

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02- 2020

**Desarrollo de un sistema de monitoreo del nivel de agua para tanque de carga de la Central Hidroeléctrica Yeguas, utilizando sensores ultrasónicos, para generar señales de alerta tempranas que ayuden a mejorar la eficiencia de generación eléctrica**

Javier Arturo Villacob Blanco  
Robinson Albeiro Loaiza Marín  
Jhon Alexander Jaramillo Castañeda

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Electromecánico

Asesor(es)  
Edwin Herlyt Lopera Mazo  
Rafael Enrique Fragozo Díaz

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento de Mecatrónica y Electromecánica  
Medellín, Colombia  
2024

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RESUMEN

---

La central hidroeléctrica Yeguas, ubicada en el municipio de Abejorral, Antioquia, enfrenta una disminución en la eficiencia de generación eléctrica. Este problema se debe al descenso del nivel del tanque de carga, provocado por la disminución en el caudal a la entrada de la boca toma de la central hidroeléctrica Yeguas, obligando a reducir el flujo de agua que entra a los inyectores de las turbinas en casa de máquinas. Como solución, se ha implementado un sistema de control de nivel de agua en el tanque de carga, ubicado específicamente en la almenara adyacente al tanque.

El sistema de control implementado en la central hidroeléctrica Yeguas incluye un sensor ultrasónico, un emisor, un receptor, un display y un sistema de alarmas, seleccionados según criterios específicos detallados en esta investigación. Es importante mencionar que el tanque de carga está ubicado en un área escarpada y remota sin acceso a electricidad convencional, lo que ha llevado a la adopción de un sistema fotovoltaico para alimentar los dispositivos encargados de la detección y emisión de señales, así como la transmisión de ondas electromagnéticas hacia la casa de máquinas.

La puesta en marcha de este sistema de control ha resultado en un incremento promedio de 100 kWh en la generación de energía, lo cual representa una mejora del 1,43% en la eficiencia de producción mensual de energía de la central, equivalente a un aumento de 72.000 kWh al mes. Dado que el sistema de control es un proyecto en constante evolución, también se ofrecen recomendaciones para su mejora continua.

**Palabras clave:** *sensor ultrasónico, central hidroeléctrica, tanque de carga, almenara, emisor, receptor, sistema de alarma, eficiencia energética, efecto fotoeléctrico, paneles solares.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## ACRÓNIMOS

---

<i>GLFC</i>	Grupo Luz y Fuerza Colombia
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>PCH</i>	Pequeña Central Hidroeléctrica
<i>RCM</i>	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
<i>RFID</i>	Identificación por Radio Frecuencia
<i>SIB</i>	Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia
<i>SSR</i>	Relé de Estado Solido
<i>TPM</i>	Mantenimiento Productivo Total
<i>VFD</i>	Variadores de Frecuencia
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# TABLA DE CONTENIDO

---

RESUMEN.....	2
ACRÓNIMOS .....	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABLAS.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Generalidades .....	10
1.2. Planteamiento del Problema .....	12
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1. Objetivo General.....	15
1.3.2. Objetivos Específicos .....	15
1.4. Organización de la tesis .....	15
2. MARCO TEÓRICO .....	17
2.1. Energía hidroeléctrica.....	17
2.1.1. Clasificación de centrales hidroeléctricas .....	18
2.1.2. Componentes básicos de una central hidroeléctrica .....	19
2.1.3. Importancia del monitoreo en la operación eficiente y la sostenibilidad de centrales hidroeléctricas .....	19
2.2. Sensores de nivel y medición de la variable física distancia .....	20
2.2.1. Principios de medición del nivel del agua .....	21
2.2.2. Selección de sensores de nivel .....	21
2.3. Comunicación en Sistemas de Monitoreo.....	22
2.3.1. Tecnologías de Comunicación en Sistemas de Control y Monitoreo .....	23
2.3.2. Dispositivos de Control en Sistemas de Monitoreo .....	24
2.4. Plan de Mantenimiento .....	25

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2.4.1. Mantenimiento en el Sistema Hidroeléctrico .....	25
2.4.2. Mantenimiento Correctivo .....	25
2.4.3. Mantenimiento Preventivo .....	25
2.4.4. Mantenimiento Predictivo.....	26
2.4.5. Mantenimiento Productivo Total (TPM) .....	26
2.4.6. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).....	27
3. METODOLOGÍA .....	28
3.1. Tipo de Investigación .....	28
3.2. Enfoque de la Investigación.....	28
3.3. Diseño Metodológico.....	29
3.3.1. Fase 1. Análisis inicial del proyecto .....	30
3.3.2. Fase 2. Diseño del sistema de monitoreo.....	31
3.3.3. Fase 3. Implementación en la central hidroeléctrica .....	31
3.3.4. Fase 4. Definición de umbrales y protocolos de notificación.....	31
3.3.5. Fase 5. Evaluación del sistema y propuestas de mejora .....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
4.1. Análisis Inicial del Proyecto .....	33
4.1.1. Infraestructura.....	33
4.1.2. Topología .....	35
4.1.3. Instalaciones Eléctricas.....	37
4.1.4. Variables del Proceso.....	38
4.2. Diseño del Sistema de Monitoreo .....	39
4.2.1. Sensor Ultrasónico.....	40
4.2.2. Transmisor y Receptor de Señal .....	42
4.2.3. Conexión de Componentes .....	44
4.3. Implementación en la Central Hidroeléctrica.....	47
4.4. Definición de Umbrales y Protocolos de Notificación .....	53
4.4.1. Definición de Umbrales .....	53

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4.4.2. Protocolos de Notificación .....	59
4.5. Evaluación del Sistema y Propuesta de Mejoras .....	59
4.5.1. Evaluación del Sistema .....	59
4.5.2. Propuesta de Mejoras .....	61
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	62
REFERENCIAS .....	65

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Diagrama tanque de carga y casa de máquinas Hidro Yeguas con la máxima potencia generada.....	13
<b>Figura 2.</b> Diagrama tanque de carga y casa de máquinas Hidro Yeguas con la potencia mínima generada.....	14
<b>Figura 3.</b> Gráfico de potencia no generada en un mes según el número de eventos .....	14
<b>Figura 4.</b> Circuito hidráulico de una central hidroeléctrica.....	18
<b>Figura 5.</b> Procesamiento de una señal en un sensor de nivel.....	20
<b>Figura 6.</b> Tanque de carga de la central hidroeléctrica Yeguas .....	33
<b>Figura 7.</b> Sistema de tubería a la salida del tanque de carga.....	34
<b>Figura 8.</b> Turbinas Pelton de la central hidroeléctrica Yeguas.....	34
<b>Figura 9.</b> Vista satelital de la central hidroeléctrica Yeguas.....	35
<b>Figura 10.</b> Dimensionamiento básico del tanque de carga.....	35
<b>Figura 11.</b> Diseño conceptual del tanque de carga .....	36
<b>Figura 12.</b> Esquema básico de un sistema fotovoltaico .....	37
<b>Figura 13.</b> Diseño propuesto para el sistema de monitoreo .....	39
<b>Figura 14.</b> Partes elementales de un sensor ultrasónico .....	40
<b>Figura 15.</b> Sensor ultrasónico UC6000-30GM-IUR2-V15, PEPPERL+FUCHS.....	41
<b>Figura 16.</b> Transmisor y receptor seleccionados.....	43
<b>Figura 17.</b> Conexión del transmisor.....	45
<b>Figura 18.</b> .....	46
<b>Figura 19.</b> Paneles solares de la central hidroeléctrica Yeguas. ....	47
<b>Figura 20.</b> Placa de datos del panel.....	48
<b>Figura 21.</b> Cuarto de control .....	48
<b>Figura 22.</b> Interior del cuarto de control.....	49
<b>Figura 23.</b> Almenara de la central hidroeléctrica Yeguas.....	49
<b>Figura 24.</b> Sensor ultrasónico instalado .....	50
<b>Figura 25.</b> Tarjeta del transmisor .....	51
<b>Figura 26.</b> Antena del transmisor .....	51
<b>Figura 27.</b> Antena y receptor de casa de máquinas .....	52
<b>Figura 28.</b> Sistema de display y alarmas.....	53
<b>Figura 29.</b> Distribución de terminales .....	54
<b>Figura 30.</b> Conector de configuración del sensor.....	54

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

<b>Figura 31.</b> Modo configuración del sensor .....	55
<b>Figura 32.</b> Configuración de parámetros.....	55
<b>Figura 33.</b> Programación de la salida analógica .....	56
<b>Figura 34.</b> Distancia máxima y mínima que mide el sensor .....	57
<b>Figura 35.</b> Sistema de alarmas en funcionamiento.....	59
<b>Figura 36.</b> Comparación en la generación mensual de energía .....	60



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## LISTA DE TABLAS

---

<b>Tabla 1.</b> Descripción de los sensores de nivel .....	22
<b>Tabla 2.</b> Diseño Metodológico.....	29
<b>Tabla 3.</b> Velocidad de propagación del sonido para diferentes temperaturas .....	38
<b>Tabla 4.</b> Relación entre la señal de salida y la distancia medida .....	57
<b>Tabla 5.</b> Niveles interpretados en casa de máquinas.....	58

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Generalidades

La central hidroeléctrica Yeguas está localizada en el Departamento de Antioquia, específicamente en la margen izquierda de la quebrada Yeguas, dentro de la jurisdicción del Municipio de Abejorral. Esta central aprovecha la cuenca del río, que tiene un área tributaria de 81,6 km<sup>2</sup>, ofreciendo un caudal medio de aproximadamente 3,35 m<sup>3</sup>/s en el punto de captación. La infraestructura de captación de la central es de tipo filo de agua, lo que significa que no permite el almacenamiento del recurso hídrico (SIB, 2019).

