 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

DESARROLLO DE UNA SONDA DE MEDICIÓN DE TURBIDEZ DE BAJO COSTO APLICADA AL SECTOR AGROPECUARIO

María Camila García Villa

Ingeniería Mecatrónica

Director:

Juan Sebastián Botero Valencia

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Abril de 2022

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

RESUMEN

La sonda para la medición de la variable turbidez estuvo fundamentada en el diseño de un dispositivo portátil, completamente sumergible, compacto y, que estuviera en la capacidad de analizar las características óptimas de muestras líquidas describiendo su claridad o su opacidad, al mismo tiempo en que toma su temperatura.

Los sensores de turbidez, son utilizados para determinar la calidad del agua en ríos, arroyos, aguas residuales o cualquier otra fuente hídrica. Este sensor pretende ser implementado en los diferentes sectores agropecuarios (el sector agrícola, el sector ganadero o sector pecuario), para determinar qué tan apto está el recurso natural hídrico para ser empleado en sus múltiples procesos.

Para adaptar este sistema a medios exigentes, contaminados, en donde haya variaciones térmicas constantes y que logre soportar cualquier tipo de condición ambiental del lugar de la aplicación, fue necesario un buen diseño mecánico para proteger el sistema electrónico mediante una cabina antifluido que garantice de igual manera el correcto funcionamiento del conjunto de sensores y los demás componentes electrónicos que deban ser sumergidos dentro del agua pero que no fueron fabricados para ello. Se realizó un diseño electrónico en donde se representan los componentes electrónicos utilizados para la sonda de turbidez y se plasman en un diagrama sus respectivas conexiones. Los sensores fueron probados ante diferentes ambientes y muestras líquidas que, para el caso del sensor de turbidez, se pretendía generar un conjunto de datos en tiempo real, en donde se obtuviera un valor en ADC y posteriormente fueran pasados a voltaje para su interpretación. Se realizó una linealización con esta información y se modeló un comportamiento matemático a través de una ecuación que representa el cambio del voltaje con relación a la cantidad de turbidez en la muestra líquida estudiada.

Palabras clave: Turbidez; sector agropecuario; luminosidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

RECONOCIMIENTOS

Quiero brindar mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que acompañaron y apoyaron cada una de las etapas de este proceso e hicieron posible la culminación del proyecto.

En primer lugar, agradezco a mi asesor del producto de laboratorio Juan Sebastián Botero Valencia, por darme la oportunidad de llevar a cabo esta modalidad de trabajo de grado, por haberme aportado todos sus conocimientos en el tema, su experiencia en el ámbito investigativo y por haberme guiado a través del desarrollo de esta investigación hasta conseguir los resultados u objetivos esperados.

Quiero agradecer al Instituto Tecnológico Metropolitano y al Grupo de investigación de Sistemas de Control y Robótica del Parque I, por poner a disposición todos sus espacios, las herramientas oportunas y la maquinaria necesaria para la fabricación de la sonda de medición de turbidez.

Por último, quiero resaltar el aporte de mis compañeros de estudio más cercanos que contribuyeron con sus ideas y con soluciones prácticas para el funcionamiento de este trabajo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04- 20

ACRÓNIMOS

NTU (Nephelometric Turbidity Unit) Abreviación que indica la unidad de la variable turbidez.

IoT (Internet Of Things) Internet de las cosas.

ADC (Analog to Digital Converter) Conversor Analógico Digital.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 GENERALIDADES	6
1.2 OBJETIVOS	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 INFORMACIÓN DE LA MEDIDA	9
2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR	9
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA ESP32	11
3. METODOLOGÍA.....	12
3.1. DISEÑO MECÁNICO	12
3.2. DISEÑO ELECTRÓNICO	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1 ENSAMBLE FINAL	17
4.2 PRUEBAS DE VALIDACIÓN	18
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	22
REFERENCIAS.....	25

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Poner en funcionamiento e implementar un sensor de turbidez para el estudio de las características del líquido, su composición, la identificación de suciedades y el reconocimiento de las partículas suspendidas en una muestra de agua, garantizando la futura aplicación en otros tipos de recursos hídricos (puros, contaminados o con diversas características fisicoquímicas) con el propósito de implementarlo en los diferentes sectores de la industria agropecuaria para aumentar su productividad, en cuanto a la intervención, la correcta utilización del agua y asegurar la producción de calidad.

La estimación de la demanda de recursos hídricos utilizados para los diferentes sectores agropecuarios (el sector agrícola, el sector ganadero o sector pecuario), es bastante elevada, debido a que se requiere potenciar su correcto funcionamiento, su alta producción vegetativa y el bienestar animal. Esta parte de la industria subsiste gracias al apoyo del agua y depende de su correcta utilización para los distintos procesos productivos.

