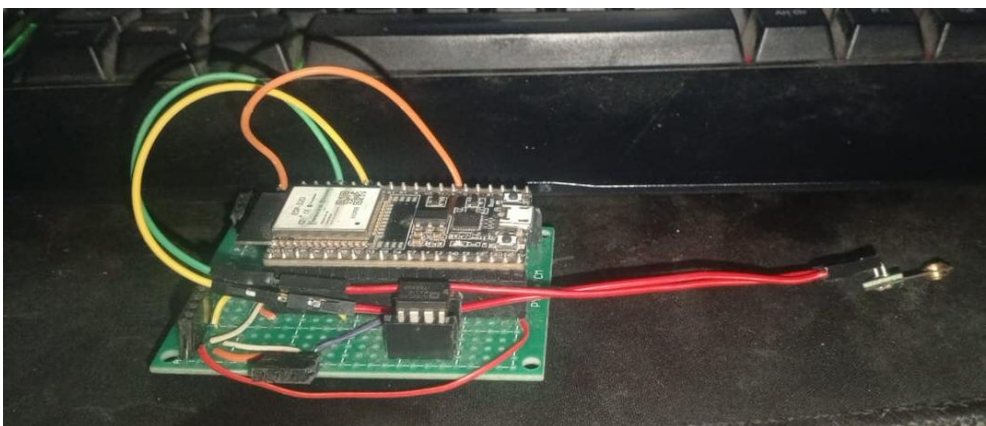
piezoeléctrico para que captara correctamente las vibraciones sin interferencias del cableado. Véase la figura 30.

Figura 30. Montaje del AD620 y del SEN-09199



- III. Luego se hace una verificación del funcionamiento individual del SEN-09199 y del AD620, se integra el amplificador con el ESP32 mediante la conexión de su salida al pin ADC correspondiente, compartiendo referencia de tierra. Posteriormente se realizó el ensamblaje final del circuito acondicionado, organizando el cableado y estableciendo un bus de tierra, incorporando únicamente los elementos de protección esenciales. Con la integración completa, se hace la validación para confirmar la estabilidad y coherencia de la señal adquirida. Véase la figura 31.

Figura 31. Conexión con el ESP32

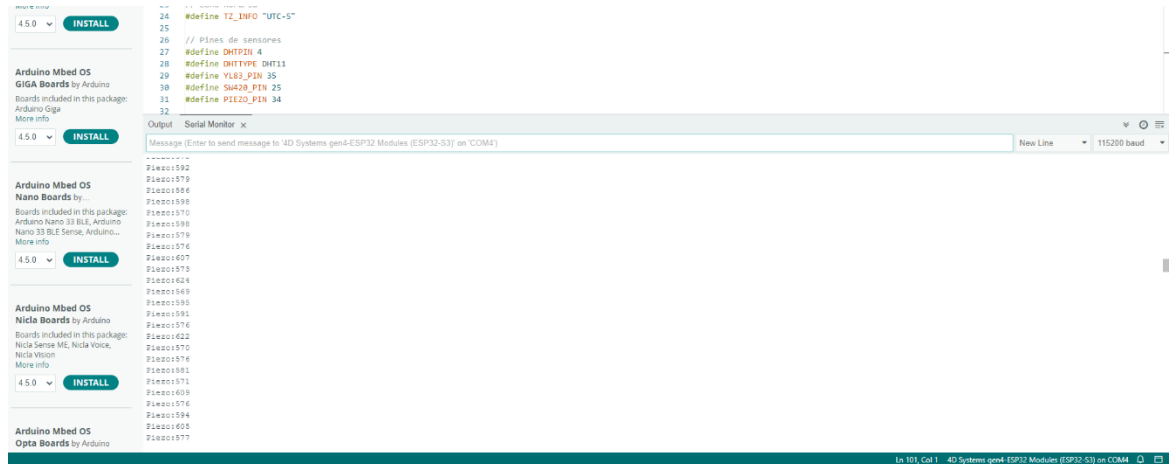


- IV. Finalmente, se ejecuta el código de lectura en el ESP32 para observar el comportamiento del sensor, verificando que los valores adquiridos por el ADC permanecieran estables en condiciones de reposo, que aumentaran de forma

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

coherente ante eventos de vibración y que no se presentaran picos espurios o saturación de la señal amplificada. Véase la figura 32.

Figura 32. Verificación funcional



- V. Una vez confirmada la respuesta adecuada del sistema, el módulo quedó completamente integrado y listo para la etapa de validación del proyecto.

3.4 Circuito de acondicionamiento SW-420 (vibraciones fuertes)

La implementación del circuito de acondicionamiento del sensor SW-420 se llevó a cabo para garantizar una detección estable de vibraciones de alta intensidad dentro del sistema de monitoreo de vibraciones. Se analizaron sus características eléctricas y su comportamiento mecánico para definir una conexión adecuada con el ESP32, asegurando niveles lógicos confiables y minimizando activaciones espurias. Con base en estos criterios, se procedió al diseño, simulación y validación experimental del circuito, optimizando la respuesta del SW-420 en condiciones reales de operación.

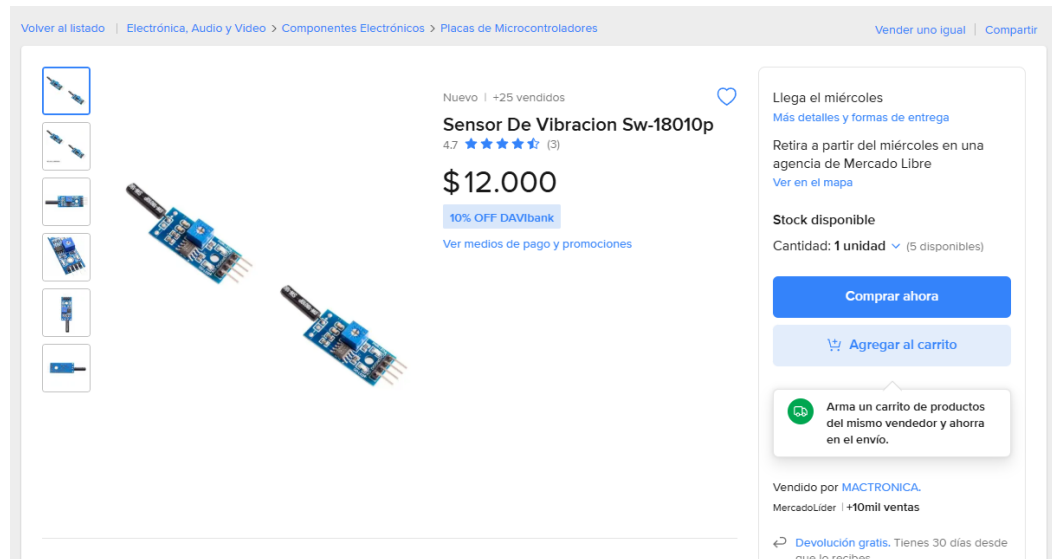
Paso 1. Investigación de alternativas y selección del sensor

- I. En la etapa inicial se realizó una investigación sobre los sensores de vibración disponibles que se ajustaran al presupuesto del proyecto. En primer lugar, se analizó el sensor SW-18010P, el cual emplea un contacto interno que se activa ante movimientos o impactos moderados. Aunque este dispositivo presentaba un costo reducido y una integración simple, se observó que su sensibilidad era limitada y que su respuesta dependía considerablemente del ángulo y del tipo de vibración

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

aplicado, lo que afectaba su repetitividad en aplicaciones orientadas a la detección de vibraciones fuertes. Véase la figura 33.

Figura 33. Sensor de vibración SW-18010P

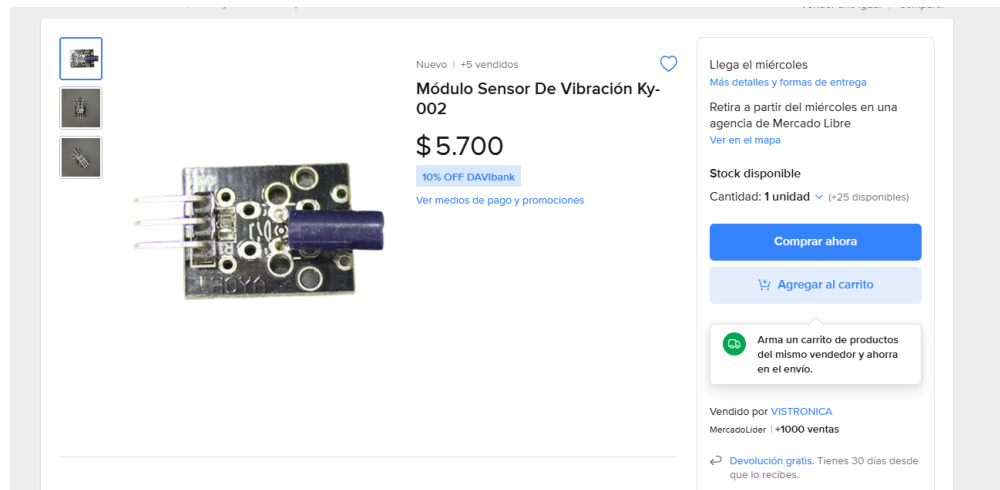


Nota. Tomado de Mercado Libre, Sensor de vibración SW-18010P. Disponible en: <https://www.mercadolibre.com.co/sensor-de-vibracion-sw18010p/up/MCOU2434217948>

- II. Posteriormente, se evaluó el módulo KY-002, el cual incorpora un sensor mecánico similar, pero con una electrónica básica destinada a estabilizar la señal. Si bien este módulo ofrecía un montaje ligeramente más estable que la alternativa anterior, se identificó que su nivel de disparo continuaba siendo inconsistente para eventos de alta intensidad y producía activaciones falsas bajo ciertas condiciones de ruido mecánico. Debido a las limitaciones observadas en la estabilidad de la detección, el KY-002 no fue considerado adecuado para la función requerida. Véase la figura 34.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 34. Módulo de vibración KY-002



Nota. Tomado de Mercado Libre, Módulo de vibración KY-002. Disponible en: <https://www.mercadolibre.com.co/modulo-sensor-de-vibracion-ky002/up/MCOU2427488563>

- III.** Finalmente, se seleccionó el sensor SW-420, el cual integra un elemento mecánico de vibración junto con un comparador LM393 y un potenciómetro de ajuste. Esta configuración permitió establecer un umbral de activación ajustable y obtener una salida digital estable, eliminando la necesidad de etapas de amplificación o filtrado adicionales. Asimismo, el módulo presentó una mejor respuesta ante vibraciones de alta intensidad y una integración directa con el ESP32, cumpliendo los requerimientos del sistema. Por estas razones, el SW-420 fue elegido el sensor principal para este apartado. Véase la figura 35.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 35. Sensor de vibración SW-420



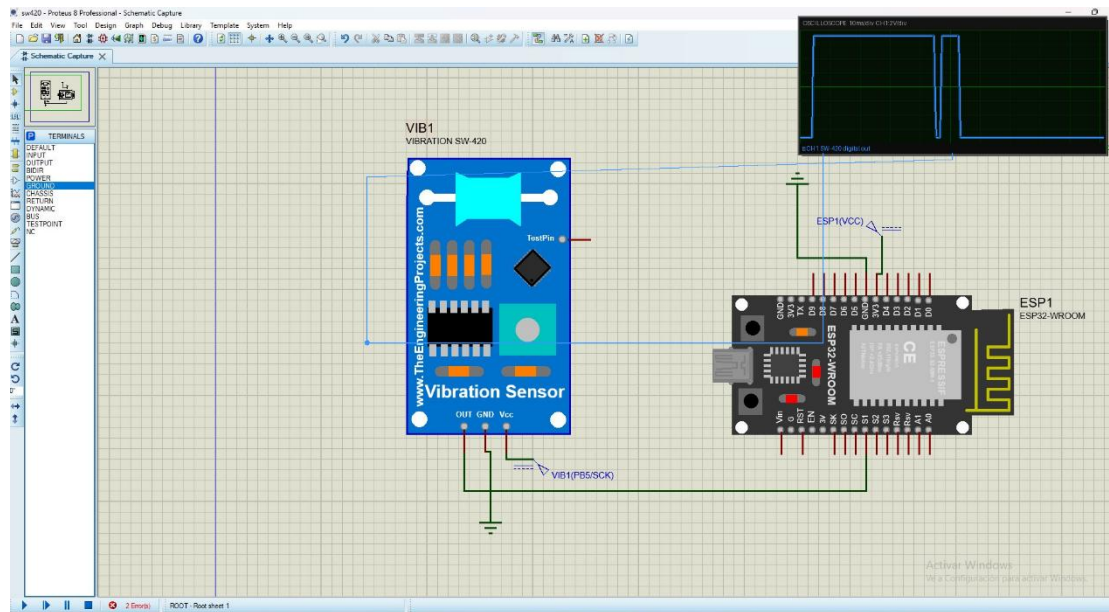
Nota. Tomado En Uelectronics, “SW-420 Módulo sensor de vibración”. Disponible en: <https://www.mercadolibre.com.co/sensor-de-vibracion-de-inclinacion-sw-420-arduino-raspberry-pi-pic/p/MCO32985924>

Paso 2. Diseño y simulación del circuito con el sensor SW-420

- I. Con el propósito de verificar el funcionamiento del sistema antes de su implementación física, se realizó el diseño y la simulación del circuito utilizando el software Proteus. En esta etapa se integraron el sensor SW-420 y el microcontrolador ESP32, con el fin de validar la correcta conexión de los componentes y el comportamiento de la señal digital generada por el sensor.
- II. Posteriormente, se ejecutaron pruebas de simulación para evaluar la respuesta del circuito ante diferentes estímulos de vibración y verificar que la señal de salida pudiera ser detectada correctamente por el ESP32. Los resultados obtenidos permitieron comprobar el funcionamiento general del sistema antes de su montaje físico. Véase la Figura 36.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

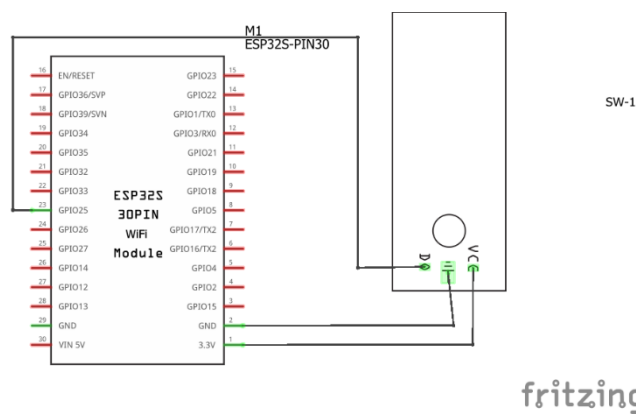
Figura 36. Resultados de la simulación del circuito.



Paso 3. Implementación en protoboard y validación experimental

- I. Después de validar el diseño en simulación, se procede al montaje físico del circuito sobre una protoboard, siguiendo el esquema previamente definido. Durante esta etapa se colocaron cuidadosamente todos los componentes, asegurando que los pines del sensor SW-420 y del amplificador estuvieran correctamente conectados según sus hojas de datos. Véase figura 37.

Figura 37. Esquema del circuito.



- II. Se debe prestar especial atención a la correcta conexión de los pines de entrada y salida del SW-420, así como de la alimentación y el pin de salida digital o

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

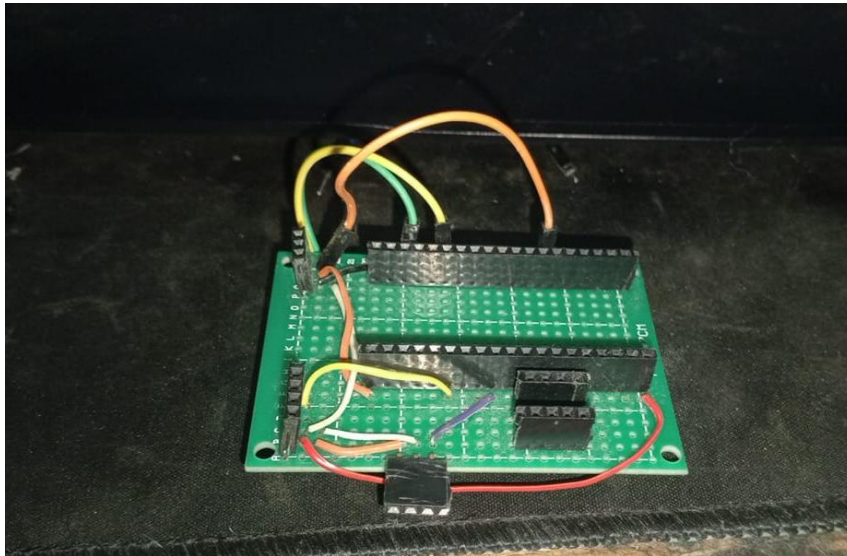
- IV.** Los valores medidos durante las pruebas se compararon con los rangos esperados según la documentación técnica del sensor. Esta comparación permitió validar que el circuito de acondicionamiento estaba funcionando correctamente y que el SW-420 detectaba vibraciones dentro de los parámetros especificados.

Paso 4. Ensamblaje final e integración del sistema

Una vez confirmado el funcionamiento adecuado del sensor SW-420 durante las pruebas iniciales, se procedió al ensamblaje final del sistema. El objetivo fue integrar todos los componentes de forma organizada y segura, asegurando una estructura modular que permita futuras reparaciones, reemplazos o mejoras sin afectar el resto del circuito.

- I.** Se inicia preparando una protoboard o PCB universal anteriormente instalada ubicar en las posiciones del sensor SW-420 y las conexiones hacia el ESP32. Se verifica la continuidad con un multímetro para asegurar un montaje limpio y sin cortocircuitos. Véase la figura 40.

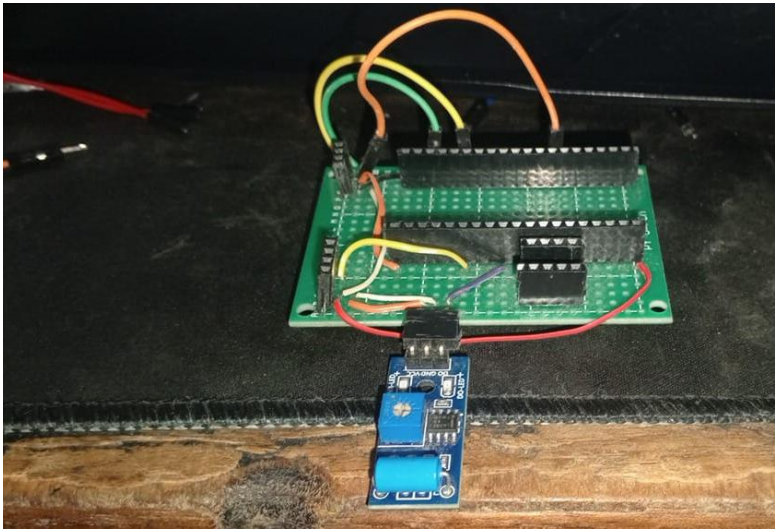
Figura 40. Preparación de la protoboard y soldadura de pines header.



- II.** Con los headers instalados, se colocó el sensor SW-420 siguiendo el esquema eléctrico previamente validado. Se revisó la polaridad del sensor y la correcta conexión del pin de salida digital. Se fijó el sensor para que captara vibraciones sin interferencias del cableado. Véase la figura 41.

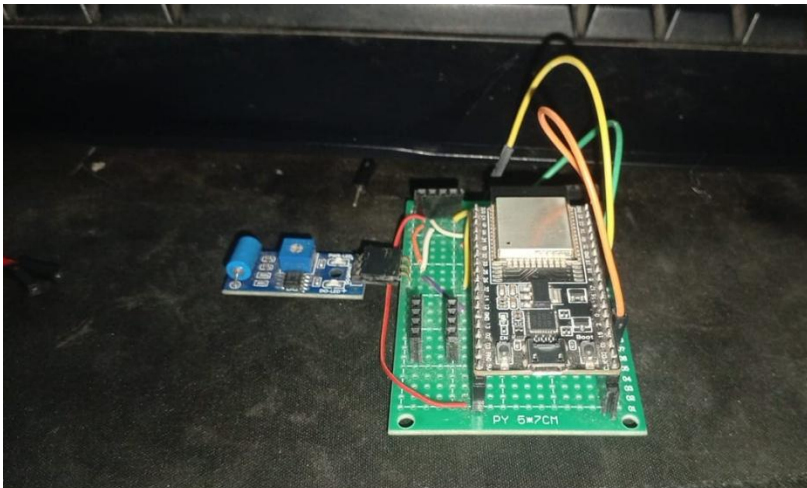
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 41. Montaje del sensor SW-420.



- III.** Luego se verificó el funcionamiento individual del SW-420 y su salida digital, integrando el sensor con el ESP32 mediante la conexión de su pin de salida digital a un pin de entrada del microcontrolador, compartiendo la referencia de tierra. Posteriormente se organizó el cableado, estableciendo un bus de tierra común y conservando únicamente los elementos de protección esenciales. Con la integración completa, se realizó la validación para confirmar la estabilidad y coherencia de la señal adquirida. Véase la figura 42.

Figura 42. Conexión del SW-420 con el ESP32.

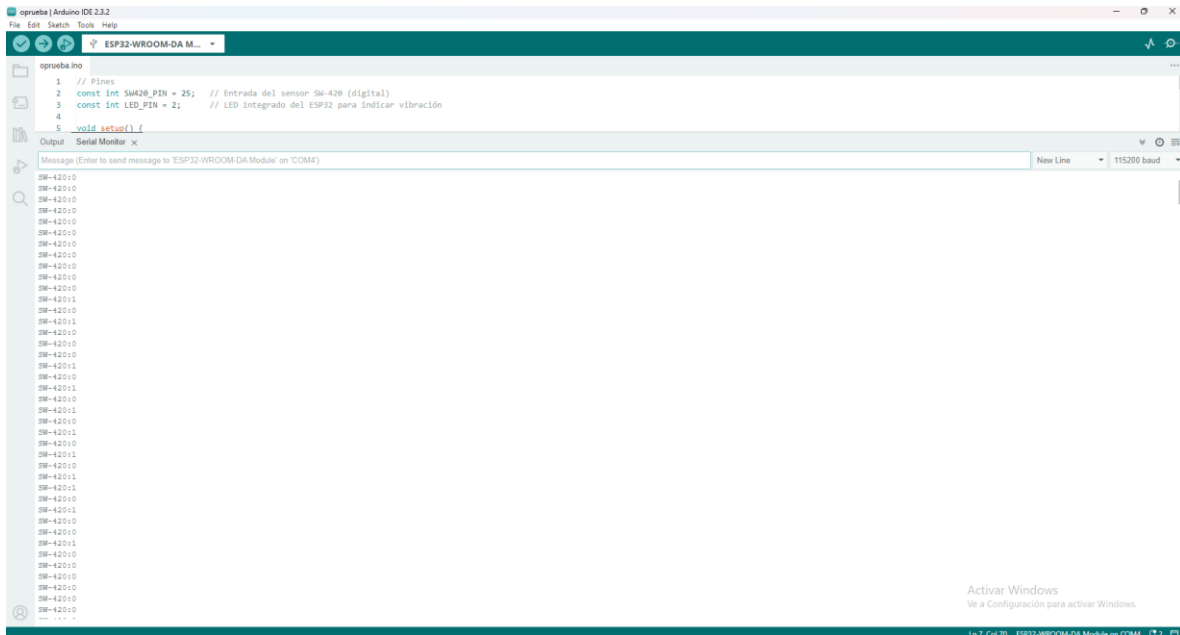


- IV.** Finalmente, se ejecutó el código de lectura en el ESP32 para observar el comportamiento del sensor SW-420. Durante la prueba, se verificó que los valores en reposo se mantuvieran bajos, que la señal aumentara de manera

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

coherente ante las vibraciones aplicadas y que no se presentaran picos erráticos ni saturación, asegurando así un funcionamiento estable del sistema durante las pruebas realizadas. Véase la figura 43.

Figura 43. Verificación funcional del SW-420.



- V. Una vez confirmada la respuesta adecuada del sistema, el módulo quedó completamente integrado y listo para la etapa de validación del proyecto.

3.5 Circuito de acondicionamiento YL-83 + DHT11 (monitoreo climático)

La implementación del circuito de acondicionamiento de los sensores YL-83 y DHT11 se llevó a cabo con el objetivo de garantizar una medición confiable de variables climáticas dentro del sistema, específicamente la detección de lluvia, temperatura y humedad ambiental. Se analizaron sus características eléctricas y de funcionamiento para definir una conexión adecuada con el ESP32, asegurando estabilidad en las lecturas y compatibilidad en los niveles de señal. Con base en estos criterios, se procedió al diseño, simulación y validación experimental del circuito, optimizando la respuesta de ambos sensores en condiciones reales de operación.

Paso 1. Investigación de alternativas y selección de los sensores

- I. En la etapa inicial se realizó una investigación sobre los diferentes sensores disponibles para la detección de lluvia. En primer lugar, se analizó el sensor FC-37, el cual opera bajo el mismo principio de conductividad eléctrica mediante una placa expuesta al agua. Aunque este dispositivo presentaba una buena sensibilidad y bajo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

costo, se identificó que su disponibilidad en el mercado era limitada, dificultando su adquisición de manera rápida y confiable para el desarrollo del proyecto. Debido a esta restricción, no se consideró como una opción viable para su implementación. Véase la figura 44.

Figura 44. Sensor de lluvia FC-37



Sensor de Lluvia YL83 - FC37

Referencia: 2-087

\$7.000,00

Impuestos incluidos

Le permite detectar gotas de lluvia, es como un sensor de lluvia, y seguimiento de humedad y se puede utilizar para una variedad de condiciones climáticas. Convierte en números la señal de referencia de salida output AO.

1 [Añadir al carrito](#) [Favorito](#) [Compartir](#)

[f](#) [x](#) [p](#)

Descripción Detalles del producto Opiniones(0)

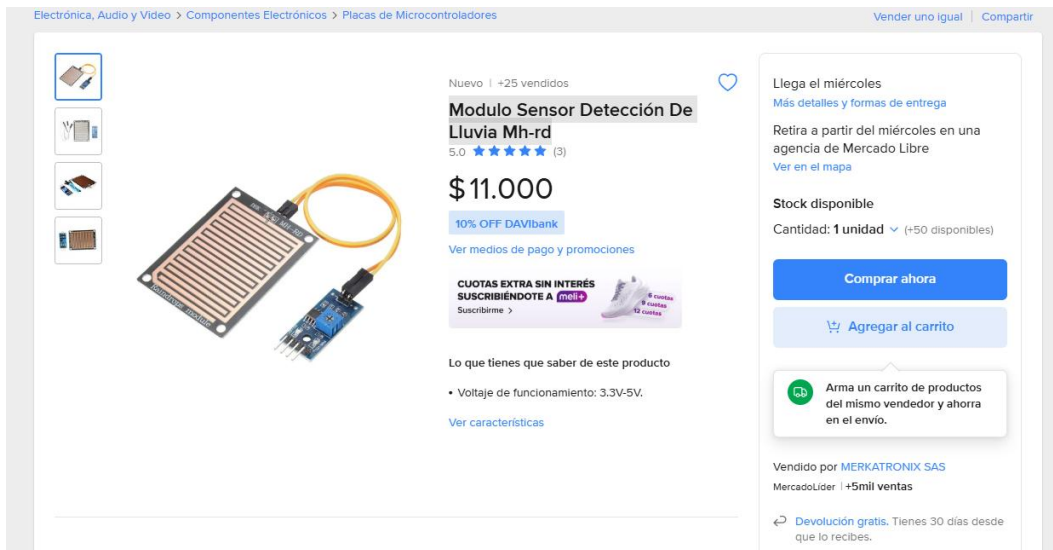
Le permite detectar gotas de lluvia, es como un sensor de lluvia, y seguimiento de humedad y se puede utilizar para una variedad de condiciones climáticas. Convierte en números la señal de referencia de salida output AO. La salida analógica "AO" puede ser conectada al puerto "AO" de un microcontrolador para detectar la intensidad de la humedad y la precipitación.

Nota. Tomado en Sensor de lluvia FC-37. Recuperado de <https://dualtronica.com/sensores/107-sensor-de-lluvia.html>

- II. Posteriormente, se evaluó el módulo sensor de detección de lluvia MH-RD, el cual incorpora un diseño mejorado con electrónica integrada para el acondicionamiento de la señal. Este módulo ofrece una salida más estable en comparación con sensores básicos de placa conductiva y reduce parcialmente los efectos del ruido eléctrico. Sin embargo, se identificó que su funcionamiento sigue dependiendo del contacto directo con el agua, lo que implica desgaste progresivo y posibles variaciones en la medición con el tiempo. Además, su disponibilidad y documentación técnica eran más limitadas. Por estas razones, no fue seleccionado como la opción principal. Véase la figura 45.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 45. Módulo sensor de lluvia MH-RD

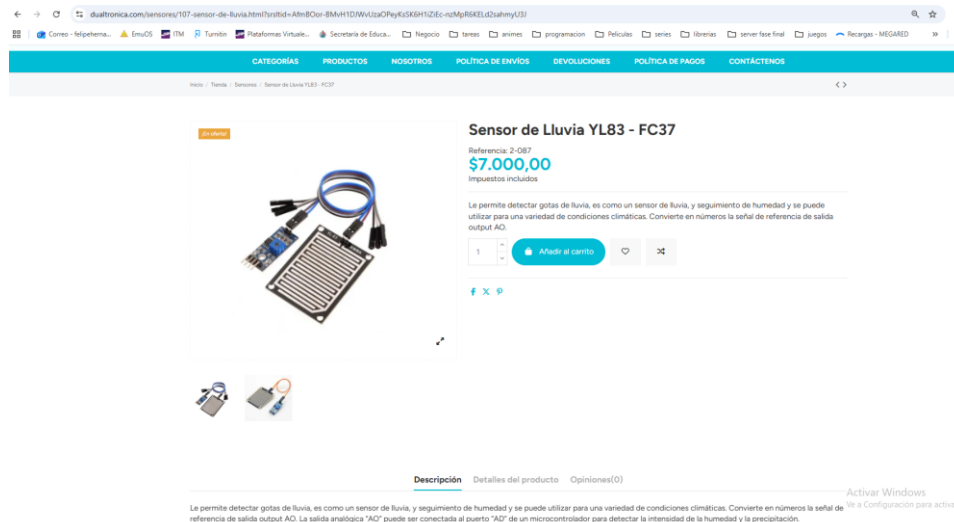


Nota. Tomado en Mercado Libre, “Módulo sensor detección de lluvia MH-RD”. Disponible en: <https://www.mercadolibre.com.co/modulo-sensor-deteccion-de-lluvia-mhrd/up/MCOU2431692341>

- III. Finalmente, se seleccionó el sensor YL-83, el cual incluye una placa conductiva y un módulo comparador basado en el LM393. Esta configuración permite obtener tanto una señal analógica como una digital, ajustable mediante un potenciómetro para definir un umbral de detección. Además, su facilidad de integración con el ESP32 y su bajo costo lo convierten en una opción adecuada para aplicaciones de monitoreo climático. Por estas razones, el YL-83 fue seleccionado como el sensor encargado de detectar la presencia de agua o lluvia sobre la superficie de medición. Véase la figura 46.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 46. Sensor de lluvia YL-83

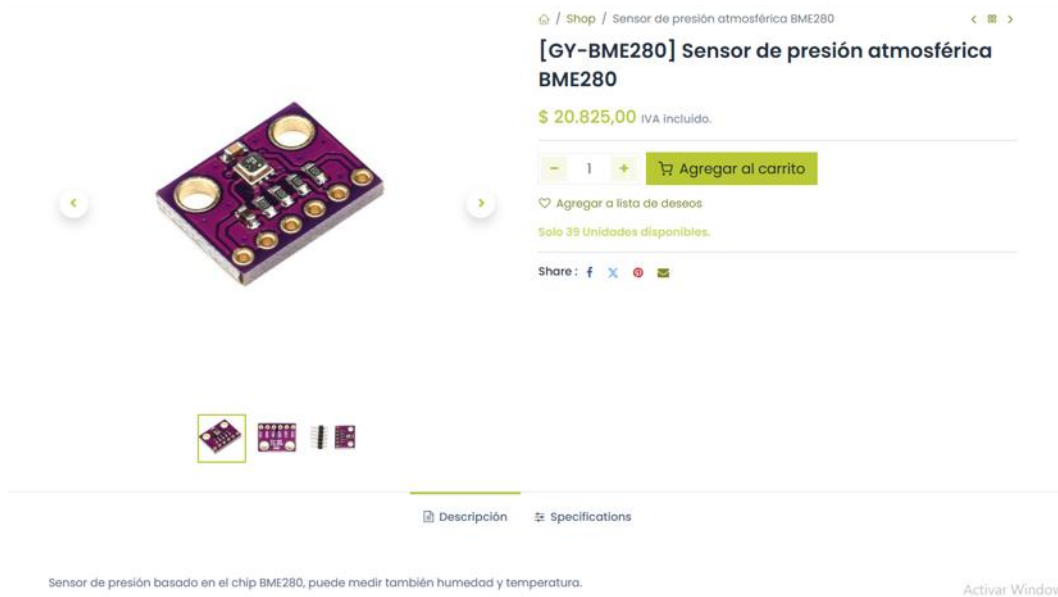


Nota. Tomado en Sensor de lluvia YL-83. Recuperado de <https://dualtronica.com/sensores/107-sensor-de-lluvia.html>

- IV.** En cuanto a la medición de variables ambientales, inicialmente se consideró el sensor BME280, el cual permite medir temperatura, humedad y presión atmosférica con alta precisión mediante comunicación digital (I2C o SPI). Este sensor ofrece un mayor rendimiento y versatilidad en comparación con otras alternativas; sin embargo, su implementación requiere una configuración más compleja y presenta un costo superior. Para el alcance del proyecto, estas características excedían los requerimientos establecidos. Véase la figura 47.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 47. Sensor ambiental BME280

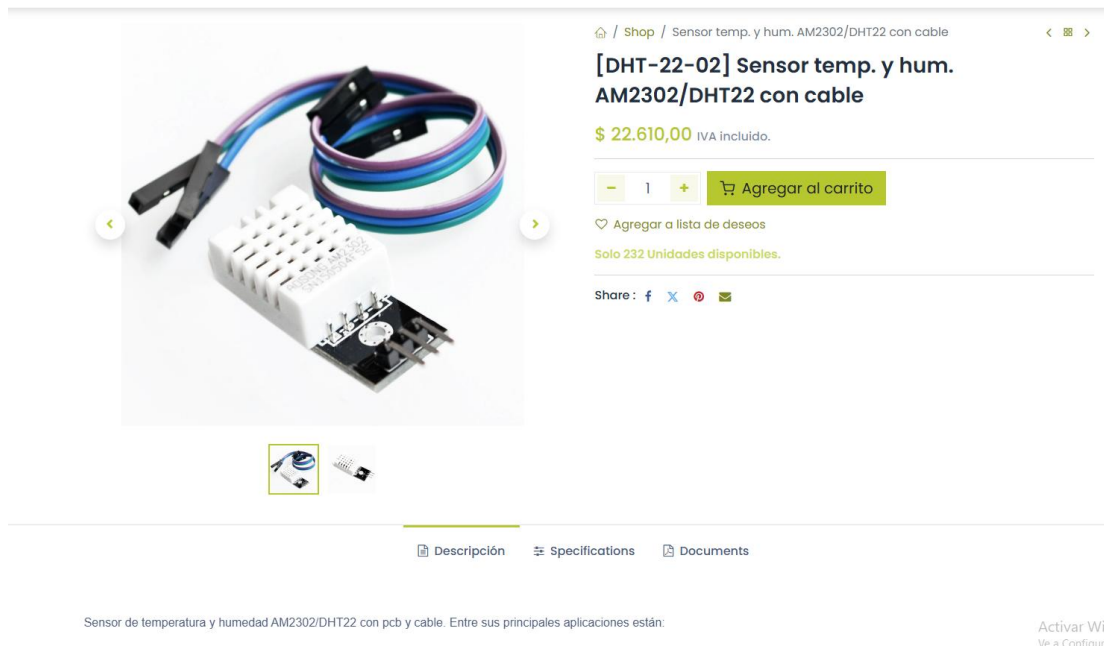


Nota. Tomado en *Didácticas Electrónicas*, “GY-BME280 Sensor de presión atmosférica BME280”. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/gy-bme280-sensor-de-presion-atmosferica-bme280-14317>

- V. Posteriormente, se evaluó el sensor DHT22, el cual ofrece mayor precisión y un rango de medición más amplio que el DHT11. No obstante, se determinó que sus características técnicas no resultaban necesarias para el alcance planteado en este proyecto, además de presentar un costo superior. Véase la figura 48.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 48. Sensor de temperatura y humedad DHT22



Nota. Tomado en *Didácticas Electrónicas*, “DHT-22-02 Sensor temp. y hum. AM2302/DHT22 con cable”. Disponible en:
<https://www.didacticaelectronicas.com/shop/dht-22-02-sensor-temp-y-hum-am2302-dht22-con-cable-5859>