Las turbinas de la central hidroeléctrica Yeguas se adaptan a los flujos de agua del río, ajustándose a sus variaciones estacionales y canalizando los caudales excedentes hacia el azud de derivación, vertiendo los excesos en el azud, de acuerdo con el caudal concesionado de 1,98 m<sup>3</sup>/s. La central tiene una capacidad instalada de 8,8 MW. El salto bruto total es de 591 m (entre el tanque de carga y el eje de las turbinas) y el salto neto de operación de 540 m. Las primeras dos unidades de 2.200 kW de la central Yeguas se instalaron en la década de los 40; luego, en la década del 60 les siguió la unidad 3 de 4.400 kW (Loaiza, 2021).

Las principales obras de la central están divididas en tres grandes grupos que son:

- Obras de Derivación, que comprenden la estructura de azud, la estructura de captación, el canal de aducción y el desarenador 1.
- Obras de Conducción, que comprenden los túneles de conducción a flujo libre de 1,6 km de longitud, desarenador 2, el tanque de carga y la tubería superficial a presión.
- Casa de Máquinas, que comprende una edificación superficial y la subestación.

Para esta central hidroeléctrica se ha identificado la necesidad de diseñar un sistema de monitoreo de nivel del tanque de carga para garantizar las condiciones nominales de operación en la tubería de presión, porque anteriormente no se había logrado implementar una buena solución. El tanque de carga es una estructura característica de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en derivación. En este tipo de centrales se desvían las aguas del río mediante una pequeña presa y se conducen mediante canales relativamente largos hasta el tanque de carga, que tiene por función principal unir el sistema de baja presión (conducción) con el sistema de alta presión (tubería de presión) (Valle, 2013).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para garantizar una operación óptima en la tubería de presión de la central hidroeléctrica Yeguas se ha identificado la necesidad de diseñar un sistema de monitoreo del nivel del tanque de carga. Este tanque, característico de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en derivación, conecta el sistema de baja presión con el de alta presión, desviando el agua del río a través de canales hasta llegar al tanque. Los sensores ultrasónicos se utilizan para monitorear el nivel de agua en el tanque, proporcionando datos cruciales sobre la disponibilidad de recursos hídricos, reflejando tanto la escasez como el exceso de agua en función de la altura del río (Domínguez & Logroño, 2014).

Dado que el sensor no requiere contacto físico con el objeto, ofrece la posibilidad de detectar objetos frágiles. También puede detectar cualquier material dentro de la misma área independientemente del color sin necesidad de ajustes o factores de corrección. El sensor ultrasónico tiene una función de aprendizaje que define el área de detección con un rango de precisión mínimo y máximo de 6 mm (Toledo, 2016).

Los procesos de tecnificación para tanques de almacenamiento de agua han sido ampliamente estudiados en la literatura, un ejemplo es la investigación desarrollada por Vargas et al. (2015), donde los autores presentan la parametrización y ajustes de curvas de los sensores de nivel para tanques de almacenamiento de agua potable, a través de sensores ópticos y capacitivos conectados a una tarjeta de desarrollo, la cual permite realizar la captura de las variables análogas. Mediante el conversor análogo-digital realizaron el procesamiento digital de la señal y el resultado fue transmitido mediante comunicación serial al computador, donde se diseñó un software en LabVIEW. La visualización obtenida logró suministrar información en tiempo real y se le brinda la opción al usuario de visualizar el comportamiento de los sensores de forma múltiple o individual.

Por otra parte, Muhamad et al. (2021), demostró la gestión automatizada de los dispositivos de drenaje del sistema para aumentar el rendimiento del arroz y mejorar la eficiencia del agua. Tiene un sensor de nivel in situ que mide continuamente el nivel del agua. El sistema riega automáticamente a través de compuertas que permiten el paso del líquido cuando los niveles de agua son más bajos de lo esperado, la compuerta se cierra cuando el nivel del agua alcanza el nivel requerido. Cuando el nivel del agua excede el nivel requerido, se activa la compuerta para permitir que el agua escape siempre que el tanque de drenaje esté vacío, de lo contrario se activa la bomba de drenaje.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020


A su vez, Meza (2019) presentó el diseño y prueba de un sistema de control de nivel de agua de cámara de carga basado en lógica difusa desarrollado para la central hidroeléctrica Machu Picchu. Utilizando el método general de automatización de sistemas no lineales propuesto por Ebrahim Mamdani, se diseña un sistema de control difuso con dos entradas (error y pendiente del nivel del agua) y una salida (cambio de carga de la turbina Pelton). Los datos básicos del diseño se utilizan para determinar la adquisición de datos del nivel de agua para las funciones de asociación de entrada y salida del controlador difuso, así como un conocimiento operativo profundo del control del nivel de agua en la cámara de carga.

En este contexto de rápida transformación de la industria energética, con un enfoque creciente en la generación renovable y la seguridad energética, el monitoreo y control de niveles de agua en las centrales hidroeléctricas se convierten en aspectos claves. Las innovaciones tecnológicas en la medición de niveles, como los sensores de radar o ultrasonido, son fundamentales para mejorar la eficiencia operativa y la seguridad de estas instalaciones, como señala (Magnetrol, 2023), destacando la importancia de continuar desarrollando y aplicando estas tecnologías avanzadas en el sector.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

La generación de energía eléctrica es uno de los pilares fundamentales dentro de los sectores estratégicos que generan ingresos en el sector público, tener provisión de electricidad de manera continua y producida con recursos renovables aporta al desarrollo del país, así como también al mejoramiento de la calidad de vida de la población. El manejo y operación exitoso de una Central de Generación Hidroeléctrica de gran magnitud requieren infraestructura y sistemas que permitan el funcionamiento eficiente de la planta, así como de personal altamente calificado capaz de solucionar de manera óptima las necesidades que se presenten en el proceso de generación eléctrica (Villalba, 2021).

El sistema de alta presión en la Central Hidroeléctrica Yeguas presenta un salto bruto de 591,00 metros. Está compuesto por una tubería metálica con un diámetro de 0,69 metros (27 pulgadas) y cuenta con 13 anclajes de concreto en los puntos donde se producen cambios en la dirección horizontal y de pendiente. La tubería de presión tiene una longitud de aproximadamente 1.320 metros y se encuentra en la superficie, sostenida por silletas de concreto separadas a intervalos de 12,0 metros. Estas silletas se sitúan sobre una banca que incluye tramos de alta pendiente. Esta topología particular exige un control preciso del nivel del tanque de carga dente la potencia de las unidades de generación, garantizando así que

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

la presión nominal de la tubería se mantenga constante, independientemente de las fluctuaciones en el caudal del afluente (la quebrada Yeguas).