Sin embargo, emplear agua que se encuentre fuera de las condiciones normales de uso, que esté contaminada o alterada con sustancias químicas, puede conllevar a un gran impacto ambiental y social; es por esto que solucionar los problemas generados por la contaminación en la misma es de vital importancia para su productividad y su rendimiento. Con el paso del tiempo, se va aumentando la producción agrícola debido al crecimiento poblacional, lo cual implica que los recursos hídricos no sólo deben ser mejor utilizados o reutilizados correctamente, si no también examinados e intervenidos tecnológicamente para garantizar su calidad y sus buenas condiciones. La medición del agua en fuentes hídricas en el sector agro para determinar cuál es el nivel de pureza en el líquido, es

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20


fundamental para mejorar la calidad de los alimentos, además de garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de las personas en la sociedad.

La importancia de este proyecto recae en la implementación de un sensor de turbidez que se encargue de realizar las respectivas mediciones dentro del agua para determinar qué tan apto está el recurso natural hídrico para ser empleado en los múltiples procesos del sector agropecuario respecto a este parámetro, y que dicha información pueda ser conocida en tiempo real.

El agua como recurso hídrico natural renovable, es uno de los pilares fundamentales en el sector agropecuario y su correcta o inadecuada implementación va a repercutir directamente en la seguridad alimentaria, según el Banco Mundial (2017). Esta organización afirma: “En promedio, en la agricultura se ocupa el 70% del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos”, lo que implica que el tratamiento del agua a nivel agrícola debe ser exhaustivo para poder cumplir con todas estas necesidades. De igual manera, se debe garantizar que el recurso hídrico esté exento de cualquier tipo de químico o una alta contaminación que puedan ser perjudicial en el medio donde vaya a ser implementado.

El correcto desarrollo de los cultivos o el sector vegetal de la agricultura y el bienestar de los animales repercute principalmente en la calidad de agua con la que son alimentados. Este recurso aprovecha el potencial de la tierra, eleva su rendimiento y su factor de producción tanto para el consumo directo como para el comercio (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, 2002).

Por ello, es necesario implementar un mecanismo que monitoree los niveles de contaminación, composición, enturbiamiento, nitidez, color y demás variables, que puedan llegar a contenerse dentro de una muestra de agua en todo tipo de condiciones donde el sensor se encuentre en funcionamiento, con el propósito de garantizar su calidad, sus

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

adecuadas características y su perfecto estado para ser implementada posteriormente, en la industria agropecuaria; garantizando así, la seguridad alimentaria de la sociedad.

1.2 OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar un sensor de turbidez de agua con la capacidad de cuantificar las partículas suspendidas y enviar la información a la nube en tiempo real.

Específicos

- Diseñar e implementar una estructura mecánica que soporte los ambientes más comunes donde se deben recolectar datos de agua en el sector agropecuario.
- Desarrollar un sistema de adquisición electrónico de turbidez y temperatura del agua, que permita además transmitir la información en tiempo real.
- Implementar un modelo de validación y linealización de turbidez de agua, en función de un patrón replicable que permita dar trazabilidad a las medidas cuantitativas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Información de la medida

La turbidez la generan las partículas no disueltas en el agua y se apoya en la cantidad de luz que puede estar distribuida en el agua, cuando este líquido tiene concentraciones de sólidos o partículas contaminantes en diferentes proporciones y tamaños, para poder describir su estado de pureza o suciedad. Cabe resaltar así mismo, que esta medida se ve directamente afectada si la sustancia se encuentra fluyendo o en estado de reposo.

Para el desarrollo de la sonda de turbidez, se estudió la intensidad del índice de refracción que es el cambio de dirección que tiene un haz de luz cuando pasa oblicuamente al encontrar un obstáculo o un cambio de la densidad en una sustancia.

Los NTU (Nephelometric Turbidity Unit) es una sigla en inglés que indica la unidad de la variable turbidez, también conocida como unidad nefelométrica de turbidez, la cual varía según el tamaño de las partículas, sus formas, el color de la solución, etc.

Cuanto mayor sea la turbidez en un líquido, menor será este voltaje de salida proporcionado por la medición del sensor. La unidad de medida de los NTU se ve directamente afectada por los cambios de temperatura en el líquido. Si el sensor se encuentra en agua pura o limpia, el NTU menor a 0.5 con un voltaje emitido entre los “4,1±0,3 V” y una temperatura de 10~50 °C. Cuando el agua está turbia, los NTU serán elevados y el voltaje mínimo. Ambas medidas son inversamente proporcionales.

2.2 Principio de funcionamiento del sensor

El sensor de turbidez es un dispositivo que permite determinar la proporción de partículas que pueden estar suspendidas en un líquido, a partir de las cuales se podrá determinar qué tan clara (limpia) u opaca (contaminada) está la muestra estudiada, midiendo su nivel de turbiedad que está fundamentada en el uso de la cantidad de luz distribuida.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

La manera en que el sensor comunica la información interpretada, es a través de una tensión en la salida, la cual es proporcional a turbidez o sólidos suspendidos en el agua. Este sensor de líquidos tiene dos modos de operación, uno análogo y otro digital.