- VI. Finalmente, se seleccionó el sensor DHT11, el cual integra un sensor de temperatura y un sensor de humedad en un solo dispositivo con salida digital. Aunque su funcionalidad es menor en comparación con sensores más avanzados, cumple con los requerimientos establecidos para el monitoreo ambiental de bajo costo planteado en el proyecto, ofreciendo una integración sencilla con el ESP32 y un bajo costo. Adicionalmente, su comunicación mediante un único pin facilita el diseño del circuito. Por estas razones, el DHT11 fue elegido para la medición de variables ambientales. Véase la figura 49.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 49. Sensor de temperatura y humedad DHT11



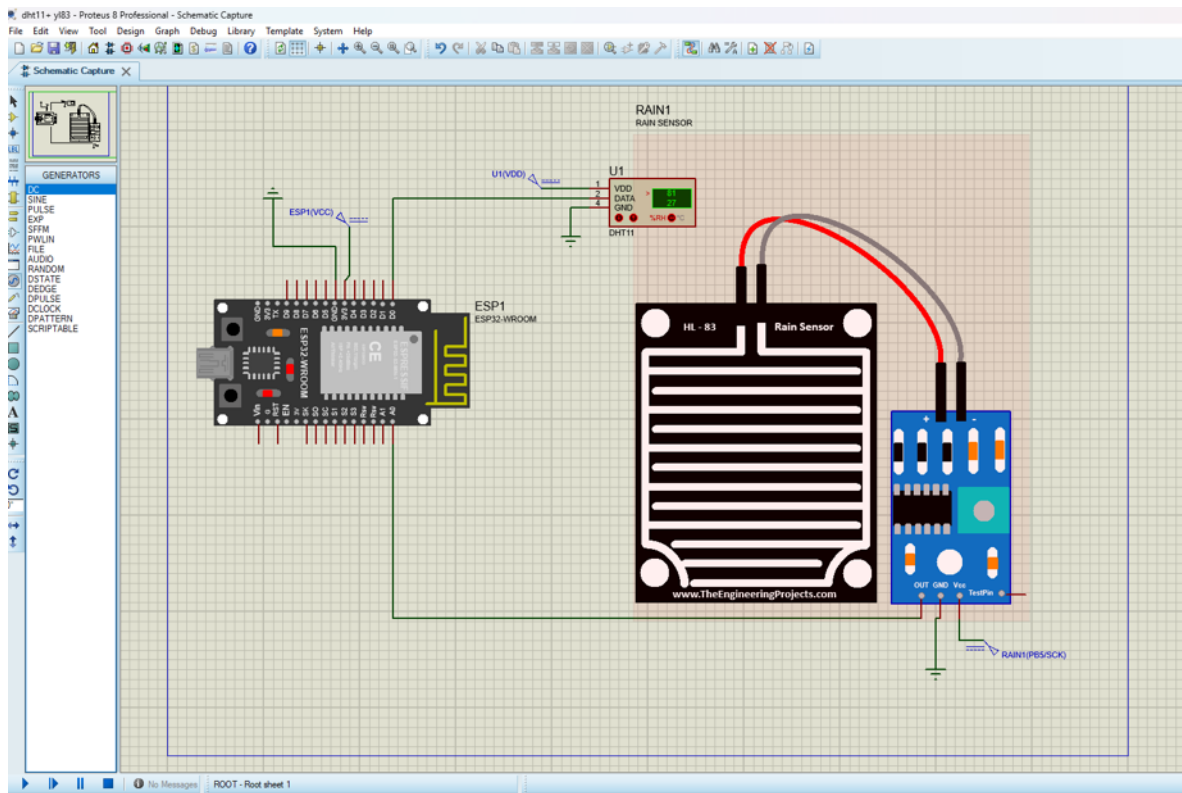
Nota. Tomado en Didácticas Electrónicas, “EC-DHT11 Sensor de humedad y temperatura DHT11”. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/ec-dht11-sensor-de-humedad-y-temperatura-dht11-39005>

Paso 2. Diseño y simulación del circuito con los sensores YL-83 y DHT11

- I. Con el propósito de verificar el funcionamiento del sistema antes de su implementación física, se realizó el diseño y simulación del circuito utilizando el software Proteus. En esta etapa se integraron los sensores YL-83 y DHT11 con el ESP32, validando la correcta conexión de los componentes y la compatibilidad de las señales generadas por cada sensor. Véase la Figura 50.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

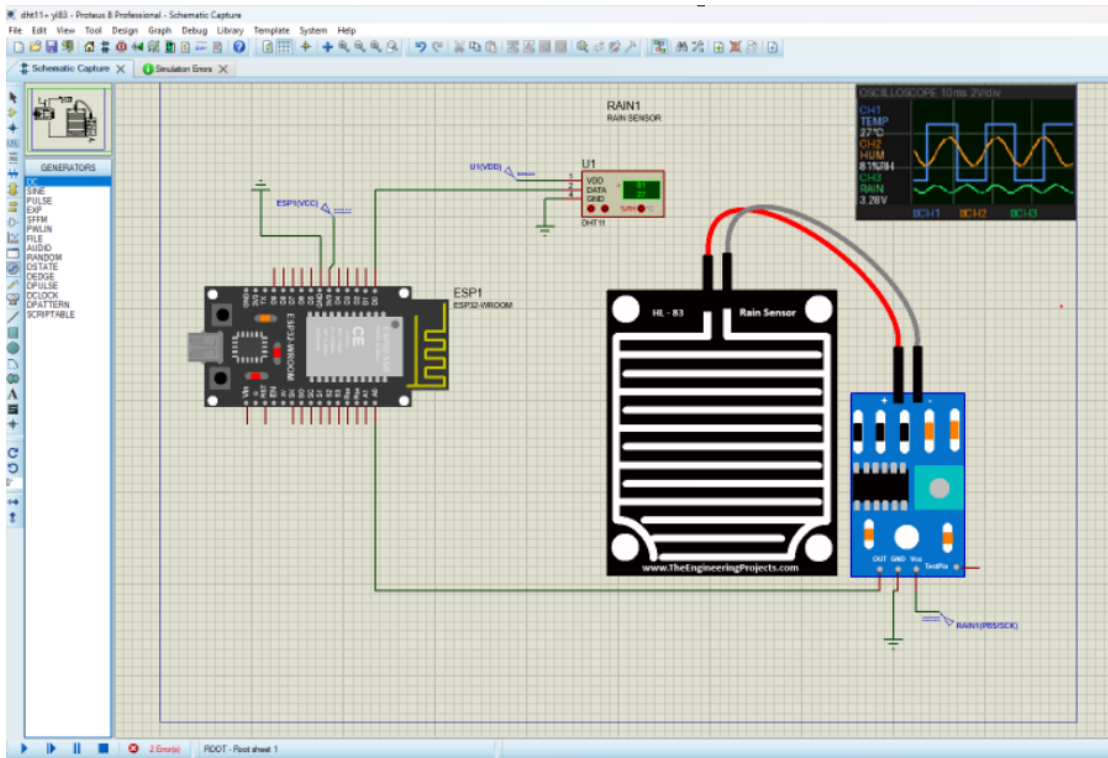
Figura 50. Conexión de los componentes.



- II. Posteriormente, se ejecutaron pruebas de simulación para evaluar la respuesta del sistema ante diferentes condiciones ambientales. Se verificó el comportamiento de las señales asociadas a la detección de agua mediante el sensor YL-83 y la adquisición de datos de temperatura y humedad mediante el sensor DHT11. Los resultados obtenidos permitieron comprobar el funcionamiento general del circuito antes de su implementación experimental. Véase la Figura 51.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

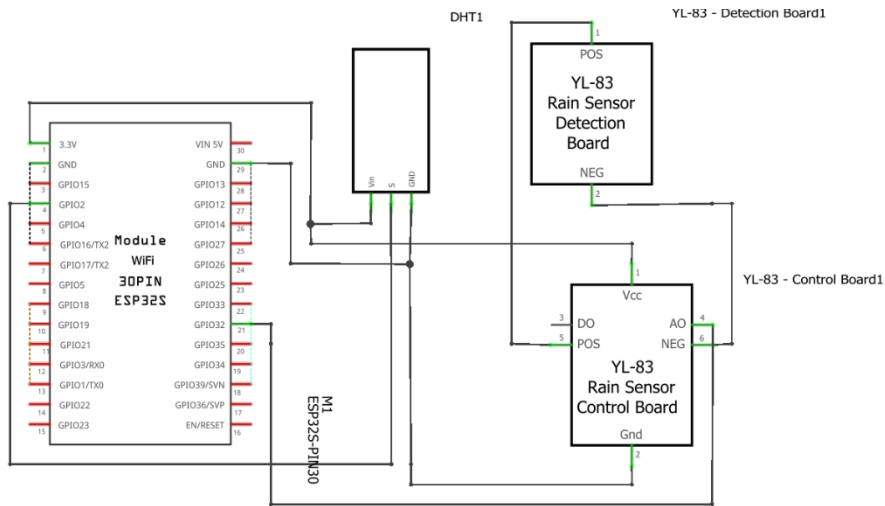
Figura 51. Resultados de la simulación del circuito.



Paso 3. Implementación en protoboard y validación experimental

- I. Después de validar el diseño en simulación, se realizó el montaje físico del circuito sobre una protoboard, siguiendo el esquema previamente definido (ver Figura 51). Durante esta etapa se colocaron cuidadosamente todos los componentes, asegurando que los pines del sensor DHT11 y del módulo YL-83 estuvieran correctamente conectados de acuerdo con sus hojas de datos. Se verificó la correcta alimentación de ambos dispositivos y su adecuada integración con el ESP32. Véase la figura 52.

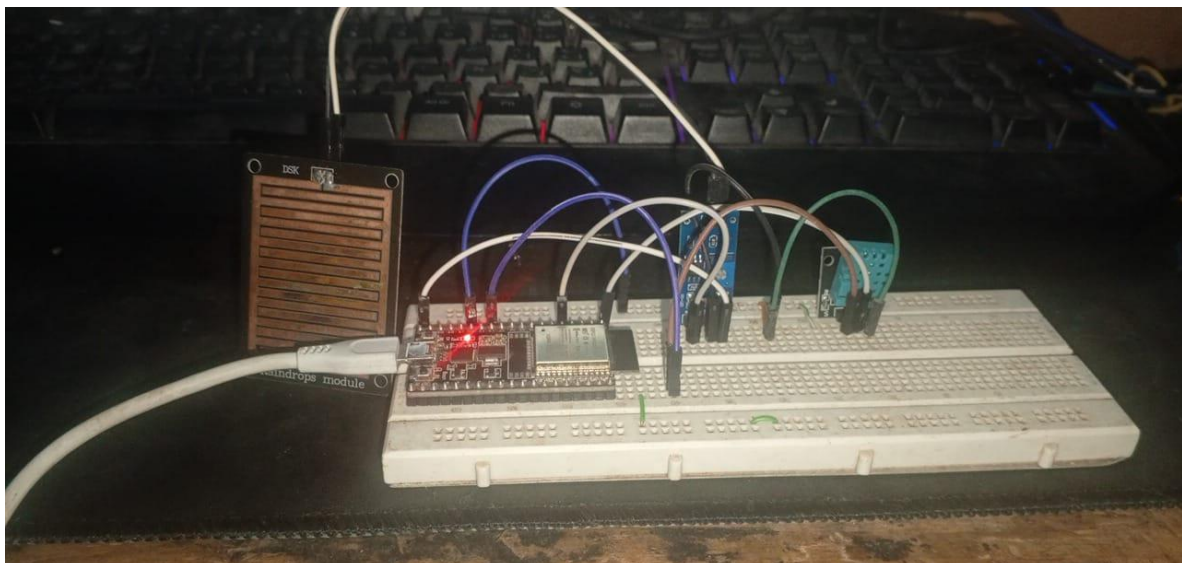
Figura 52. Esquema del circuito.



fritzing

- II. Durante el montaje se verificó la correcta conexión de los pines del sensor DHT11 (VCC, GND y DATA) y del módulo YL-83, incluyendo sus terminales de alimentación y salidas de señal. Esta precaución garantiza la estabilidad en la adquisición de datos y evita lecturas erráticas tanto de temperatura y humedad como de la presencia de agua. Véase figura 53.

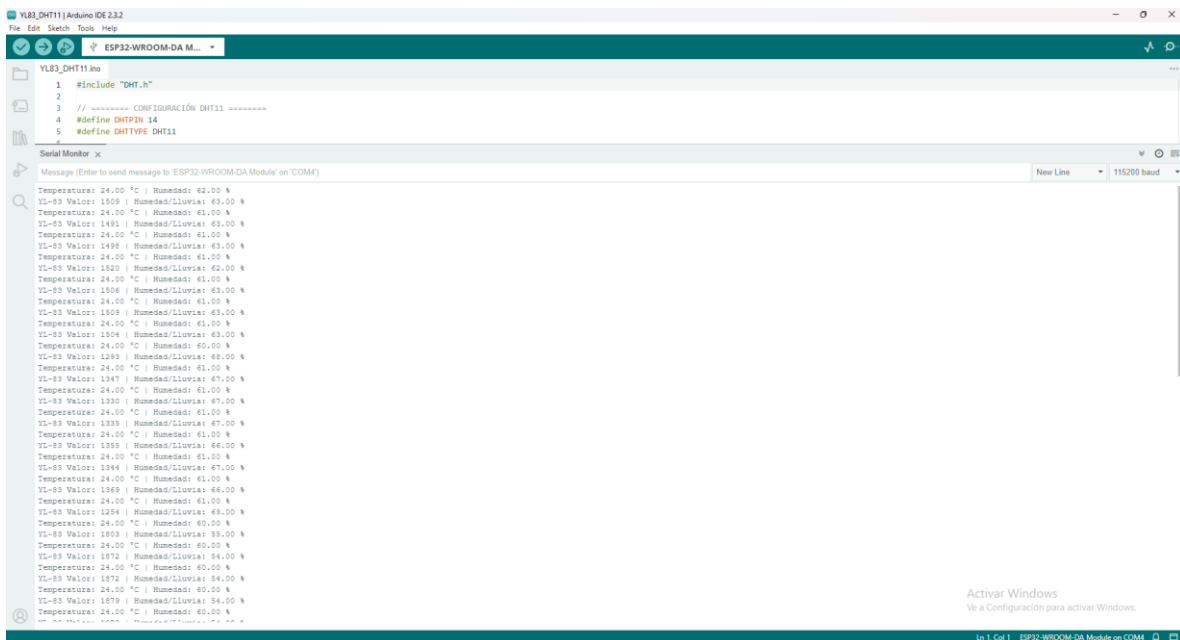
Figura 53. Montaje del circuito en protoboard.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

III. Una vez armado el circuito, se realizaron pruebas experimentales aplicando condiciones controladas al sistema. Para el sensor DHT11, se verificó la lectura de temperatura y humedad ambiental mediante el monitor serial del ESP32, observando valores coherentes con el entorno. En el caso del módulo YL-83, se aplicaron gotas de agua sobre la superficie de detección del YL-83 para evaluar su respuesta ante la presencia de humedad, evidenciando cambios en la señal de salida (variaciones en la salida analógica o cambios de estado en la salida digital). Esto permitió comprobar que el sistema respondía adecuadamente a las condiciones de humedad. Véase figura 54.

Figura 54. Señal obtenida durante las pruebas del sensor.



```

YL83_DHT11.ino
1 #include "DHT.h"
2
3 // ===== CONFIGURACIÓN DHT11 =====
4 #define DHTPIN 14
5 #define DHTTYPE DHT11

Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32-WROOM-DA Module' on 'COM4')
New Line 115200 baud

Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 62.00 %
YS-83 Valor: 1509 | Humedad/Lluvia: 63.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1491 | Humedad/Lluvia: 63.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 62.00 %
YS-83 Valor: 1498 | Humedad/Lluvia: 63.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1502 | Humedad/Lluvia: 62.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1506 | Humedad/Lluvia: 63.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1509 | Humedad/Lluvia: 63.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1504 | Humedad/Lluvia: 63.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 60.00 %
YS-83 Valor: 1293 | Humedad/Lluvia: 68.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1507 | Humedad/Lluvia: 67.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1330 | Humedad/Lluvia: 67.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1335 | Humedad/Lluvia: 67.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1385 | Humedad/Lluvia: 66.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1344 | Humedad/Lluvia: 67.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1369 | Humedad/Lluvia: 66.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 61.00 %
YS-83 Valor: 1254 | Humedad/Lluvia: 69.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 60.00 %
YS-83 Valor: 1803 | Humedad/Lluvia: 59.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 60.00 %
YS-83 Valor: 1872 | Humedad/Lluvia: 54.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 60.00 %
YS-83 Valor: 1872 | Humedad/Lluvia: 54.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 60.00 %
YS-83 Valor: 1879 | Humedad/Lluvia: 54.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 60.00 %

```

IV. Los valores medidos durante las pruebas fueron comparados con los rangos esperados según la documentación técnica de ambos sensores. Esta comparación permitió verificar que las lecturas obtenidas se encontraban dentro de los rangos esperados según la documentación técnica de los sensores, evidenciando que el sensor DHT11 registraba datos dentro de los rangos típicos de temperatura y humedad, mientras que el módulo YL-83 detectaba correctamente la presencia de agua o humedad en su superficie.

Paso 4. Ensamblaje final e integración del sistema

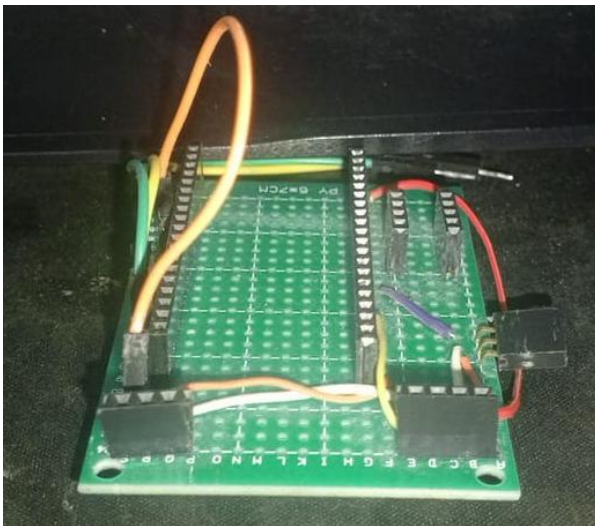
Una vez confirmado el funcionamiento adecuado de los sensores DHT11 y el módulo YL-83 durante las pruebas iniciales, se procedió al ensamblaje final del sistema. El objetivo fue

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

integrar todos los componentes de forma organizada y segura, asegurando una estructura modular que permita futuras reparaciones, reemplazos o mejoras sin afectar el resto del circuito.

- I. Se preparó una protoboard o PCB universal para la integración de los sensores DHT11 y YL-83 junto con el ESP32. Posteriormente, se verificó la continuidad de las conexiones mediante un multímetro para garantizar un montaje adecuado Véase la figura 55.

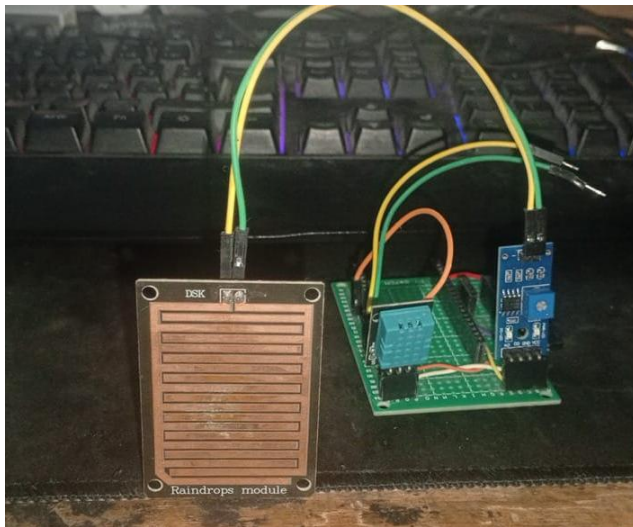
Figura 55. Preparación de la protoboard y soldadura de pines header.



- II. Con los pines header instalados, se procedió a colocar el sensor DHT11 y el módulo YL-83 siguiendo el esquema eléctrico previamente validado. Se revisó cuidadosamente la polaridad de alimentación (VCC y GND) y la correcta conexión del pin de datos del DHT11, así como la salida analógica (AO) del YL-83. Posteriormente, se instalaron los sensores siguiendo el esquema eléctrico validado, verificando la correcta polaridad y conexión de cada dispositivo. Véase la figura 56.

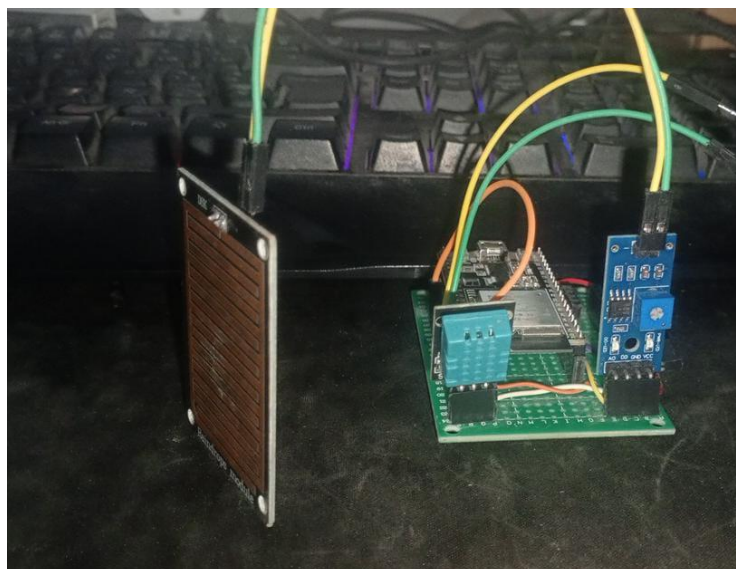
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 56. Montaje del sensor DHT11 y módulo YL-83.



III. Posteriormente, se verificó el funcionamiento individual de cada sensor. El DHT11 fue integrado al ESP32 mediante la conexión de su pin de datos a un pin digital del microcontrolador, mientras que el YL-83 fue conectado a un pin analógico para la lectura de las variaciones de señal asociadas a la presencia de agua sobre la superficie de detección. En ambos casos, se aseguró la correcta referencia de tierra común. Se organizó el cableado estableciendo un bus de tierra y alimentación, manteniendo un diseño ordenado y funcional. Véase la figura 70.

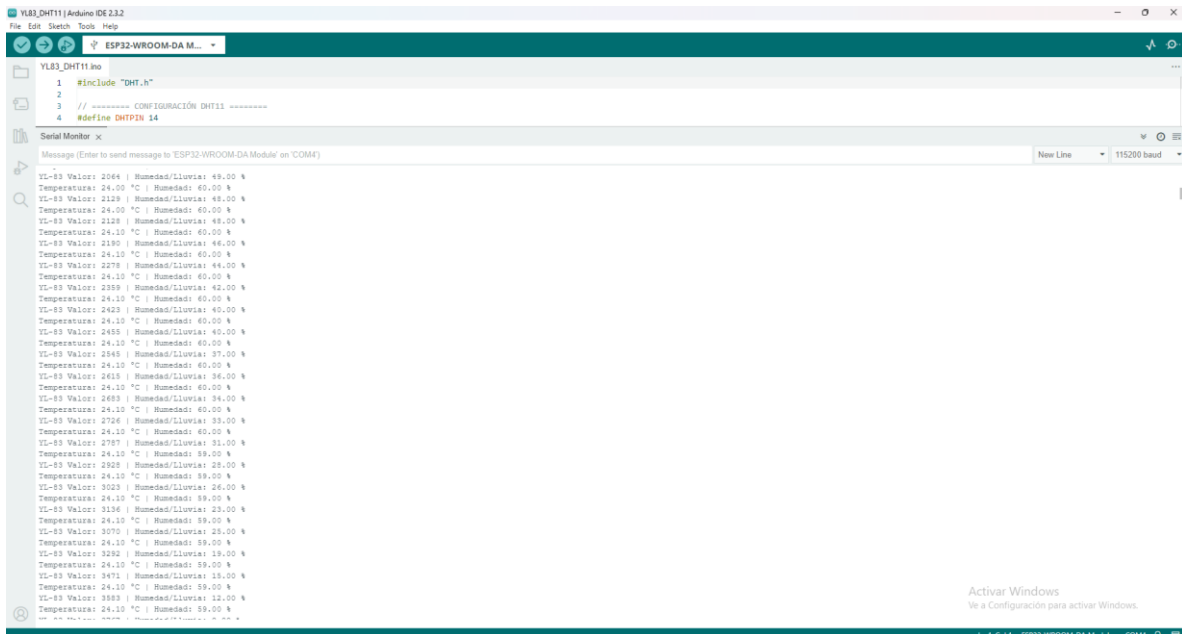
Figura 57. Conexión de los sensores con el ESP32.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

IV. Finalmente, se ejecutó el código de lectura en el ESP32 para observar el comportamiento del sistema. Durante las pruebas se observó un comportamiento estable de las señales adquiridas, sin variaciones anómalas que afectaran el funcionamiento general del sistema. Véase la figura 58.

Figura 58. Verificación funcional del sistema.



```

YLB3_DHT11.ino
1 #include "DHT.h"
2
3 // ===== CONFIGURACIÓN DHT11 =====
4 #define DHTPIN 14

Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32-WROOM-DA Module' on 'COM4')
New Line 115200 baud

YT-83 Valor: 2044 | Humedad/Lluvia: 49.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2129 | Humedad/Lluvia: 48.00 %
Temperatura: 24.00 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2128 | Humedad/Lluvia: 48.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2190 | Humedad/Lluvia: 44.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2278 | Humedad/Lluvia: 44.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2389 | Humedad/Lluvia: 42.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2423 | Humedad/Lluvia: 40.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2455 | Humedad/Lluvia: 40.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2445 | Humedad/Lluvia: 37.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2433 | Humedad/Lluvia: 34.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2483 | Humedad/Lluvia: 34.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2724 | Humedad/Lluvia: 33.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 60.00 %
YT-83 Valor: 2787 | Humedad/Lluvia: 31.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 59.00 %
YT-83 Valor: 3028 | Humedad/Lluvia: 28.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 59.00 %
YT-83 Valor: 3023 | Humedad/Lluvia: 26.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 59.00 %
YT-83 Valor: 3136 | Humedad/Lluvia: 23.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 59.00 %
YT-83 Valor: 3070 | Humedad/Lluvia: 23.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 59.00 %
YT-83 Valor: 3282 | Humedad/Lluvia: 19.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 59.00 %
YT-83 Valor: 3471 | Humedad/Lluvia: 15.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 59.00 %
YT-83 Valor: 3583 | Humedad/Lluvia: 12.00 %
Temperatura: 24.10 °C | Humedad: 59.00 %

```

V. Una vez verificado el funcionamiento del sistema durante las pruebas realizadas, el módulo quedó integrado para la etapa de validación del proyecto.

3.6 Diseño de la base de datos en InfluxDB

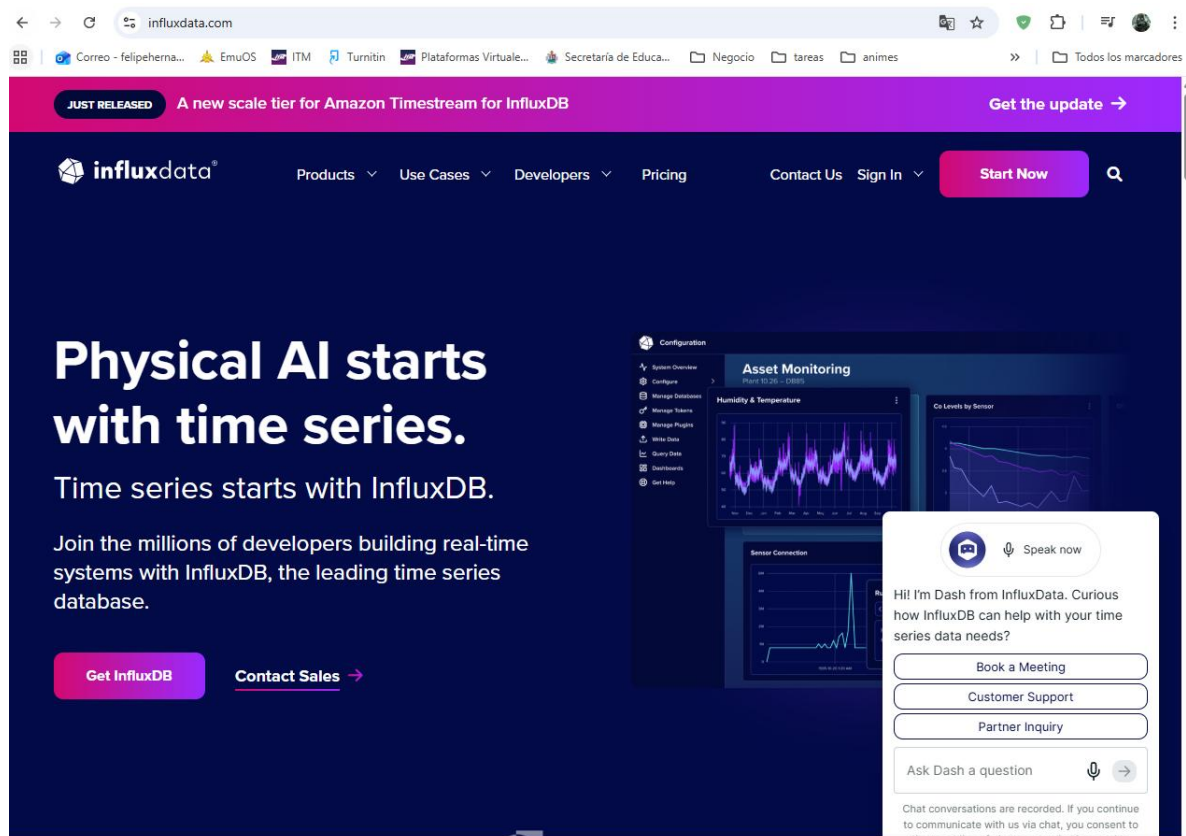
En sistemas IoT es necesario contar con una base de datos capaz de almacenar información en tiempo real de manera eficiente. Para este proyecto se implementó InfluxDB Cloud, una base de datos orientada a series temporales que permite registrar, almacenar y consultar las variables adquiridas por los sensores del sistema. Gracias a esta plataforma, es posible gestionar la información proveniente del ESP32 y utilizarla posteriormente para procesos de visualización, monitoreo y análisis de datos.

Paso 1. Creación de cuenta y acceso a InfluxDB Cloud

I. Inicialmente, se accede al sitio web oficial de InfluxData mediante un navegador web. Desde esta plataforma es posible ingresar a los diferentes servicios ofrecidos por InfluxDB Cloud. Véase la figura 59.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

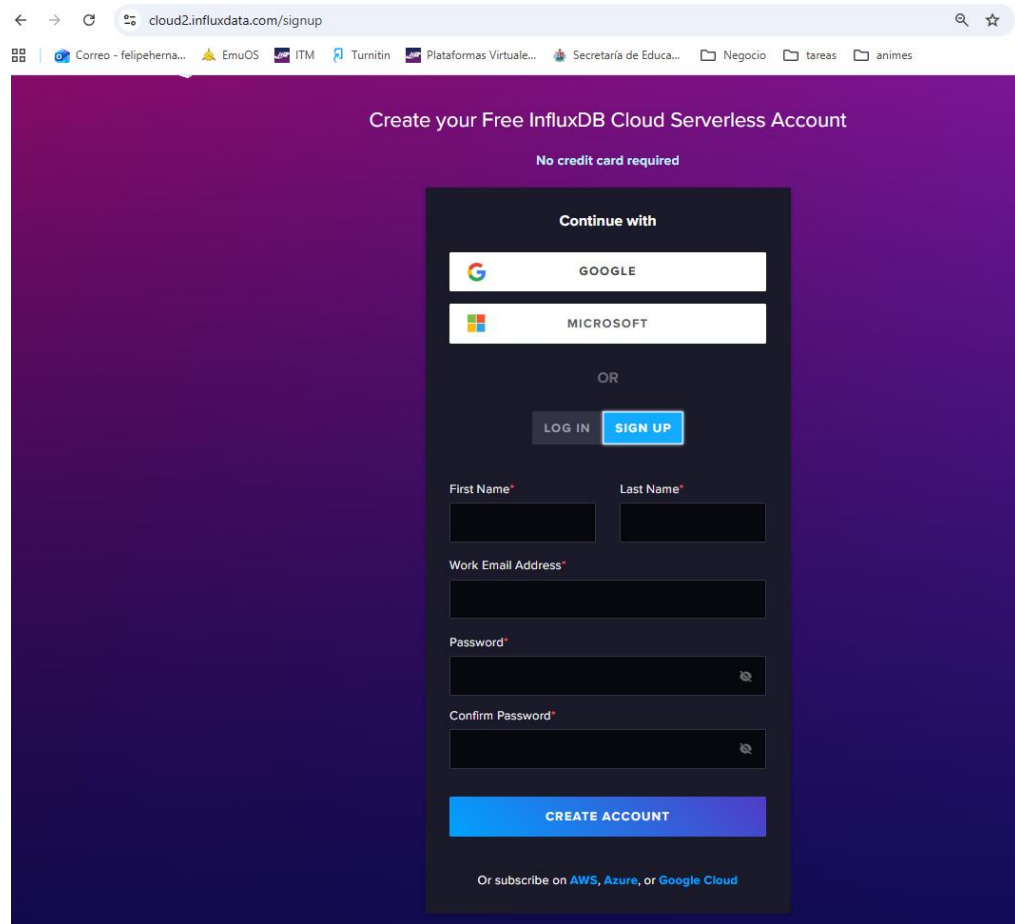
Figura 59. Página principal de InfluxData



- II. Posteriormente, se realiza el proceso de registro o inicio de sesión utilizando una cuenta de correo electrónico o alguno de los servicios de autenticación disponibles. Una vez completado este proceso, se obtiene acceso a la plataforma en la nube. Véase la figura 60.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

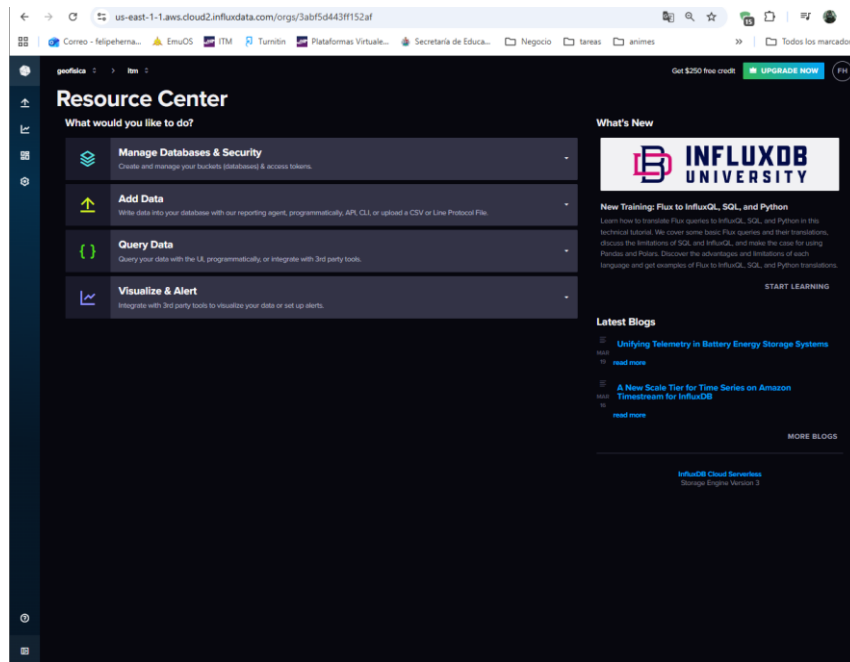
Figura 60.Registro o inicio de sesión en InfluxDB



- III.** Finalmente, el sistema redirige al usuario hacia la interfaz principal de InfluxDB Cloud, desde donde se pueden administrar los buckets, consultar los datos almacenados y configurar las herramientas necesarias para la integración con el sistema de monitoreo desarrollado. Véase la figura 61.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 61. Interfaz principal de InfluxDB Cloud en AWS

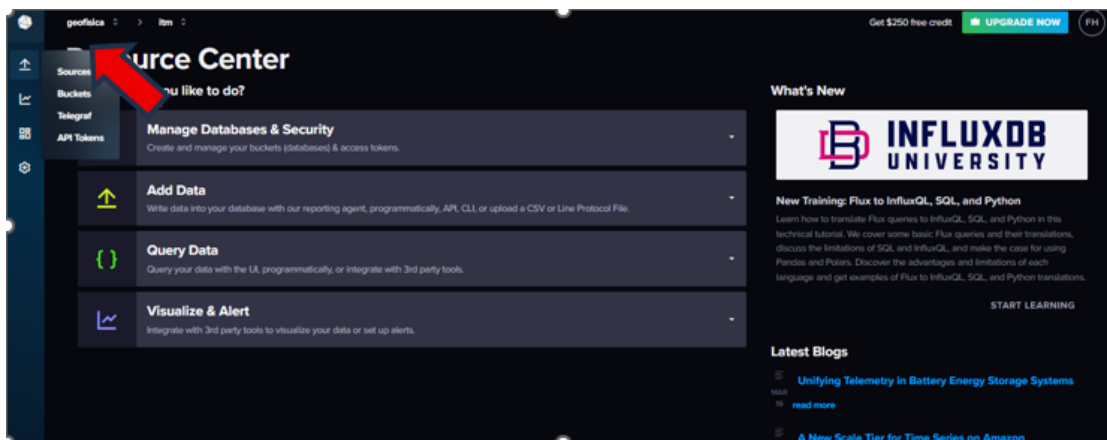


Paso 2. Configuración inicial y creación del bucket en InfluxDB

Una vez dentro de la plataforma InfluxDB Cloud, se procede a realizar la configuración inicial necesaria para el almacenamiento de los datos generados por el sistema de monitoreo.