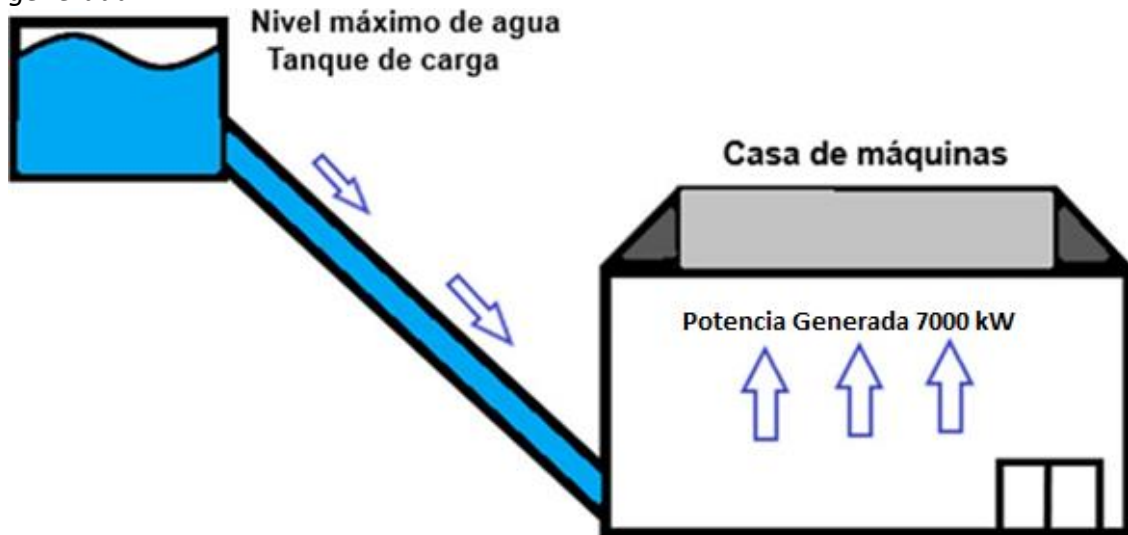
Cuando los niveles de caudal en la bocatoma de Yeguas disminuyen, es necesario reducir la potencia eléctrica de las unidades de generación hasta que el nivel de agua en la captación se recupere. Dado que no se dispone de un sistema de medición del nivel del tanque, la única opción es llevar el tanque a su capacidad máxima, lo que puede resultar en un desbordamiento. Esta limitación retrasa el aumento de la potencia eléctrica en la casa de máquinas, ya que, si se contara con una medición precisa del nivel del tanque, sería posible ajustar la potencia eléctrica en función de dicho nivel de carga.

Al mantener un nivel máximo de agua en el tanque de carga se puede aprovechar una potencia máxima hasta de 7000 kW (Figura 1). Cuando se presenta una pérdida de caudal de agua en el tanque de carga se debe cerrar controladamente el sistema de inyección para poder garantizar que la tubería de presión permanezca totalmente llena y evitar golpes de ariete, esto ocasiona una caída de potencia hasta 4500 kW generando solo 1500 kW. Esto se puede evidenciar en la

**Figura 2.**

**Figura 1.**

*Diagrama tanque de carga y casa de máquinas Hidro Yeguas con la máxima potencia generada*



**Fuente:** Elaboración propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 2.**

*Diagrama tanque de carga y casa de máquinas Hidro Yeguas con la potencia mínima generada*



**Fuente:** Elaboración propia.

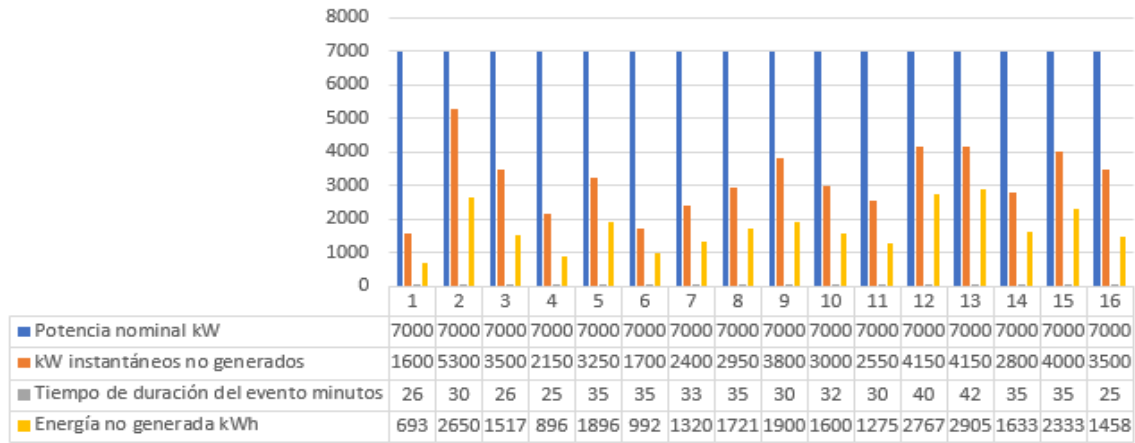
La Central Hidroeléctrica Yeguas pertenece al Grupo Luz y Fuerza Colombia S.A.S; empresa que tiene como actividad principal la generación de electricidad. Gracias a esta asociación se obtienen informes que evidencian los eventos mencionados anteriormente, ocasionados por los cambios de nivel de agua en el tanque de carga (Ver Figura 3).

**Figura 3.**

*Gráfico de potencia no generada en un mes según el número de eventos*

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Gráfico de eventos por mes potencia no generada



**Fuente:** Informes de operación Grupo Luz y Fuerza Colombia S.A.S. (GLFC S.A.S, 2023).

Este sistema favorecerá la eficiencia y la economía de la Central actual minimizando pérdidas de agua al evitar el rebose del tanque de carga y ayudará a realizar un mejor control de la energía generada a través de la verificación de los datos de nivel del tanque desde la casa de máquinas. Además, servirá como guía metodología para otras centrales que presentan el mismo inconveniente.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de monitoreo de nivel para tanques de carga en hidroeléctricas, utilizando sensores ultrasónicos, para generar señales de alerta tempranas que ayuden a mejorar la eficiencia de generación eléctrica.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis inicial del proyecto: Infraestructura, topología, instalaciones eléctricas, variables del proceso, para definir las necesidades técnicas para el desarrollo del sistema de monitoreo.
- Diseñar un sistema de monitoreo basado en sensores ultrasónicos para medir con precisión el nivel de agua en los tanques de carga de la Central Hidroeléctrica Yeguas.
- Implementar el sistema de monitoreo en tiempo real en la Central Hidroeléctrica

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Yeguas, garantizando una integración efectiva con la infraestructura existente.

- Definir umbrales de nivel crítico y desarrollar protocolos de notificación que generen alertas tempranas en caso de que los niveles de los tanques se acerquen o excedan estos umbrales.
- Evaluar la efectividad del sistema de monitoreo a través de pruebas y análisis de datos en situaciones reales, y proponer mejoras si es necesario para maximizar la eficiencia en la generación eléctrica.

#### **1.4. Organización de la tesis**

El documento se divide en cuatro partes fundamentales. En primer lugar, se presenta el marco teórico, donde se abordan los conceptos, teorías y metodologías actuales que contribuyen al logro de los objetivos específicos planteados. La segunda parte se dedica a la metodología, detallando el enfoque utilizado para alcanzar cada objetivo, las herramientas empleadas y el análisis de los datos recopilados.

La tercera sección engloba los resultados obtenidos y las discusiones derivadas de estos. Finalmente, la cuarta parte del documento incluye las conclusiones, recomendaciones y perspectivas futuras. En esta sección, se sintetiza el trabajo desarrollado, se explica lo logrado, se identifican posibles áreas de mejora y se proponen direcciones para futuras investigaciones.



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 2. MARCO TEÓRICO

---

El marco teórico proporciona la base sólida sobre la cual se construyen las ideas y metodologías que guiarán el desarrollo del sistema de monitoreo de niveles de agua para tanques de carga en centrales hidroeléctricas. En este contexto, se presentan y analizan los conceptos clave, teorías relevantes y enfoques metodológicos que contribuyen a la comprensión integral de los elementos críticos involucrados en la generación hidroeléctrica y, específicamente, en el monitoreo de niveles de agua. Al explorar la literatura actual, se busca no solo establecer un fundamento sólido para la investigación, sino también identificar brechas y áreas de oportunidad que inspiren innovaciones significativas en el desarrollo del sistema propuesto.