El sensor tiene dos elementos fundamentales para la medición de turbidez, un emisor (led) encargado de transmitir o difundir un haz de luz constantemente y de manera paralela, se encuentra un receptor o detector de luz (fotodiodo o LDR). En medio de estos se ubica la solución o líquido a estudiar.

El emisor envía la luz a través del agua y el receptor la recibe. Cuando hay ausencia de algún cuerpo en medio de ellos dos, simplemente la luz llega completa hacia el otro extremo, pero si hay alguna presencia de un elemento turbio, la cantidad de luz que llega al dispositivo final, es muy baja o de intensidad reducida. Partiendo de este hecho, el nivel de la luz filtrada a través del líquido, medirá el nivel de turbidez en el entorno. Lo que indica que la intensidad de la luz es inversamente proporcional a la turbidez: A mayor intensidad de la luz, el agua es menos turbia y a menor intensidad de la luz, el agua es más turbia.

Este sensor de líquidos tiene un principio de medición conocido como Relación de dispersión/transmisión que es un cambio de dirección de la luz irradiada, o también asociada con la distribución angular de la luz que se puede tener alrededor de una partícula, con un ángulo de medición o detección de 90°. Este ángulo es generado por el haz de luz que transmite el LED emisor hacia el receptor, cuando choca con algún coloide; a este ángulo el sensor es más sensible o capta mejor a los elementos que puedan estar en el agua. Cuando hay partículas contaminantes o hay mayor tasa de saturación, la luz generada por el emisor no tendrá tanta incidencia ya que no podrá filtrar tan fácilmente por el entorno hasta llegar al receptor, así es como se determina que un líquido es más o menos turbio.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20



Figura 1. Sensor de turbidez.

2.3 Descripción del ESP32

La ESP32 es un microcontrolador creado por Espressif Systems, el cual pertenece a la familia de módulos a bajo costo que tiene un sistema integrado de Wi-fi y Bluetooth. Se caracteriza por tener un consumo reducido de energía, por funcionar a 32 bits con configuración dual core, por tener una frecuencia operativa pueden entre 80 (MHz) a 240 MHz y por cuenta con un procesador integrado con interfaces para conectarse con múltiples periféricos (I2C, SPI, CAN, PWM, entre otros).

Este sistema es de gran uso para aplicaciones IOT y conectividad inalámbrica con la facultad de llevar a cabo diferentes protocolos de comunicación que usan la amplia gama de sensores. Entre su encapsulado tiene un interruptor de antena de rastreo, balun de RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, filtros y módulos de administración de energía.



Figura 2. Microcontrolador EPS32.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño mecánico

Diseño CAD



Figura 3. Pieza (a): Cúpula.

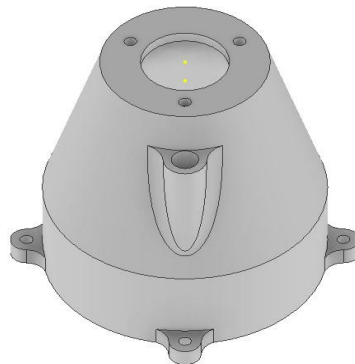


Figura 4. Pieza (b): Tapa superior.

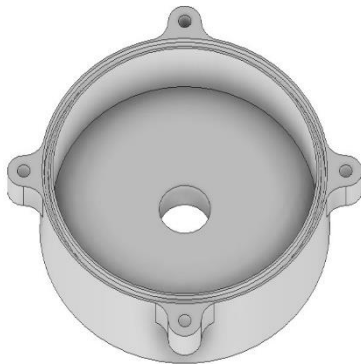


Figura 5. Pieza (c): Tapa inferior.



Figura 6. Pieza (d): Empaque.

El diseño mecánico está conformado por un conjunto de estructuras o carcasas completamente herméticas que funcionan como armadura y tienen como objetivo proteger todo el tiempo a los sensores, cables, placas y demás elementos electrónicos que no fueron fabricados para estar dentro del agua. Cada pieza modelada en el CAD, está diseñada estratégicamente para que los sensores puedan ser sumergidos en el agua sin riesgo a ser dañados por filtraciones de líquidos o suciedades.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

Se implementa un recubrimiento especial para evitar que se presenten afectaciones por exceso de luz en el entorno y con esto una toma de datos errónea o resultados versátiles. Este elemento “a” tiene como objetivo mantener un ambiente neutral (iguales condiciones ambientales) en el sensor de turbidez para que sea una medida estable y que no cambie según el medio en que se encuentre o el líquido en que esté sumergido. Para que dicho sensor pueda realizar la medición, esta pieza tiene unos orificios por donde podrá filtrar el agua turbia o agua limpia sin ningún problema.

Se diseña una pieza “b”, la cual es la estructura principal por donde saldrán hasta cierta parte (lo necesario para realizar la medición, el resto de su cuerpo estará dentro de la carcasa) los sensores de turbidez y temperatura. Se aplica una silicona o sellante adhesivo especial en los bordes entre los sensores y la pieza “b”, para que no filtre el agua ni las suciedades; esto como método aislante entre la superficie y la parte del sensor que queda en contacto directo con el agua.