- I. Inicialmente, se accede a la sección "Sources", desde donde es posible administrar las fuentes de datos y comenzar el proceso de configuración del sistema. Véase la figura 62.

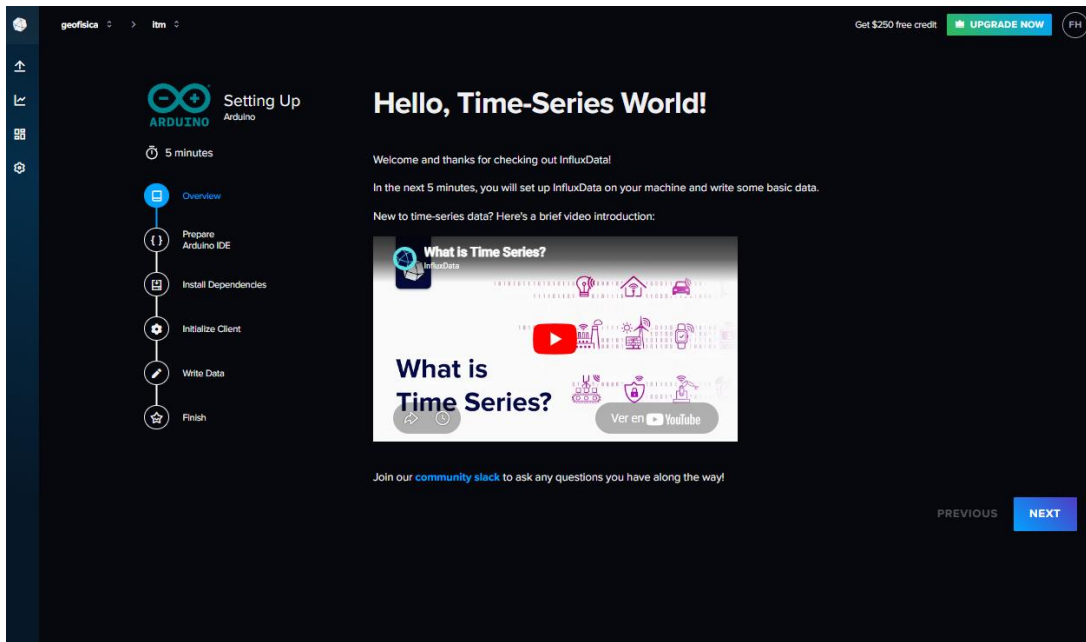
Figura 62. Creación del bucket desde la sección Sources.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

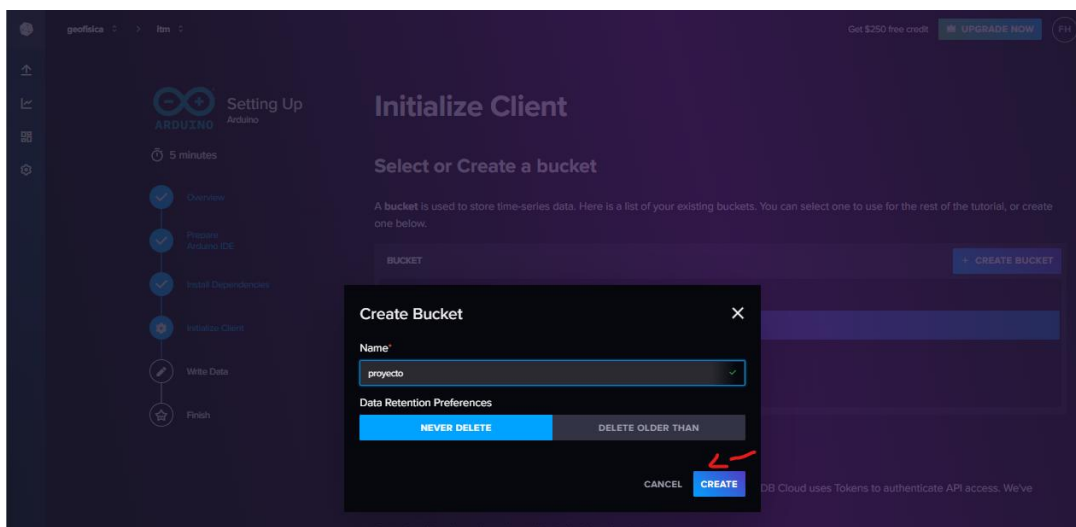
- II. Posteriormente, se selecciona la plataforma "Arduino" dentro de la opción "Client Libraries", lo que permite acceder al asistente de configuración que guía el proceso de integración entre InfluxDB y el ESP32. Véase la figura 63.

Figura 63. Interfaz de configuración Setting up Arduino..



- III. A continuación, se crea un bucket asignándole un nombre acorde con el proyecto. Este bucket será el encargado de almacenar los datos enviados por los sensores a través del microcontrolador. Véase la figura 64.

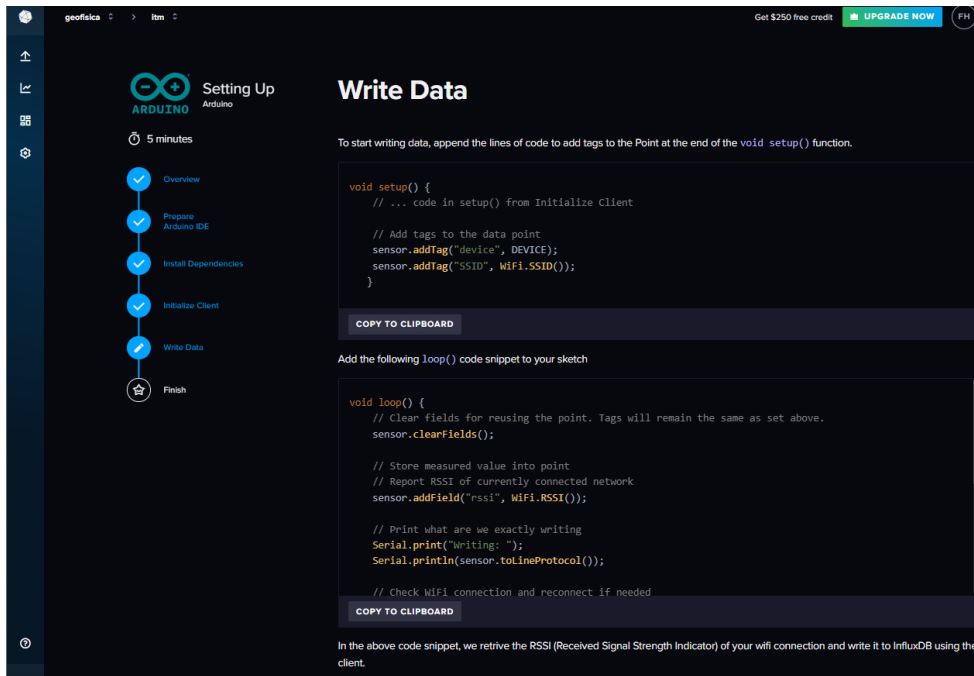
Figura 64. Creación del bucket..



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

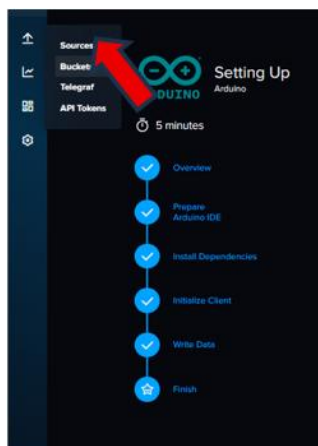
- IV. Una vez creado el bucket, la plataforma genera automáticamente las credenciales y fragmentos de código necesarios para establecer la comunicación entre el ESP32 e InfluxDB mediante Arduino IDE. Esta información será utilizada posteriormente en la programación del sistema para el envío de datos hacia la nube. Véase la figura 65.

Figura 65. Código generado para Arduino IDE.



- V. Finalizada la configuración, se verifica la correcta creación del bucket desde la sección "Buckets", donde se visualiza el contenedor de almacenamiento asociado al proyecto. Véase la figura 66.

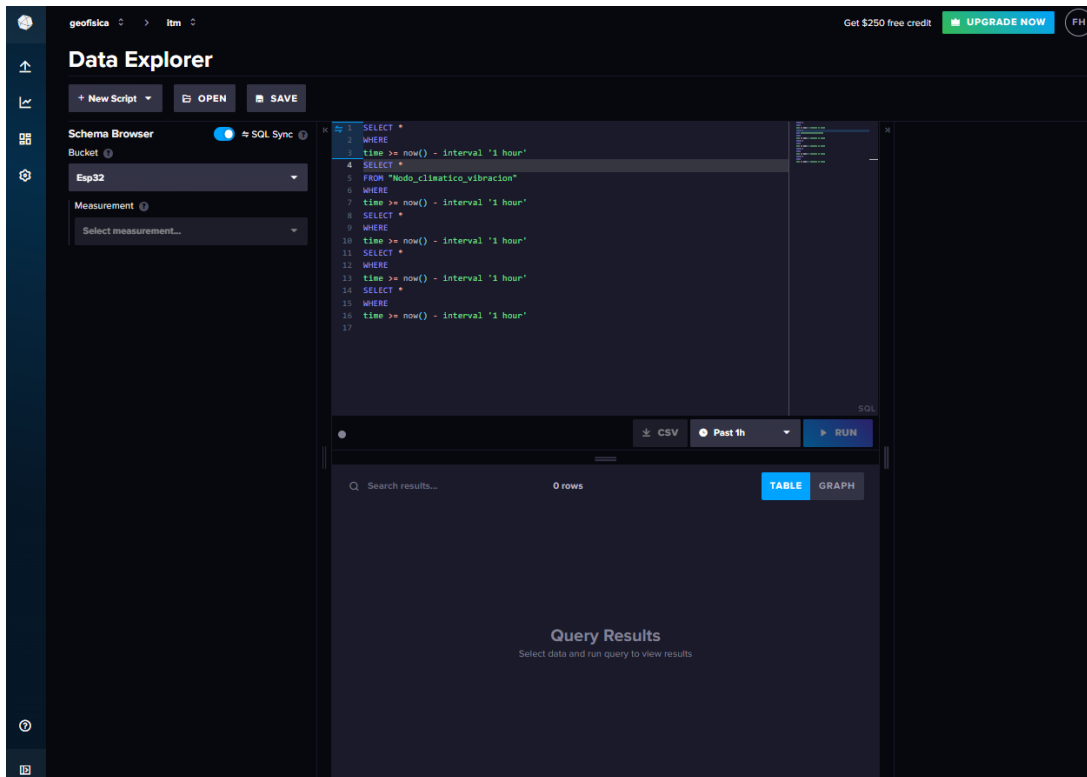
Figura 66. Visualización del bucket en la plataforma.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- VI. Finalmente, se accede a la sección "Data Explorer", donde es posible consultar y visualizar la información almacenada en la base de datos. Inicialmente esta se encuentra vacía hasta que el ESP32 comienza a transmitir los datos del sistema. Véase la figura 67.

Figura 67. Visualización de la base de datos en Data Explorer.



3.7 Código de adquisición de datos en ESP32 y conexión con sensores e InfluxDB

En esta etapa se desarrolla el código encargado de la adquisición de datos provenientes de los sensores DHT11 y YL-83, así como su posterior envío a la base de datos en InfluxDB Cloud. El ESP32 actúa como unidad central de procesamiento, permitiendo la lectura de variables ambientales en tiempo real y su transmisión mediante conexión WiFi hacia la nube, facilitando el almacenamiento y análisis de la información.

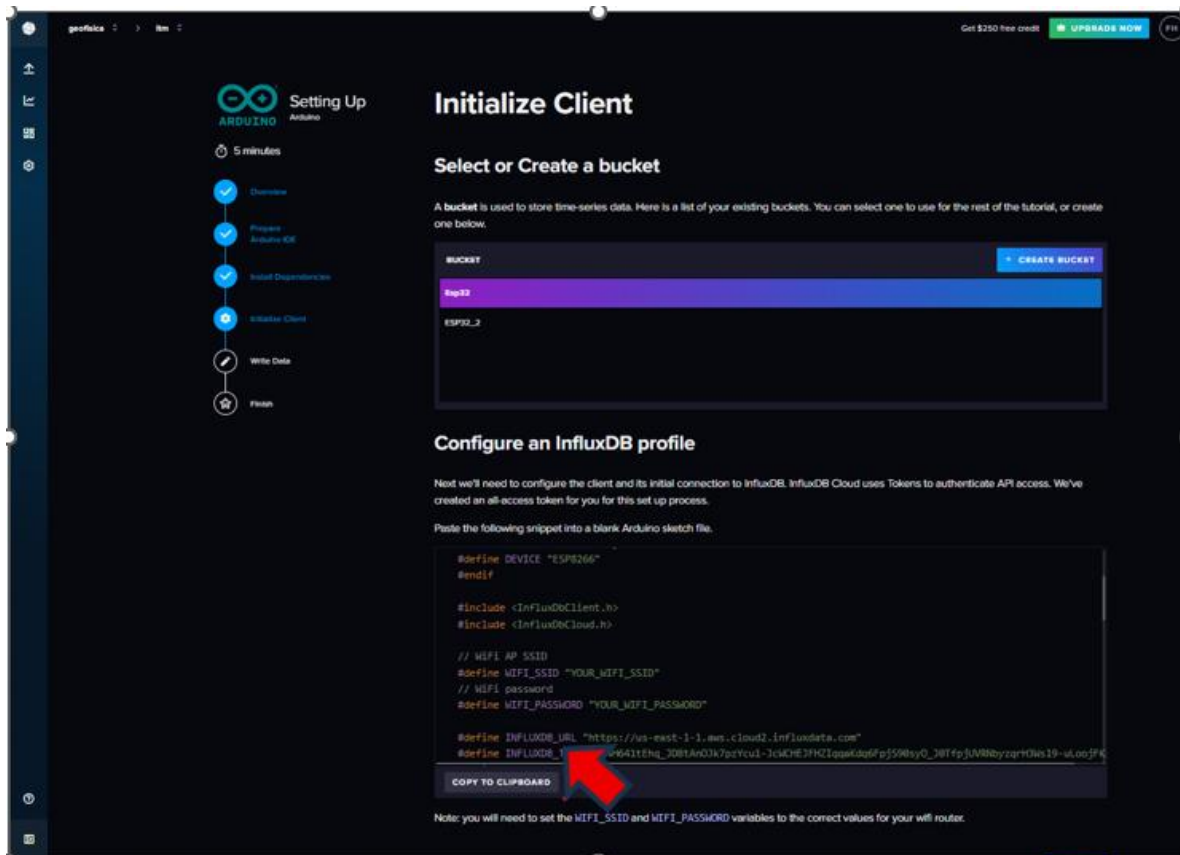
Paso 1. Configuración inicial del código en el entorno de desarrollo

- I. Inicialmente, se accede a InfluxDB Cloud y se obtiene el código de configuración generado automáticamente para establecer la comunicación entre el ESP32 y la base de datos. Este código contiene parámetros como la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

organización, el bucket, el token de acceso y la dirección del servidor. Véase la figura 68.

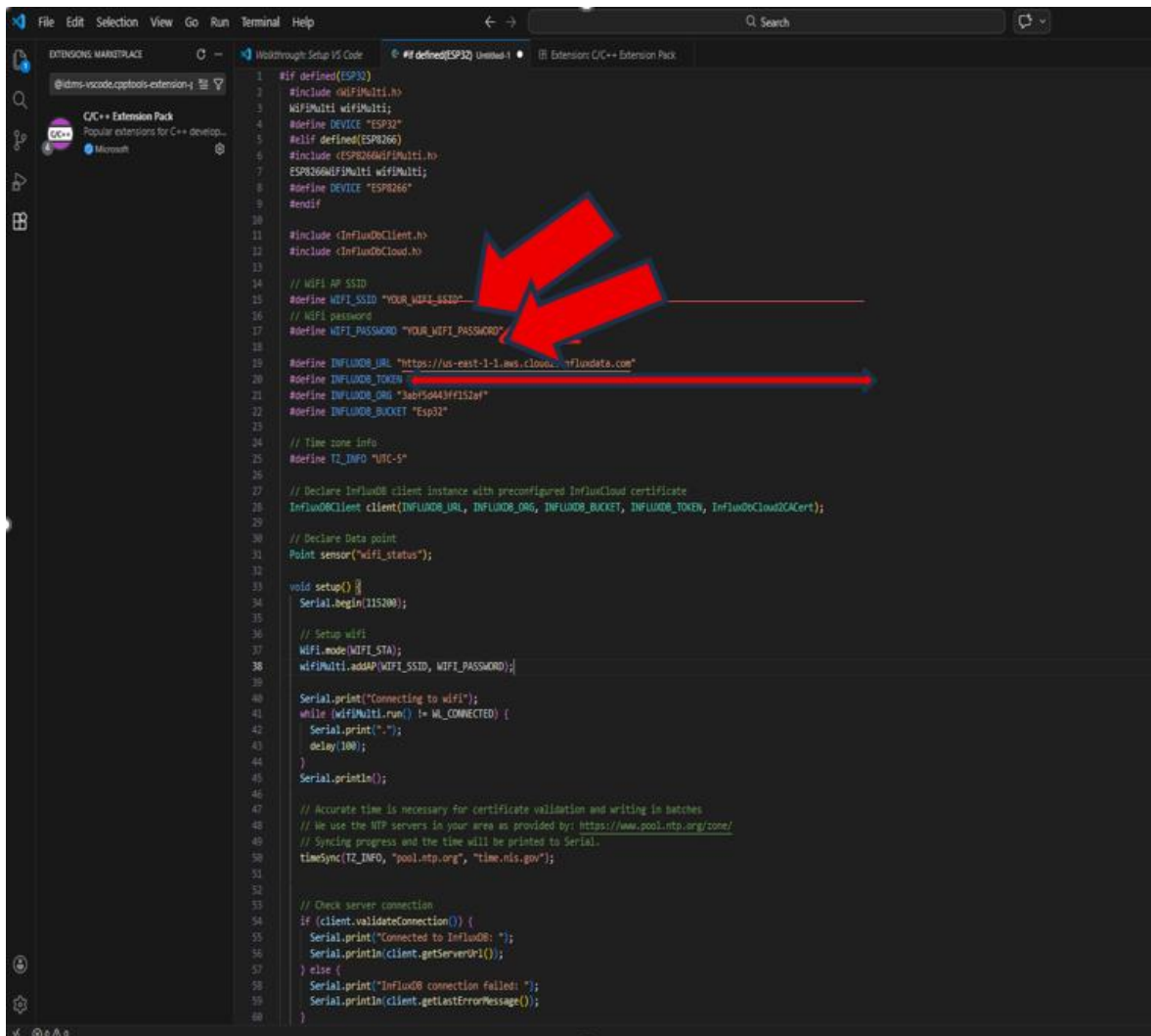
Figura 68. Código generado en la sección Initialize Client.



- II. Posteriormente, se configuran las credenciales de la red WiFi, ingresando el nombre de la red y la contraseña que permitirán al ESP32 conectarse a Internet y comunicarse con la plataforma en la nube. Véase la figura 69.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 69. Configuración de credenciales WiFi en el código.



```

1 #if defined(ESP32)
2 #include <WiFiMulti.h>
3 WiFiMulti wifiMulti;
4 #define DEVICE "ESP32"
5 #if defined(ESP8266)
6 #include <ESP8266WiFiMulti.h>
7 ESP8266WiFiMulti wifiMulti;
8 #define DEVICE "ESP8266"
9 #endif
10
11 #include <InfluxDBClient.h>
12 #include <InfluxDBCloud.h>
13
14 // WiFi AP SSID
15 #define WIFI_SSID "YOUR_WIFI_SSID"
16 // WiFi password
17 #define WIFI_PASSWORD "YOUR_WIFI_PASSWORD"
18
19 #define INFLUXDB_URL "https://us-east-1-1.aws.cloud.influxdata.com"
20 #define INFLUXDB_TOKEN "3a0f5043fe1528f"
21 #define INFLUXDB_ORG "3a0f5043fe1528f"
22 #define INFLUXDB_BUCKET "Esp32"
23
24 // Time zone info
25 #define TZ_INFO "UTC-5"
26
27 // Declare InfluxDB client instance with preconfigured InfluxCloud certificate
28 InfluxDBClient client(INFLUXDB_URL, INFLUXDB_ORG, INFLUXDB_BUCKET, INFLUXDB_TOKEN, InfluxDBCloudCACert);
29
30 // Declare Data point
31 Point sensor("wifi_status");
32
33 void setup() {
34   Serial.begin(115200);
35
36   // Setup wifi
37   WiFi.mode(WIFI_STA);
38   wifiMulti.addAP(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
39
40   Serial.print("Connecting to wifi");
41   while (wifiMulti.run() != WL_CONNECTED) {
42     Serial.print(".");
43     delay(100);
44   }
45   Serial.println();
46
47   // Accurate time is necessary for certificate validation and writing in batches
48   // We use the NTP servers in your area as provided by: https://www.pool.ntp.org/zone/
49   // Syncing progress and the time will be printed to Serial.
50   timeSync(TZ_INFO, "pool.ntp.org", "time.nis.gov");
51
52   // Check server connection
53   if (client.validateConnection()) {
54     Serial.print("Connected to InfluxDB: ");
55     Serial.println(client.getServerUrl());
56   } else {
57     Serial.print("InfluxDB connection failed: ");
58     Serial.println(client.getLastErrorMessage());
59   }
60 }

```

III. Una vez consolidado el código inicial, se procede a realizar las modificaciones necesarias para adaptar la programación a los requerimientos del proyecto, incluyendo la incorporación de variables y estructuras para la lectura de sensores. Véase la figura 70.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Paso 2. Integración de sensores ambientales y de vibración

Una vez configurado el código base, se procede a la integración de los sensores encargados de la adquisición de variables ambientales y de vibración. Este proceso se realiza de manera progresiva, incorporando cada sensor al sistema y verificando su correcto funcionamiento antes de su integración total.

Paso 2.1 Integración del sensor DHT11

- I. Inicialmente, se incorpora la librería correspondiente al sensor DHT11 y se definen los parámetros necesarios para su funcionamiento, incluyendo el pin de conexión, el tipo de sensor y su inicialización dentro de la función setup(), permitiendo establecer la comunicación con el ESP32. Véase la figura 71.

Figura 71. Configuración e inicialización del sensor DHT11.

```

11  #include <InfluxDbClient.h>
12  #include <InfluxDbCloud.h>
13
14  #include "DHT.h"
15
25
26  #define DHTPIN 14
27  #define DHTTYPE DHT11
28  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
29
30  #define TZ_INFO "UTC-5"
31
39  void setup() {
40      Serial.begin(115200);
41      dht.begin();
42      // WiFi
43      WiFi.mode(WIFI_STA);
44      wifiMulti.addAP(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
45

```



- II. Posteriormente, se implementa la lectura de temperatura y humedad en la función loop(). Los valores obtenidos son almacenados y enviados a InfluxDB para su posterior almacenamiento y visualización. Véase la figura 72.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 72. Lectura de temperatura y humedad.

```

71 void loop() {
72
73     float temp = dht.readTemperature();
74     float hum = dht.readHumidity();
75
79     // Enviar señal WiFi (RSSI)
80     sensor.addField("rssi", WiFi.RSSI());
81     sensor.addField("temperature", temp);
82     sensor.addField("humidity", hum);

```



Paso 2.2 Integración del sensor YL-83

- I. A continuación, se configura el pin analógico asociado al sensor YL-83 y se implementa la lectura de la señal proveniente del módulo. Posteriormente, el valor obtenido es convertido a un porcentaje que representa la intensidad de lluvia o nivel de humedad detectado por el sensor. Véase la figura 73.

Figura 73. Lectura y procesamiento de datos del sensor YL-83.

```

28 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
29
30 #define RAIN_ANALOG 34
31
73 void loop() {
74
75     float temp = dht.readTemperature();
76     float hum = dht.readHumidity();
77
78     int valor = analogRead(RAIN_ANALOG);
79     float rain = (4095.0 - valor) * 100.0 / 4095.0;
80     // Limpiar datos anteriores
81     sensor.clearFields();
82

```

- II. Finalmente, el valor calculado es enviado a InfluxDB para su almacenamiento dentro de la base de datos del sistema. Véase la figura 74.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 74. Envío de datos del YL-83 a InfluxDB.

```

88     sensor.addField("rain_percentage", rain);
89
90     // Mostrar en serial
91     Serial.print("Enviando: ");
92     Serial.println(sensor.toLineProtocol());

```

Paso 2.3 Integración del sensor SW-420

- I. Seguidamente, se configura el pin digital correspondiente al sensor SW-420 como entrada y se implementa la lectura de su estado lógico, permitiendo detectar la presencia o ausencia de vibraciones de alta intensidad. Véase la figura 75.

Figura 75. Configuración y lectura del sensor SW-420.

```

32     #define SW420_PIN 27
33
34     #define TZ_INFO "UTC-5"
47     pinMode(SW420_PIN, INPUT);
48     // WiFi
85     int vibration = digitalRead(SW420_PIN);
86     // Limpiar datos anteriores
87     sensor.clearFields();

```

- II. Una vez obtenida la lectura, esta es enviada a InfluxDB para su almacenamiento y posterior análisis. Véase la figura 76.

Figura 76. Envío de datos del sensor SW-420 a InfluxDB.

```

93     sensor.addField("rain_percentage", rain);
94     sensor.addField("vibration_digital", vibration);
95
96     // Mostrar en serial
97     Serial.print("Enviando: ");
98     Serial.println(sensor.toLineProtocol());

```

Paso 2.4 Integración del sensor piezoeléctrico SEN-09199 (con AD620)

- I. Finalmente, se configura el pin analógico asociado al sensor piezoeléctrico SEN-09199 y se implementa la lectura de la señal amplificada por el módulo AD620. Esta configuración permite adquirir variaciones de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

voltaje proporcionales a la intensidad de las vibraciones detectadas por el sensor. Véase la figura 77.

Figura 77. Configuración y lectura del sensor piezoeléctrico SEN-09199.

```

32  #define SW420_PIN 27
33
34  #define PIEZO_PIN 35
35
36  #define TZ_INFO "UTC-5"
37
89  int piezoValue = analogRead(PIEZO_PIN);
90
91  // Limpiar datos anteriores
92  sensor.clearFields();
93

```



- II. Posteriormente, los valores obtenidos son incorporados al flujo de datos del sistema y enviados a InfluxDB para su almacenamiento y posterior análisis dentro de la plataforma de monitoreo. Véase la figura 78.

Figura 78. Envío de datos del sensor piezoeléctrico a InfluxDB.

```

100  sensor.addField("piezo_signal", piezoValue);
101
102  // Mostrar en serial
103  Serial.print("Enviando: ");
104  Serial.println(sensor.toLineProtocol());

```

Paso 3. Integración completa del sistema

Una vez verificado el funcionamiento individual de cada uno de los sensores, se procede a la integración completa del sistema en un único código, permitiendo la adquisición simultánea de variables ambientales y de vibración, así como su transmisión hacia la plataforma InfluxDB Cloud.

- I. Inicialmente, se consolidan todos los fragmentos de código correspondientes a cada sensor dentro de un solo programa, integrando las configuraciones previamente definidas para el

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- II. Posteriormente, se verifica la correcta inicialización de todos los sensores dentro de la función `setup()`, asegurando la configuración adecuada de librerías, pines de entrada y comunicación con el ESP32. Véase la figura 80.

Figura 80. Inicialización de sensores en el sistema completo.

```

26  #define DHTPIN 14
27  #define DHTTYPE DHT11
28  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
29
30  #define RAIN_ANALOG 34
31
32  #define SW420_PIN 27
33
34  #define PIEZO_PIN 35
35
36  #define TZ_INFO "UTC-5"
37
45  void setup() {
46      Serial.begin(115200);
47      dht.begin();
48
49      pinMode(SW420_PIN, INPUT);

```

- III. A continuación, se implementa la lectura simultánea de todas las variables dentro de la función `loop()`, permitiendo obtener en tiempo real los valores de temperatura, humedad, intensidad de lluvia y vibraciones detectadas por el sistema. Posteriormente, los datos son organizados en campos para su almacenamiento en la base de datos. Véase la figura 81.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 81. Lectura y estructuración de datos del sistema.

```

79 void loop() {
80
81     float temp = dht.readTemperature();
82     float hum = dht.readHumidity();
83
84     int valor = analogRead(RAIN_ANALOG);
85     float rain = (4095.0 - valor) * 100.0 / 4095.0;
86
87     int vibration = digitalRead(SW420_PIN);
88
89     int piezoValue = analogRead(PIEZO_PIN);
94     // Enviar señal WiFi (RSSI)
95     sensor.addField("rssi", WiFi.RSSI());
96     sensor.addField("temperature", temp);
97     sensor.addField("humidity", hum);
98     sensor.addField("rain_percentage", rain);
99     sensor.addField("vibration_digital", vibration);
100    sensor.addField("piezo_signal", piezoValue);
101

```

- IV. Finalmente, se realiza el envío conjunto de todas las variables hacia InfluxDB Cloud, permitiendo su almacenamiento como series temporales para su posterior consulta y visualización. Véase la figura 83.

Figura 82. Envío de datos del sistema completo a InfluxDB.

```

---
111 // Enviar a InfluxDB
112 if (!client.writePoint(sensor)) {
113     Serial.print("Error enviando datos: ");
114     Serial.println(client.getLastErrorMessage());
115 }
116

```

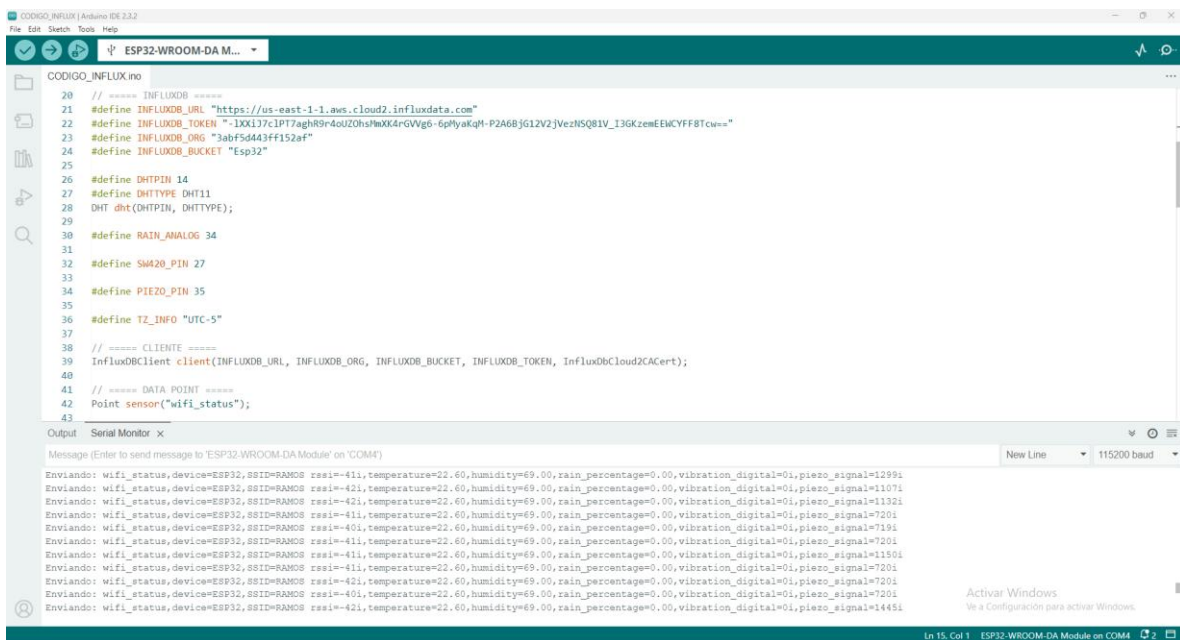
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Paso 4. Verificación en la plataforma

Una vez implementado el código en el ESP32 e integrada la totalidad de los sensores, se procede a la verificación del correcto envío y almacenamiento de los datos en la plataforma InfluxDB Cloud. Esta etapa es fundamental para validar el funcionamiento del sistema en condiciones reales de operación.

- I. Inicialmente, se establece la conexión entre el ESP32 y la red WiFi, verificando mediante el monitor serial que la comunicación con InfluxDB Cloud se realice correctamente. Véase la figura 83.

Figura 83. Conexión exitosa del ESP32 a la red WiFi y a InfluxDB.



```

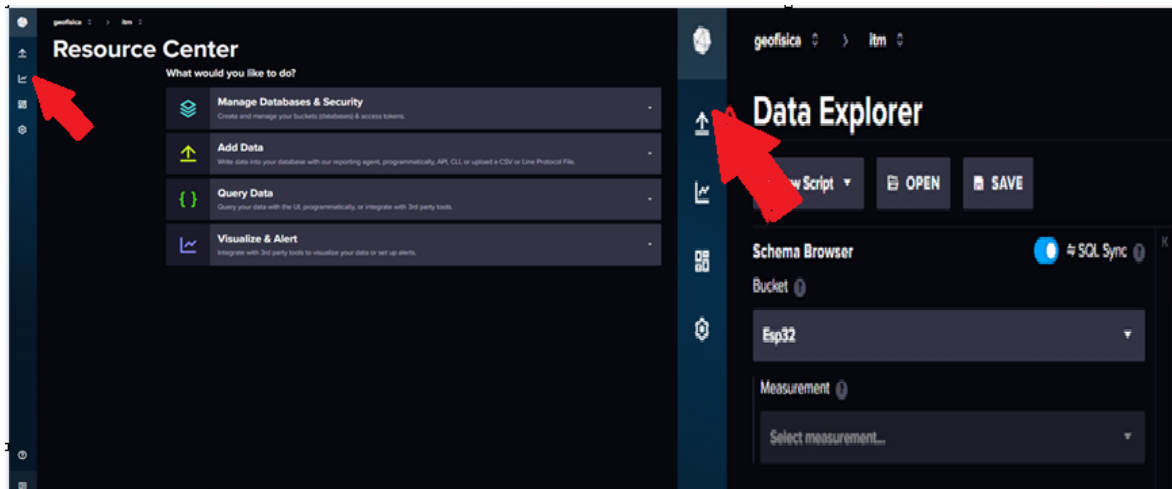
CODIGO_INFLUX.ino
20 // ===== INFLUXDB =====
21 #define INFLUXDB_URL "https://us-east-1-1.aws.cloud2.influxdata.com"
22 #define INFLUXDB_TOKEN "-LXX177c1PT7aghR9r4ouZOhshMxK4rGVVg5-6pPhyaKqH-P2A68jG12V2jVezNSQ81V_13GKzmeEMCYFF8Tcne=="
23 #define INFLUXDB_ORG "3abf5d443ff152af"
24 #define INFLUXDB_BUCKET "Esp32"
25
26 #define DHTPIN 14
27 #define DHTTYPE DHT11
28 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
29
30 #define RAIN_ANALOG 34
31
32 #define SMA20_PIN 27
33
34 #define PIEZO_PIN 35
35
36 #define TZ_INFO "UTC-5"
37
38 // ===== CLIENTE =====
39 InfluxDBClient client(INFLUXDB_URL, INFLUXDB_ORG, INFLUXDB_BUCKET, INFLUXDB_TOKEN, InfluxDbCloudCACert);
40
41 // ===== DATA POINT =====
42 Point sensor("wifi_status");
43
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32-WROOM-DA Module' on 'COM4')
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-41i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=1299i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-42i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=1107i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-41i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=1132i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-40i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=720i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-40i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=719i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-41i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=720i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-41i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=1150i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-41i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=720i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-42i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=720i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-40i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=720i
Enviando: wifi_status,device=ESP32,SSID=RANDOM rssi=-42i,temperature=22.60,humidity=69.00,rain_percentage=0.00,vibration_digital=0i,piezo_signal=1445i

```

- II. Posteriormente, se accede a la plataforma InfluxDB Cloud y se ingresa a la herramienta Data Explorer, desde donde es posible consultar y analizar la información almacenada en la base de datos. Véase la figura 84.