### 2.1. Energía hidroeléctrica

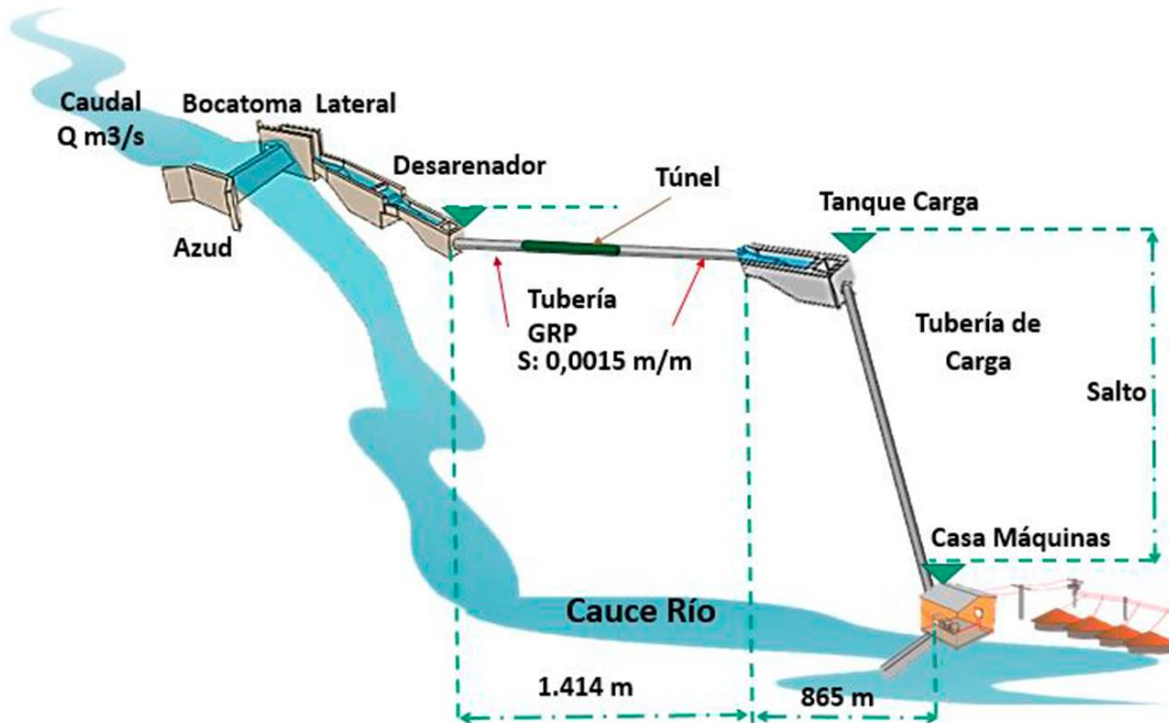
La energía representa un elemento esencial para el desarrollo social y económico de la sociedad. Aumentar la producción de energía mediante el empleo de fuentes renovables no solo disminuye la dependencia de países extranjeros, sino que también contribuye a la preservación del medio ambiente. Entre las fuentes de energía renovable, la energía hidroeléctrica destaca como la más abundante a nivel mundial (Van Atteveldt, Tijmsa, Janssen, & Kupper, 2019).

Este recurso desencadena un impacto significativo en la lucha contra el cambio climático al prevenir el uso de combustibles fósiles y reducir las emisiones de dióxido de carbono, gases alteradores del clima y otros contaminantes. Asimismo, al igual que otros recursos verdes, sus beneficios se magnifican con el tiempo a medida que se mejora la eficiencia y la eficacia, se reciclan materiales, se reducen los costos y se minimiza el impacto ambiental (Enel, 2021).

Las centrales hidroeléctricas convierten la diferencia de energía potencial de una determinada masa de agua en energía eléctrica transfiriéndola entre dos puntos situados a diferentes alturas o altitudes. Para ello, el flujo de agua se transmite a través de un circuito hidráulico que salva la diferencia de niveles de agua entre dos puntos, comúnmente llamado salto, en el que el agua gana velocidad a medida que la fuerza potencial se convierte parcialmente en energía (Iberdrola, 2021). En la Figura 4 se evidencia el circuito hidráulico de una central hidroeléctrica.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 4.**  
*Circuito hidráulico de una central hidroeléctrica*



**Fuente:** Tomado de (GM Colombian Hydro, 2018).

### 2.1.1. Clasificación de centrales hidroeléctricas

Según Valdivielso (2018), las centrales hidroeléctricas se clasifican de la siguiente forma:

- **Centrales hidroeléctricas de pasada:** Son centrales hidroeléctricas que toman agua del río y la convierten en turbinas en función del caudal y las condiciones ambientales. La diferencia de nivel entre el agua es pequeña y hay generadores que necesitan un caudal constante.
- **Centrales hidroeléctricas con embalse de reserva:** Son centrales hidroeléctricas que utilizan el bloqueo de una determinada cantidad de agua "arriba" a través de una presa. Este embalse regula la cantidad de agua de la maquinaria y produce electricidad durante todo el año independientemente del caudal del río. Este tipo de central eléctrica permite producir la máxima cantidad de energía y suele ser más económica por kilovatio.
- **Centrales hidroeléctricas de bombeo:** Son centrales eléctricas que cuentan con dos embalses a diferentes niveles y se utilizan cuando se necesita más energía. El agua del tanque superior pasa a través de la turbina y llega al tanque inferior, que se

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

transfiere al tanque principal durante las horas del día cuando no se necesita mucha energía.

### 2.1.2. Componentes básicos de una central hidroeléctrica

Los componentes básicos que se encuentran en una central hidroeléctrica, según Endesa (2020), son los siguientes:

- **Presa:** Encargada de contener y regular el flujo de agua del río, almacenándola en el tanque.
- **Rebosaderos:** Elementos que permiten liberar parte del agua restante sin pasar por la sala de máquinas.
- **Destruyores de energía:** Reducen la energía del agua para prevenir la erosión del suelo y controlar el flujo. Incluyen:
  - Dientes o prismas de cemento: Añaden tensión y generan remolinos.
  - Deflectores de salto de esquí: Disipan energía aumentando la rotación del agua con el aire y golpeando la superficie del agua durante su caída.
- **Sala de máquinas:** Edificio que alberga la maquinaria esencial, como turbinas y dinamos, así como los controles y sistemas de gestión energética.
- **Turbina:** Convierte la energía cinética del agua en energía mecánica.
- **Alternador:** Tipo de generador eléctrico que transforma la energía mecánica generada por la turbina en energía eléctrica.

Además de estos componentes, es importante mencionar que la infraestructura puede incluir otros elementos como el canal de desviación, compuertas de control, transformadores, y sistemas de monitoreo y control, dependiendo de la complejidad y el diseño específico de la central hidroeléctrica.

### 2.1.3. Importancia del monitoreo en la operación eficiente y la sostenibilidad de centrales hidroeléctricas

Los sistemas de monitoreo y evaluación son herramientas de gestión que proporcionan información sobre el rendimiento para respaldar la toma de decisiones y mejorar las intervenciones y la gestión de las instituciones (Comisión económica para América Latina y el Caribe, 2021). En el caso específico de las centrales hidroeléctricas, el monitoreo

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

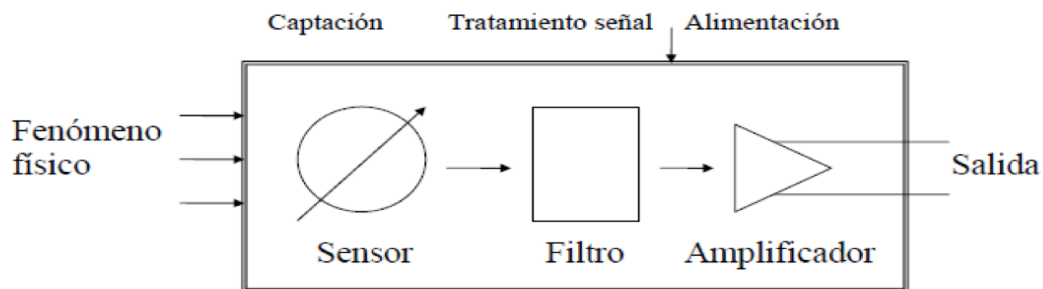
desempeña un papel crucial. Al supervisar constantemente parámetros como el nivel del agua, la velocidad del flujo y la calidad del agua, se puede optimizar el rendimiento de las turbinas y otros equipos, maximizando así la eficiencia en la generación de electricidad y el uso de los recursos hídricos. Además, el monitoreo continuo permite detectar y responder rápidamente a posibles riesgos y emergencias, contribuyendo a prevenir daños en los equipos y a proteger la seguridad del personal y el medio ambiente. Esta información también es fundamental para cumplir con las regulaciones ambientales y planificar estratégicamente para el futuro, asegurando una operación segura, eficiente y sostenible a largo plazo de la central hidroeléctrica.

## 2.2. Sensores de nivel y medición de la variable física distancia

Los sensores de nivel son dispositivos esenciales para medir la altura de líquidos o sólidos en tanques y sistemas de almacenamiento. Funcionan detectando cambios en el nivel a través de diversos principios, como presión, capacitancia o ultrasonido, proporcionando información crucial para controlar procesos y prevenir incidentes. Como su nombre sugiere, emite una señal análoga, que se utiliza para ejecutar una acción cuando se alcanza o supera un nivel predeterminado en el líquido o sólido que está siendo monitoreado. Esta señal se utiliza para interrumpir o permitir una acción específica, según las necesidades del proceso o sistema en el que se aplica (MEDITECNA, 2022). En la Figura 5, se aprecia el procedimiento de transformar una variable física, en este caso la distancia, hasta convertirla en una señal.