Las piezas “a” y “b” se unirán metódicamente con tornillos y serán ajustadas con tuercas. El sensor de turbidez queda recubierto por la carcasa “a”, mientras que el sensor de temperatura que se encuentra en la pieza “b”, queda expuesto en el ambiente debido a que su medida no se ve afectada por la luz.

Se tiene una pieza “c”, que es la tapa con que se cierra o se encapsulan los elementos internos. Adicionalmente, este elemento tiene un orificio por donde se van a sacar los cables mediante una PG7.

Tanto la tapa superior “b” como la tapa inferior “c”, tienen un área diseñada para el ensamble del empaque, correspondiente a la pieza “d”, que va a ayudar a hermetizar el sistema del agua externa. El elemento “d” estará en medio de ambas piezas las cuales se unen mediante tornillos y tuercas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

A continuación, se presenta una tabla en donde se enumera la lista de componentes, la cantidad en que fueron implementados y su nombre dentro del diseño mecánico.

Lista de componentes		
Elemento	Cantidad	Nombre de la pieza
1	1	Cúpula
2	1	Tapa superior
3	1	Tapa inferior
4	7	Tornillo de acero M3 x 15 mm
5	7	Tuercas de acero M3
6	1	Empaque
7	1	PG7
8	1	Sensor de turbidez (SEN0189)
9	1	Sensor de temperatura (DS18B20)
10	1	Microcontrolador ESP32 (WROOM-32)

Figura 7. Lista de componentes para el diseño mecánico.

Cada una de las piezas modeladas y ya descritas, fueron fabricadas posteriormente con plástico ASA mediante impresión 3D, excepto el empaque que se imprime con un plástico diferente llamado TPU.

También se presenta un plano explosionado del ensamble final de la sonda de turbidez.

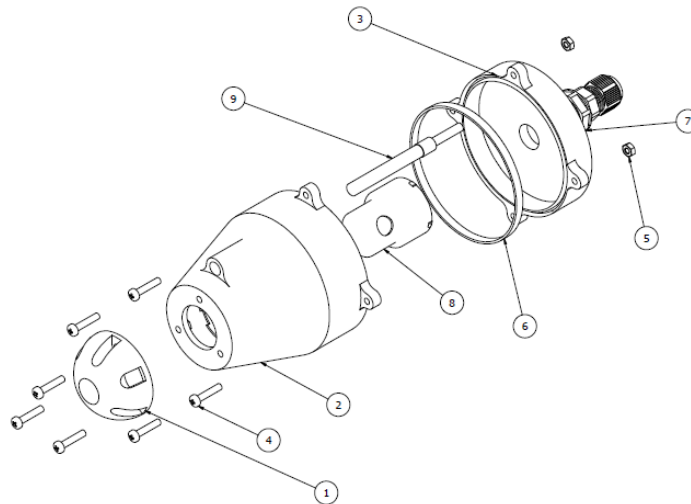


Figura 8. Plano explosionado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

La idea del diseño mecánico se debe a que se requería una estructura pequeña en donde se pudieran acomodar todos los elementos electrónicos sin riesgo de que fueran humedecidos internamente por el agua. La tapa superior tiene una forma cilíndrica ya que el área que ocupan los sensores de temperatura y de turbidez es mínimo, por ende, es la manera más viable estudiada hasta el momento en que fue realizado el diseño para ahorrar espacio y material. El motivo de fabricación de la tapa inferior es porque se requería aislar el sistema interno del agua y fue la manera más óptima para hacerlo.