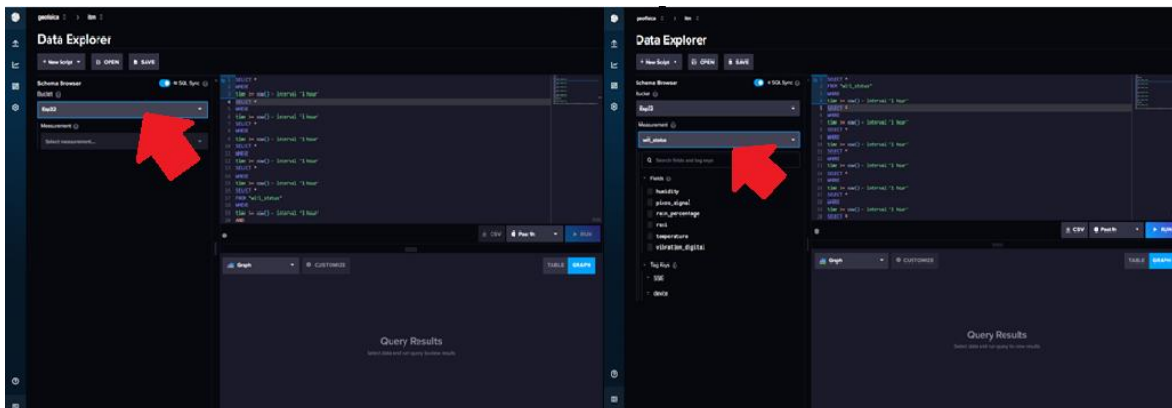
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 84. Acceso a Data Explorer en InfluxDB Cloud.



- III. A continuación, se selecciona el bucket previamente creado y el measurement correspondiente al sistema de monitoreo, permitiendo acceder a las variables almacenadas en la base de datos. Véase la figura 85.

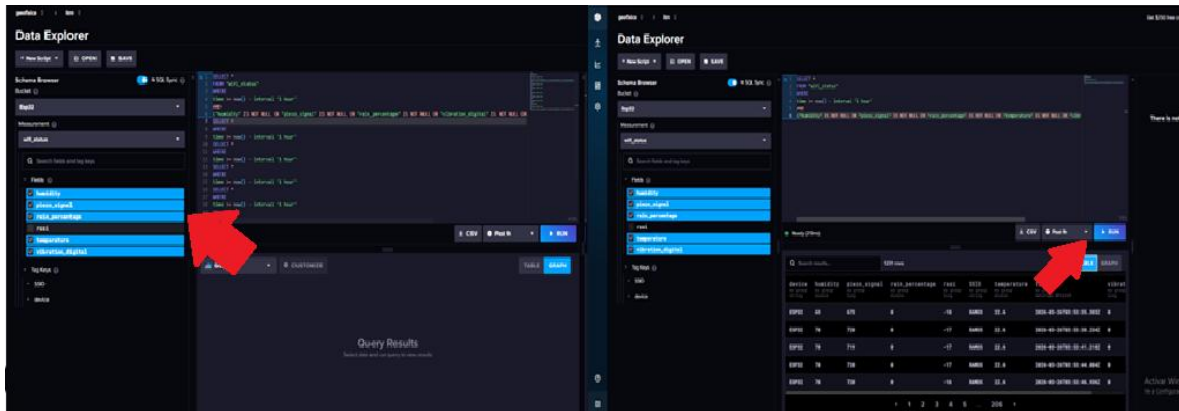
Figura 85. Selección del bucket y measurement en InfluxDB.



- IV. Seguidamente, se seleccionan los campos (fields) asociados a las variables registradas por el sistema, tales como temperatura, humedad, intensidad de lluvia y vibraciones. Una vez seleccionadas las variables de interés, se ejecuta la consulta para visualizar los datos almacenados. Véase la figura 86.

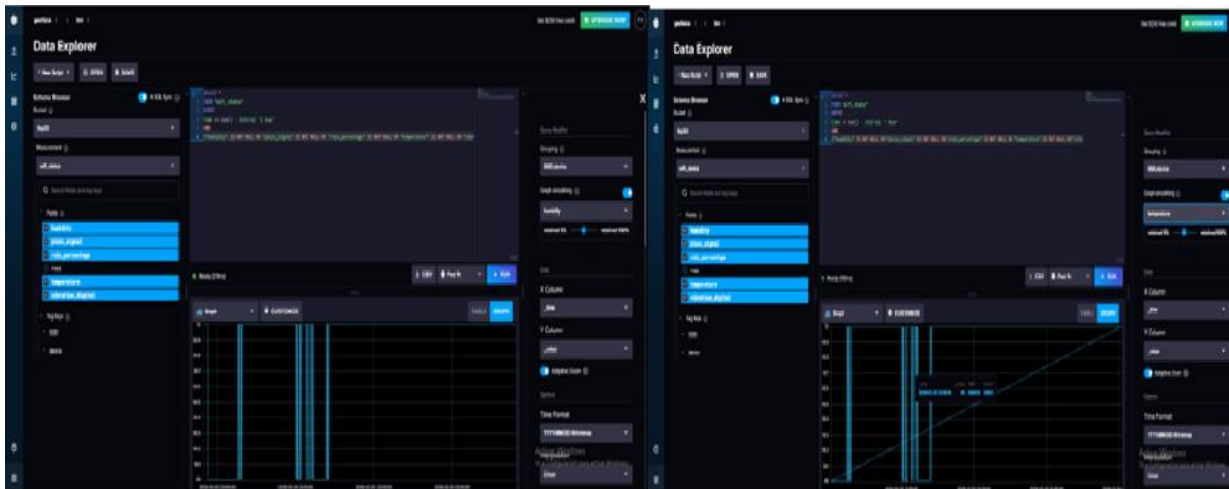
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 86. Selección de variables y visualización de datos en formato tabular.



- V. Finalmente, se utiliza la opción de visualización gráfica para representar las variables registradas como series temporales, facilitando el análisis del comportamiento de cada sensor a lo largo del tiempo. Véanse las figuras 87, 88, 89 y 90.

Figura 87. Visualización gráfica de las variables de temperatura y humedad..



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 88. Visualización gráfica de la intensidad de lluvia.

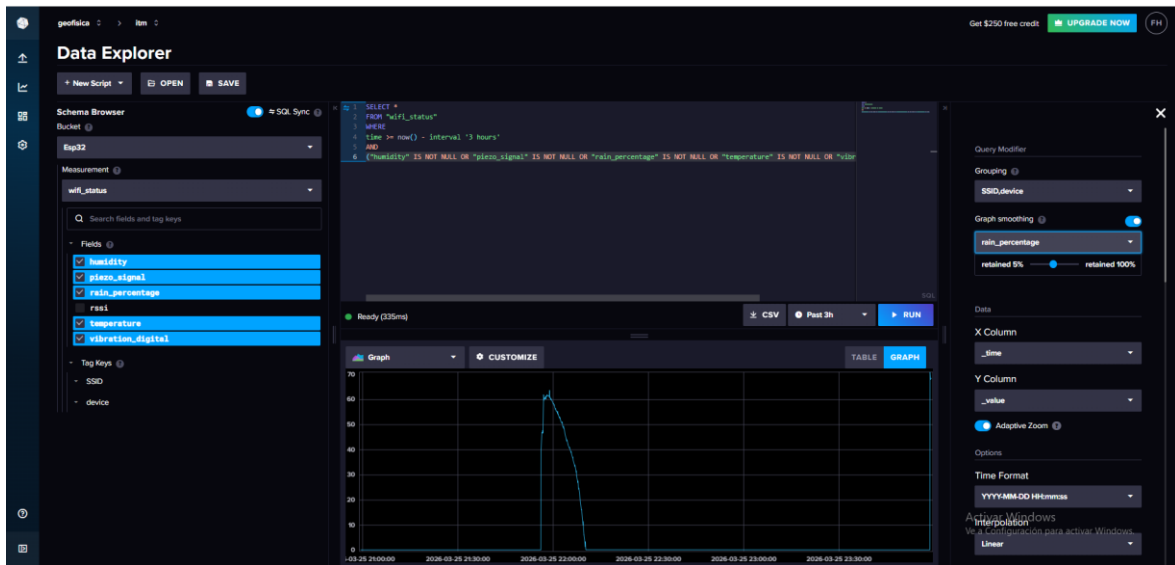
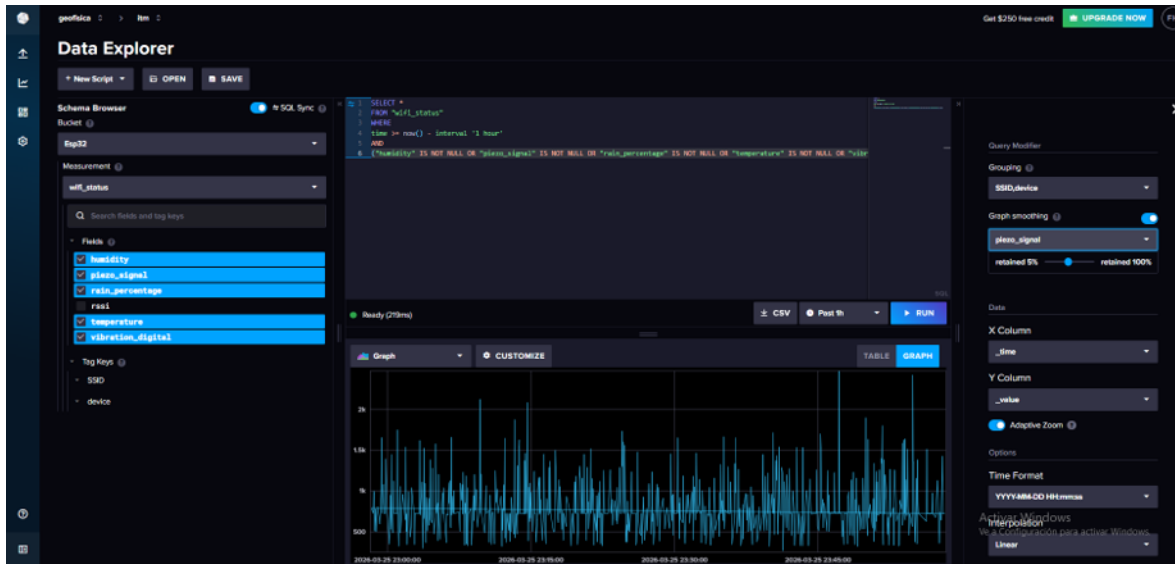
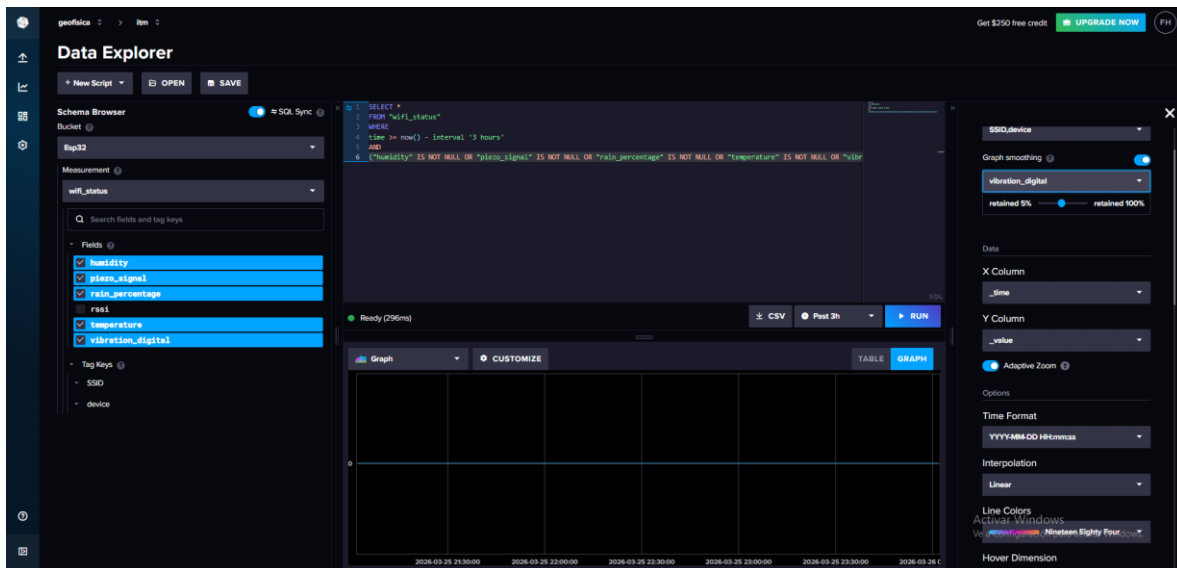


Figura 89. Visualización gráfica del sensor piezoeléctrico SEN-09199.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 90. Visualización gráfica del sensor SW-420.



- VI. Se logró visualizar correctamente cada una de las variables enviadas por el sistema, tanto en formato tabular como gráfico, confirmando la correcta adquisición, almacenamiento y representación de los datos en la plataforma InfluxDB Cloud.

3.8 Diseño del dashboard en Grafana para la comunicación con InfluxDB

Una vez configurada la adquisición y almacenamiento de datos en InfluxDB Cloud, se procedió al desarrollo de un dashboard en Grafana con el fin de visualizar la información generada por los sensores en tiempo real. Grafana permite crear paneles interactivos para el monitoreo de variables ambientales y de vibración, facilitando el análisis del comportamiento del sistema y la interpretación de los datos almacenados en la base de datos. Para ello, se configuró la conexión entre Grafana e InfluxDB Cloud y posteriormente se diseñaron los paneles de visualización correspondientes a cada variable monitoreada.

3.8.1 Pasos para el diseño e implementación del dashboard en InfluxDB y Grafana para la comunicación de datos.

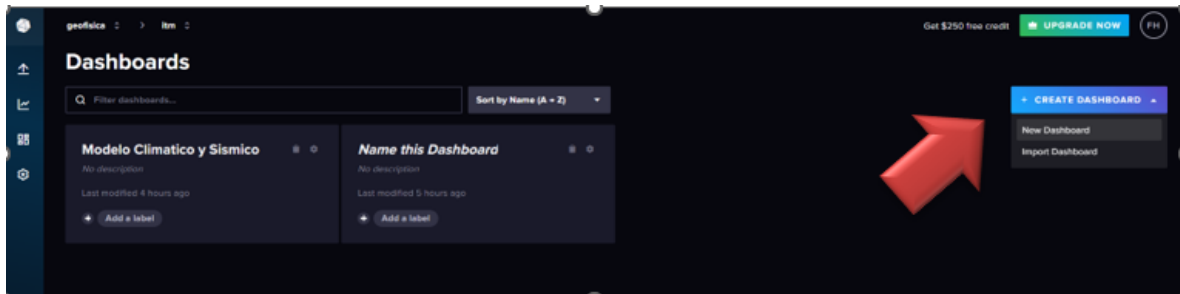
Paso 1. Creación del dashboard en InfluxDB

- I. Inicialmente, se accedió a la plataforma InfluxDB Cloud y, dentro del apartado Dashboards, se seleccionó la opción Create Dashboard. Posteriormente, se asignó un

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

nombre al dashboard de acuerdo con los requerimientos del sistema. Véase la figura 91.

Figura 91. Creación del dashboard en InfluxDB.



- II. Seguidamente, se añadió una nueva celda mediante la opción Add Cell, lo que permitió crear un espacio para la visualización de los datos almacenados en la base de datos. Véase la figura 92.

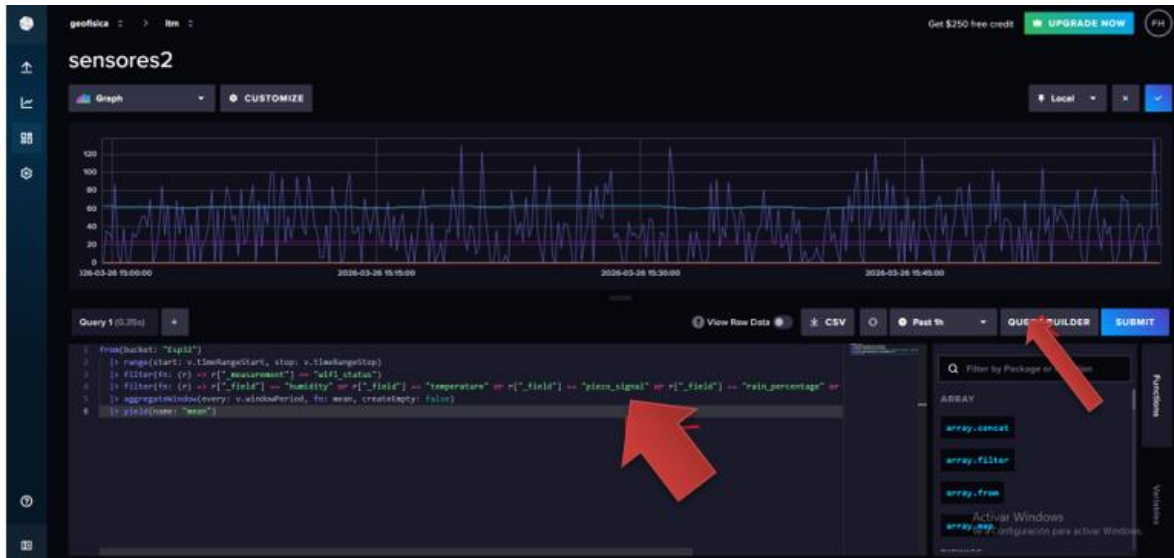
Figura 92. Creación de una nueva celda mediante la opción Add Cell.



- III. Posteriormente, se configuró el bucket previamente creado y el measurement correspondiente. Asimismo, se seleccionaron las variables de interés mediante la herramienta Query Builder, permitiendo estructurar las consultas necesarias para la visualización de la información. Véase la figura 93.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

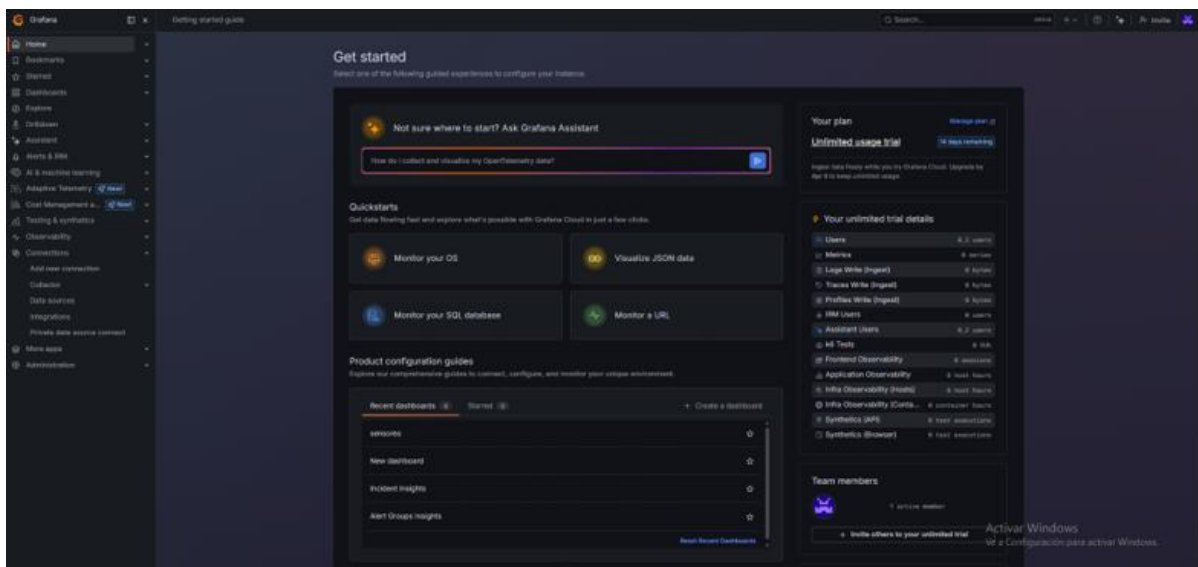
Figura 93. Configuración de las variables (fields) utilizando el Query Builder.



Paso 2. Configuración de Grafana e integración con InfluxDB

- I. Posteriormente, se ingresó a la plataforma Grafana, donde se creó una cuenta o se inició sesión mediante los métodos de autenticación disponibles. Una vez dentro de la plataforma, se accedió a la interfaz principal para comenzar la configuración de la comunicación con InfluxDB. Véase la figura 94.

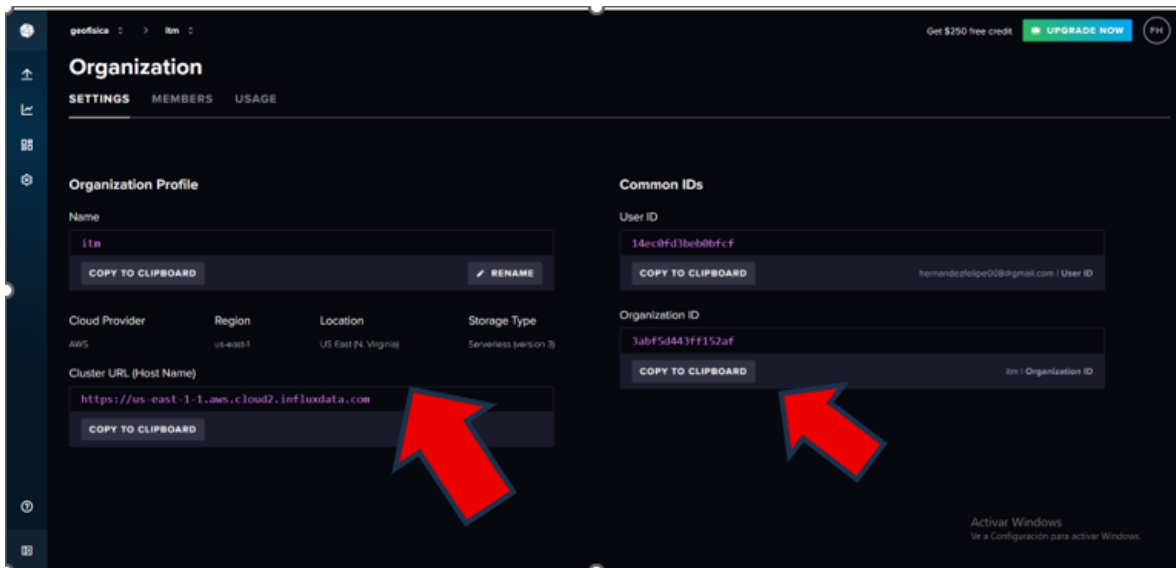
Figura 94. Acceso a la interfaz principal de la plataforma



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- II. A continuación, se configuró la fuente de datos de InfluxDB, ingresando los parámetros de conexión correspondientes, entre ellos el Organization ID y el bucket previamente creado en la plataforma InfluxDB Cloud. Véase la figura 95.

Figura 95. Configuración del Organization ID y bucket.



- III. Posteriormente, se ingresó el token de acceso generado por InfluxDB, el cual permite autenticar la comunicación entre ambas plataformas y garantizar el acceso seguro a los datos almacenados. Véase la figura 96.

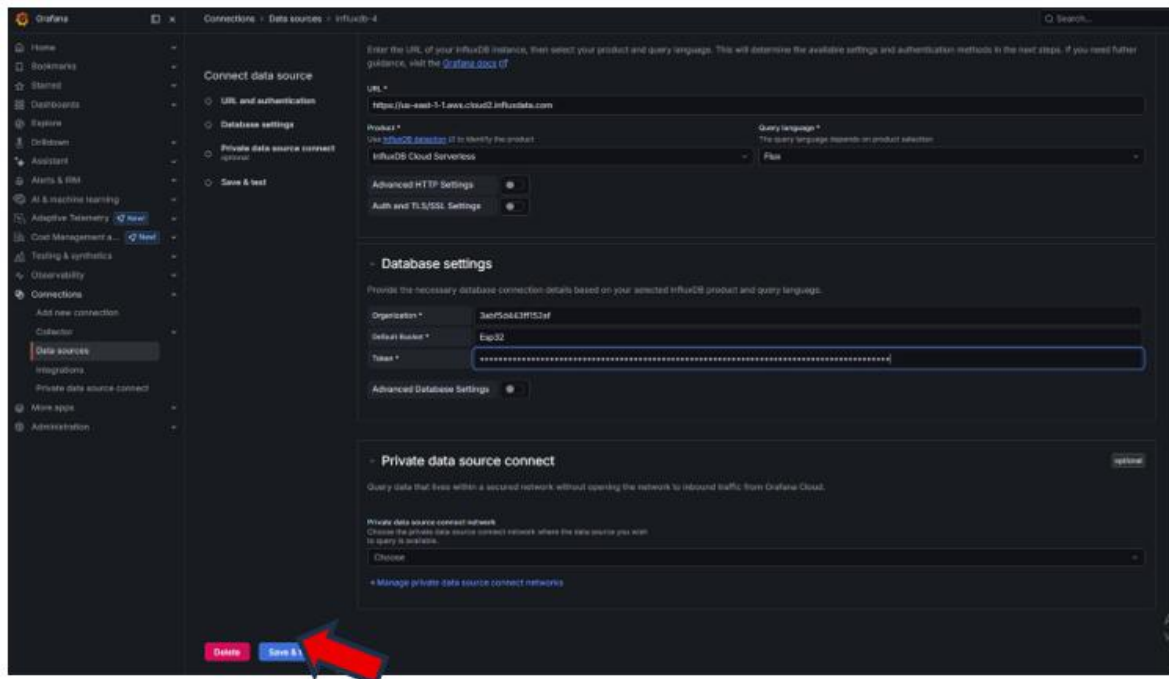
Figura 96. Ingreso del token de acceso para la autenticación.



- IV. Finalmente, se seleccionó la opción Save & Test para verificar que la conexión entre Grafana e InfluxDB se hubiera realizado correctamente. Véase la figura 97.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

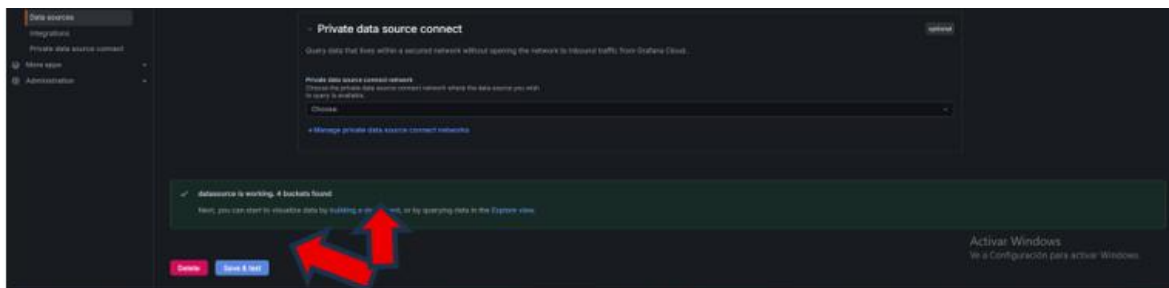
Figura 97. Verificación de la conexión entre Grafana e InfluxDB.



Paso 3. Diseño de paneles y visualización de datos

- I. Una vez establecida la conexión, se accedió a la opción Build Dashboard para iniciar el diseño de los paneles de visualización. Véase la figura 98.

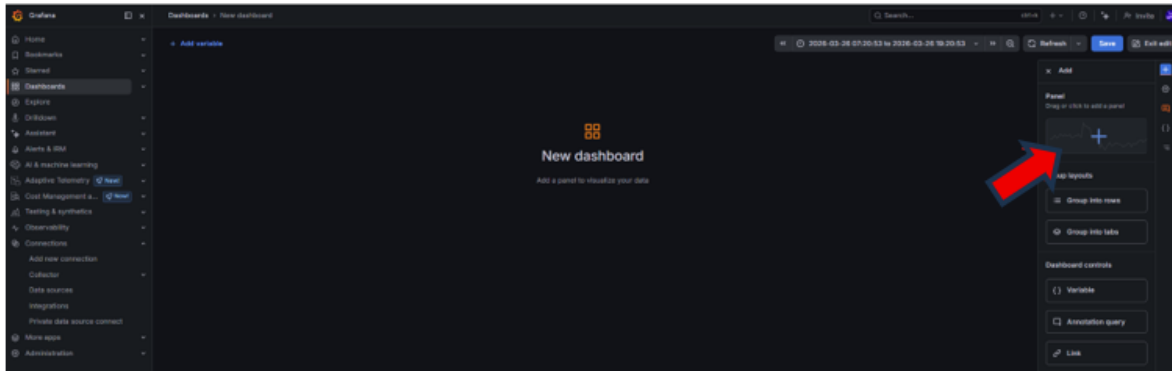
Figura 98. Acceso a la opción Build Dashboard desde la interfaz principal.



- II. Posteriormente, se añadió un nuevo panel mediante la opción Add Panel, el cual serviría para representar gráficamente las variables adquiridas por el sistema. Véase la figura 99.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 99. Adición de un nuevo panel mediante la opción Add Panel para la visualización de datos.



- III. Dentro del panel de configuración, se accedió al editor de consultas para establecer la comunicación con la base de datos y definir la información que sería mostrada. Véase la figura 100.

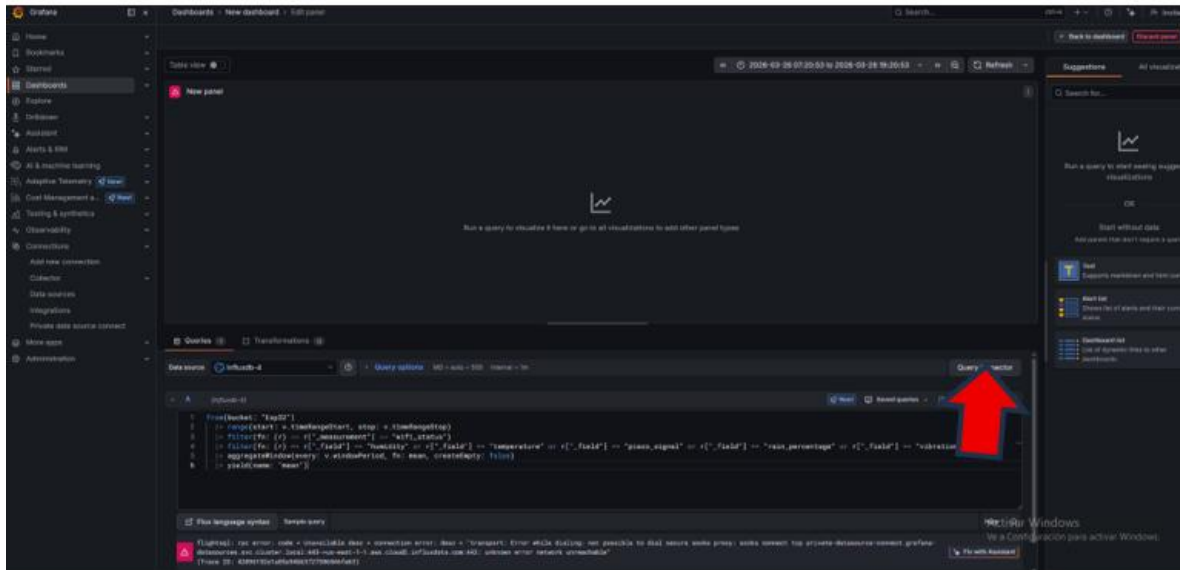
Figura 100. Acceso al editor de consultas dentro del panel de configuración.



- IV. A continuación, se insertó el código en lenguaje Flux generado previamente en InfluxDB, permitiendo la consulta y visualización de los datos almacenados en la plataforma. Véase la figura 101.

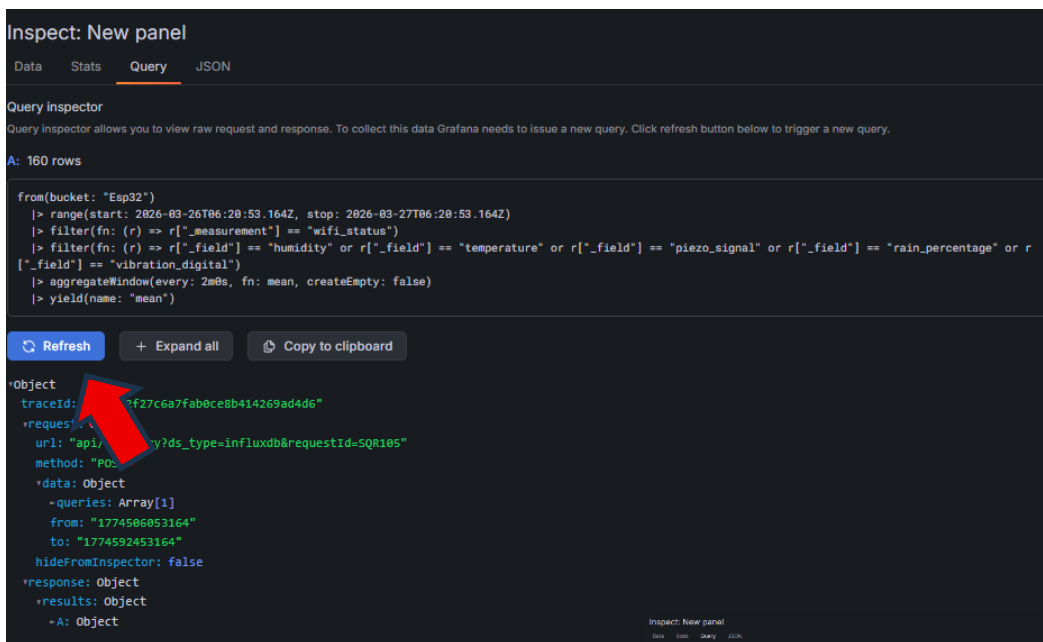
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 101. Inserción y configuración del código en lenguaje Flux para la visualización de los datos.



- V. Seguidamente, se utilizó la herramienta Query Inspector para verificar el correcto funcionamiento de la consulta y comprobar la actualización de los datos recibidos desde la base de datos. Véase la figura 102.

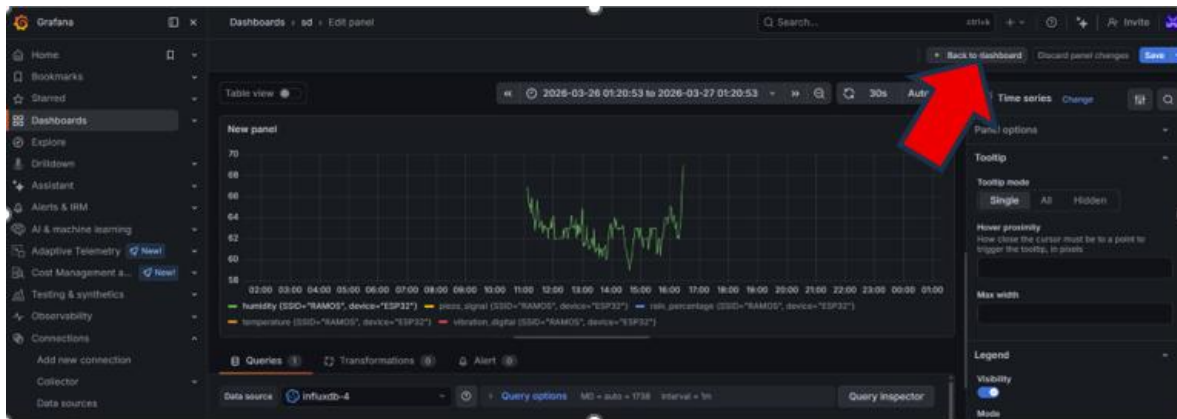
Figura 102. Verificación y actualización de la consulta mediante Query Inspector.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- VI.** Posteriormente, se seleccionó el tipo de visualización Time Series, adecuado para representar el comportamiento temporal de las variables registradas por los sensores del sistema. Véase la figura 103.

Figura 103. Selección del tipo de gráfico (Time Series).



- VII.** Finalmente, se guardó el dashboard completo y se regresó a la vista principal, donde fue posible visualizar las variables monitoreadas en tiempo real y agregar nuevos paneles según los requerimientos del proyecto. Véase la figura 104.

Figura 104. Visualización final del dashboard en Grafana.



- VIII.** Como resultado, se obtuvo un dashboard funcional capaz de mostrar en tiempo real las variables de temperatura, humedad, intensidad de lluvia y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

vibración almacenadas en InfluxDB, facilitando el monitoreo y análisis del sistema desarrollado.