**Figura 5.**

*Procesamiento de una señal en un sensor de nivel*



Nota. El sensor toma la distancia y la convierte en una señal que es filtrada para no perder información de la medida y luego amplificada para luego ser transmitida. Tomado de (Bookdown, 2024)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 2.2.1. Principios de medición del nivel del agua

Malásquez (2018) proporciona una visión detallada de los principios de medición en el contexto de un sistema de monitoreo para el control del nivel de agua del tanque de carga en centrales hidroeléctricas. Se identifican cinco secciones clave para la medición:

- **Medición por Flotación:** Este método utiliza un flotador que se mueve hacia arriba y hacia abajo con el nivel del agua. El movimiento del flotador se convierte en una señal eléctrica o mecánica que indica el nivel del agua en el tanque. Puede ser simple, confiable y económico, pero puede ser limitado en aplicaciones con aguas turbulentas o sucias.
- **Medición por Presión:** Utilizan la presión hidrostática del agua para determinar su nivel. Cuanto más profundo esté sumergido el sensor, mayor será la presión del agua sobre él. Esta presión se convierte en una señal eléctrica proporcional al nivel del agua.
- **Medición por Ultrasonido:** Emiten pulsos de sonido que viajan a través del aire hasta la superficie del agua y regresan al sensor. Midiendo el tiempo que tarda en regresar el eco, el sensor puede determinar la distancia hasta el nivel del agua. Este método es efectivo en aguas limpias y no corrosivas.
- **Medición por Capacitancia:** Miden el cambio en la capacitancia entre dos placas cuando se introduce agua entre ellas. La capacitancia varía con el nivel del agua, lo que se convierte en una señal eléctrica proporcional al nivel. Este método es adecuado para líquidos conductivos y no conductivos.
- **Medición por Radar:** Emiten ondas de radar que se reflejan en la superficie del agua. Midiendo el tiempo que tarda en regresar la señal, el sensor puede determinar la distancia hasta el nivel del agua. Este método es preciso y adecuado para una variedad de aplicaciones, incluidas aquellas con condiciones adversas como altas temperaturas o vapores corrosivos.

### 2.2.2. Selección de sensores de nivel

En la elección de sensores, Malásquez (2018) destaca la variedad de dispositivos disponibles en el mercado, capaces de generar señales eléctricas, ópticas o digitales en respuesta a condiciones físicas o eventos. La selección del sensor de nivel se basa en factores como la naturaleza y el tamaño de las variables a medir.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la Tabla 1, se detallan las particularidades principales de los sensores de nivel más conocidos y utilizados en el ámbito nacional.

**Tabla 1.**

*Descripción de los sensores de nivel*

<b>Sensor</b>	<b>Carácter</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Disponibilidad en el mercado</b>	<b>Tipo de Señal</b>
<b>Flotador magnético</b>	Flotador con imán y sensores magnéticos externos	Económicos, confiables, simples	Afectados por acumulación de sedimentos	Ampliamente disponibles	Eléctrica-Mecánica
<b>Sensores ultrasónicos</b>	Emplean ondas ultrasónicas para medir distancia al nivel	Mediciones sin contacto, aptos para líquidos turbios	Sensibles a la formación de espuma	Comunes en el mercado	Analógica-Digital
<b>Presión sumergible</b>	Sumergidos en líquido, utilizan presión hidrostática	Mediciones precisas y estables	Requieren mantenimiento o regular	Ampliamente utilizados en aplicaciones industriales	Analógica
<b>Sensores de capacitancia</b>	Miden cambio en capacitancia entre dos placas con agua entre ellas	Precisos, adecuados para diversos líquidos	Costosos, susceptibles a acumulación de material	Menos comunes, disponibles para aplicaciones específicas	Analógica
<b>Radar de onda guiada</b>	Utilizan ondas de radar que se propagan a lo largo de una sonda	Precisos, adecuados para diversas aplicaciones	Costosos, requieren posicionamiento o cuidadoso	Menos comunes, disponibles para aplicaciones específicas	Digital

Nota. La función de todos los sensores de nivel es la misma: medir el nivel al que se encuentra el tanque del sensor y transformar esta variable física en un algún tipo de señal. Tomado de (DirectIndustry, 2018)

### **2.3. Comunicación en Sistemas de Monitoreo**

Esta sección destaca los elementos esenciales para la comunicación y el control en el sistema de monitoreo, proporcionando una comprensión detallada de las tecnologías y componentes involucrados. En sistemas de control y monitoreo, la comunicación juega un papel fundamental para transmitir datos entre dispositivos de campo, sistemas de control

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

centralizados y otras partes interesadas. A continuación, se puntualizan las tecnologías más utilizadas para sistemas de monitoreo.

### 2.3.1. Tecnologías de Comunicación en Sistemas de Control y Monitoreo

En la actualidad, los sistemas de monitoreo son esenciales en las industrias, ya que se emplean para maximizar la eficiencia en la utilización de recursos durante la producción. Su implementación tiene como meta principal la optimización de los recursos disponibles (SUHISA, 2018). Las tecnologías de comunicación en sistemas de control y monitoreo que se destacan a nivel industrial son:

- **Ethernet:** Se basa en cables de red estándar y es ideal para aplicaciones donde se requiere alta velocidad y confiabilidad en la transmisión de datos, como en sistemas de automatización industrial y monitoreo de seguridad. Permite conectar dispositivos a una red local (LAN) y es ampliamente utilizada en entornos comerciales e industriales.
- **Comunicación inalámbrica:** Las tecnologías inalámbricas como Wi-Fi, Bluetooth y Zigbee ofrecen la conveniencia de la comunicación sin cables. Wi-Fi es ideal para sistemas de monitoreo remoto y dispositivos domésticos inteligentes, mientras que Bluetooth es adecuado para conexiones personales entre dispositivos cercanos, como dispositivos móviles y sistemas de entretenimiento en automóviles. Zigbee, por otro lado, se utiliza en aplicaciones de bajo consumo de energía y redes de sensores.
- **Comunicación celular:** Las redes celulares 3G, 4G y 5G permiten la transmisión de datos a través de redes móviles de alta velocidad. Son ideales para aplicaciones de monitoreo remoto en áreas donde no hay acceso a redes cableadas, como el seguimiento de flotas.
- **Comunicación por radiofrecuencia (RF):** La tecnología RFID (Identificación por Radio Frecuencia) se utiliza para identificar y rastrear objetos utilizando etiquetas. Es adecuada para aplicaciones de gestión de inventario, control de acceso y seguimiento de activos, permitiendo la identificación y seguimiento remotos de objetos.
- **Protocolos de comunicación estándar:** Protocolos como Modbus y MQTT son utilizados para la comunicación entre dispositivos de campo y sistemas de control o gestión de datos. Modbus es ampliamente utilizado en sistemas de automatización industrial, mientras que MQTT es adecuado para aplicaciones de internet y monitoreo en tiempo real, facilitando la comunicación eficiente y confiable entre

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

dispositivos y sistemas centrales.

### 2.3.2. Dispositivos de Control en Sistemas de Monitoreo

En un sistema de monitoreo de un sensor de nivel, los dispositivos de control pueden variar dependiendo de la aplicación y de las necesidades específicas del sistema. A continuación, algunos dispositivos comunes que desempeñan un papel importante:

- **Relés de Estado Sólido (SSR):** Los relés de estado sólido se utilizan para activar o desactivar dispositivos de campo, como bombas o válvulas, en función de las lecturas del sensor de nivel. Pueden ser controlados por el PLC o por otros dispositivos de control.
- **Variadores de Frecuencia (VFD):** Si el sistema incluye una bomba u otro dispositivo que requiere control de velocidad, un variador de frecuencia puede ser utilizado para ajustar la velocidad del dispositivo en función del nivel de líquido detectado por el sensor.
- **Controladores de Nivel:** Algunos sistemas pueden incluir controladores de nivel que reciben la señal del sensor de nivel y controlan automáticamente las operaciones de los dispositivos de campo para mantener el nivel de líquido dentro de rangos específicos.
- **Válvulas de Control:** En sistemas donde se requiere un control preciso del flujo de líquido, se pueden utilizar válvulas de control para ajustar automáticamente el flujo en función de las lecturas del sensor de nivel.
- **Sistemas de Alarma:** Además de dispositivos de control, es importante tener sistemas de alarma que se activen si el nivel de líquido excede ciertos límites predefinidos. Estas alarmas pueden ser visuales, audibles o pueden enviar notificaciones a través de sistemas de comunicación.
- **Interfaz de Usuario:** Un componente crítico en cualquier sistema de monitoreo es la interfaz de usuario, que permite a los operadores supervisar las lecturas del sensor de nivel, controlar los dispositivos de campo y responder a alarmas o eventos del sistema.



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## **2.4. Plan de Mantenimiento**

Un plan de mantenimiento es un documento estratégico que detalla las acciones y procedimientos necesarios para preservar, inspeccionar y reparar activos físicos, como maquinaria, equipos o instalaciones.