Montaje Físico

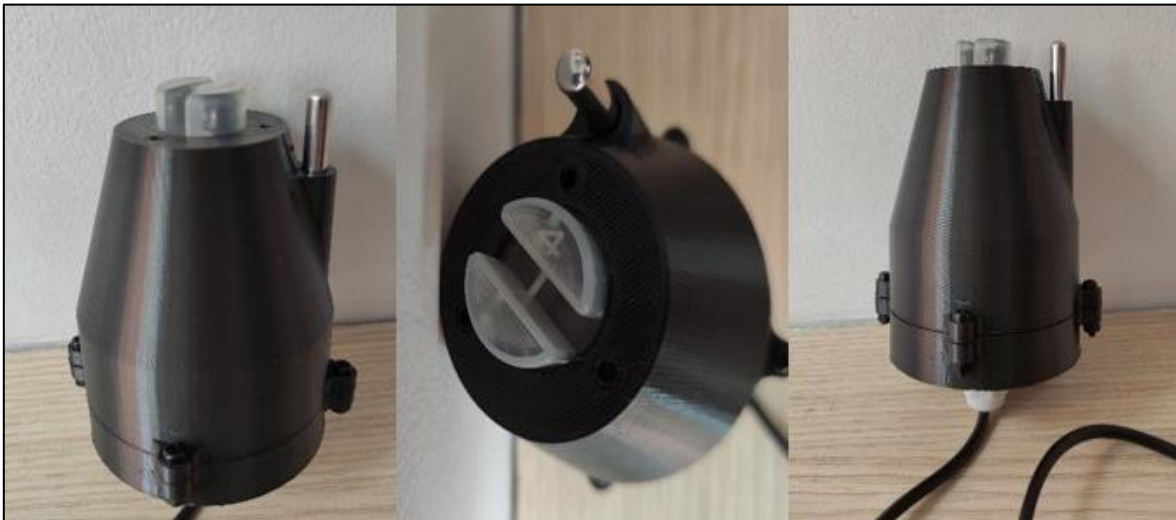


Figura 9. Montaje físico.

3.2. Diseño electrónico

El diseño electrónico está estructurado en primera instancia por un Sensor de turbidez (SEN0189), con el cual se determinó la calidad del agua. La señal analógica de dicho sensor pasa a través de un Conversor (ADS1115) encargado de cambiarla por una señal digital. Además, esta señal es enviada a una entrada del microcontrolador ESP32 (WROOM-32) en donde se procesan los datos recibidos y se interpreta la información que será enviada finalmente. Por último, se implementó un Sensor de temperatura (DS18B20) que va

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

conectado directamente al microcontrolador; adicionalmente esta sección tiene una resistencia fija de 4.7KΩ.

A continuación, se presenta el modelo esquemático del diagrama electrónico, los componentes utilizados y su respectiva conexión.

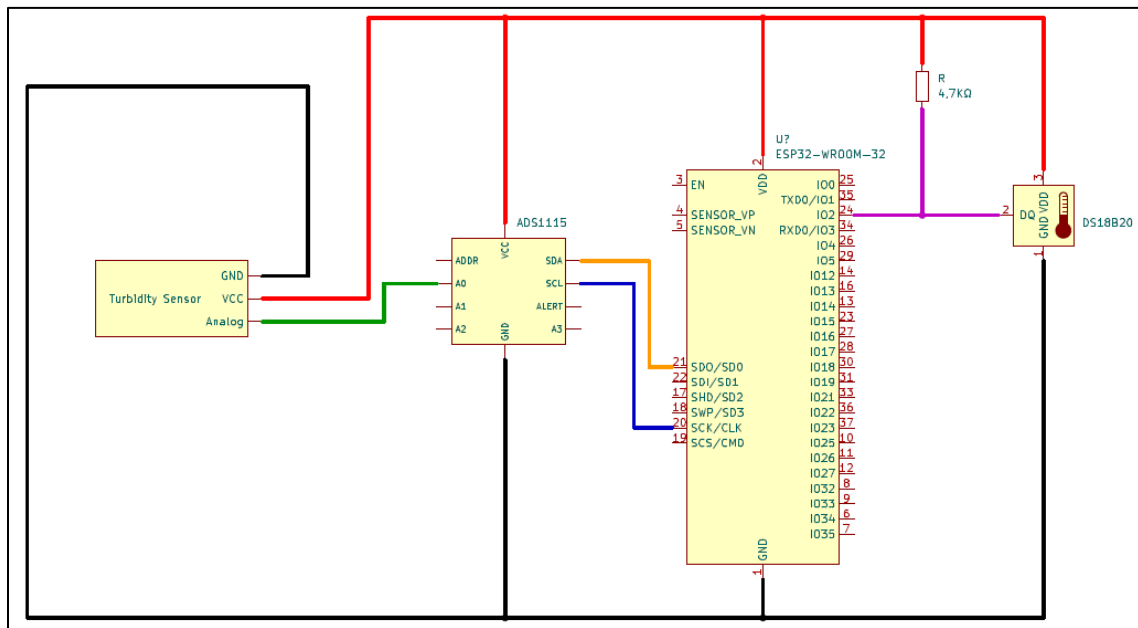


Figura 10. Diagrama o plano electrónico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ensamble final