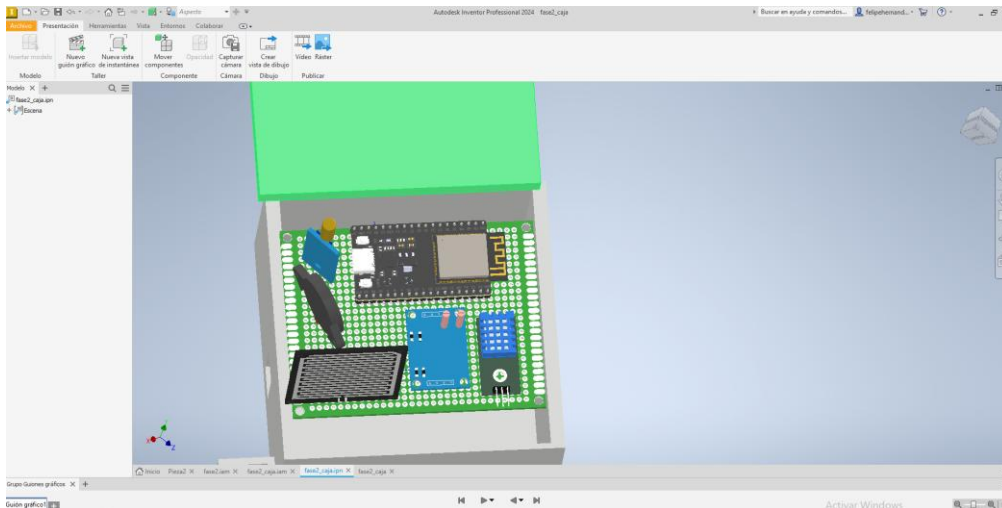
3.9 Diseño del prototipo mecánico

En esta sección se presenta el diseño, construcción e implementación del prototipo mecánico desarrollado para integrar los componentes electrónicos del sistema de monitoreo. La estructura fue diseñada para proporcionar soporte físico a los sensores, al microcontrolador ESP32 y a los elementos de acondicionamiento de señal, garantizando estabilidad, protección y facilidad de mantenimiento. Asimismo, se emplearon herramientas CAD para optimizar la distribución interna de los componentes y facilitar el proceso de fabricación.

3.9.1 Diseño, construcción e implementación del prototipo mecánico del sistema

- I. Inicialmente, se definió la estructura general del prototipo mecánico, la cual fue diseñada para alojar de forma segura todos los elementos electrónicos del sistema. Se buscó garantizar estabilidad estructural, facilidad de ensamblaje y acceso a los componentes para futuras tareas de mantenimiento. Véase la figura 105.

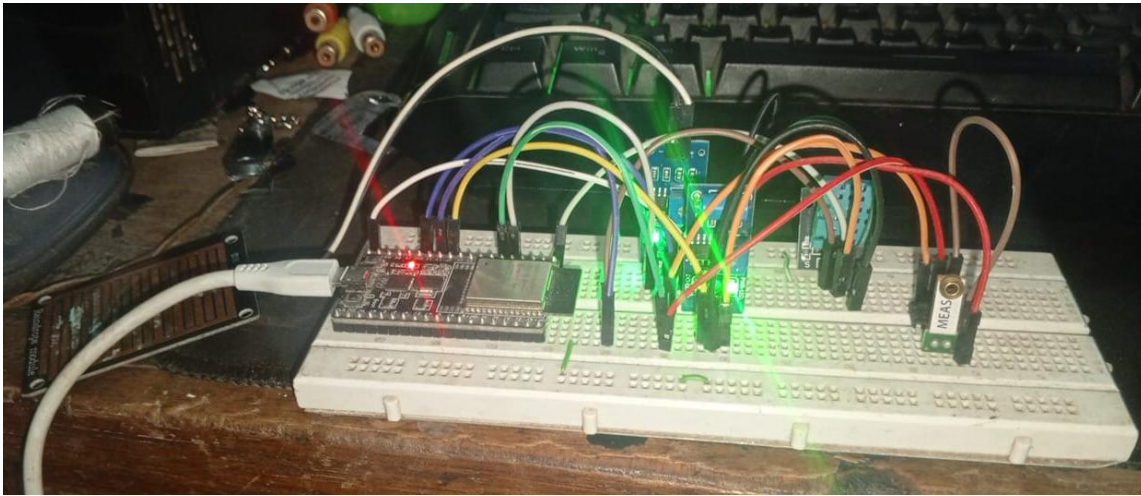
Figura 105. Vista general del prototipo mecánico.



- II. Durante la etapa de validación electrónica se utilizó una protoboard para realizar el montaje temporal de los circuitos, permitiendo efectuar pruebas y correcciones antes de la implementación definitiva. Véase la figura 106.

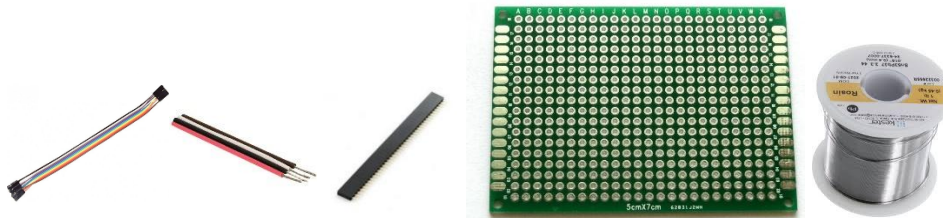
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 106. Protoboard utilizada para pruebas iniciales.



- III.** Posteriormente, se seleccionaron los materiales y elementos de conexión necesarios para el montaje permanente del sistema, incluyendo cables jumper, pines header, PCB universal y demás accesorios de ensamblaje. Véase la figura 107.

Figura 107. Elementos de conexión y montaje (jumpers, headers y PCB universal).



Nota. Tomado de: <https://cdnx.jumpseller.com/mactornica/image/9172732/hh.jpg?1658167568>

Nota 2. Tomado de: <https://www.steren.com.co/media/catalog/product/cache/0236bbabe616ddcff749ccbc14f38bf2/image/1658823a9/cable-esta-ado-para-conexiones-22-awg-color-rojo.jpg>

Nota 3. Tomado de: <https://avelectronics.cc/wp-content/uploads/2018/03/headerfemale-e1507663264776-324x324.jpg>

Nota 4. Tomado de: <https://avelectronics.cc/wp-content/uploads/2018/03/headerfemale-e1507663264776-324x324.jpg>

Nota 5. Tomado de: https://www.newark.com/productimages/large/en_US/34C5653-40.jpg

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- IV. Asimismo, se definieron los materiales requeridos para la fabricación de la carcasa, utilizando impresión 3D y elementos de fijación que permiten proteger los componentes internos y facilitar el acceso al sistema. Véase la figura 108.

Figura 108. Materiales de la carcasa y fijación (ABS, tornillos y bisagras)



Nota. Tomado de: <https://www.inovamarket.com/wp-content/uploads/2023/12/abs-filamento.webp>

Nota 2. Tomado de: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_680900-CBT87507379531_072025-O.webp

- V. El diseño del prototipo se realizó mediante herramientas CAD, específicamente en Autodesk Inventor, lo que permitió definir con precisión las dimensiones, la distribución de los componentes y los puntos de fijación. El prototipo fue diseñado con dimensiones de $120 \times 100 \times 60$ mm, garantizando un adecuado aprovechamiento del espacio, estabilidad estructural y facilidad de integración de los elementos electrónicos. Véase la figura 109 y 110.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 109. Diseño CAD del prototipo mecánico Vista isométrica del modelo 3D

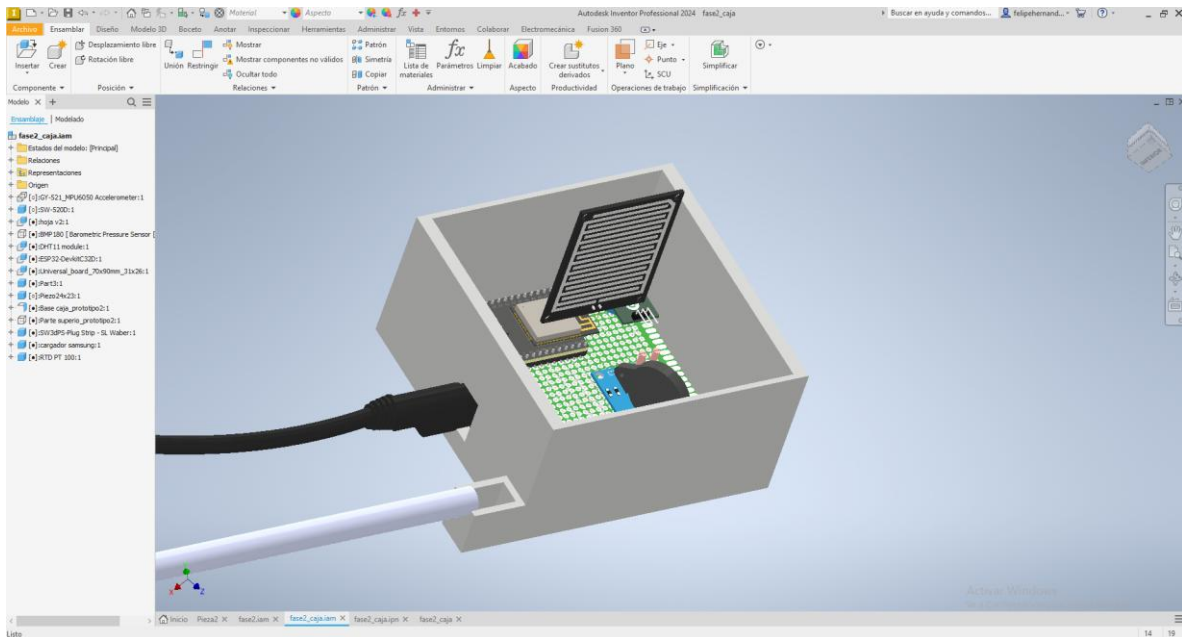
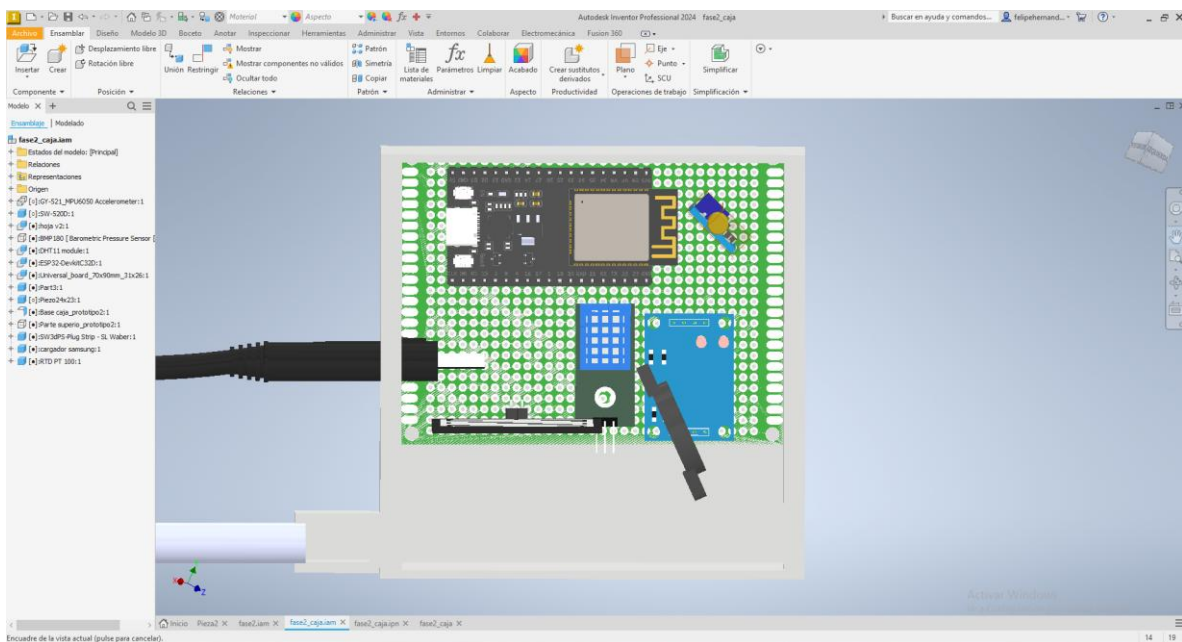


Figura 110. Diseño CAD del prototipo mecánico Vista superior



VI. Una vez finalizado el diseño CAD, se elaboraron los planos de fabricación y posteriormente se realizó el ensamblaje completo del sistema, integrando sensores, módulos electrónicos y elementos de comunicación dentro de la estructura diseñada. Véanse las figuras 111 y 112.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 111. Planos de la carcasa del prototipo.

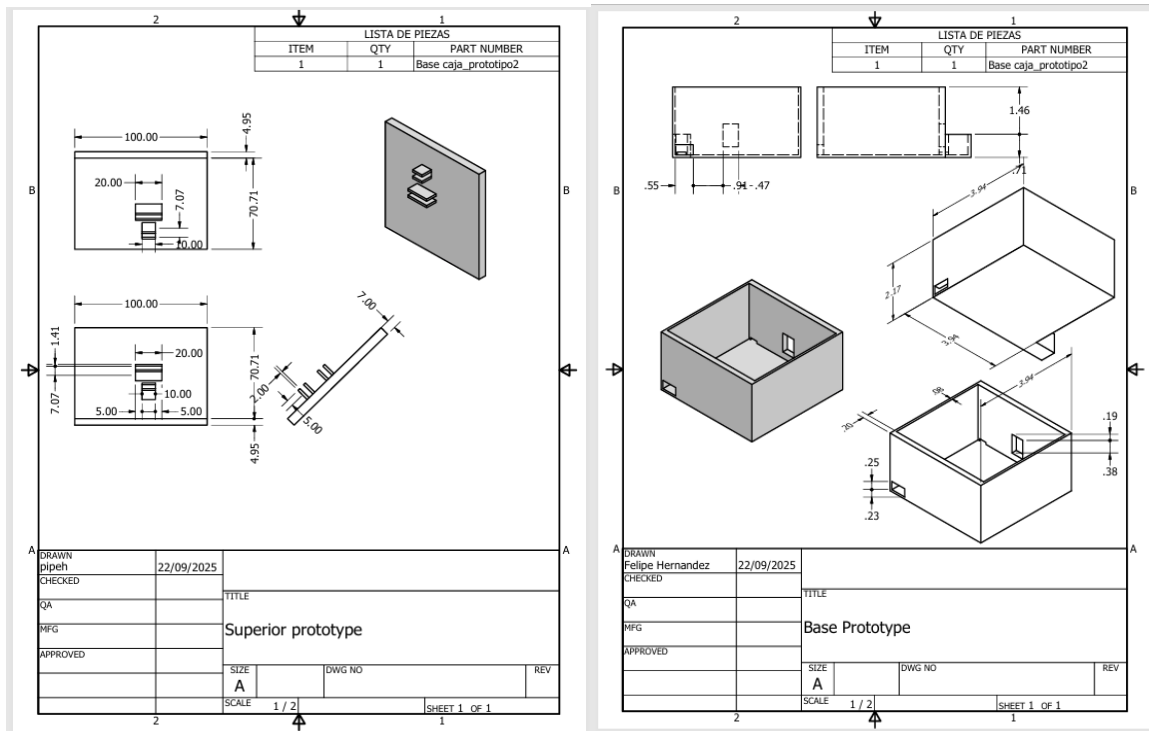
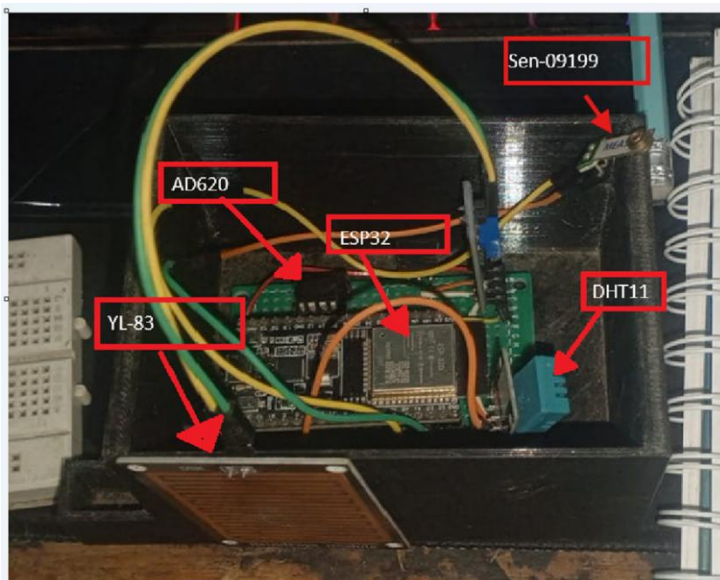


Figura 112. Conexión e integración del sistema completo.

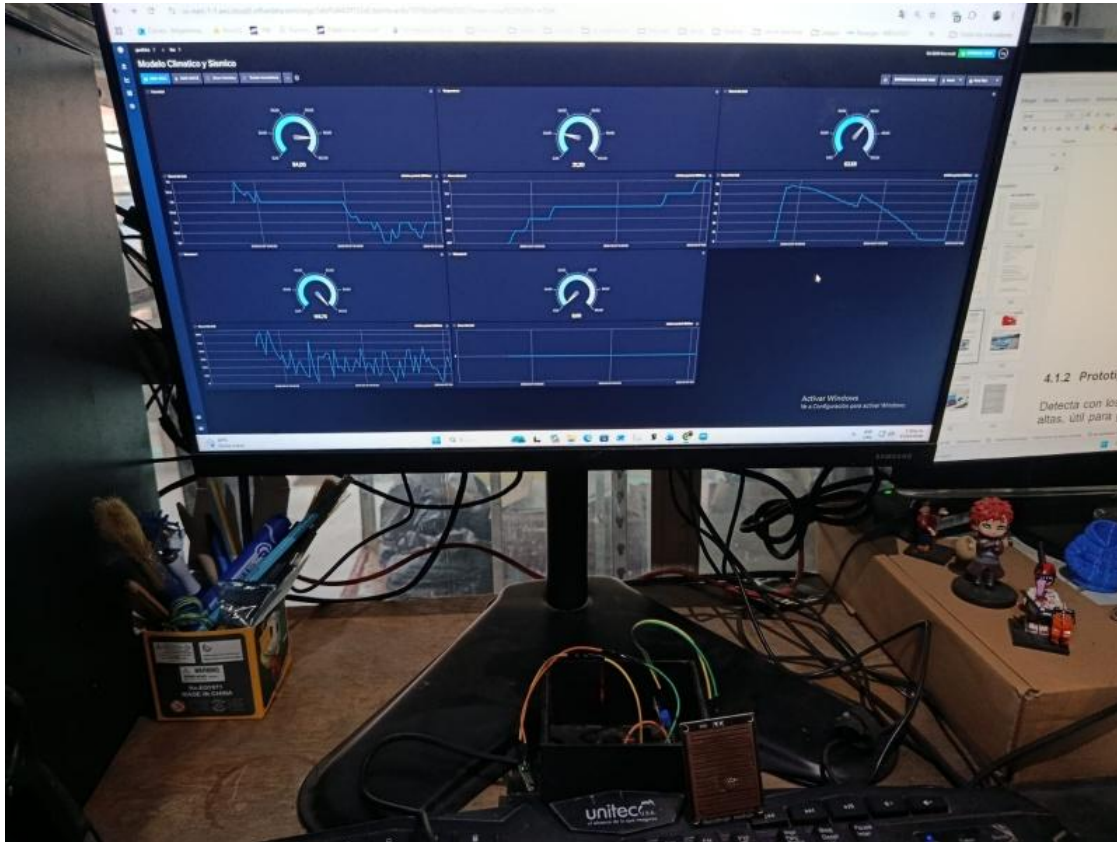


VII. Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo ensamblado, verificando la correcta integración de los componentes, la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

estabilidad mecánica de la estructura y el adecuado desempeño del sistema en condiciones de operación. Véase la figura 113.

Figura 113. Prototipo mecánico en funcionamiento.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el diseño, implementación y validación experimental del sistema de monitoreo de vibraciones y variables ambientales desarrollado en el marco del presente proyecto. Los resultados se organizan de acuerdo con la evolución de los prototipos implementados, las pruebas realizadas y los objetivos específicos planteados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con el fin de evaluar el desempeño del sistema, se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento en diferentes entornos, incluyendo laboratorio, salón de clases y parqueadero, permitiendo analizar la respuesta de los sensores y la estabilidad de la arquitectura de adquisición, transmisión y visualización de datos basada en ESP32, InfluxDB y Grafana.

Adicionalmente, se realizaron procesos de validación experimental para las variables ambientales mediante la comparación de las mediciones obtenidas con instrumentos de referencia, así como pruebas de monitoreo de vibraciones y detección de lluvia bajo condiciones reales de operación. Los resultados obtenidos permiten evaluar el comportamiento general del sistema, identificar sus limitaciones y determinar su viabilidad como plataforma de monitoreo de bajo costo con fines académicos y de investigación.

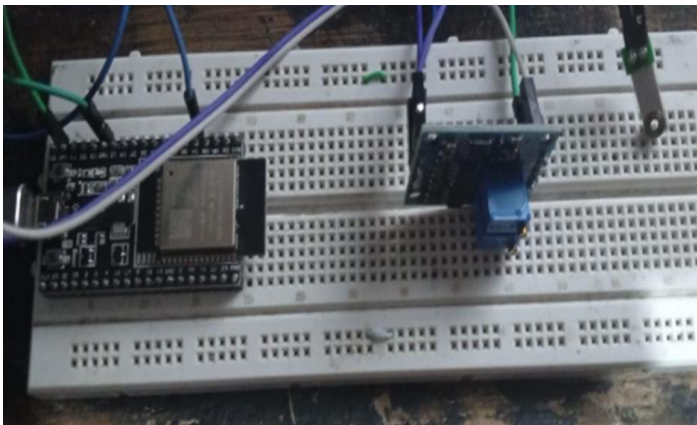
4.1 Evaluación de los prototipos desarrollados

Se desarrollaron tres prototipos del sistema de monitoreo, diseñados para medir vibraciones y variables ambientales mediante sensores de bajo costo y microcontroladores ESP32, integrados con InfluxDB y visualización en Grafana.

4.1.1 Prototipo 1: Sensor piezoeléctrico SEN-09199

El primer prototipo desarrollado estuvo conformado por un sensor piezoeléctrico SEN-09199 y su respectivo circuito de acondicionamiento basado en el amplificador de instrumentación AD620. Esta configuración permitió realizar la adquisición inicial de señales asociadas a vibraciones mecánicas y evaluar la respuesta general del sistema ante diferentes estímulos experimentales. Véase la Figura 114.

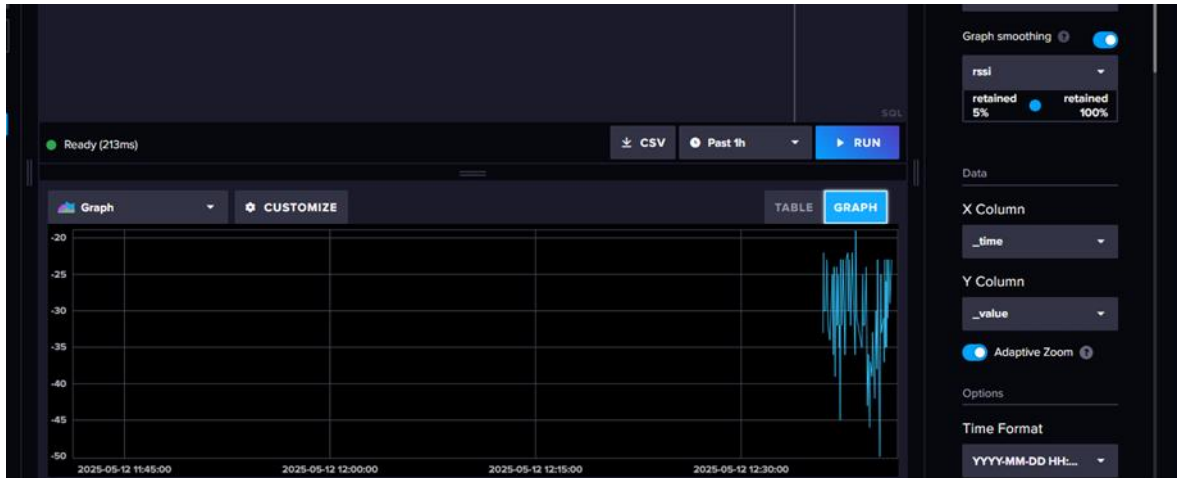
Figura 114. Montaje físico del prototipo 1 basado en el sensor piezoeléctrico SEN-09199.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Durante las pruebas realizadas se observó que el sistema era capaz de registrar variaciones en la señal de salida cuando se inducían vibraciones sobre el sensor, así como transmitir los datos hacia la plataforma de almacenamiento seleccionada. Véase la Figura 115.

Figura 115. Visualización de la señal de vibración en InfluxDB para el prototipo 1.



4.1.2 Prototipo 2: Integración de múltiples sensores

Los resultados obtenidos evidenciaron la viabilidad funcional de utilizar el sensor SEN-09199 para la detección de vibraciones dentro del alcance del proyecto. Sin embargo, la representación gráfica de los datos y la calidad de la señal adquirida dificultaban la interpretación detallada del comportamiento vibratorio, limitando el análisis en tiempo real y la comparación entre eventos.

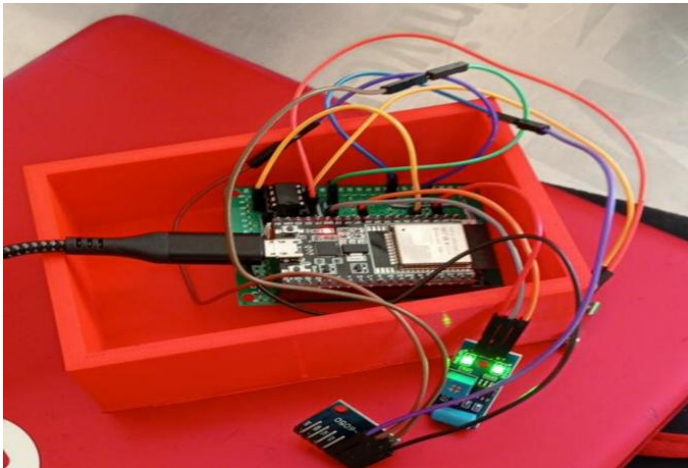
Adicionalmente, durante esta etapa se identificó la necesidad de optimizar el acondicionamiento de señal, la visualización de datos y la estabilidad general del sistema. Estas observaciones sirvieron como base para el desarrollo de versiones posteriores orientadas a mejorar la adquisición, procesamiento y representación de la información obtenida.

En términos generales, este prototipo permitió verificar el funcionamiento básico del sistema y establecer una base experimental para la integración de nuevos sensores y funcionalidades en etapas posteriores del proyecto.

El segundo prototipo incorporó mejoras significativas mediante la integración de nuevos sensores, incluyendo el sensor piezoeléctrico SEN-09199, el sensor de vibración SW-420 y el acelerómetro con giroscopio MPU6050. Esta configuración permitió ampliar la cantidad de información adquirida por el sistema, combinando señales analógicas, señales digitales y datos de aceleración en múltiples ejes. Véase la Figura 116.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 116. Montaje del prototipo 2 en placa universal con integración de sensores.



Durante las pruebas experimentales se observó que la incorporación de múltiples sensores permitió obtener una caracterización más completa de los eventos vibratorios, facilitando la comparación entre diferentes tipos de señales y mejorando la capacidad de detección de cambios en el entorno. Véase la Figura 117.

Figura 117. Resultados obtenidos del prototipo 2 en la plataforma de visualización.



No obstante, durante la implementación se presentaron dificultades asociadas a la comunicación de los dispositivos que operan mediante el protocolo I2C. En particular, el acelerómetro MPU6050 presentó errores recurrentes que impidieron obtener datos consistentes durante algunos periodos de prueba, mientras que otros dispositivos mostraron inconvenientes durante el proceso de inicialización. Véase la Figura 118.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 118. Evidencia de problemas de conexión en el prototipo 2.

```

El Sketch usa 1097799 bytes (83%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo
Las variables Globales usan 48672 bytes (14%) de la memoria dinámica, dejando 279008 b

A fatal error occurred: Could not open COM7, the port is busy or doesn't exist.
(could not open port 'COM7': FileNotFoundError(2, 'El sistema no puede encontrar el a

Hint: Check if the port is correct and ESP connected
esptool v5.0.0
Serial port COM7:

Failed uploading: uploading error: exit status 2

```

Adicionalmente, se identificaron dificultades relacionadas con la carga del programa y el reconocimiento del puerto de comunicación, lo que afectó el proceso de validación experimental. Estas situaciones se atribuyen principalmente a conexiones inestables, posibles conflictos en el bus I2C y al incremento en la demanda energética ocasionada por la integración simultánea de múltiples dispositivos.

A pesar de las limitaciones encontradas, este prototipo permitió identificar aspectos críticos relacionados con la integración de sensores heterogéneos dentro de una misma arquitectura de monitoreo. Los resultados obtenidos proporcionaron información valiosa para optimizar el diseño del sistema y desarrollar una versión más estable y funcional en etapas posteriores del proyecto.

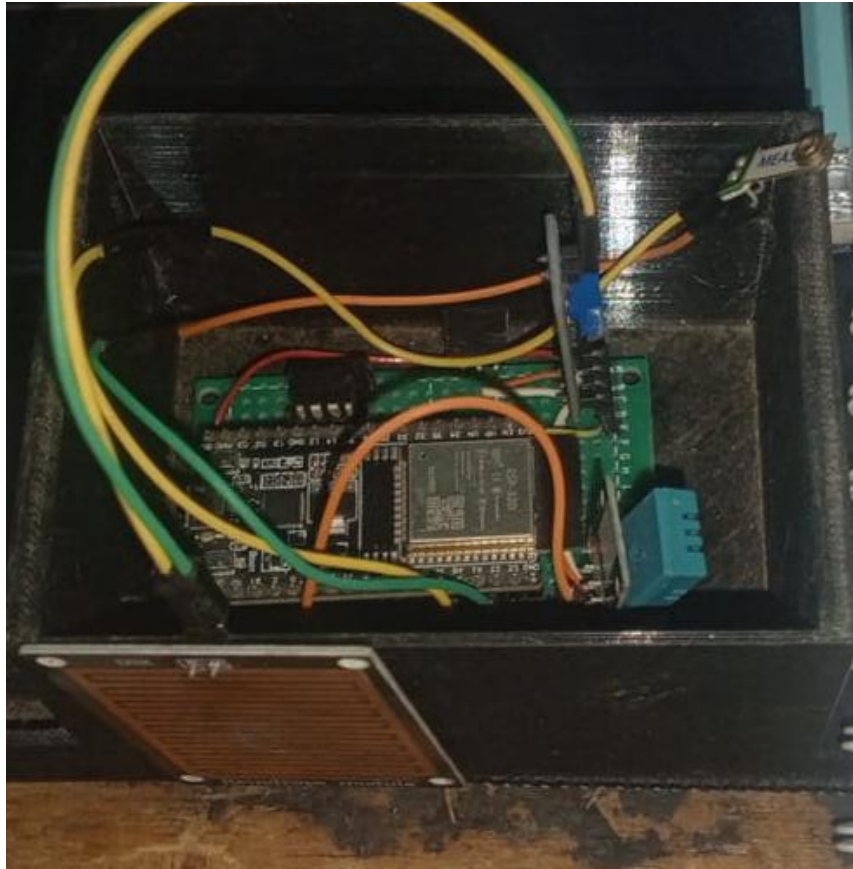
En términos generales, esta etapa permitió comprender las ventajas y desafíos asociados a la adquisición simultánea de múltiples variables, constituyéndose como un paso fundamental para la evolución del sistema hacia una solución más robusta.

4.1.3 Prototipo 3: Sistema optimizado y funcional

El tercer prototipo correspondió a la versión final desarrollada durante el proyecto, la cual se diseñó con el objetivo de mejorar la estabilidad operativa del sistema, reducir los inconvenientes identificados en las versiones anteriores y facilitar la adquisición, almacenamiento y visualización de los datos obtenidos. En esta etapa se integraron los sensores SEN-09199, SW-420, DHT11 y YL-83, permitiendo el monitoreo de vibraciones y variables ambientales mediante una única plataforma. Véase la Figura 119.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 119. Montaje final del sistema con integración de sensores.



A diferencia de los prototipos anteriores, esta versión presentó un comportamiento más estable durante las pruebas experimentales realizadas, reduciendo significativamente los problemas de comunicación y funcionamiento observados en etapas previas. Asimismo, se logró una integración adecuada entre los sensores, el microcontrolador ESP32 y las plataformas InfluxDB y Grafana para la gestión de los datos. Véanse las Figuras 120 y 121.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 120. Visualización de datos en InfluxDB del sistema final.

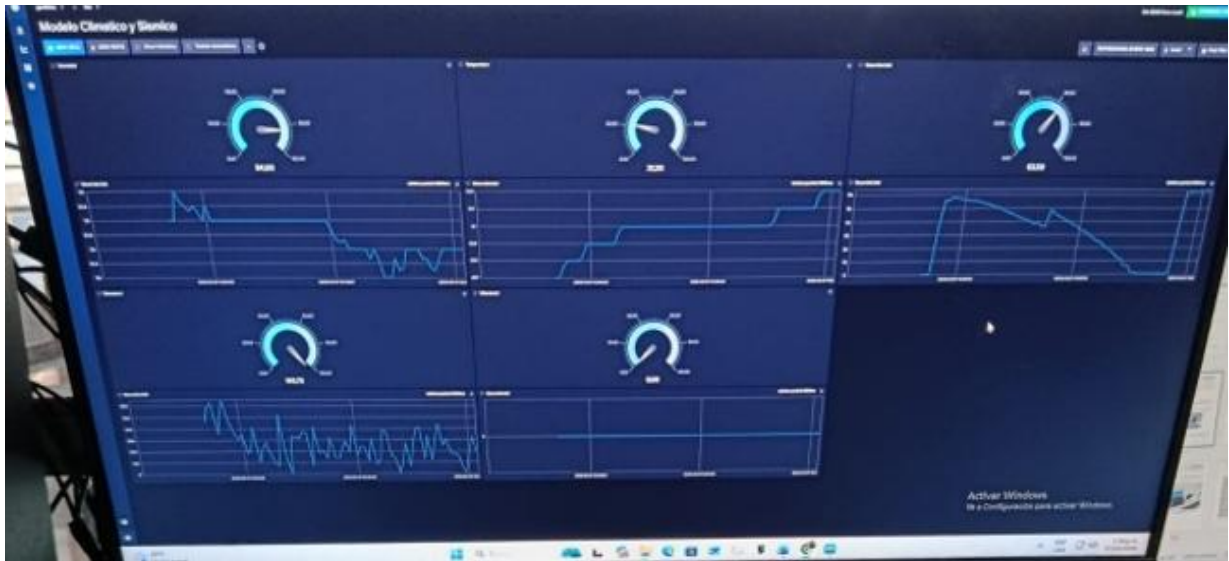


Figura 121. Dashboard en Grafana para la visualización en tiempo real de las variables del sistema.



Durante las pruebas realizadas se verificó la correcta adquisición, transmisión y almacenamiento de los datos generados por los diferentes sensores implementados. De igual manera, la visualización en tiempo real permitió realizar el seguimiento de las variables monitoreadas y evaluar el comportamiento general del sistema bajo distintas condiciones de operación.

Los resultados obtenidos evidenciaron una mejora significativa respecto a los prototipos anteriores, especialmente en términos de integración de componentes, estabilidad de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

funcionamiento y capacidad de monitoreo. Además, el uso de sensores de bajo costo permitió desarrollar una solución accesible para aplicaciones académicas y experimentales relacionadas con el monitoreo ambiental y de vibraciones.

En términos generales, esta versión permitió cumplir los requerimientos funcionales planteados para el proyecto, constituyéndose como la alternativa seleccionada para las pruebas de validación y evaluación presentadas en las secciones posteriores.

4.1.4 Pruebas de campo

Con el propósito de evaluar el comportamiento del sistema en diferentes condiciones de operación, se realizaron pruebas experimentales en tres entornos distintos: laboratorio, salón de clases y parqueadero. Estas pruebas permitieron analizar la respuesta de los sensores, la estabilidad del sistema de adquisición de datos y el desempeño de la comunicación entre el ESP32 y las plataformas de almacenamiento y visualización.

4.1.4.1 Prueba en el laboratorio

En el entorno de laboratorio se observó el registro de la mayoría de las variables provenientes de los sensores implementados. Aunque se obtuvieron resultados satisfactorios, se evidenció que la versión final del sistema presenta una mayor estabilidad en comparación con las versiones anteriores. Véanse las figuras 122, 123 y 124.

Figura 122. Pruebas realizadas en el laboratorio.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 123. Pruebas realizadas en el laboratorio.