### **2.4.1. Mantenimiento en el Sistema Hidroeléctrico**

En el ámbito de las centrales hidroeléctricas, el mantenimiento no solo es una tarea de gestión general, sino una actividad crítica para asegurar la operatividad óptima de las instalaciones de producción eléctrica. Gómez y Méndez (2011) destacan que el mantenimiento en este contexto implica organizar acciones para preservar o restaurar un sistema hidroeléctrico a una condición operativa, siempre buscando la eficiencia en costos.

La existencia de diferentes metodologías de mantenimiento, como el correctivo, preventivo y predictivo, entre otros, se debe a la necesidad de abordar los distintos aspectos del ciclo de vida de los equipos y sistemas en una central hidroeléctrica, como el sensor de nivel. Cada metodología tiene sus propias ventajas y se aplica en función de varios factores, como la criticidad del equipo, los recursos disponibles, el costo y la complejidad de la operación.

### **2.4.2. Mantenimiento Correctivo**

Cuando se trata del mantenimiento correctivo en centrales hidroeléctricas, este se enfoca en las reparaciones necesarias cuando una máquina o instalación sufre una avería inesperada. Gómez y Méndez (2011) señalan que la principal desventaja radica en la interrupción no planificada del servicio, lo que puede resultar en tiempos de inactividad prolongados. En el caso específico de un sensor de nivel, el mantenimiento correctivo se puede basar principalmente en la existencia de diferentes metodologías de mantenimiento, como el preventivo, predictivo y correctivo, se debe a la necesidad de abordar los distintos aspectos del ciclo de vida de los equipos y sistemas en una central hidroeléctrica.

### **2.4.3. Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo abarca todas las acciones dirigidas a preservar en óptimas condiciones los equipos tecnológicos de una empresa. En la actualidad, su aplicación en la industria es esencial para reducir al mínimo las fallas en la maquinaria (Portillo, Pérez, & Rodríguez, 2022). Ejemplos de mantenimiento preventivo podrían incluir la inspección regular de turbinas, revisión de sistemas de control y monitoreo, y la actualización de

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

equipos según avances tecnológicos. Para los sensores de nivel, un mantenimiento preventivo puede incluir realizar inspecciones visuales regulares, limpieza programada para eliminar contaminantes, calibración periódica según las especificaciones del fabricante, verificación de conexiones, pruebas de funcionamiento para garantizar precisión, reemplazo de componentes desgastados y registro de datos detallado. Estas acciones se llevan a cabo de manera regular para prevenir fallas, maximizar la precisión y prolongar la vida útil del sensor.

#### **2.4.4. Mantenimiento Predictivo**

En el ámbito hidroeléctrico, el mantenimiento predictivo busca anticipar posibles fallas antes de que ocurran. Utilizando herramientas y técnicas de monitoreo de parámetros físicos específicos para centrales hidroeléctricas, se puede prever y abordar problemas potenciales. La economía y la eficiencia en la aplicación de esta técnica se vuelven cruciales en estaciones grandes donde se deben instalar múltiples instrumentos de medición (Gómez & Méndez, 2011). Para el caso específico de un sensor de nivel, el mantenimiento predictivo puede abarcar el uso de sistemas de monitoreo continuo y técnicas de análisis avanzadas para prever posibles fallas o problemas antes de que ocurran. Esto incluye la recolección de datos en tiempo real, el análisis de tendencias para detectar patrones anormales, el diagnóstico avanzado mediante técnicas como el análisis de señales y la configuración de alertas tempranas. Las inspecciones programadas se basan en los resultados del monitoreo para verificar el estado del sensor y tomar medidas preventivas si es necesario, lo que ayuda a maximizar su disponibilidad en la central hidroeléctrica.

#### **2.4.5. Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

El TPM en el contexto hidroeléctrico implica una norma organizativa que va más allá del departamento de mantenimiento. El TPM es una táctica que contribuye a generar ventajas competitivas al eliminar de manera exhaustiva y sistemática las deficiencias de los sistemas operativos (Sanchis, Poler, Mula, & Piedro, 2010). El TPM que puede ser aplicado a un sensor de nivel puede implicar los siguientes procedimientos: el mantenimiento autónomo, donde el personal realiza tareas de limpieza y lubricación; el mantenimiento planificado, que establece planes preventivos de inspección y calibración; mejoras enfocadas mediante la identificación de problemas recurrentes; educación continua para el personal sobre el manejo adecuado del sensor; y la implementación de sistemas de gestión de equipos para monitorear y programar mantenimientos eficientes.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

#### **2.4.6. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)**

En centrales hidroeléctricas, el enfoque del RCM es crucial. Este método sugiere que los esfuerzos de mantenimiento deben centrarse en mantener la función deseada del equipo. Esto significa garantizar que cada componente físico siga desempeñando su tarea específica para mantener la producción eléctrica eficiente. En lugar de buscar herramientas nuevas, el RCM destaca la importancia de crear condiciones adecuadas para el correcto desempeño de cada componente (Gómez & Méndez, 2011). Ejemplos de aplicaciones de RCM en una central hidroeléctrica, en específico en el mantenimiento del sensor de nivel, el RCM puede abarcar la identificación de funciones críticas, el análisis de modos de falla y la determinación de estrategias de mantenimiento específicas. Esto incluye la optimización de tareas de mantenimiento, la implementación de monitoreo continuo y la revisión periódica del programa de mantenimiento para mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sensor.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 3. METODOLOGÍA

---

Una metodología de investigación efectiva debe seguir los principios científicos básicos, ser clara y precisa en cada etapa, adaptable a las necesidades del estudio y relevante para el campo de estudio en cuestión ( Universidad de los Andes, 2023). En esta sección se habla sobre el tipo de investigación que se lleva a cabo en la tesis de grado, explicando cada uno de los enfoques involucrados y la importancia de la organización de la investigación en fases, a partir de los objetivos que se vieron en el Capítulo 1.

### 3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarcó en un diseño de investigación aplicada. Este enfoque permitió abordar un problema práctico específico, orientado a la creación y evaluación de un sistema de monitoreo del nivel de agua para tanques de carga en centrales hidroeléctricas, utilizando sensores ultrasónicos. La investigación aplicada se eligió debido a su relevancia para resolver problemáticas concretas en el campo de la generación hidroeléctrica.

Este diseño implicó la aplicación de conocimientos teóricos existentes para el desarrollo de un sistema práctico y utilizable en un entorno real. La investigación aplicada permitirá evaluar la efectividad del sistema propuesto en un escenario operativo, contribuyendo así al avance práctico y tecnológico en el monitoreo de niveles de agua en centrales hidroeléctricas.

### 3.2. Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación se caracterizó por ser cuantitativo y cualitativo, adoptando un enfoque mixto. Esta combinación de métodos buscó aprovechar las fortalezas de ambos enfoques para obtener una comprensión integral y detallada del desarrollo, implementación y evaluación del sistema de monitoreo propuesto.

- **Enfoque Cuantitativo:** Este enfoque se utilizó para recopilar y analizar datos numéricos relacionados con la eficiencia y el rendimiento del sistema de monitoreo. Se llevaron a cabo mediciones precisas de los niveles de agua, tiempos de respuesta y otras métricas cuantificables para evaluar de manera objetiva el desempeño del sistema.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- **Enfoque Cualitativo:** Se empleó para explorar percepciones, opiniones y experiencias de los operadores y personal involucrado en la implementación del sistema. Se realizaron análisis cualitativos de datos para obtener una comprensión más completa de los aspectos prácticos y operativos del sistema, así como para identificar posibles mejoras y desafíos.

La combinación de estos enfoques permitió abordar de manera integral los objetivos de la investigación, proporcionando una perspectiva completa tanto en términos cuantitativos como cualitativos.

### 3.3. Diseño Metodológico

La metodología de este proyecto se estructuró en fases, cada una alineada directamente con un objetivo específico, asegurando una implementación ordenada y eficiente del sistema de monitoreo para la Central Hidroeléctrica Yeguas. En la Tabla 2 se detallan las actividades y herramientas para cada fase.