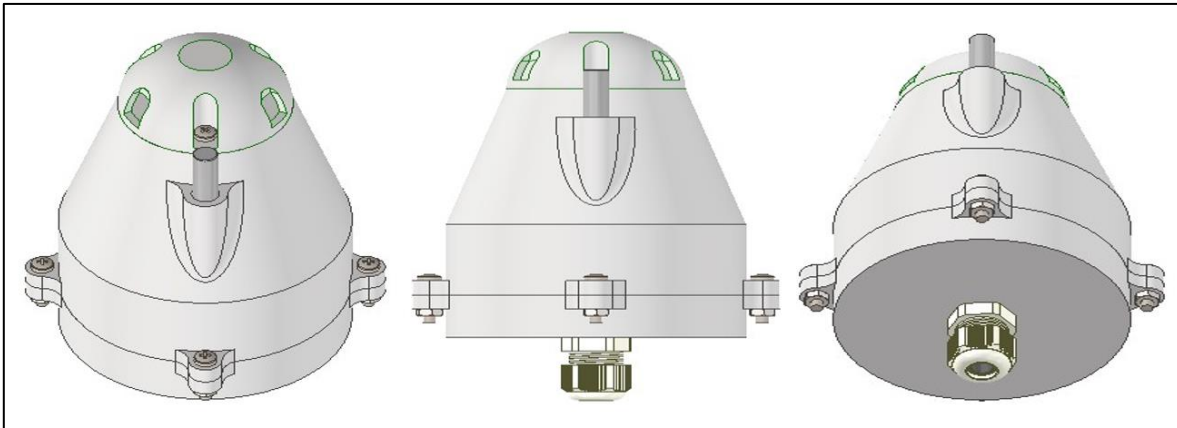


Figura 11. Ensamble modelado en CAD.



Figura 12. Ensamble final de la sonda de turbidez.

Estas son las imágenes del diseño CAD terminado y ensamblado. De igual manera, aquí se evidencia el montaje físico real de la sonda de turbidez.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

4.2 Pruebas de validación

Para las pruebas de validación se ensamblan cada uno de los componentes mecánicos que integran el sistema, al igual que los componentes electrónicos (con sus respectivas conexiones representadas en el diagrama o plano electrónico) para que fueron utilizados para conseguir los datos.

Se programa el microcontrolador ESP32, en donde se hacen el llamado de las funciones necesarias para adaptar los sensores, se inicializan y preparan las variables en donde va a ser recibida la información. Finalmente se procesan cada uno de los datos y se envían por puerto serial para su visualización.

Toda esta descripción está representada gráficamente con el diagrama de flujo presentado a continuación.

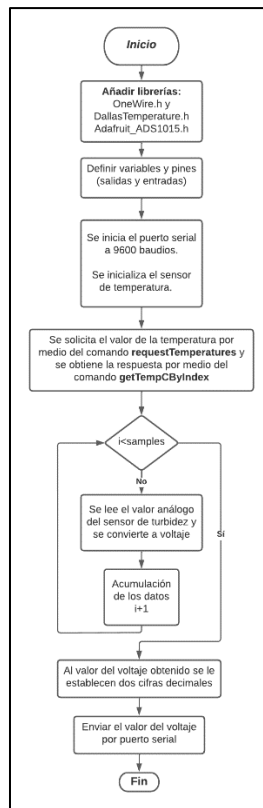


Figura 13. Diagrama de flujo del programa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

A partir de esto, se inicia un proceso de recopilación de datos para plasmar y conformar en un tabla los resultados encontrados. Para ello, se describen de manera detallada las consideraciones y características que se tuvieron en cuenta para realizar esta etapa:

Se tomaron diferentes porciones de tierra, las cuales fueron pesadas y depositadas en la muestra líquida (inicialmente limpia) que se utilizaría para la prueba de medición de turbidez.

Es importante resaltar que la validación de los datos se realizó partiendo de las mismas condiciones ambientales y sobre una misma muestra de agua pero con variaciones de contenido de tierra, ya que se iban aumentando sus porciones gradualmente hasta conseguir una agua completamente contaminada.

Se puso en funcionamiento el sensor durante un tiempo mientras se iban grabando los datos registrados para cada prueba. En total, fueron sacados 7 conjuntos de datos los cuales proporcionaban según la calidad del líquido, un voltaje que oscilaba por el mismo rango.

Se graficaron los resultados obtenidos y se generó la siguiente representación, en donde se pone en evidencia la relación que hay entre el nivel de contaminación y el voltaje (a mayor turbidez, menor el voltaje arrojado por el sensor).

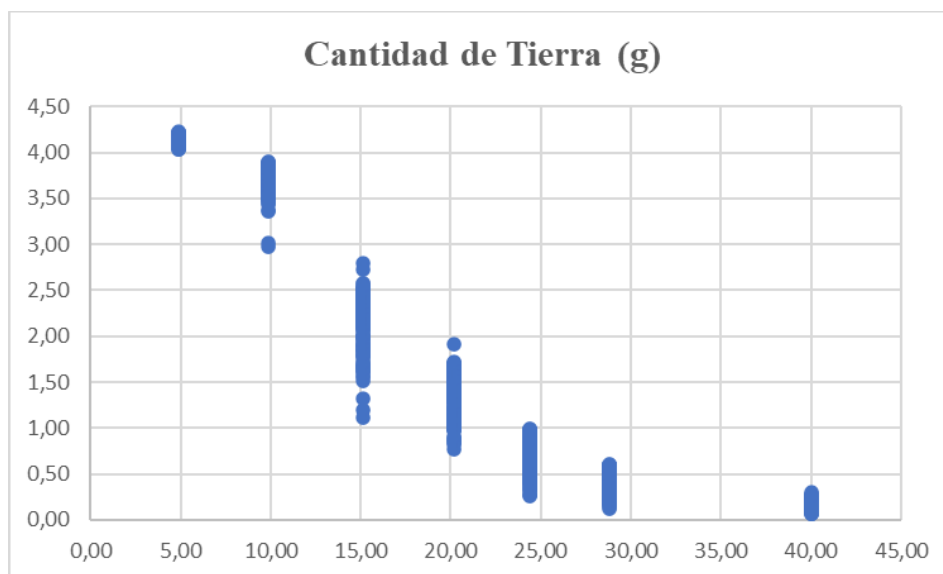


Figura 14. Pruebas experimentales.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

Para facilitar la generación de los resultados finales, se realizó un promedio de los voltajes proporcionados para cada prueba individualmente y se graficaron posteriormente cada uno de los puntos.