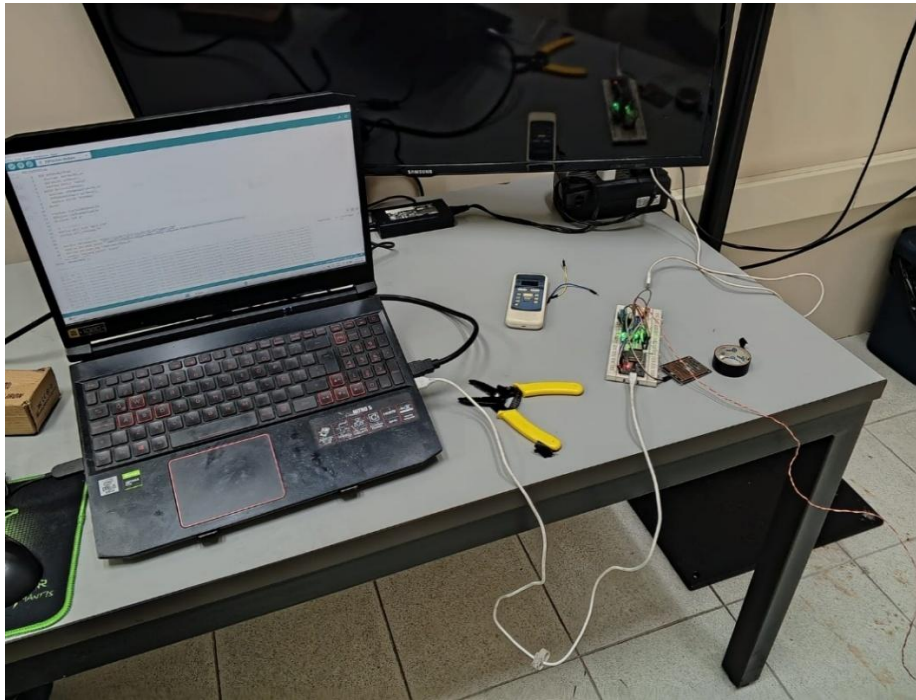


Figura 124. Pruebas realizadas en el laboratorio.

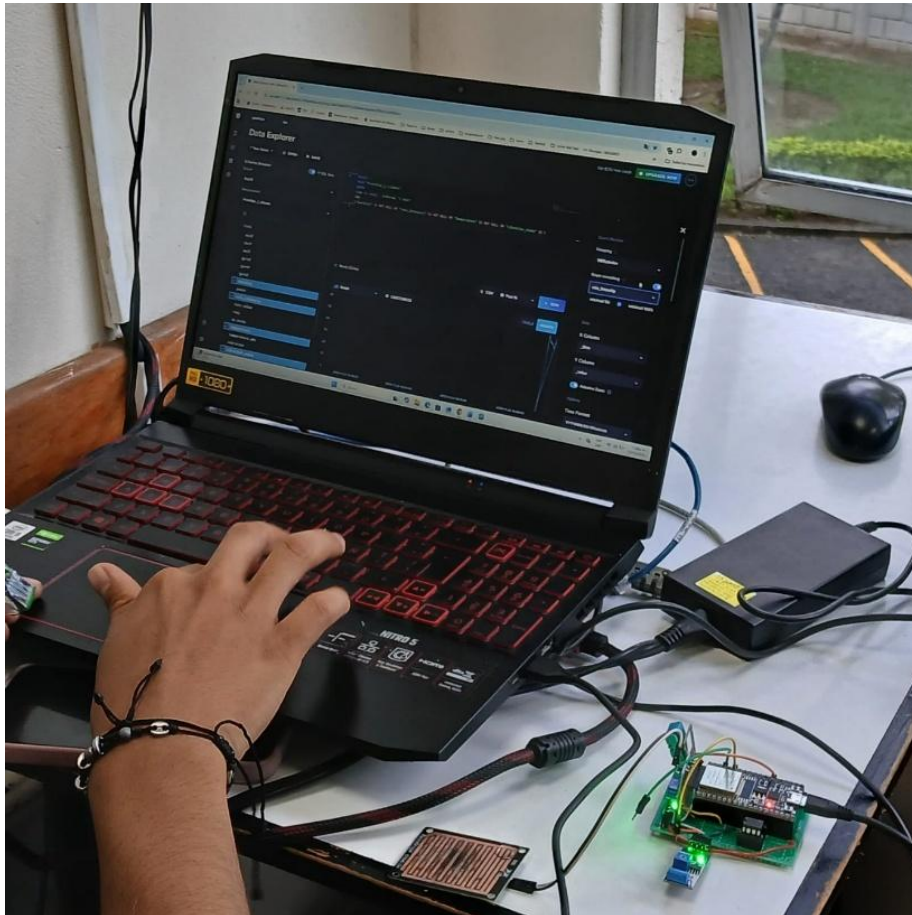


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.4.2 Pruebas en salón de clase

La prueba realizada en el salón de clases fue la más satisfactoria, ya que, aunque la visualización de los datos se limitó a la plataforma InfluxDB, el sistema mostró un comportamiento estable y un registro de datos consistente y confiable. Véase la figura 125.

Figura 125. Pruebas realizadas en salón de clases.



4.1.4.3 Pruebas en el parqueadero

La prueba desarrollada en el parqueadero tuvo como objetivo evaluar el funcionamiento del sistema en un entorno exterior con presencia de tránsito vehicular y condiciones diferentes a las encontradas en espacios cerrados.

Durante esta prueba se identificaron limitaciones asociadas a la conectividad, debido a que no fue posible mantener una conexión estable a internet durante todo el periodo de evaluación. Como consecuencia, se presentaron dificultades en la transmisión y visualización de los datos hacia las plataformas InfluxDB y Grafana.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A pesar de esta limitación, la experiencia permitió identificar oportunidades de mejora relacionadas con la implementación de mecanismos alternativos de comunicación y respaldo de datos para aplicaciones en exteriores. Entre las posibles soluciones se encuentran el uso de módulos de comunicación celular, almacenamiento local de respaldo o sistemas de ampliación de cobertura de red. Véase la Figura 126.

Figura 126. Pruebas realizadas en parqueadero.



4.1.5 Validación de variables ambientales

Con el fin de evaluar el comportamiento de las mediciones obtenidas por el sistema desarrollado, se realizó una validación experimental de las variables de temperatura y humedad relativa utilizando como referencia un termohigrómetro digital y un multímetro industrial Truper con función de medición de temperatura.

Las mediciones se llevaron a cabo entre las 10:50 a. m. y las 5:15 p. m., con una frecuencia aproximada de una medición por hora, bajo diferentes condiciones ambientales, incluyendo periodos con y sin aire acondicionado. Esta metodología permitió comparar las lecturas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

obtenidas por el sensor DHT11 con instrumentos de referencia empleados habitualmente para mediciones ambientales básicas.

4.1.5.1 Registro de mediciones

A continuación, se presentan las mediciones obtenidas durante la prueba:

Tabla 1. Registro de las variables con instrumentos de medición.

Hora	Humedad Instrumento (%)	Humedad DHT11 (%)	Temp Termohigrómetro (°C)	Temp Multímetro (°C)	Temp DHT11 (°C)
10:50	56	60	20.8	—	22.6
11:53	51	58	20.3	—	22.5
12:55	51	60	21.7	22.2	23.0
1:50	48	59	23.4	23.5	24.3
2:50	54	58	20.3	22.0	22.3
3:50	50	59	21.2	22.3	23.0
4:48	48	58.67	23.5	23.7	24.6
5:15	48	57	24.0	24.2	25.0

La Tabla 1 presenta la comparación entre las mediciones obtenidas por el sensor DHT11 y los instrumentos de referencia utilizados durante la validación experimental. Se observa que el DHT11 registró valores superiores tanto en temperatura como en humedad relativa durante la mayoría de las mediciones realizadas.

En el caso de la temperatura, las diferencias observadas oscilaron aproximadamente entre 0,9 °C y 2,3 °C respecto a los instrumentos de referencia. Para la humedad relativa, las diferencias registradas se encontraron entre 4 % y 12 %, manteniéndose una tendencia similar frente a las variaciones ambientales observadas durante la jornada.

Cabe resaltar que entre las 10:50 a. m. y las 11:53 a. m. no fue posible registrar mediciones con el multímetro debido a que el equipo se encontraba descargado. No obstante, la información obtenida mediante el termohigrómetro permitió continuar con el proceso de comparación y análisis experimental.

Tabla 2. Error absoluto promedio obtenido durante la validación experimental.

Variable	Error absoluto promedio
Temperatura	1,65 °C
Humedad relativa	8,33%

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.5.2 Evidencia experimental

A continuación, se presentan las evidencias fotográficas del proceso de medición realizado en cada intervalo de tiempo, las cuales permiten visualizar las condiciones en las que se llevaron a cabo las pruebas, así como los valores registrados por los instrumentos y el sistema desarrollado. Estas evidencias respaldan los datos obtenidos durante la validación experimental. Véanse las Figuras 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135 y 136.

Figura 127. Medición realizada a las 10:50 a.m

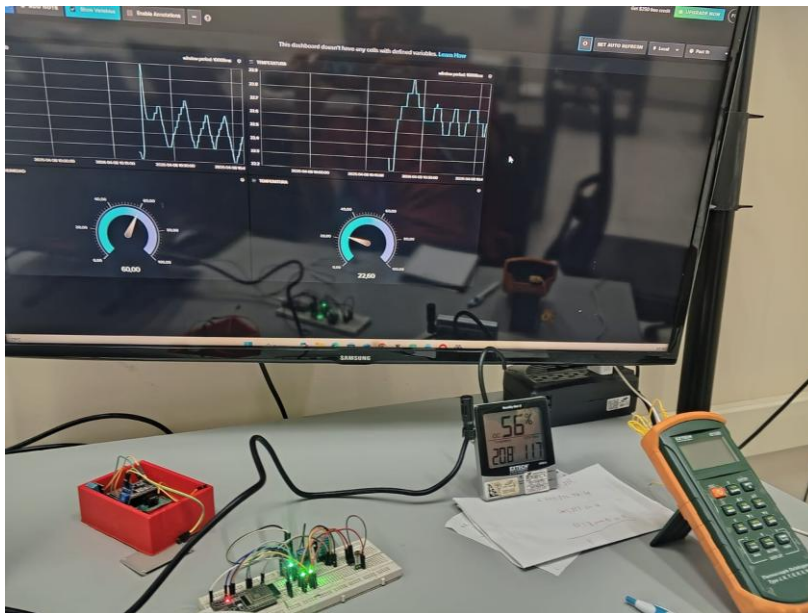
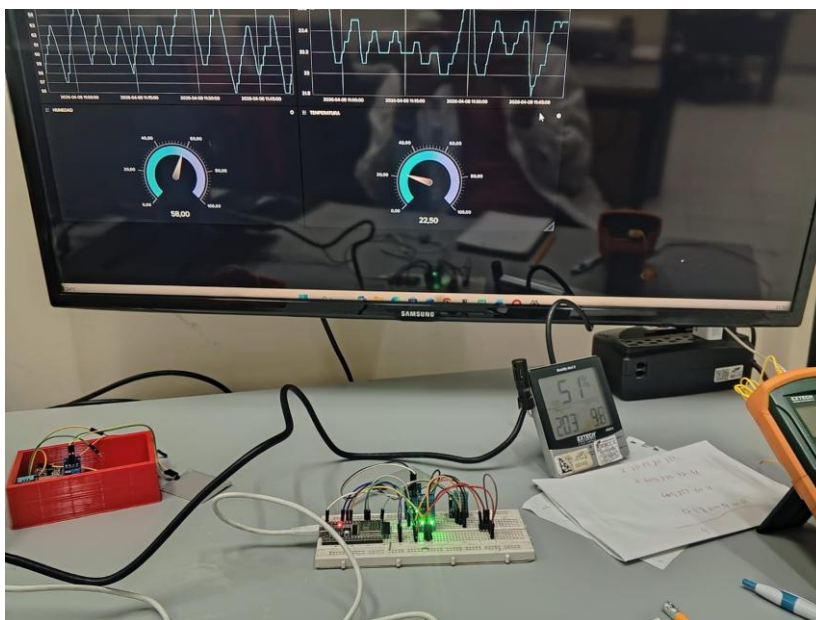


Figura 128. Medición realizada a las 11:53 a.m.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 129. Medición realizada a las 12:55 p.m.

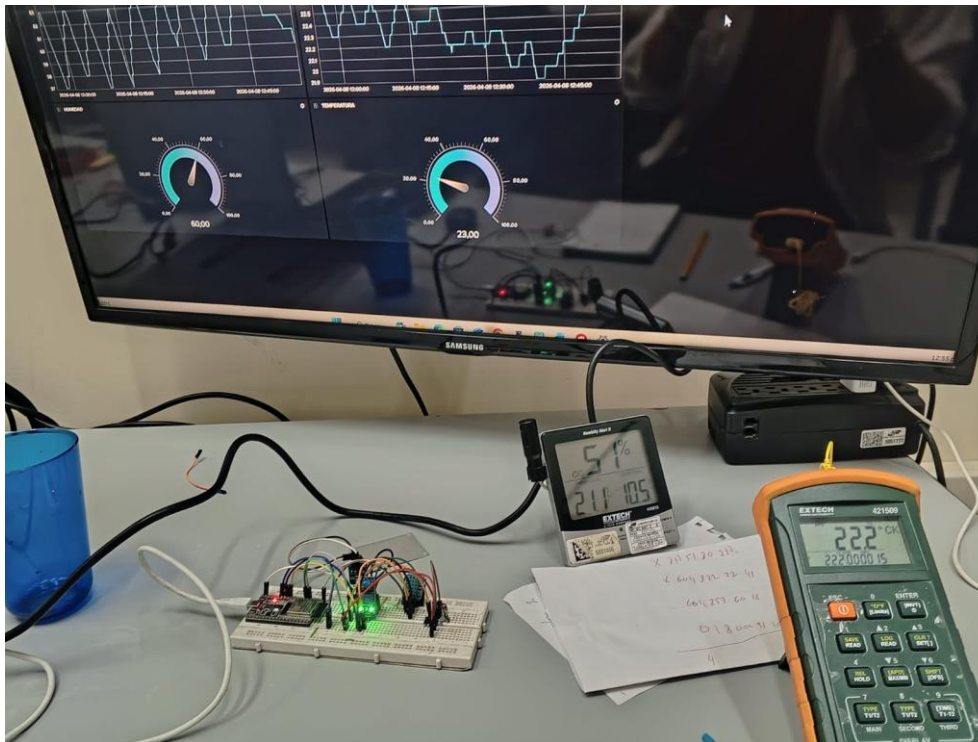
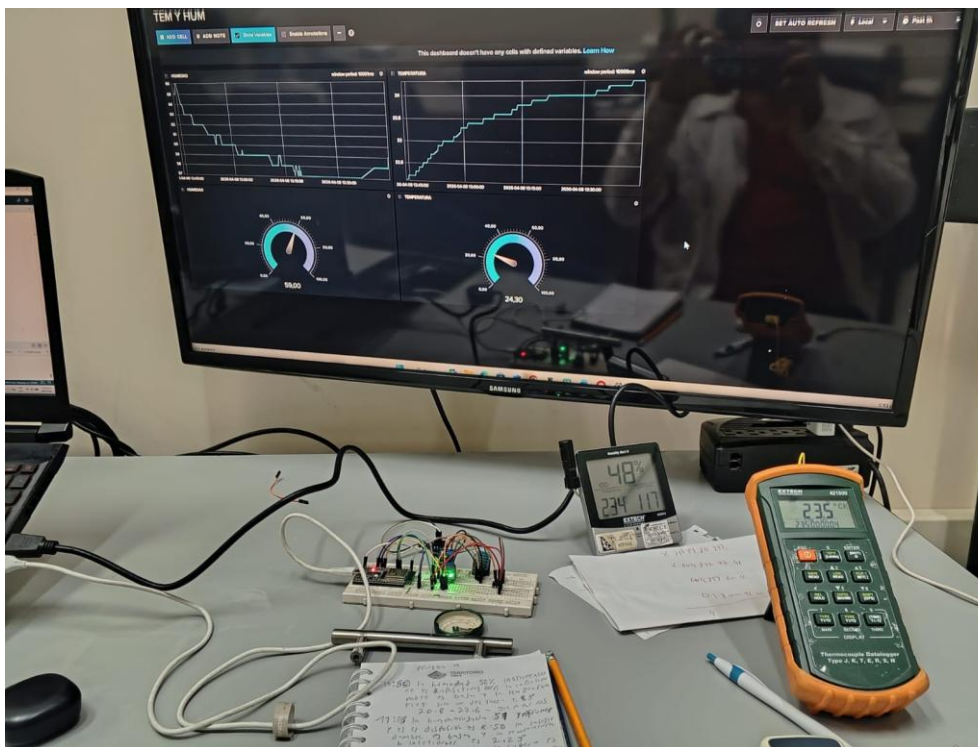


Figura 130. Medición realizada a la 1:50 p.m.

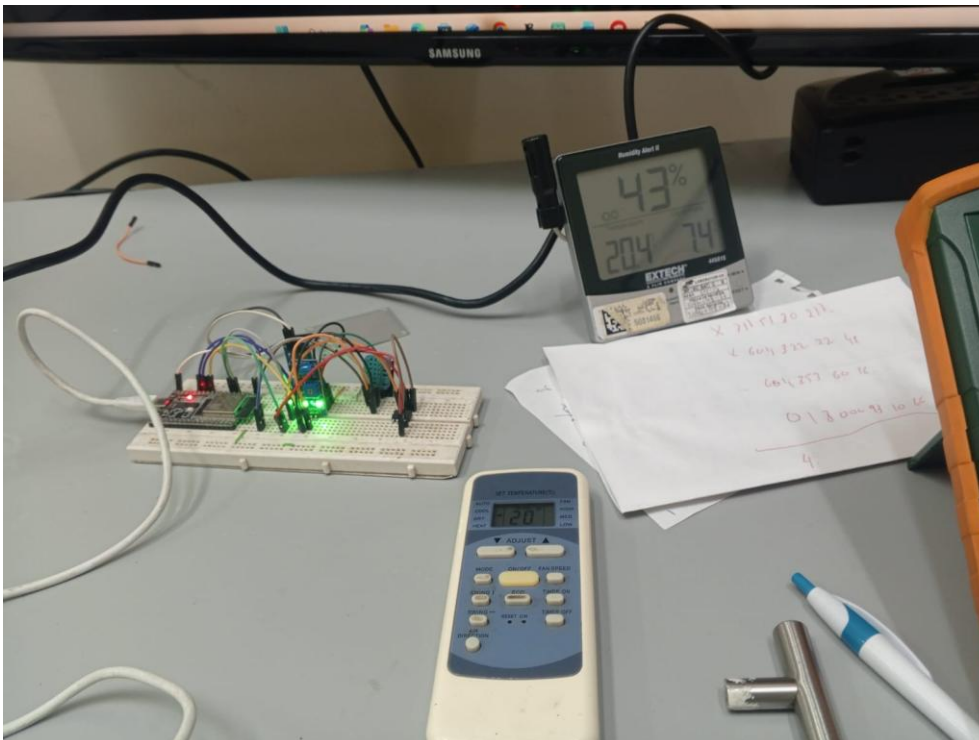


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 131. Ambiente controlado (Aire acondicionado).



Figura 132. Comparación de temperatura entre termohigrómetro y aire acondicionado.

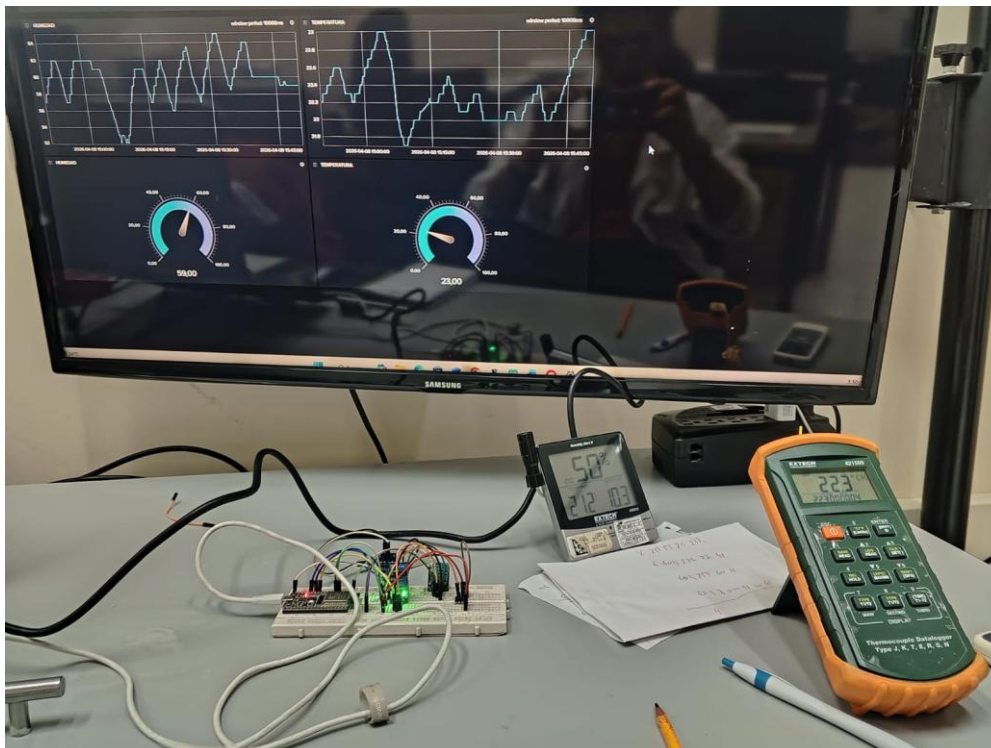


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 133. Medición realizada a las 2:50 p.m.



Figura 134. Medición realizada a las 3:50 p.m.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 135. Medición realizada a las 4:48 p.m.

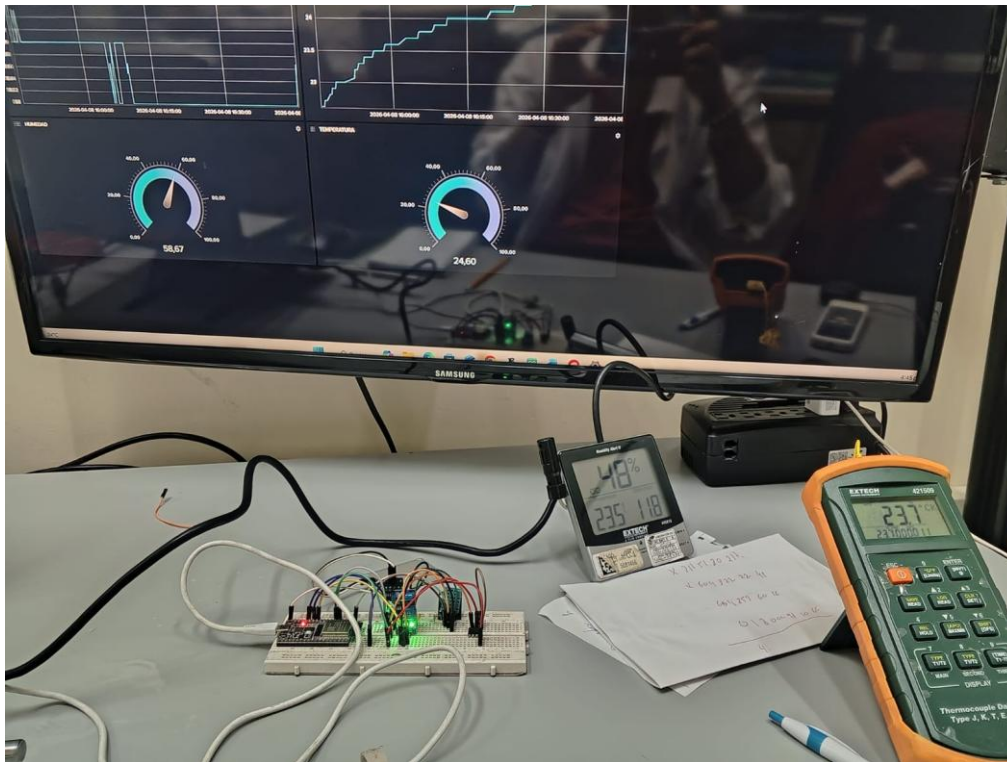
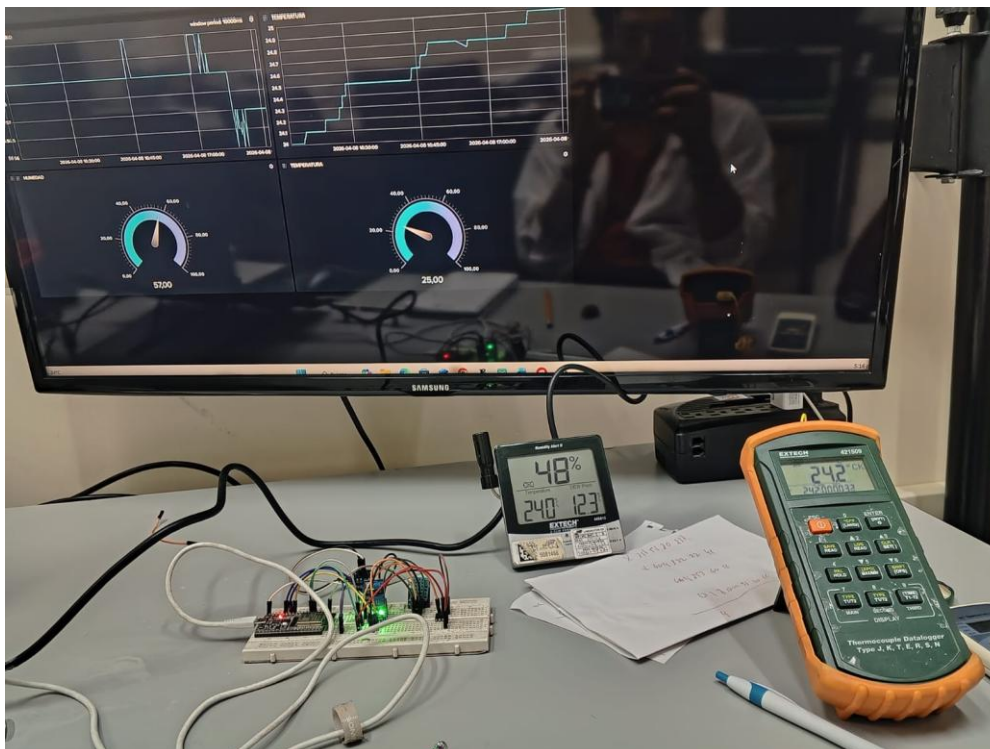


Figura 136. Medición realizada a las 5:15 p.m.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.5.3 Análisis de resultados

A partir de los datos obtenidos durante la validación experimental, se observó que el sensor DHT11 presentó una tendencia consistente en comparación con los instrumentos de referencia utilizados. Aunque se identificaron diferencias en los valores registrados, el comportamiento general de las mediciones mantuvo una tendencia similar a la observada en el termohigrómetro y el multímetro Truper durante toda la jornada de pruebas.

En la medición de temperatura, el sensor DHT11 registró valores ligeramente superiores a los obtenidos por los instrumentos de referencia. A partir de los datos recopilados, se obtuvo un error absoluto promedio aproximado de 1,65 °C, valor que se encuentra dentro del rango esperado para sensores de bajo costo utilizados en aplicaciones de monitoreo ambiental general.

Para la humedad relativa, se observó una diferencia promedio cercana al 8,33 % respecto a las mediciones del termohigrómetro. Adicionalmente, se identificó una tendencia del DHT11 a registrar valores ligeramente superiores a los del instrumento de referencia. Este comportamiento puede asociarse a las limitaciones propias del sensor, así como a condiciones ambientales y de instalación durante las pruebas.

Durante los ensayos también se evidenció que las variaciones registradas por el DHT11 respondieron de manera coherente a los cambios en las condiciones ambientales, especialmente en los periodos donde se modificó la temperatura del entorno mediante el uso de aire acondicionado. Esto permitió verificar el correcto funcionamiento del sistema de adquisición y transmisión de datos implementado.

Los resultados obtenidos indican que el sensor DHT11 constituye una alternativa funcional para aplicaciones académicas, educativas y sistemas IoT de monitoreo ambiental de bajo costo, donde no se requieran niveles elevados de precisión metrológica. Sin embargo, para aplicaciones que demanden mayor exactitud, se recomienda emplear sensores con mejores especificaciones técnicas o implementar procedimientos de calibración que permitan reducir las diferencias observadas durante la validación experimental.

4.1.5.4 Representación gráfica

Con el fin de analizar el comportamiento de las variables en el tiempo, se realizaron gráficas comparativas de:

- Temperatura vs tiempo
- Humedad relativa vs tiempo

Estas gráficas permiten visualizar la tendencia de los datos y los desfases entre el sistema y los instrumentos de medición. Véanse las Figuras 137 y 138.

Figura 137. Temperatura vs tiempo

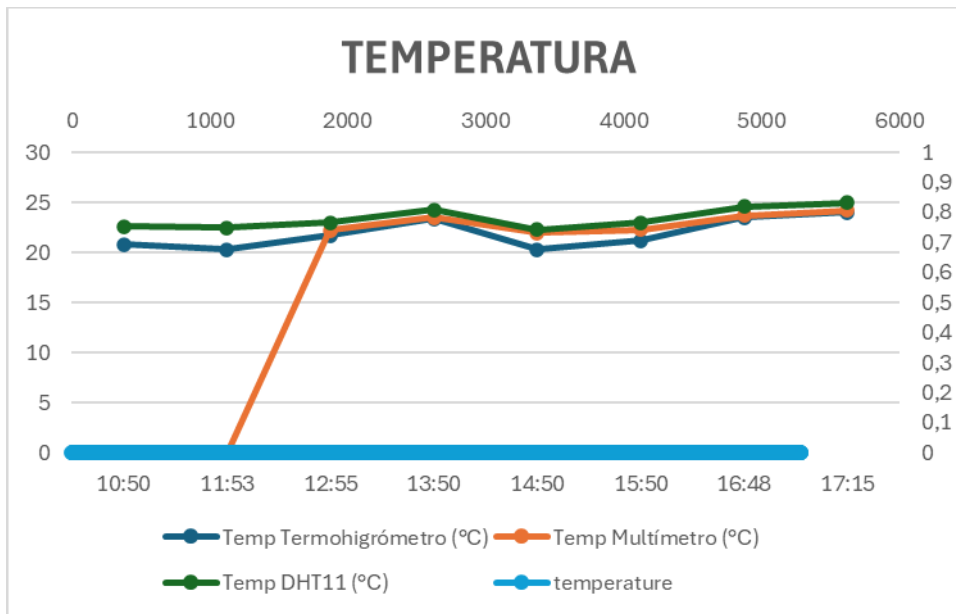
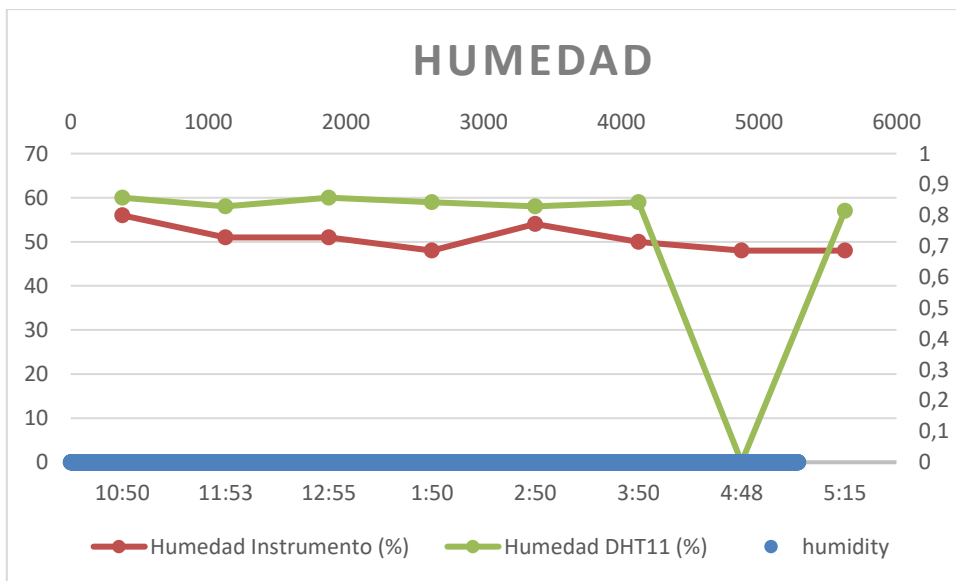


Figura 138. Humedad relativa vs tiempo



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.6 Validación de vibraciones por flujo vehicular

Con el fin de evaluar el comportamiento del sistema de monitoreo de vibraciones, se realizó una validación experimental utilizando los sensores SEN-09199 (acondicionado con el amplificador AD620) y el sensor digital SW-420, tomando como fuente de perturbación el flujo vehicular en diferentes momentos del día.

Las mediciones se llevaron a cabo en un intervalo comprendido entre las 10:50 a.m. y las 5:00 p.m., bajo distintas condiciones de tráfico, incluyendo paso de vehículos livianos, motocicletas, buses y tractomulas, lo cual permitió analizar la respuesta del sistema ante diferentes niveles de vibración.

4.1.6.1 Registro de mediciones

A continuación, se describen los eventos más relevantes registrados durante la prueba:

- **10:50 a.m:** Se presentó una vibración considerable debido a un alto flujo vehicular, alcanzando valores cercanos al máximo en el sistema.
- **11:20 a.m:** Se evidenció un incremento significativo por el paso de un vehículo a alta velocidad, detectado por ambos sensores.
- **11:48 a.m:** El sistema presentó bajo rendimiento debido a nivel bajo de batería.
- **2:00 p.m:** Se registró flujo vehicular moderado, generando una leve vibración que se estabilizó rápidamente.
- **2:46 p.m:** Paso de vehículos pesados (tractomulas, buses, motos), generando un incremento notable en las vibraciones. Se activó el sensor SW-420.
- **4:00 p.m– 5:00 p.m:** Disminución del flujo vehicular, con vibraciones mínimas y comportamiento estable del sistema. Durante este intervalo, el sistema se descargó completamente.

Se estimó una autonomía aproximada de 3 horas bajo operación continua.

4.1.6.2 Evidencia experimental

A continuación, se presentan las evidencias fotográficas del proceso de medición realizado durante los diferentes eventos registrados. Estas imágenes permiten visualizar las condiciones del entorno y la respuesta del sistema ante variaciones en el flujo vehicular.

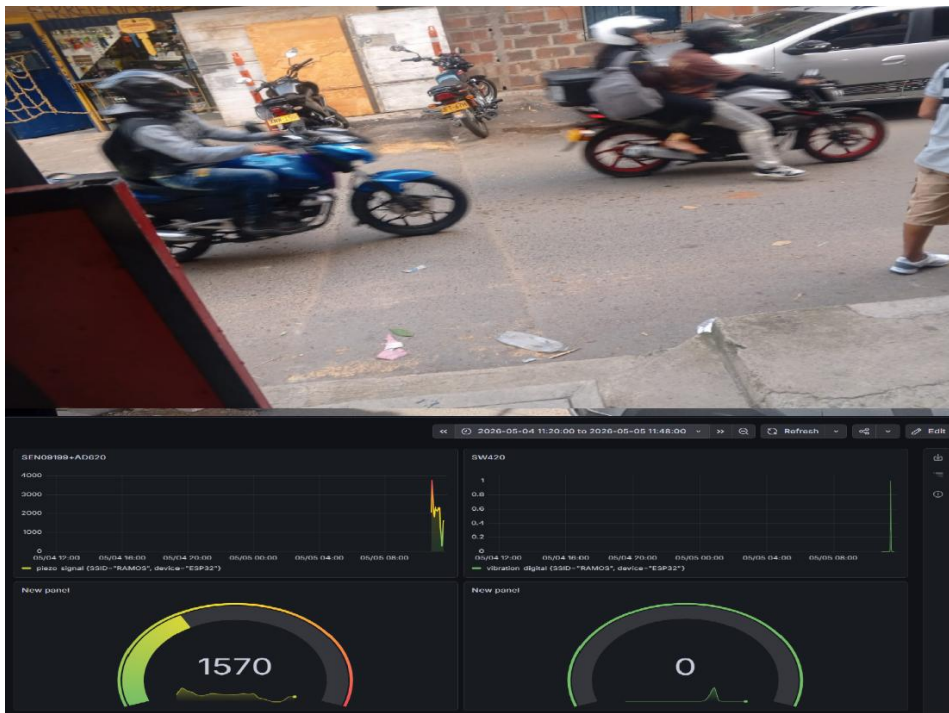
Estas evidencias respaldan los datos obtenidos durante la validación experimental. Véanse las Figuras 139 ,140 ,141 ,142 ,143 ,144 ,145 ,146 y 147.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 139. Medición realizada a las 10:50 a.m.



Figura 140. Incremento de vibración por vehículo a alta velocidad (11:20 a.m.).



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 141. Estado del sistema con batería baja (11:48 a.m.).



Figura 142. Condiciones de flujo vehicular moderado (2:00 p.m.).



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 143. Registro de vibraciones con paso de vehículos pesados (2:46 p.m.).