**Tabla 2.**

*Diseño Metodológico*

Fase	Actividades desarrolladas	Herramientas
<b>Fase 1: Análisis inicial del proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detallar la infraestructura de la central hidroeléctrica Yeguas.</li> <li>• Ubicar satelitalmente la central hidroeléctrica Yeguas.</li> <li>• Diseñar y dimensionar el tanque de carga.</li> <li>• Identificar el suministro de energía eléctrica adecuado para el sensor de nivel.</li> <li>• Hacer una introducción a las generalidades de los sensores ultrasónicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara fotográfica.</li> <li>• Sistema de información geográfica Google Earth.</li> <li>• Software de diseño SolidWorks</li> <li>• Plano suministrado por la central hidroeléctrica.</li> <li>• Revisión de literatura</li> </ul>
<b>Fase 2: Diseño del Sistema de Monitoreo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detallar cada componente perteneciente al sistema de monitoreo diseñado.</li> <li>• Seleccionar componentes eléctricos y electrónicos.</li> <li>• Realizar planos de las conexiones de los componentes en el transmisor y el receptor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de la literatura.</li> <li>• Catálogos de empresas nacionales.</li> <li>• Software de diseño AutoCAD</li> </ul>

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Fase	Actividades desarrolladas	Herramientas
<b>Fase 3: Implementación en la Central Hidroeléctrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Describir la implementación de componente en el área del tanque de carga, así como en la casa de maquinas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara fotográfica</li> </ul>
<b>Fase 4: Definición de Umbrales y Protocolos de Notificación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificar detalladamente la configuración del sensor ultrasónico</li> <li>• Describir los tipos de alarma con los que cuenta la central hidroeléctrica Yeguas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catalogo PEPPER+FUCHS</li> <li>• Cámara fotográfica</li> </ul>
<b>Fase 5: Evaluación del Sistema y Propuestas de Mejora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar generación mensual de energía eléctrica antes y después de la mejora</li> <li>• Determinar el porcentaje de mejora.</li> <li>• Realizar propuestas de mejora en la central hidroeléctrica Yeguas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de barras</li> <li>• Ecuaciones matemáticas</li> </ul>

Nota. Elaboración propia.

### 3.3.1. Fase 1. Análisis inicial del proyecto

Se hizo una introducción con lo que inicialmente se cuenta en la central hidroeléctrica explicando las partes relevantes de la central. Luego, con el fin de señalar información, se realizó un levantamiento de la zona que detalla características físicas y geográficas del área. Además, se enfatizó en la sección que se va a intervenir mediante planos y diseños básicos para realizar la mejora dando una breve explicación de sus componentes, de sus falencias y la descripción del lugar. Respecto a la parte eléctrica, se determinó el suministro de energía del sensor a instalar, se decidió usar paneles fotovoltaicos dado que el tanque de carga está en una zona inaccesible y sin suministro de energía por redes eléctricas. Esta elección se debió a que los paneles solares son una fuente de energía limpia e inagotable, económica, de bajo mantenimiento, fácil instalación, y proporcionan autonomía energética, además de contribuir a la reducción de emisiones y ser ideales para áreas remotas. Por último, se da una breve información sobre las generalidades de los sensores ultrasónicos y como la variable de medición (distancia) es dependiente del tiempo que demora en reflejarse la onda sonora en la superficie.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### **3.3.2. Fase 2. Diseño del sistema de monitoreo**

Se presentó el diseño propuesto para el sistema de monitoreo del nivel de agua en la central hidroeléctrica Yeguas, explicando detalladamente los componentes claves del sistema, incluyendo el sensor ultrasónico, el transmisor y receptor de señal, así como las conexiones entre ellos. Se proporcionó razones fundamentadas sobre la elección de cada componente, destacando sus características y capacidades específicas para garantizar un monitoreo preciso y confiable del nivel de agua en el tanque de carga. Por último, se realizó planos de las conexiones tanto en el sistema perteneciente al emisor (tanque de carga) así como el receptor (casa de máquinas) con el fin detallar y garantizar la implementación del diseño propuesto y facilitar la comunicación y comprensión del proyecto. Este diseño se basó en la consideración de requisitos técnicos y operativos específicos de la central hidroeléctrica Yeguas, con el objetivo de asegurar así su eficacia y rendimiento óptimo en las condiciones ambientales y operativas requeridas.

### **3.3.3. Fase 3. Implementación en la central hidroeléctrica**

Se aborda la solución a la problemática inicial de suministrar energía al sensor ultrasónico en la central hidroeléctrica Yeguas. Se describe la implementación de un sistema fotovoltaico para este fin, detallando los paneles solares utilizados, así como otros componentes del sistema como el cuarto de control, la batería, el inversor y el cableado. Se explica la instalación del sensor ultrasónico en la almenara en lugar del tanque de carga para evitar errores de lectura debido a la turbulencia, junto con la transmisión y recepción de la señal a través de un transmisor y un receptor, respectivamente. Además, se menciona la función del regulador, el display y la alarma para el monitoreo y la detección de anomalías en el nivel de agua.

### **3.3.4. Fase 4. Definición de umbrales y protocolos de notificación**

Se procedió a detallar la configuración del sensor ultrasónico escogido el cual cuenta con salidas análogas de 4-20 mA y 0-10 V, y permite la configuración de rangos mínimo y máximo a través de un conector. Se decidió configurar el sensor para medir un rango de 0,12 m a 1,52 m con un modo de operación ascendente, donde 4 mA corresponde al nivel mínimo y 20 mA al máximo. Por otra parte, respecto a los protocolos de notificación, en casa de máquinas se pueden identificar dos tipos de alarmas (visual y sonora), si el nivel del agua supera los 4 metros, el exceso se dirige al aliviadero hacia la quebrada Yeguas. Si el nivel cae por debajo del mínimo establecido, las alarmas se activan para alertar al operador,

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

quien debe reducir el caudal que ingresa por los inyectores de las turbinas hasta que el nivel del agua vuelva a ser aceptable.

### **3.3.5. Fase 5. Evaluación del sistema y propuestas de mejora**

Se evaluó el rendimiento del sistema de monitoreo implementado comparándolo con datos de generación suministrados por la central hidroeléctrica, dicha comparación se representó en un diagrama de barras. Además, mediante una ecuación matemática simple, se pudo conocer el porcentaje de mejora que proporciona el sistema a implementar. Por último, se hicieron observaciones para mejoras futuras en la central hidroeléctrica con el fin de aumentar su eficiencia y productividad.

Este diseño metodológico aseguró una secuencia lógica de actividades y el uso adecuado de herramientas para cada fase del proyecto, facilitando una implementación exitosa del sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica Yeguas.



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se va a describir brevemente el lugar de la represa en la que se va a hacer la mejoras, las características del punto y las variables que se van a controlar. Luego, después de poseer el conocimiento de lo mencionado anteriormente se procede a diseñar un sistema de monitoreo adecuado para el caso. También se hablará sobre la implementación del diseño en la central hidroeléctrica Yeguas detallando los umbrales de apertura y cierre, así como el sistema de notificaciones que emita el sensor. Por último, se hará una evaluación de las variables de proceso a controlar con la mejora implementada respecto a los resultados arrojados por la central hidroeléctrica sin ella.

### 4.1. Análisis Inicial del Proyecto

#### 4.1.1. Infraestructura

Como se enfatizó en un capítulo anterior, la central hidroeléctrica Yeguas se encuentra ubicada en el municipio de Abejorral en el departamento de Antioquia, toma aguas de la quebrada yeguas mediante el método de derivación el cual consta de un muro transversal al curso de la quebrada que hará que parte del caudal se desvíe hacia el tanque de carga, no sin antes pasar por algunos métodos de filtración como rejillas que impedirán el ingreso de basuras para luego pasar por un desarenador que está diseñado para remover partículas de hasta 0,5 mm de diámetro y llegar de esta manera al tanque de presión. En la Figura 6, se puede observar el tanque de carga con el que cuenta la central hidroeléctrica en mención.

**Figura 6.**

*Tanque de carga de la central hidroeléctrica Yeguas*



Nota. En la parte derecha de la

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 6, se puede apreciar la entrada de las aguas de la quebrada al tanque de carga. Fuente: elaboración propia.

El tanque de carga tiene como función almacenar el agua en alto para luego ser lanzada por medio de tubería superficial de acero de 0,69 m (27 in) abarcando una longitud de 1320 m hasta llegar a la casa de máquinas y un cambio de altitud de 591 m. En la Figura 7, se contempla la tubería a la salida del tanque de carga.

**Figura 7.**

*Sistema de tubería a la salida del tanque de carga*



Nota. El descenso hasta casa de máquinas tiene una pendiente promedio del 10%. Fuente: elaboración propia.

La tubería conecta el tanque de carga con la casa de máquinas en la cual están instaladas tres turbinas Pelton, generadores, excitatriz, válvulas de admisión, tableros de control, sistemas de refrigeración y transformadores. El fluido llega a la turbina pelton e incide sobre el rodete conformado por canchales que provocará que la energía cinética que trae el agua se transforme en energía mecánica para la turbina, provocando que el dispositivo gire. El rodete está conectado mediante un eje que transmite la energía al generador que a su vez la transforma de mecánica a eléctrica. En la Figura 8, se evidencia las turbinas ubicadas en la casa de máquinas

**Figura 8.**

*Turbinas Pelton de la central hidroeléctrica Yeguas*



Nota. Tomada de (glf, 2022)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Luego de generar la potencia, el agua se retorna a la quebraba Yeguas mediante un canal superficial en mejores condiciones a los de la entrada al tanque de carga debido a que aumentan sus niveles de oxigenación. En la a.