Promedio	
Voltaje (v)	Cantidad de Tierra (g)
4,16	4,90
3,70	9,90
2,17	15,10
1,35	20,20
0,70	24,40
0,40	28,80
0,18	40,00

Figura 15. Promedio de datos de voltaje y de cantidad de tierra.

Adicionalmente, se realizó una linealización de los datos y se generó una ecuación que representa el modelo matemático poligonal con el que se describe el comportamiento de esta validación.

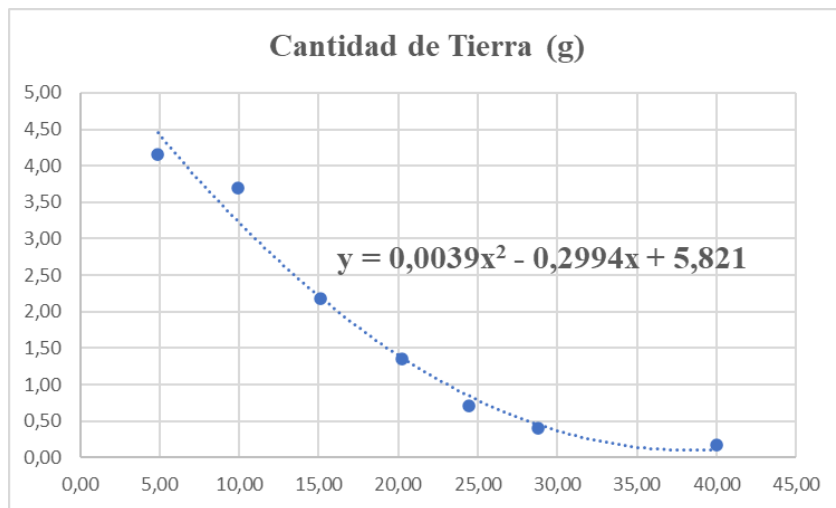



Figura 16. Gráfica final.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

En esta sección de validación de datos, se demostró de manera precisa cuál era el comportamiento del sensor de turbidez ante un entorno versátil y se constató que el valor de voltaje es inversamente proporcional a la cantidad de suciedad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

- La sonda de turbidez es de gran importancia porque está en la capacidad de determinar el nivel de contaminación o pureza contenido en un líquido, al mismo tiempo en que se registra el valor de la temperatura y con ello, entrar a estudiar metódicamente los resultados. La característica principal de este sistema es que su instalación, manufactura y mantenimiento hace de forma económica y sencilla. En definitiva, este es un mecanismo de apoyo para lugares donde se requiera tener un control de la contaminación y un registro continuo de información.
- Se pone en evidencia que el diseño mecánico juega un papel principal en el trabajo. De este depende el bienestar de los componentes electrónicos encontrados dentro del encapsulado de la sonda de turbidez. Un error en la geometría, en las dimensiones o en las escalas de las piezas puede generar que se filtren mínimas o grandes porciones de agua, lo que pone en completo riesgo cada componente electrónico del sistema. La estructura mecánica protectora está en la capacidad de soportar diversos espacios donde sea sometida especialmente para el sector agropecuario, diseñada para equilibrar y estandarizar los ambientes reales en donde pueda ser sometida, de tal forma que las condiciones ambientales (lumínicas) sean similares entre cada registro de información. También tiene la facultad de proteger en todo momento los componentes que tenga internamente. De esta manera se consigue tener un sistema completamente hermético, un ambiente seguro, y se garantiza que el funcionamiento de la sonda de turbidez sea adecuado para generar unas medidas o toma de datos correctas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

- El correcto funcionamiento y la sincronización del sistema integrado de sensores es el éxito de este trabajo. Aunque el sensor de turbidez empleado cumple la función principal de la validación de datos, no es un modelo con un alto nivel de precisión, lo que hace que no sea tan bueno en comparación con los sensores profesionales empleados a nivel industrial.

Este modelo no presenta documentación especial ni referencias exactas de experimentos confiables y medidas estandarizadas, con las que se puedan validar los resultados del modelo experimental. Sólo se manejan resultados estimados.

Sin embargo, dicho sensor cumple con las funciones básicas necesarias para llegar a cabo las pruebas experimentales y académicas del proceso.