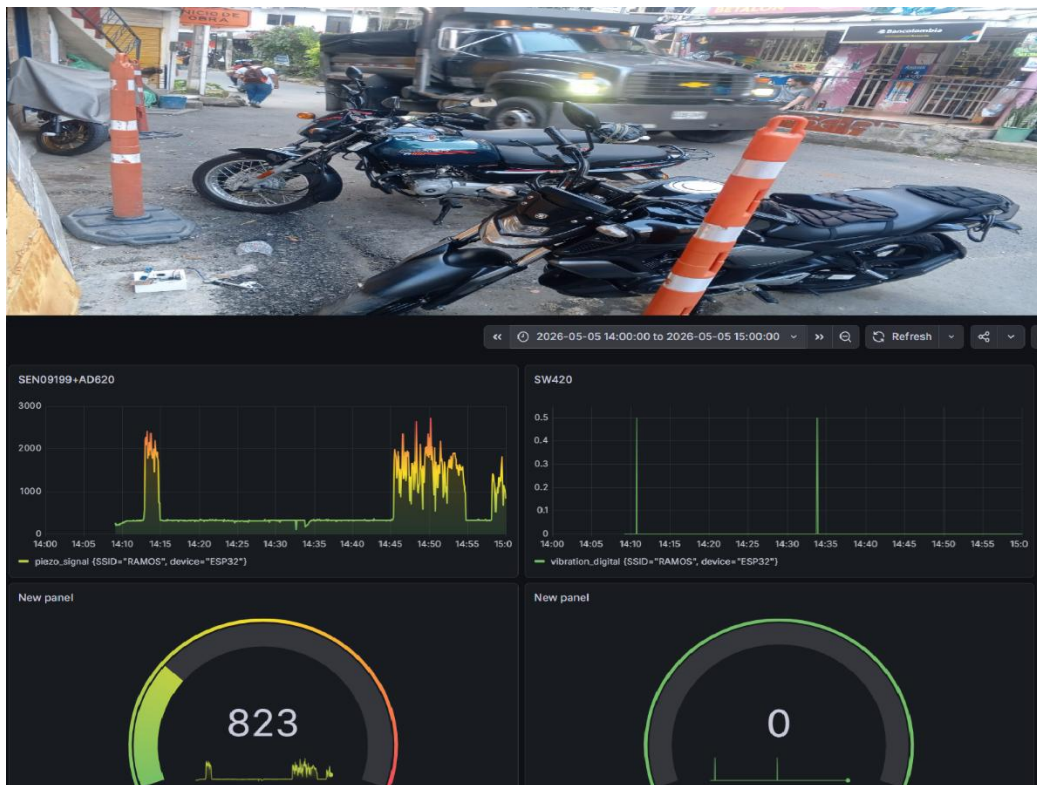


Figura 144. Activación del sensor SW-420.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 145. Tránsito de tractomulas y buses.



Figura 146. Disminución del flujo vehicular (4:00 p.m.).



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 147. Sistema descargado (fin de la prueba).



4.1.6.3 Análisis de resultados

Durante las pruebas experimentales, las lecturas adquiridas mediante el ADC del ESP32 permitieron diferenciar claramente los estados de reposo y los eventos de vibración. En condiciones de reposo, los valores registrados oscilaron aproximadamente entre 20 y 100 unidades ADC. Por su parte, el paso de vehículos y otros estímulos mecánicos produjo incrementos significativos en dichas lecturas, permitiendo identificar variaciones en la intensidad de las vibraciones presentes en el entorno.

Las mayores amplitudes registradas coincidieron con el paso de vehículos pesados y vehículos que transitaban a altas velocidades, lo que demuestra la respuesta del sistema frente a diferentes niveles de excitación mecánica. Asimismo, durante periodos de bajo flujo vehicular, las señales registradas mostraron una disminución de la actividad vibratoria.

Aunque el sistema mostró un funcionamiento estable durante gran parte de la prueba, se identificó la autonomía energética como una limitación importante. Durante los ensayos de campo se determinó una autonomía aproximada de 3 horas de operación continua utilizando la fuente de alimentación implementada en el prototipo. Una vez agotada la batería, la adquisición y transmisión de datos se interrumpieron, finalizando la prueba experimental.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.6.4 Representación gráfica

Con el fin de analizar el comportamiento de las vibraciones en el tiempo, se realizaron gráficas de:

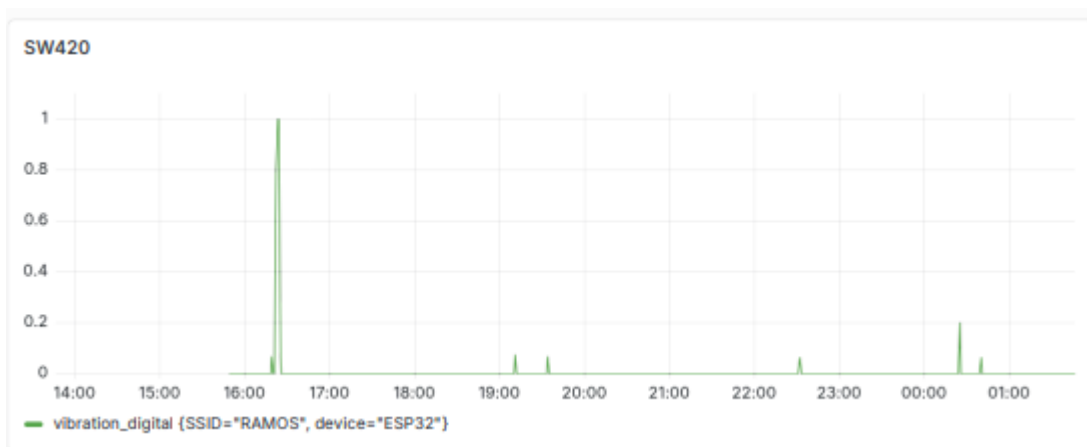
- Nivel de vibración vs tiempo
- Eventos de activación del sensor SW-420 vs tiempo

Estas gráficas permiten visualizar los picos de vibración asociados al paso de vehículos y la respuesta del sistema ante diferentes condiciones de tráfico. Véanse las Figuras 148 y 149.

Figura 148. Nivel de vibración vs tiempo



Figura 149. Activación del sensor SW-420 vs tiempo



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 3. Parámetros de desempeño observados durante la validación experimental del sistema

Parámetro	Resultado obtenido
Tasa de muestreo	1 muestra/s (1 Hz)
Lectura ADC en reposo	20 – 100 unidades ADC
Autonomía del sistema	≈ 3 horas
Latencia de visualización	Menor a 5 s
Pérdida de datos	No observada durante operación normal
Interrupción de pruebas	Agotamiento de batería

Los parámetros obtenidos permiten establecer una línea base de desempeño para futuras mejoras relacionadas con autonomía energética, aumento de la frecuencia de muestreo e incorporación de mecanismos de respaldo que permitan extender los tiempos de operación en campo.

4.1.7 Validación de presencia de lluvia mediante sensor YL-83 y modelo de referencia SIATA

Con el fin de evaluar el comportamiento del sistema de monitoreo y adquisición de datos ambientales, se realizó una validación experimental utilizando el sensor de lluvia YL-83 durante un evento de precipitación registrado entre las 11:00 p. m. y las 11:32 p. m. Este intervalo fue seleccionado debido a que, en la zona de estudio, las precipitaciones suelen presentarse principalmente en horas nocturnas, asociadas a condiciones de convección atmosférica generadas por las altas temperaturas diurnas.

Durante este periodo se realizó la adquisición y almacenamiento de datos, lo que permitió analizar el comportamiento del sensor YL-83 y la respuesta del sistema desarrollado bajo condiciones reales de precipitación.

Debido a que el sistema no cuenta actualmente con protección impermeable, fue necesario implementar una conexión cableada de mayor longitud, permitiendo ubicar el sensor en exteriores bajo la lluvia mientras la unidad principal permanecía protegida de las condiciones ambientales.

4.1.7.1 Registro de mediciones

A continuación, se describen los eventos más relevantes registrados durante la prueba:

- 11:00 p. m.: Inicio de la adquisición de datos durante el evento de lluvia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

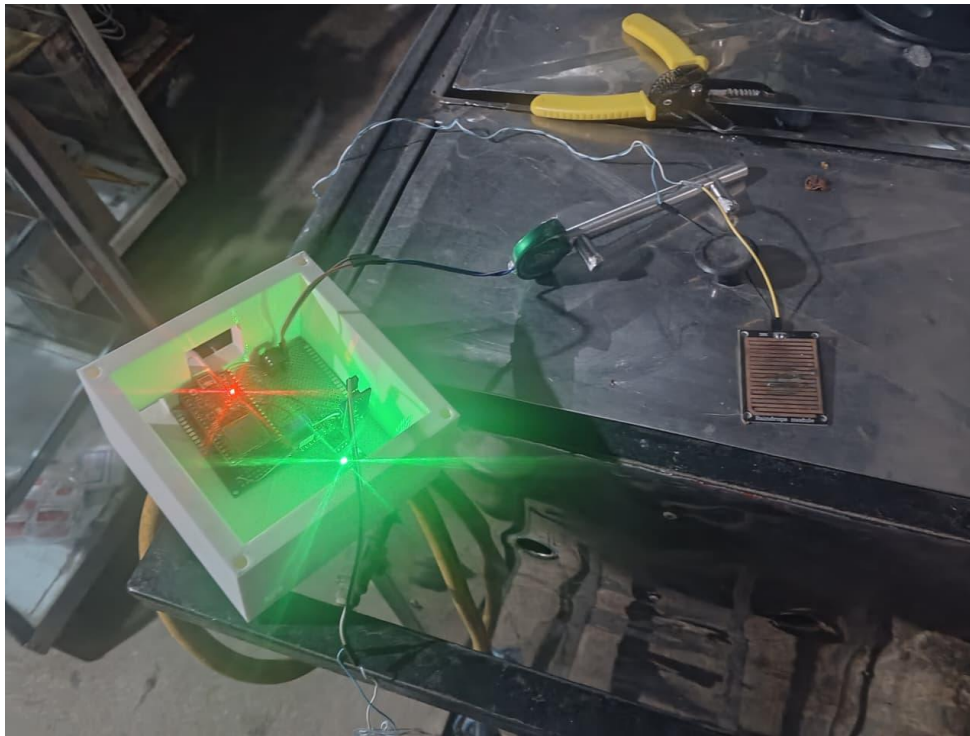
- 11:08 p. m.: Se registró un incremento en la intensidad de la precipitación, generando una mayor respuesta en el sensor YL-83.
- 11:15 p. m.: El sensor fue ubicado en una primera posición para evaluar la estabilidad de las mediciones.
- 11:24 p. m.: El sensor fue reubicado en una segunda posición con el fin de comparar la respuesta bajo diferentes condiciones de instalación.
- 11:32 p. m.: Finalización de la prueba experimental y almacenamiento de los datos obtenidos para su posterior análisis.

4.1.7.2 Evidencia experimental

A continuación, se presentan las evidencias fotográficas del proceso experimental realizado durante el evento de lluvia. Estas imágenes permiten visualizar el prototipo implementado, las diferentes ubicaciones del sensor YL-83 y la comparación de los datos obtenidos durante la prueba.

Estas evidencias respaldan los datos registrados durante la validación experimental. Véanse las Figuras 150,151,152 y 153.

Figura 150. Prototipo desarrollado para el monitoreo y adquisición de datos ambientales.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 151. Sensor YL-83 instalado en una primera posición durante el evento de lluvia para evaluar el comportamiento de las mediciones en condiciones reales.

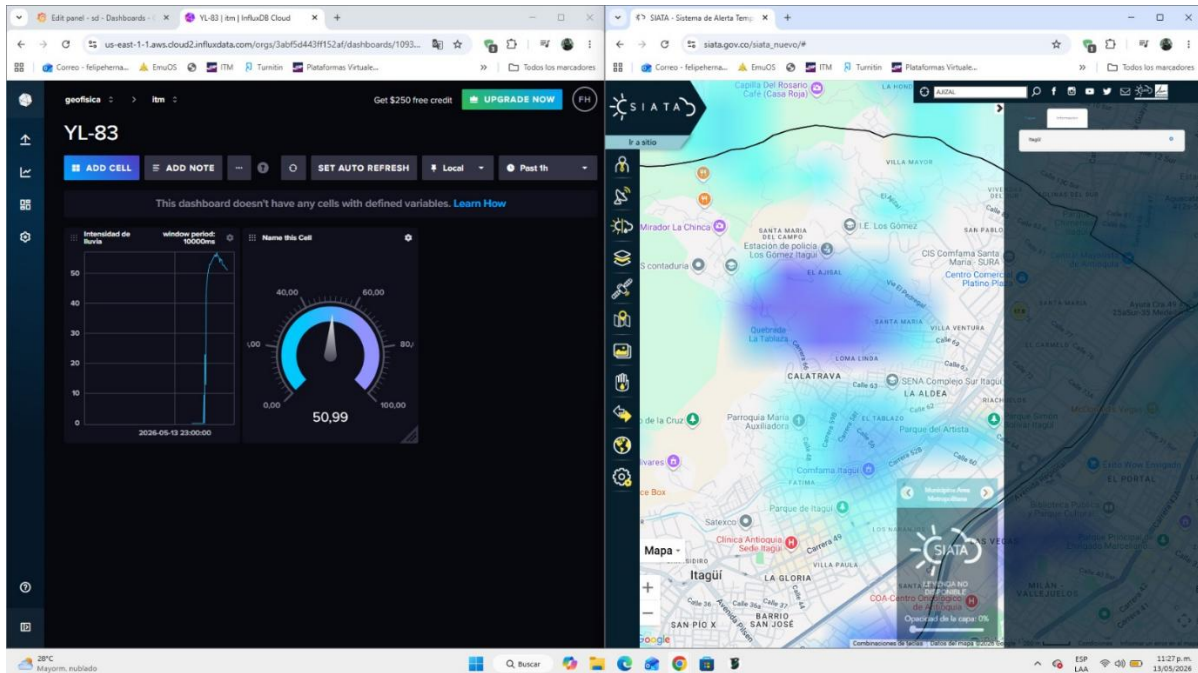


Figura 152. Sensor YL-83 ubicado en una segunda posición con el fin de comparar la estabilidad y respuesta de los datos obtenidos bajo diferentes condiciones de instalación.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 153. Comparación entre los datos del sistema y los registros de SIATA utilizando InfluxDB para validar el modelo desarrollado.



4.1.7.3 Análisis de resultados

A partir de los datos obtenidos durante el evento de lluvia, se observó que el sensor YL-83 fue capaz de detectar variaciones en la intensidad de la precipitación y registrar información en tiempo real bajo condiciones ambientales reales.

Asimismo, las pruebas permitieron evaluar la respuesta del sistema en diferentes posiciones de instalación del sensor, observándose variaciones leves asociadas a la orientación y al nivel de exposición directa a la lluvia.

La comparación realizada con los registros reportados por SIATA permitió establecer una referencia cualitativa del comportamiento del sistema, evidenciándose una respuesta coherente frente al evento de precipitación registrado.

Adicionalmente, el uso de InfluxDB facilitó el almacenamiento y visualización de los datos obtenidos durante la prueba, permitiendo un análisis más detallado del comportamiento del sistema.

Como limitación principal, se identificó la ausencia de protección impermeable en el sistema, lo cual obligó a implementar una instalación externa mediante cableado extendido para proteger la electrónica principal durante las pruebas en campo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.7.4 Representación gráfica

Con el fin de analizar el comportamiento de las mediciones registradas durante el evento de lluvia, se realizaron gráficas de:

- Nivel de señal del sensor YL-83 vs tiempo.
- Comparación entre los datos del sistema desarrollado y los registros de SIATA.

Estas gráficas permiten visualizar el comportamiento temporal de la señal durante la precipitación y comparar la respuesta del sistema implementado con una referencia externa de carácter institucional.

Figura 154. Nivel de señal del sensor YL-83 vs tiempo.

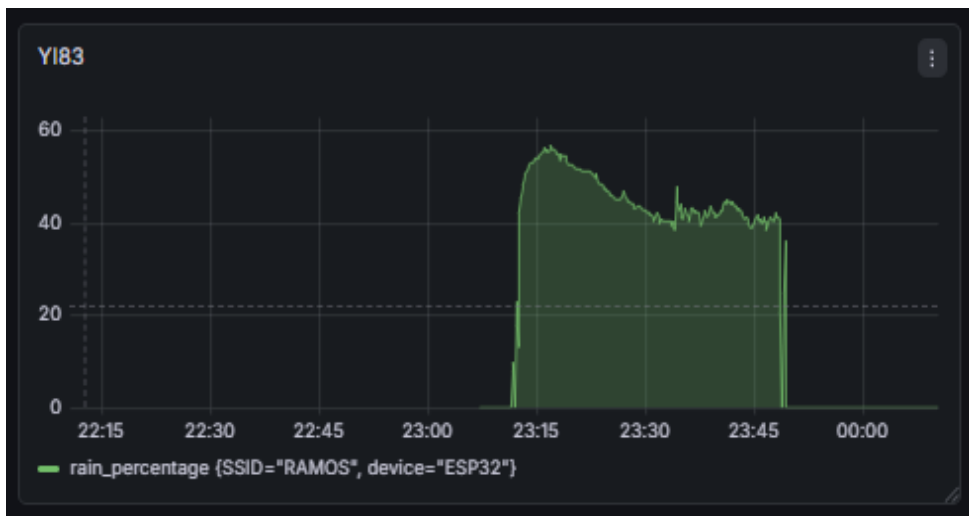
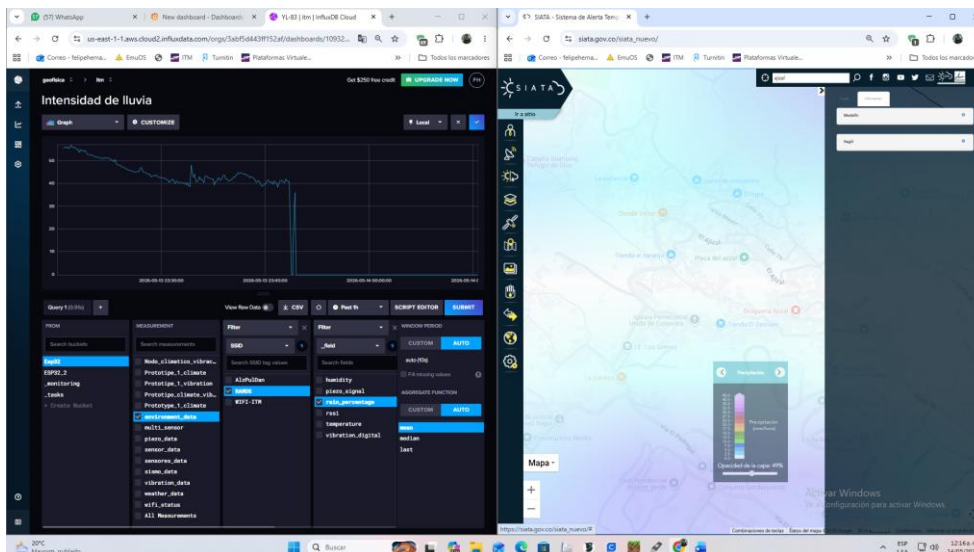


Figura 155. Comparación entre los datos del sistema desarrollado y los registros reportados por SIATA



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 Discusión de resultados

- Los resultados obtenidos durante el desarrollo del sistema evidencian una evolución progresiva en términos de funcionalidad, integración y validación preliminar de la adquisición de datos. Cada iteración del prototipo permitió identificar limitaciones específicas y aplicar mejoras orientadas al comportamiento general del sistema.
- El primer prototipo, basado únicamente en el sensor piezoeléctrico SEN-09199, permitió validar la detección de vibraciones como principio de funcionamiento. Sin embargo, presentó limitaciones asociadas a la estabilidad de la señal y a la interpretación de los datos, lo que restringió su aplicación para análisis más detallados del fenómeno vibratorio.
- Por su parte, el segundo prototipo incorporó múltiples sensores, lo que permitió ampliar la capacidad de adquisición de información mediante la integración de diferentes tipos de señales. No obstante, esta mejora incrementó la complejidad del sistema, generando dificultades en la comunicación entre dispositivos, inestabilidad en la conexión del bus I2C y un mayor consumo energético, lo que afectó su estabilidad operativa.
- En contraste, el tercer prototipo presentó un comportamiento más estable y funcional, al integrar de manera adecuada los sensores seleccionados y optimizar la arquitectura de adquisición y transmisión de datos. Esto permitió una mejor gestión de la información y su visualización mediante plataformas como InfluxDB y Grafana, facilitando el análisis del comportamiento general del sistema.
- En cuanto a las pruebas de campo, se evidenció un desempeño más estable del sistema en entornos controlados como el laboratorio y el salón de clases. Sin embargo, en el entorno del parqueadero se presentaron limitaciones asociadas a la conectividad a internet, lo que afectó la transmisión continua de datos y evidenció la dependencia del sistema a la disponibilidad de red.
- Desde el punto de vista técnico, el sistema desarrollado demuestra ser una solución funcional para el monitoreo de vibraciones y variables ambientales en contextos académicos y experimentales. No obstante, la ausencia de instrumentos de calibración profesional limita la validación cuantitativa de los resultados, por lo que los análisis realizados deben considerarse de carácter preliminar.
- Al comparar los tres prototipos, se observa que la versión final presenta el mejor equilibrio entre funcionalidad, estabilidad y costo, consolidándose como la alternativa más adecuada dentro del alcance del proyecto.
- Finalmente, se identificó que factores como la ubicación de los sensores, las condiciones ambientales y la estabilidad de la alimentación eléctrica influyen directamente en la calidad de las mediciones, lo que debe considerarse en futuras mejoras del sistema.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.3 Análisis de costos y comparación con soluciones comerciales

En esta sección se presenta un análisis comparativo entre el sistema desarrollado y soluciones comerciales equivalentes, específicamente nodos meteorológicos y sistemas de monitoreo de vibraciones. El objetivo es evaluar el proyecto en términos de costo, funcionalidad y viabilidad, considerando su aplicación en contextos académicos y de monitoreo básico.

4.3.1 Costos del sistema propuesto

Con el fin de analizar la viabilidad económica del sistema desarrollado, en la Tabla 4 se presentan los componentes utilizados y sus respectivos costos.

Tabla 4. Costos de implementación del sistema propuesto

Componente	Cantidad	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)	Imagen	Proveedor
ESP32	1	28.000	28.000	Ver Anexo A	MercadoLibre
SEN-09199	1	37.000	37.000	Ver Anexo A	Didácticas Electrónicas
AD620	1	17.000	17.000	Ver Anexo A	MercadoLibre
SW-420	1	7.500	7.500	Ver Anexo A	MercadoLibre
DHT11	1	8.200	8.200	Ver Anexo A	MercadoLibre
YL-83	1	6.000	6.000	Ver Anexo A	MercadoLibre
PCB universal	2	5.800	11.600	Ver Anexo A	MercadoLibre
Cables y conexiones	1	0	0	—	Material reutilizado
TOTAL			115.300		

Como se observa en la Tabla 4, el costo total del sistema es de 115.300 COP, sin incluir gastos de transporte y envío, lo que representa una alternativa de bajo costo frente a soluciones comerciales. Además, se destaca el uso de componentes de fácil acceso y materiales reutilizados, lo que contribuye a la reducción de costos de implementación.

4.3.2 Comparación con nodo meteorológico

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para la comparación con sistemas comerciales, se tomó como referencia una estación meteorológica profesional con detección de lluvia, la cual presenta un costo aproximado de 516.000 COP. Este tipo de sistemas integra múltiples sensores para la medición de variables como temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, así como precipitación. Véase la Figura 156.

Figura 156. Estación meteorológica profesional comercial



Nota. Tomado de Estación meteorológica profesional con detección de lluvia. Recuperado de <https://www.mercadolibre.com.co/estacion-meteorologica-profesional-con-deteccion-de-lluvia/p/MCO2059213921>

En contraste, el sistema desarrollado incorpora sensores como el DHT11 y el YL-83, permitiendo la medición de temperatura, humedad y detección de presencia de precipitación. Aunque presenta limitaciones en cuanto a la cantidad de variables medidas y precisión, cumple con los requerimientos de monitoreo básico establecidos en el alcance del proyecto.

Tabla 5. Comparación entre sistema propuesto y nodo meteorológico comercial

Característica	Sistema propuesto (Nodo climático)	Nodo meteorológico comercial
Costo	42200 COP	516000COP

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Variables medidas	Temperatura, humedad, lluvia	Temperatura, humedad, presión, viento, lluvia
Sensores	DHT11, YL-83	Sensores múltiples integrados
Precisión	Baja-media	Alta
Visualización	Grafana / InfluxDB	Pantalla LCD integrada
Conectividad	WiFi	Inalámbrica (RF)
Almacenamiento de datos	Sí	Sí
Aplicación	Académica / Experimental	Profesional

Como se observa en la Tabla 5, el sistema comercial ofrece una mayor cantidad de variables y una integración más completa, lo que lo hace adecuado para aplicaciones profesionales. Sin embargo, el sistema propuesto destaca por su bajo costo, facilidad de implementación y capacidad de integración en una arquitectura IoT de bajo costo orientada a fines académicos.

4.3.3 Comparación con nodo sísmico

Para la comparación con sistemas comerciales de monitoreo de vibraciones, se tomó como referencia el geófono SM-24, el cual tiene un costo aproximado de 69.95 USD (alrededor de 280.000 COP). Este sensor está diseñado para aplicaciones de exploración y monitoreo geofísico, ofreciendo alta sensibilidad y mediciones calibradas de vibración. Véase la Figura 157.

Figura 157. Geófono comercial SM-24



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota. Tomado de Geophone - SM-24, with Insulating Disc. Recuperado de <https://www.sparkfun.com/products/11744>

En contraste, el sistema desarrollado utiliza sensores como el piezoeléctrico SEN-09199 y el SW-420, los cuales permiten la detección de eventos de vibración, aunque sin alcanzar niveles de calibración o precisión propios de equipos profesionales. Por esta razón, el sistema se orienta a un enfoque de monitoreo experimental y educativo.

Tabla 6. Comparación entre sistema propuesto y nodo sísmico comercial

Característica	Sistema propuesto	Nodo sísmico comercial (SM-24)
Costo	89500 COP	~280.000 COP
Sensor principal	SEN-09199, SW-420	Geófono SM-24
Precisión	Media	Alta
Calibración	No calibrado	Calibrado
Tipo de medición	Detección de vibración	Medición sísmica precisa
Sensibilidad	Media	Alta
Aplicación	Académica / experimental	Profesional / exploración sísmica
Visualización	Grafana / InfluxDB	Requiere sistema especializado

Como se observa en la Tabla 6, el sistema comercial presenta mayores niveles de sensibilidad, calibración y precisión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones profesionales en el área geofísica. Sin embargo, el sistema propuesto se destaca por su bajo costo, facilidad de implementación y capacidad de integración en plataformas IoT para fines académicos y experimentales.

4.4 Conclusión del capítulo

El desarrollo de los prototipos evidenció una evolución progresiva en funcionalidad, integración y estabilidad en la adquisición de datos. Cada iteración permitió identificar limitaciones específicas y aplicar mejoras orientadas al comportamiento general del sistema.

El primer prototipo permitió validar la detección de vibraciones como principio de funcionamiento, aunque presentó señales inestables y limitaciones en el procesamiento de datos. El segundo prototipo incorporó múltiples sensores, lo que mejoró la capacidad de adquisición de información, pero aumentó la complejidad del sistema y generó problemas de comunicación y estabilidad.

El tercer prototipo logró un mejor equilibrio entre funcionalidad y estabilidad operativa, permitiendo una adquisición de datos más consistente y su visualización mediante plataformas como InfluxDB y Grafana.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las pruebas de campo evidenciaron un mejor desempeño del sistema en entornos controlados, mientras que en escenarios externos se identificaron limitaciones asociadas a la conectividad. En general, la versión final presenta la mejor relación entre costo, funcionalidad y viabilidad, consolidándose como una alternativa adecuada para aplicaciones académicas y experimentales.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

- El desarrollo de este trabajo de grado permitió diseñar e implementar un sistema de monitoreo basado en tecnologías IoT para la adquisición y supervisión de variables ambientales y vibracionales, cumpliendo de manera general con los objetivos planteados en la investigación.
- En relación con el objetivo de diseño de la arquitectura del sistema, se estableció una solución modular basada en nodos sensores con ESP32, integrando dispositivos para la medición de variables ambientales y vibracionales, junto con herramientas de transmisión y visualización de datos. Esta arquitectura permitió estructurar un sistema funcional orientado al monitoreo distribuido.
- Respecto al objetivo de implementación, se logró la integración entre hardware y software, permitiendo la adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de datos. El uso de plataformas como InfluxDB y Grafana facilitó la supervisión en tiempo real y evidenció la aplicabilidad de herramientas IoT de bajo costo en entornos académicos y experimentales.
- En cuanto al objetivo de evaluación del sistema, las pruebas realizadas permitieron verificar el funcionamiento general de los sensores y la estabilidad de la comunicación entre los diferentes módulos. Asimismo, se obtuvieron respuestas coherentes ante variaciones ambientales y eventos vibracionales, dentro del alcance experimental del proyecto. Sin embargo, se identificaron limitaciones asociadas a la precisión de algunos sensores y a la ausencia de equipos de calibración profesional, por lo que los resultados deben interpretarse como una validación experimental preliminar.
- De manera global, el objetivo general del proyecto se considera alcanzado, ya que se desarrolló un prototipo funcional orientado al monitoreo remoto de variables

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

físicas mediante tecnologías IoT. El sistema demostró viabilidad técnica y potencial de escalabilidad para aplicaciones futuras en monitoreo ambiental y adquisición distribuida de datos.

- Finalmente, se concluye que las tecnologías IoT representan una alternativa accesible y flexible para el desarrollo de sistemas de monitoreo de bajo costo. No obstante, para futuras implementaciones se recomienda fortalecer los procesos de calibración, precisión de sensores y autonomía energética del sistema.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda mejorar el diseño físico del sistema mediante la implementación de una PCB y conexiones más robustas, con el fin de aumentar la estabilidad operativa y reducir fallos por desconexión.
- Para aplicaciones en exteriores, es necesario incorporar mecanismos de protección contra condiciones ambientales adversas, como humedad, lluvia y polvo, mediante encapsulados adecuados.
- Asimismo, se sugiere optimizar la conectividad del sistema en entornos con acceso limitado a redes WiFi, mediante soluciones híbridas o alternativas de comunicación que garanticen la continuidad en la transmisión de datos.

5.3 Trabajo futuro

- Como trabajo futuro, se propone la implementación de tecnologías de comunicación de mayor alcance, como redes móviles (4G/5G) o sistemas de radiofrecuencia, que permitan ampliar el rango de operación del sistema en entornos remotos.
- Adicionalmente, se plantea la integración de sensores de mayor precisión, como acelerómetros avanzados y sensores de calidad del aire, con el objetivo de ampliar las capacidades de monitoreo del sistema.
- Se recomienda también la incorporación de algoritmos de análisis de datos y detección de patrones mediante técnicas de inteligencia artificial, con el fin de mejorar la interpretación de los eventos registrados en tiempo real.
- Finalmente, se sugiere la implementación de sistemas de respaldo energético, como baterías de mayor capacidad o fuentes de energía solar, que permitan aumentar la autonomía del sistema en aplicaciones de monitoreo continuo.

6. REFERENCIAS

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6.1 Referencias

- (CTCN), Climate Technology Centre & Network. (2026). *Climate Change Monitoring*. Obtenido de Climate Technology Centre & Network: <https://www.ctc-n.org/technologies/climate-change-monitoring>
- Ahmed, M. R. (2021). Evaluation of Low-Cost Vibration Sensors for Structural Health Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 19830–19838.
- Colombiano, S. G. (17 de 03 de 2026). *Sismos en Colombia*. Obtenido de Servicio Geológico Colombiano: <https://www.sgc.gov.co/sismos>
- Cordulus. (2026). *Estación meteorológica*. Obtenido de cordulus.com: <https://www.cordulus.com/es/glossary/weather-station>
- DAGR. (2020). *Manual de estaciones de monitoreo y protocolos de registro ambiental*. Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín.
- Dualtrónica. (2026). *Sensor de lluvia YL-83*. Obtenido de Dualtrónica: <https://dualtronica.com/sensores/107-sensor-de-lluvia.html>
- Electrical.com. (s.f.). *www.electrical.com*. Obtenido de https://www.electrical.com/Products/Automation-Pcb-Piezotronics/686B01?srsId=AfmBOoq7zwugVLe2KOTU6UcjCWvf_3qgC00_FJDt6kkR6aeYIJHIDXqB
- Electronics, S. (1999). SEN-09199 Piezo Vibration Sensor – Small Vertical: Datasheet. *SparkFun Electronics*.
- ElProCus. (2026). *What are network nodes in computer network and their types*. Obtenido de ElProCus: <https://www.elprocus.com/what-are-network-nodes-in-computer-network-and-their-types/#:~:text=Definici%C3%B3n:%20En%20redes%2C%20los%20nodos,diversas%20funciones%20seg%C3%BAn%20la%20aplicaci%C3%B3n.&text=En%20una%20red%2C%20un%20nodo,comunicaciones%20dent>
- EspressifSystems. (2020). ESP32 Series Datasheet.
- Gupta, M. &. (2014). A Review of MQTT Protocol for IoT. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 1-4.
- Gupta, S. T. (2014). Vibration sensing techniques and their applications in engineering. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 45-52.
- IAPG. (2020). Adquisición de datos sísmicos 3D con nodos y modalidad “Dynamic Slip Sweep” en la Cuenca Neuquina. *Instituto Argentino del Petróleo y del Gas*, 79-81.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- IDEAM. (2018). Guía para la instalación y operación de estaciones meteorológicas automáticas. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.
- IMS Seismology. (s.f.). *Seismic Sensors | Geophones & Accelerometers*. Obtenido de IMS Seismology: <https://www.imseismology.org/sensors/>
- InfluxData. (2023). InfluxDB: The time series platform.
- INMTN. (2026). *Sensors*. Obtenido de INMTN: <https://www.inmtn.com/weather/sensors-components/sensors/>
- Instruments, A. (2017). *SP-110 Pyranometer: Solar Radiation Sensor Technical Specifications*. Obtenido de apogeeinstruments: <https://www.apogeeinstruments.com/sp-110-pyranometer/>
- Instruments, G. (2019). *Gill WindObserver Ultrasonic Anemometer Technical Specifications*. Obtenido de gill.co.uk: <https://www.gill.co.uk/products/windobserver-ultrasonic-anemometer>
- Latam, U. (2026). *¿Qué es un sensor sísmico?* Obtenido de UAV Latam: <https://uavlatam.com/ques-sensor-sismico/#:~:text=En%20la%20actualidad%20y%20gracias,de%20las%20medidas%20de%20salida>.
- Liu, H., & Wang, x. (2019). Vibration Detection and Monitoring Using Low-Cost Mechanical Sensors in Embedded Systems. *Journal of Sensor Technology*, 45-58.
- Measurement Specialties, I. (2 de 04 de 1999). *cdn.sparkfun.com*. Obtenido de Piezo_Film_Sensors_Technical_Manual.pdf: https://cdn.sparkfun.com/assets/d/a/a/b/b/Piezo_Film_Sensors_Technical_Manual.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2026). *Monitoreo y evaluación de la adaptación*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/monitoreo-y-evaluacion-de-la-adaptacion-me/>
- Mouser Electronics. (s.f.). *DHT11 Humidity & Temperature Sensor – Technical Data Sheet (Translated Version)*. Obtenido de Mouser Electronics: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf?srltid=AfmBOoqORdS1BQkQDLWDpmX0aVdhmrMqu-dAIXh9mf5cS1D0oEDCKJnb>
- Niuboltech. (2026). *Niuboltech*. Obtenido de Niuboltech: <https://www.niuboltech.com/Product-knowledge/What-Types-of-Environmental-Sensors-Are-There.html>
- Panama Hi-Tek. (2026). *Módulo YL-83: Un detector de lluvia*. Obtenido de Panama Hi-Tek: <https://panamahitek.com/modulo-yl-83-un-detector-de-lluvia>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

PRISMAB. (2026). *Sensores climáticos para la agricultura: 10 cosas que debes saber*. Obtenido de PRISMAB: <https://prismab.com/blog/sensores-climaticos-para-la-agricultura-10-cosas-que-debes-saber/>

Proyecto RACiMo – Halley UIS. (2026). *Estaciones meteorológicas*. Obtenido de class.redclara.net: https://class.redclara.net/halley/moncora/Monitoreo_Ambiental/Estaciones.html

Sheen, A. P. (2021). Multi-Sensor IoT Nodes for Environmental and Seismic Monitoring. *Sensors and Systems Engineering*, 233-250.

Sheen, D. H. (2021). Recent advances in earthquake monitoring: High-density seismic networks and sensor technologies. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1950-1965.

Shrout, J. &. (2021). Time-Series Data Visualization Tools for Environmental Monitoring Systems. *Environmental Data Review*, 77-89.