Por otra parte, el sensor de temperatura funciona correctamente para cada etapa de prueba y junto con el sensor de turbidez, se envían periódicamente datos a través del microcontrolador. La tarjeta ESP32 es un elemento fundamental en este proceso, ya que es el encargado de enviar los datos a través de la red inalámbrica.

- A partir del modelo de validación de turbidez de agua se esclarece la relación que hay entre el valor de turbidez de salida y el valor de voltaje de salida, en donde se demuestra mediante un conjunto de resultados su relación inversamente proporcional. Con la linealización del conjunto de datos es posible sacar un modelo matemático que describe el comportamiento del sistema mientras que el sensor de turbidez se encuentre dentro de muestras líquidas contaminadas o contrariamente, en un líquido limpio.

Recomendaciones

Para mejorar el diseño mecánico es indispensable emplear un material diferente al plástico de impresión 3D ASA ya que este no garantiza completamente la protección del filtraje del agua externa. No es un material apto para ser sumergido, por ende, se recomienda emplear otro que pueda ser mecanizado y que no flote en el agua.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

En aras de tener una correcta toma de datos y que sea un ambiente neutral siempre, se recomienda cubrir ligeramente el sensor de turbidez para evitar el exceso de iluminación o la variación constante de la misma que pueda presentarse en los ambientes en donde este sea probado. Algunos de los motivos por lo que sucede esto es por la posición en la que se encuentre la sonda dentro del agua en el momento de la captura de datos, el horario de la prueba o el clima en ese instante. De esta manera se genera un ambiente neutral para el sensor y hace que la medición sea más confiable.

Para evitar los inconvenientes de la impresión de las piezas mecánicas es importante establecer una buena relación o escala entre cada una de ellas, directamente en el software en donde se modele o CAD. También es muy importante definir correctamente la dirección de impresión, especialmente que el área o la cara con la que se va a iniciar la aplicación de material sea preferiblemente plana y que no tenga elementos estructurales en el aire.

Trabajo a futuro

- Diseñar un flotador, bote o catamarán con dos puntos de apoyo en el agua o pontones con una geometría adecuada para que los elementos que no puedan ser sumergidos, estén a salvo en un espacio seco. De igual manera, diseñar una plataforma o estructura que esté apoyada y fijada al flotador, pero que, en medio de los pontones, tenga un ajuste de altura vertical para instalar la carcasa de la sonda de turbidez; así podrá ser cuadrado (subir y bajar) el elemento de interés para la medición de temperatura y turbidez. Esto con el objetivo de tener la posibilidad de delimitar la profundidad a la que se quiere o se espera que esté censando este conjunto integrado.
- Diseñar e instalar una red de sensores de turbidez que validen la contaminación del agua en diferentes afluentes, con el propósito de reconocer la calidad del líquido en estos puntos estratégicos y que envíen los datos en tiempo real para comparar dichos resultados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

REFERENCIAS

- Banco Mundial. 2017. El agua en la agricultura.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>
- Organizaciones de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. 2002. El agua y la agricultura.
<https://www.fao.org/worldfoodsummit/sideevents/papers/y6899s.htm>
- Optex. Turbidez, Guía de turbidez.
<https://www.optek.com/es/guia-de-turbidez.asp>
- Optex. Turbidez, Fundamentos.
<https://www.optek.com/es/turbidity-basics.asp>
- Ecuarobot. 2021. Medición de la turbidez del agua para determinar la calidad del agua mediante Arduino y el sensor de turbidez.
<https://ecuarobot.com/2021/03/24/medicion-de-la-turbidez-del-agua-para-determinar-la-calidad-del-agua-mediante-arduino-y-el-sensor-de-turbidez/>
- DFRobot. 2017. Turbidity sensor SKU: SEN0189.
https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/SEN0189_Web.pdf
- DFRobot. 2017. Turbidity sensor SKU: SEN0189.
https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU_SEN0189
- Beningo, J. 2020. Cómo seleccionar y usar el módulo ESP32 con Wi-Fi/Bluetooth adecuado para una aplicación de IoT industrial.
<https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20ESP32%20es%20una,para%20conectarse%20con%20varios%20perif%C3%A9ricos.>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2022-04-20

- Kitchener, B. Dixon, S. Howarth, K. Hargrave, G. Long, E. Hewett, C. 2019. A low-cost bench-top research device for turbidity measurement by radially distributed illumination intensity sensing at multiple wavelengths.
[https://www.hardware-x.com/article/S2468-0672\(18\)30076-2/fulltext#relatedArticles](https://www.hardware-x.com/article/S2468-0672(18)30076-2/fulltext#relatedArticles)
- Droujko, J. Molnar, P. 2021. Open-Source, Low-Cost, In-Situ Turbidity Sensor for River Network Monitoring.
https://assets.researchsquare.com/files/rs-1181854/v1_covered.pdf?c=1640707367



INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	FDE 089
Versión	01
Fecha	2022-04-20

FIRMA ESTUDIANTE María Comila García Villa

FIRMA ASESOR JUAN SE.

Final 17/04/2022

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____