Shrout, T. R. (2007). Lead-free piezoelectric ceramics: Alternatives for PZT? *Journal of Electroceramics*, 113-126.

Shrout, T. Z. (2021). Piezoelectric sensors for structural health monitoring: Principles and applications. *Journal of Sensor Technology*, 45-58.

Technology, K. (2022). Datasheet SW-420. *Vibration Sensor Module Specifications*.

uelectronics.com. (2026). Obtenido de sw-420-modulo-sensor-de-vibracion: <https://uelectronics.com/producto/sw-420-modulo-sensor-de-vibracion/>

Vaisala. (2023). YL-83 Rain Detector. *Datasheet YL-83 Rain Detector*.

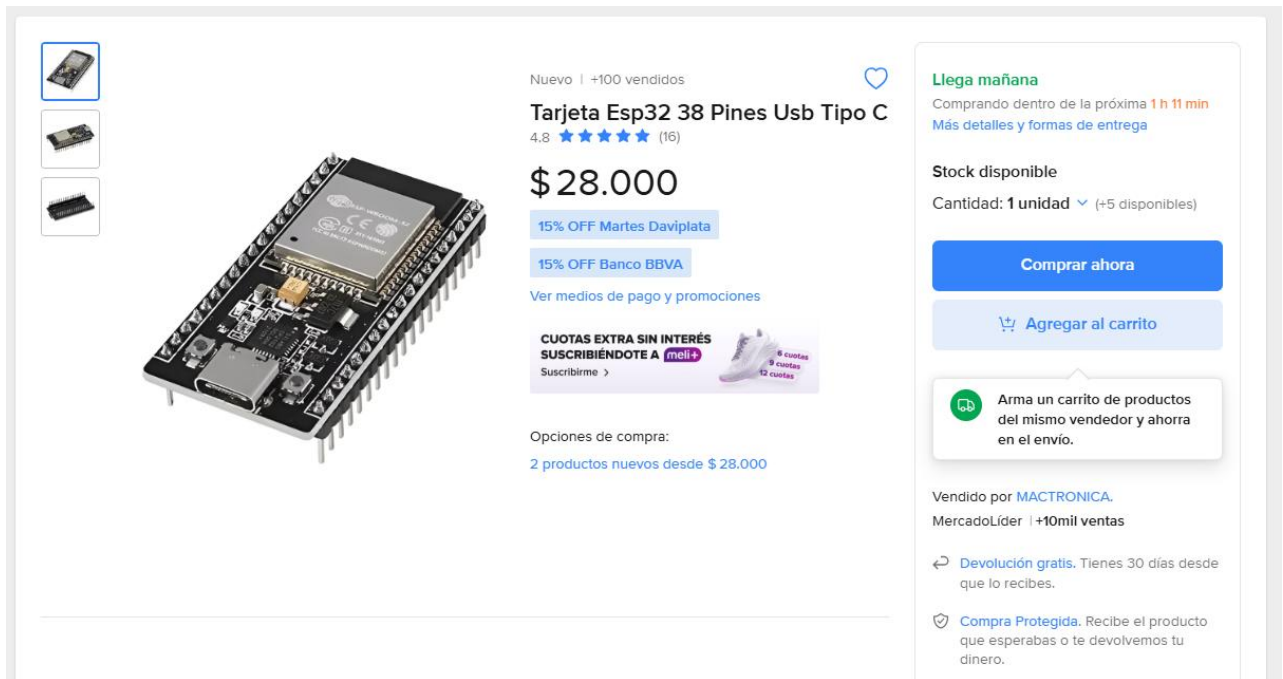
7. APÉNDICE

ANEXO A. Cotizaciones de componentes

En este anexo se presentan las imágenes correspondientes a las cotizaciones de los componentes utilizados en el desarrollo del sistema, obtenidas de diferentes proveedores comerciales.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura A.1. Cotización del ESP32.



Nota. Tomado de Tarjeta ESP32 38 pines USB tipo C. Recuperado de <https://www.mercadolibre.com.co/tarjeta-esp32-38-pines-usb-tipo-c/p/MCO2039734636>

Figura A.2. Cotización del sensor SEN-09199.



Sensor de vibración montaje en vertical con masa para mejorar sensibilidad al movimiento a bajas frecuencias. Útil para detectar las vibraciones. Se crea una pequeña corriente y voltaje grande (hasta +/- 90V) cuando la película se mueve. Una simple resistencia debe recibir el voltaje a y se lleva a niveles de ADC.

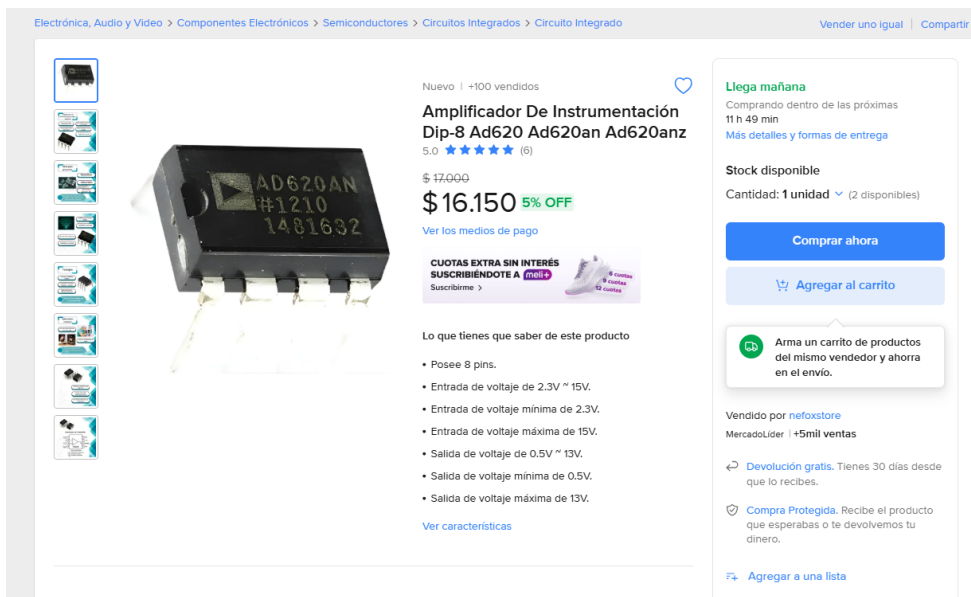
También se puede utilizar para la detección de impacto o un interruptor flexible.

Viene con pines de soldadura que permite el montaje vertical.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota. Tomado de Sensor de vibración piezoeléctrico SEN-09199. Recuperado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/sen-09199-sensor-de-vibracion-piezoelctrico-ldtc-h-3878>

Figura A.3. Cotización del amplificador AD620.



Electrónica, Audio y Video > Componentes Electrónicos > Semiconductores > Circuitos Integrados > Circuito Integrado

Nuevo | +100 vendidos

**Amplificador De Instrumentación
Dip-8 Ad620 Ad620an Ad620anz**
5.0 ★★★★★ (6)

\$17.000
\$16.150 5% OFF

Ver los medios de pago

**CUOTAS EXTRA SIN INTERÉS
SUSCRIBIÉNDOSE A**  **8 cuotas**
Suscríbete >

Lo que tienes que saber de este producto

- Posee 8 pins.
- Entrada de voltaje de 2.3V ~ 15V.
- Entrada de voltaje mínima de 2.3V.
- Entrada de voltaje máxima de 15V.
- Salida de voltaje de 0.5V ~ 13V.
- Salida de voltaje mínima de 0.5V.
- Salida de voltaje máxima de 13V.

Ver características

Llega mañana
Comprando dentro de las próximas 11 h 49 min
[Más detalles y formas de entrega](#)

Stock disponible
Cantidad: 1 unidad (2 disponibles)

Comprar ahora

 **Agregar al carrito**

 **Arma un carrito de productos del mismo vendedor y ahorra en el envío.**

Vendido por **nefoxstore**
MercadoLider | +5mil ventas

↔ **Devolución gratis.** Tienes 30 días desde que lo recibes.

🛡 **Compra Protegida.** Recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

➦ **Agregar a una lista**

Nota. Tomado de Amplificador de instrumentación AD620. Recuperado de <https://www.mercadolibre.com.co/amplificador-de-instrumentacion-dip8-ad620-ad620an-ad620anz/up/MCOU2413787569>

Figura A.4. Cotización del sensor SW-420.



Nuevo | +50 vendidos

**Sensor de vibración de inclinación
Sw-420 Arduino Raspberry Pi Pic**

\$7.410

15% OFF Martes Daviplata

15% OFF Banco BBVA

Ver medios de pago y promociones

**CUOTAS EXTRA SIN INTERÉS
SUSCRIBIÉNDOSE A**  **8 cuotas**
Suscríbete >

Lo que tienes que saber de este producto

- Tensión de funcionamiento: 3,3 a 5 V.

Ver características

Opciones de compra:
2 productos nuevos desde \$ 5.935

Llega el sábado
[Más detalles y formas de entrega](#)

Stock disponible
Cantidad: 1 unidad (+25 disponibles)

Comprar ahora

 **Agregar al carrito**

 **Arma un carrito de productos del mismo vendedor y ahorra en el envío.**

Vendido por **ELECTRONICAS A F G**
MercadoLider | +5mil ventas

↔ **Devolución gratis.** Tienes 30 días desde que lo recibes.

🛡 **Compra Protegida.** Recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

🕒 1 meses de garantía de fábrica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota. Tomado de Sensor de vibración SW-420. Recuperado de <https://www.mercadolibre.com.co/sensor-de-vibracion-de-inclinacion-sw-420-arduino-raspberry-pi-pic/p/MCO32985924>

Figura A.5. Cotización del sensor DHT11.



Nuevo | +25 vendidos

Modulosensor De Humedad Y Temperatura Dht11 Arduino Pic

4.8 ★★★★★ (5)

\$8.230

Ver los medios de pago

CUOTAS EXTRA SIN INTERÉS
SUSCRIBIÉNDOTE A **MOVI**
Suscríbete >

Llega entre el 9 y el 14/abr
[Más detalles y formas de entrega](#)

Stock disponible
Cantidad: 1 unidad ▾ (+10 disponibles)

Comprar ahora

[Agregar al carrito](#)

Arma un carrito de productos del mismo vendedor y ahorra en el envío.

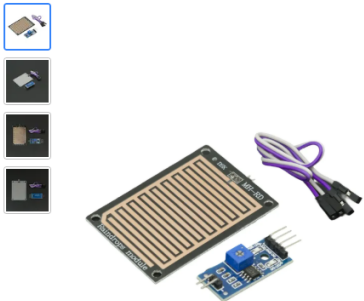
Vendido por **DEMOSS_PRO**
MercadoLíder | +1000 ventas

↻ **Devolución gratis.** Tienes 30 días desde que lo recibes.

🛡 **Compra Protegida.** Recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

Nota. Tomado de Sensor de temperatura y humedad DHT11. Recuperado de <https://www.mercadolibre.com.co/modulo-sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11-com-cabos/p/MCO2043894518>

Figura A.6. Cotización del sensor YL-83.



Nuevo | +5 vendidos

Sensor De Humedad Detector De Lluvia Para Arduino

5.0 ★★★★★ (1)

\$7.400

15% OFF Martes Daviplata
15% OFF Banco BBVA

Ver medios de pago y promociones

☒ **Cupón** ☐ Aplicar 15% OFF.
Compra mínima \$ 200.000.
[Ver cupones disponibles](#)

Llega el sábado
Comprando dentro de las próximas 10 h 23 min
[Más detalles y formas de entrega](#)

Stock disponible
Cantidad: 1 unidad ▾ (+25 disponibles)

Comprar ahora

[Agregar al carrito](#)

Arma un carrito de productos del mismo vendedor y ahorra en el envío.

Vendido por **VISTRONICA**
+1000 ventas

↻ **Devolución gratis.** Tienes 30 días desde que lo recibes.

🛡 **Compra Protegida.** Recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

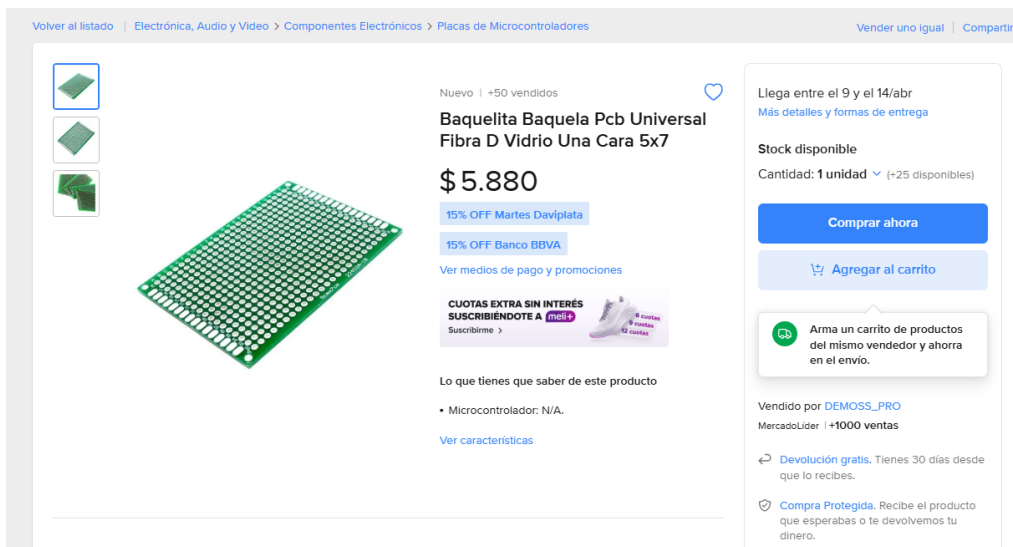
Productos relacionados

Ad

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nota. Tomado de Sensor de lluvia YL-83. Recuperado de
<https://www.mercadolibre.com.co/sensor-de-humedad-detector-de-lluvia-para-arduino/up/MCOU2427491445>

Figura A.7. Cotización de la PCB universal.



Nota. Tomado de PCB universal fibra de vidrio 5x7 cm. Recuperado de
<https://www.mercadolibre.com.co/baquelita-baquela-pcb-universal-fibra-d-vidrio-una-cara-5x7/up/MCOU2433940882>

ANEXO B. Código del sistema en ESP32

En este anexo se presenta el código desarrollado para la ESP32, el cual permite la adquisición de datos de los sensores de vibración y variables ambientales, así como su envío a la base de datos en la nube mediante InfluxDB.

B.1 Código fuente

```
#if defined(ESP32)
#include <WiFiMulti.h>
WiFiMulti wifiMulti;
#define DEVICE "ESP32"
#elif defined(ESP8266)
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

#include <ESP8266WiFiMulti.h>
ESP8266WiFiMulti wifiMulti;
#define DEVICE "ESP8266"
#endif

#include <InfluxDbClient.h>
#include <InfluxDbCloud.h>
#include "DHT.h"

// ===== CONFIGURACIÓN WIFI =====
#define WIFI_SSID "Nombre de la red wifi"
#define WIFI_PASSWORD "Contraseña de la red wifi"

// ===== CONFIGURACIÓN INFLUXDB =====
#define INFLUXDB_URL "https://us-east-1-1.aws.cloud2.influxdata.com"
#define INFLUXDB_TOKEN "TOKEN_AQUI"
#define INFLUXDB_ORG "3abf5d443ff152af"
#define INFLUXDB_BUCKET "Esp32"

// ===== CONFIGURACIÓN SENSORES =====
#define DHTPIN 14
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

#define RAIN_ANALOG 34
#define SW420_PIN 27
#define PIEZO_PIN 35

#define TZ_INFO "UTC-5"

// ===== CLIENTE INFLUXDB =====
InfluxDBClient client(INFLUXDB_URL, INFLUXDB_ORG, INFLUXDB_BUCKET, INFLUXDB_TOKEN,
InfluxDbCloud2CACert);

// ===== ESTRUCTURA DE DATOS =====
Point sensor("wifi_status");

// ===== SETUP =====
void setup() {
  Serial.begin(115200);

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

dht.begin();

pinMode(SW420_PIN, INPUT);

// Conexión WiFi
WiFi.mode(WIFI_STA);
wifiMulti.addAP(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

Serial.print("Conectando a WiFi");
while (wifiMulti.run() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(100);
}
Serial.println(" Conectado!");

// Sincronización de tiempo
timeSync(TZ_INFO, "pool.ntp.org", "time.nis.gov");

// Etiquetas
sensor.addTag("device", DEVICE);
sensor.addTag("SSID", WIFI_SSID);

// Verificación conexión InfluxDB
if (client.validateConnection()) {
    Serial.print("Conectado a InfluxDB: ");
    Serial.println(client.getServerUrl());
} else {
    Serial.print("Error InfluxDB: ");
    Serial.println(client.getLastErrorMessage());
}
}

// ===== LOOP =====
void loop() {

    // Lectura sensores ambientales
    float temp = dht.readTemperature();
    float hum = dht.readHumidity();

    // Sensor de lluvia (porcentaje)

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

int valor = analogRead(RAIN_ANALOG);
float rain = (4095.0 - valor) * 100.0 / 4095.0;

// Sensor de vibración digital
int vibration = digitalRead(SW420_PIN);

// Sensor piezoeléctrico (analógico)
int piezoValue = analogRead(PIEZO_PIN);

// Limpiar datos anteriores
sensor.clearFields();

// Agregar datos
sensor.addField("rssi", WiFi.RSSI());
sensor.addField("temperature", temp);
sensor.addField("humidity", hum);
sensor.addField("rain_percentage", rain);
sensor.addField("vibration_digital", vibration);
sensor.addField("piezo_signal", piezoValue);

// Mostrar en consola
Serial.print("Enviando: ");
Serial.println(sensor.toLineProtocol());

// Verificar conexión WiFi
if (wifiMulti.run() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println("WiFi desconectado");
}

// Envío a InfluxDB
if (!client.writePoint(sensor)) {
    Serial.print("Error enviando datos: ");
    Serial.println(client.getLastErrorMessage());
}

delay(2000);
}

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

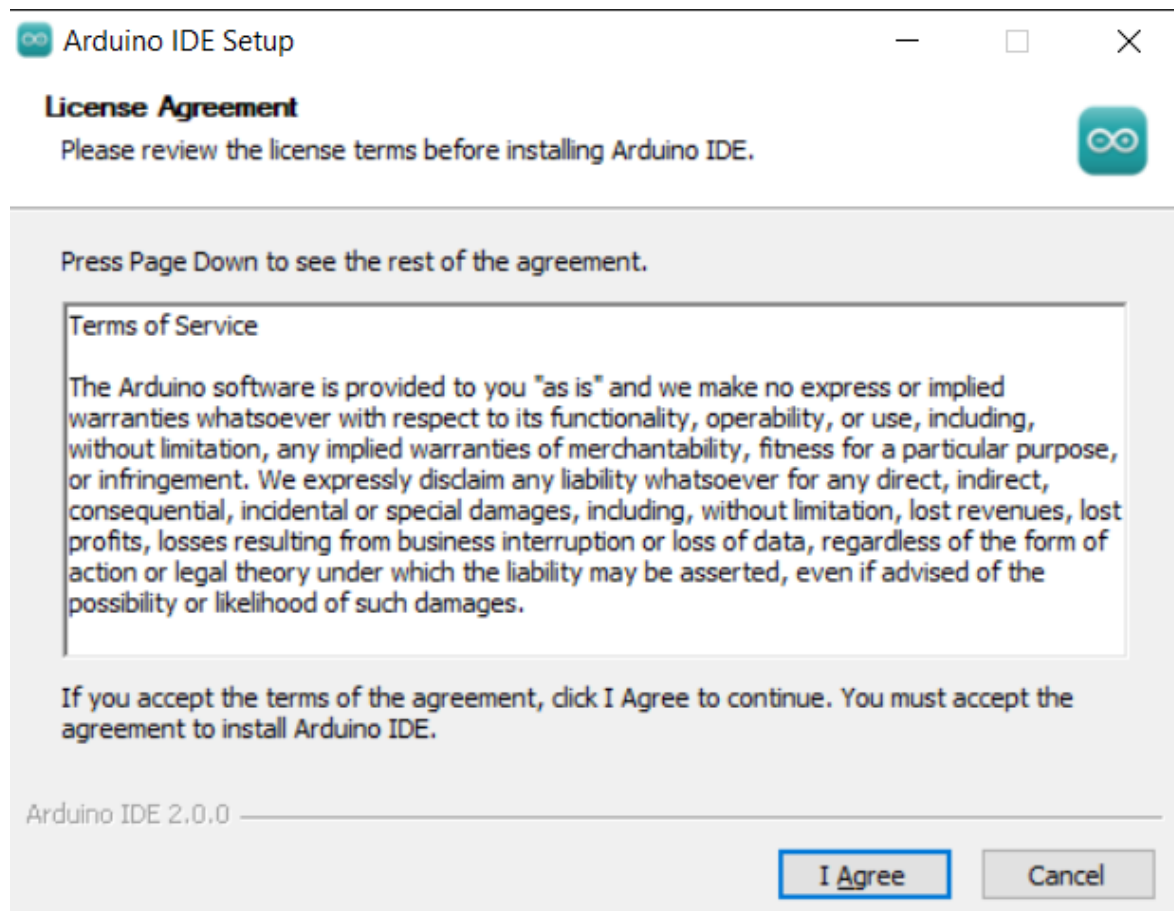
ANEXO C. Configuración del entorno de desarrollo en Arduino IDE

En este anexo se presenta la configuración del entorno de desarrollo utilizado para la programación de la ESP32, incluyendo la instalación del software, la configuración de la tarjeta y la inclusión de librerías necesarias para el funcionamiento del sistema.

C.1 Instalación del Arduino IDE

En primer lugar, se realizó la descarga e instalación del entorno de desarrollo Arduino IDE desde su página oficial. Este software permite la programación y carga de código en diferentes placas de desarrollo.

Figura C.1. Instalación del Arduino IDE.

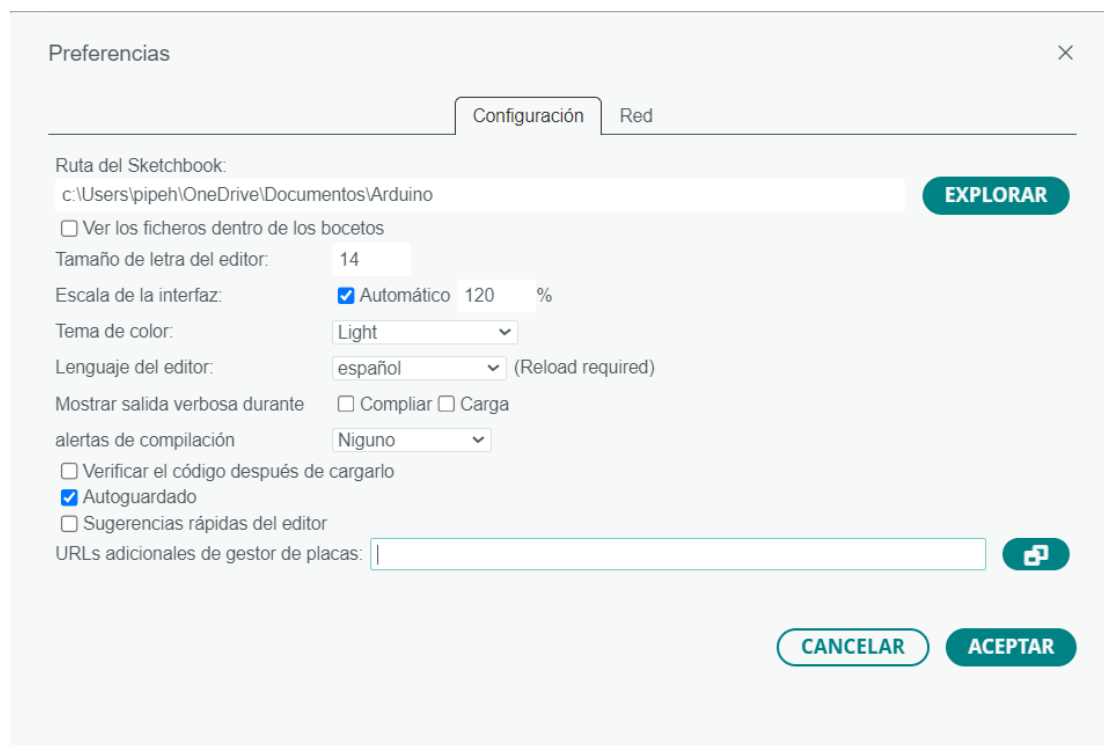


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

C.2 Configuración de la tarjeta ESP32

Posteriormente, se procedió a configurar la tarjeta ESP32 dentro del entorno de desarrollo. Para ello, se agregó el gestor de URLs de tarjetas adicionales y se instaló el paquete correspondiente desde el administrador de tarjetas.

Figura C.2. Configuración del gestor de tarjetas para ESP32.



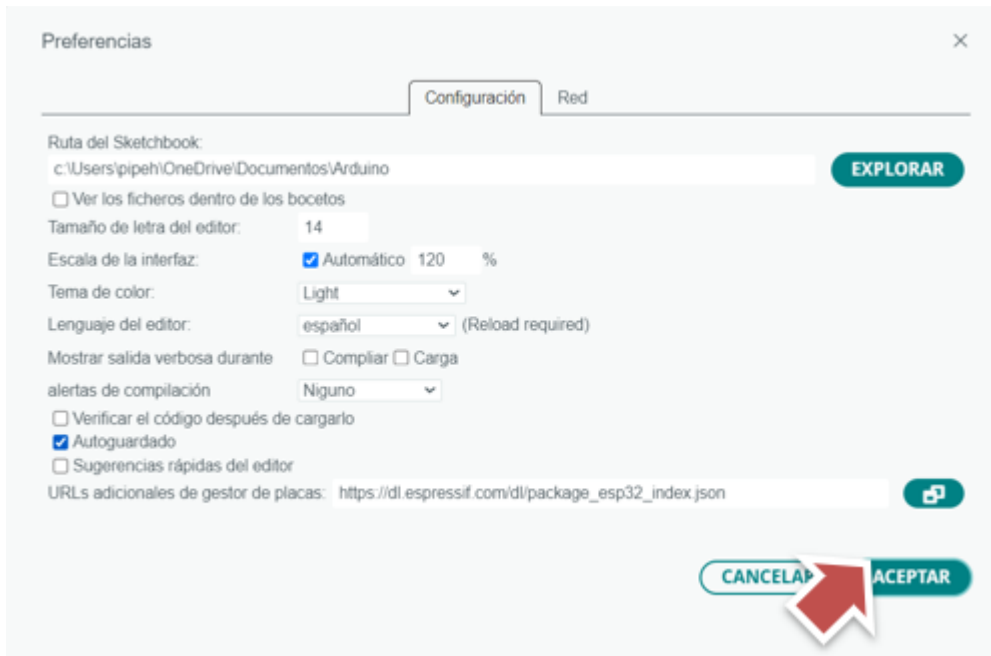
The image shows the 'Preferencias' (Preferences) dialog box in the Arduino IDE, with the 'Configuración' (Configuration) tab selected. The dialog has a close button (X) in the top right corner. Below the tabs, there are several settings:

- Ruta del Sketchbook:** A text field containing 'c:\Users\pipeh\OneDrive\Documentos\Arduino' and an 'EXPLORAR' button to the right.
- Ver los ficheros dentro de los bocetos:** An unchecked checkbox.
- Tamaño de letra del editor:** A text field with the value '14'.
- Escala de la interfaz:** A checked checkbox labeled 'Automático' followed by '120 %'.
- Tema de color:** A dropdown menu showing 'Light'.
- Lenguaje del editor:** A dropdown menu showing 'español' with '(Reload required)' to its right.
- Mostrar salida verbosa durante:** Two unchecked checkboxes, 'Compiar' and 'Carga'.
- alertas de compilación:** A dropdown menu showing 'Ninguno'.
- Verificar el código después de cargarlo:** An unchecked checkbox.
- Autoguardado:** A checked checkbox.
- Sugerencias rápidas del editor:** An unchecked checkbox.
- URLs adicionales de gestor de placas:** A text field with a cursor and a button with a plus icon to its right.

At the bottom right of the dialog are two buttons: 'CANCELAR' and 'ACEPTAR'.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

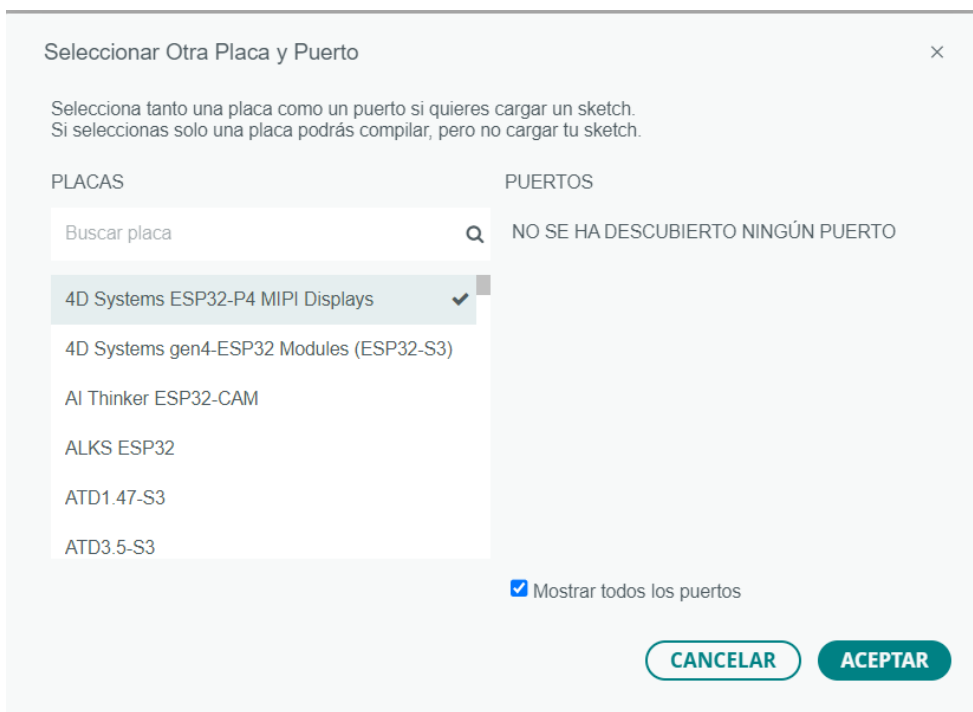
Figura C.3. Instalación del paquete ESP32 en Arduino IDE.



C.3 Selección de la placa y puerto

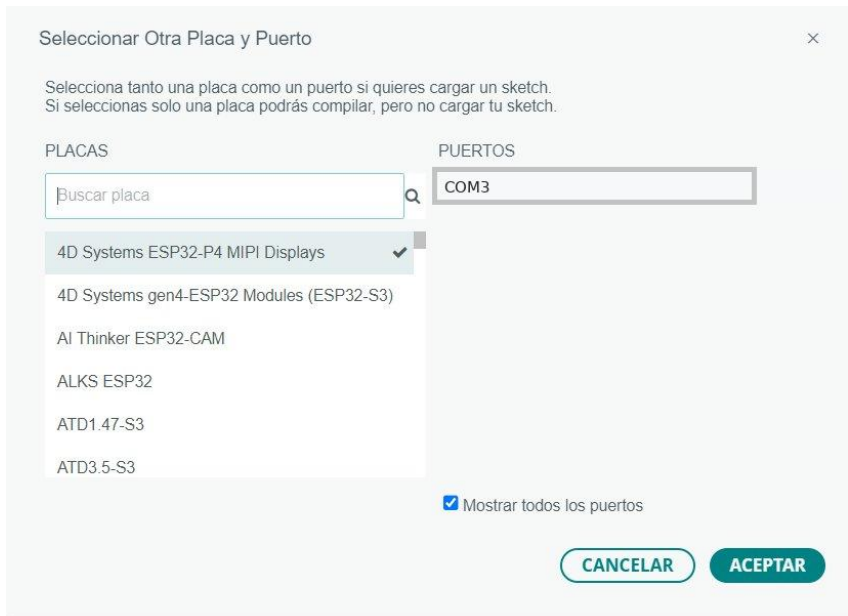
Una vez instalada la tarjeta, se seleccionó la placa ESP32 correspondiente y el puerto de comunicación adecuado para la carga del programa.

Figura C.4. Selección de la placa ESP32.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

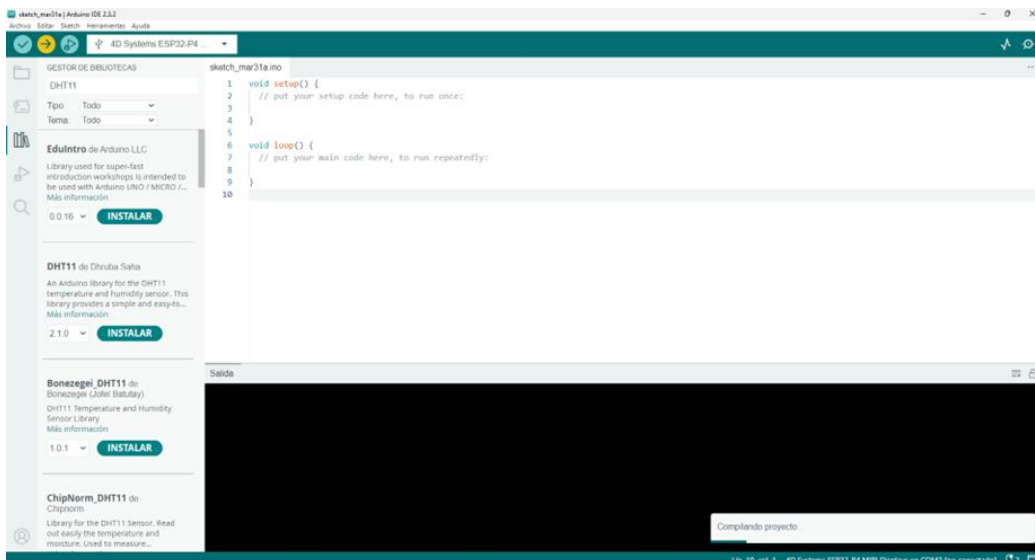
Figura C.5. Selección del puerto de comunicación.



C.4 Instalación de librerías

Para el correcto funcionamiento del sistema, se instalaron las librerías necesarias desde el gestor de librerías del Arduino IDE, incluyendo las correspondientes a sensores y comunicación con la base de datos.

Figura C.6. Instalación de librerías en Arduino IDE.

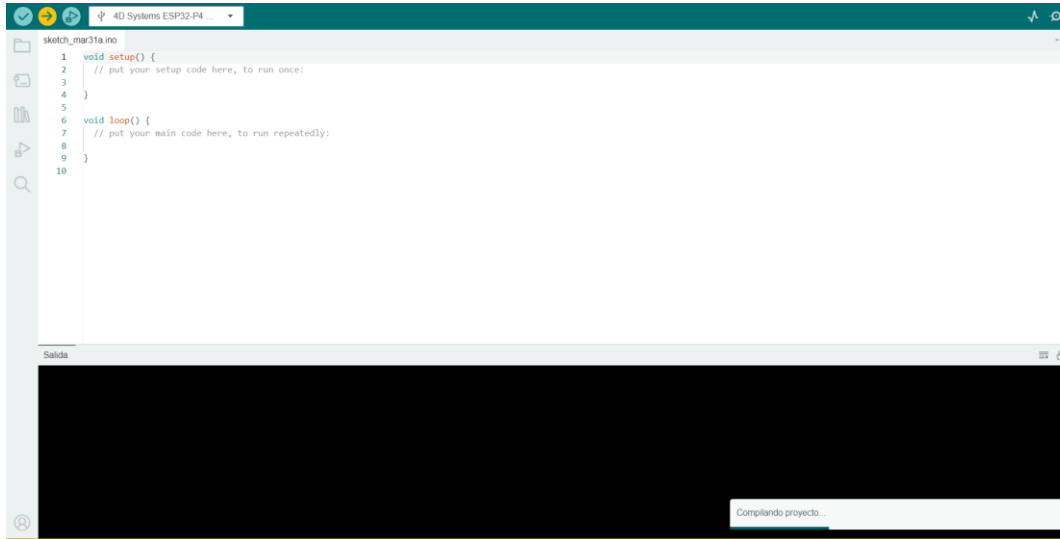


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

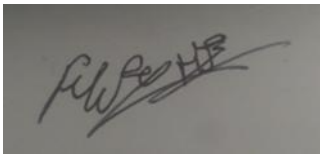
C.5 Carga del programa

Finalmente, se realizó la compilación y carga del programa en la ESP32.

Figura C.7. Carga del programa en la ESP32.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES	

FIRMA ASESOR	 
	FECHA ENTREGA: _____ 13/06/2026 _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____		

RECHAZADO _____	ACEPTADO _____	ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____
ACTA NO. _____		
FECHA ENTREGA: _____		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____ ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____