**Figura 9**, se puede apreciar la ubicación satelital de la central hidroeléctrica.

**Figura 9.**

*Vista satelital de la central hidroeléctrica Yeguas*



Nota. Tomada de ( Google Earth, 2024)

En la a.

**Figura 9** , se puede apreciar el descenso por el que se transporta el agua desde el tanque de carga hasta la casa de máquinas, se resaltaron tres puntos de relevancia para cualquier central hidroeléctrica:

- Tanque de carga (almacenamiento de agua)
- 2- Sistema de conducción del fluido (tubería)
- 3- Casa de máquinas (generación de energía eléctrica)

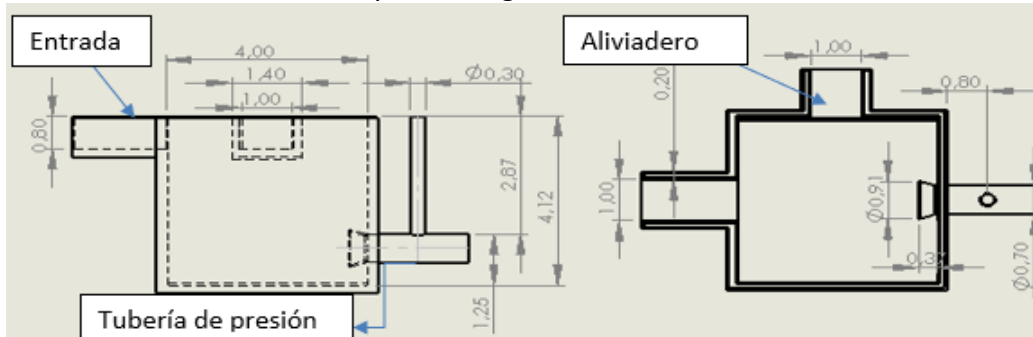
**4.1.2. Topología**

La parte de interés a controlar es el nivel del tanque de carga, se busca mantener siempre una altura de llenado para poder producir la mayor cantidad de potencia en las turbinas y evitar el rebose del depósito que provoca caídas de presión afectando así, la producción de energía. En la Figura 10, se visualiza las dimensiones más destacadas del tanque de carga.

**Figura 10.**

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Dimensionamiento básico del tanque de carga*



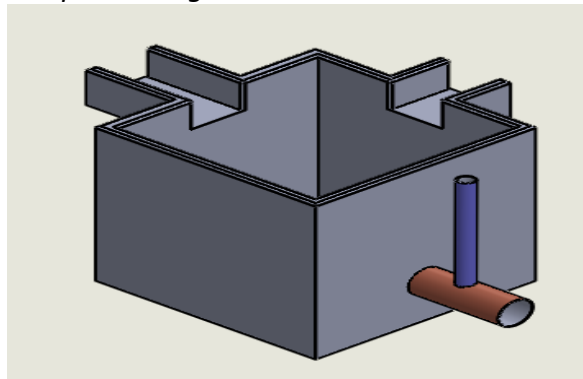
Nota. Plano realizado en software CAD SolidWorks. Dimensionamiento en mm. Fuente: elaboración propia.

El tanque de concreto ( $300 \text{ kg/m}^3$ ) tiene forma de prisma rectangular con dimensiones  $4\text{m} \times 4\text{m} \times 4,12\text{m}$  como se puede ver en la Figura 10. Cuenta con una entrada y con dos posibles salidas de fluido. Una de estas salidas es la que conecta con la tubería de presión que conduce el agua a casa de máquinas, y la otra, es el aliviadero que se activa cuando el tanque está a rebotar, por este conducto se retorna el exceso de agua nuevamente hacia la quebrada yeguas.


La tubería de presión va unida en uno de sus extremos a un cono de aducción el cual se utiliza para que al entrar el fluido en el conducto tenga una entrada más suave. Esta geometría es ideal para lograr esto y a consecuencia de ello se logra reducir la turbulencia que trae el agua. En la Figura 11, se puede ver el diseño del tanque de carga desde una vista isométrica.

**Figura 11.**

*Diseño conceptual del tanque de carga*



Nota. Diseño elaborado en software CAD SolidWorks. Fuente: elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Como se puede observar en la Figura 11, conectado a la tubería de presión (color marrón) hay un tubo vertical abierto, a dicho eje se le llama almenara hidráulica (color azul). Se ubica la salida del tanque de carga para que cumpla la función principal de evitar el golpe de ariete debido a las sobrepresión o supresiones del fluido. En la Figura 10 se especifican las dimensiones de la almenara perteneciente a la central hidroeléctrica Yeguas. Una de las características importantes que se debe conocer es que debido a que el tanque de carga es contiguo a la almenara, la pérdida de presión es despreciable y se puede asumir que, debido a esta razón, la altura de agua en los dos depósitos será la misma.

#### 4.1.3. Instalaciones Eléctricas

Al visualizar la a.

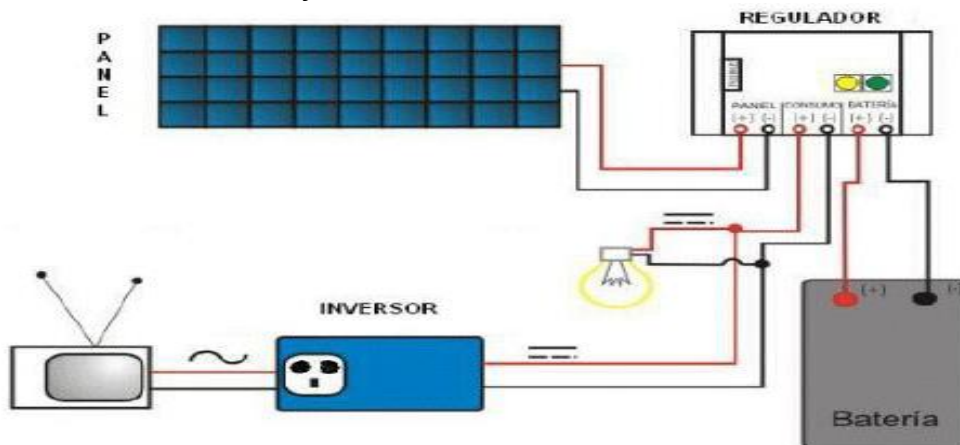
**Figura 9**, el tanque de carga se encuentra en un lugar escarpado, con difícil acceso terrestre y escasamente poblado. Por lo cual, el acceso a energía eléctrica es nulo, Por allí no opera ningún tipo de electrificadora. Para realizar el sistema de monitoreo del nivel de agua del tanque se necesita un sensor de nivel, dicho sensor debe poseer un suministro de energía eléctrica constante para su funcionamiento. Ante esta problemática se determinó instalar paneles fotovoltaicos en vez de otras alternativas debido a factores como el reconocimiento como fuente de energía limpia e ilimitada, el aspecto económico, su bajo mantenimiento, su fácil instalación, entre otros.

Los paneles fotovoltaicos son un conjunto de placas en los cuales se aplica el efecto fotoeléctrico. En los paneles, la energía de los fotones de la luz solar se transmite a los átomos de silicio que están presentes en las células fotovoltaicas, esta energía hace que los electrones de estos átomos se exciten y se produzca la electricidad, generando corriente directa (DC). A continuación, en la Figura 12, se puede ver la representación de paneles fotovoltaicos acompañados con componentes necesarios para la generación de energía.

**Figura 12.**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Esquema básico de un sistema fotovoltaico*



Nota. tomado de (Vargas & Navia, 2015)

La corriente pasa por un regulador que asegura un voltaje de salida constante, luego, este flujo es enviado a la batería donde se almacena la energía eléctrica. En el caso de una casa o un lugar que trabaje con corriente alterna (AC) se debe adicionar un inversor que logre transformar corriente directa en corriente alterna.

#### 4.1.4. Variables del Proceso

En un sistema de control del nivel de agua, el sensor ultrasónico juega un papel crucial al medir la distancia entre su ubicación y la superficie del líquido. El sensor ultrasónico contiene un emisor de ondas acústicas las cuales se generan y propagan a través del aire, cuando llegan a una superficie u objeto son reflejadas y regresan nuevamente al sensor. El sensor posee un receptor que capta estas ondas y las transforma en una señal eléctrica.

Este sensor utiliza el tiempo de vuelo de los pulsos ultrasónicos para determinar esta distancia medida. La tecnología de detección ultrasónica se basa en el principio según el cual el sonido tiene una velocidad relativamente constante y se puede declarar que cualquier sensor ultrasónico se basa en la Ecuación (1):

$$D = \frac{1}{2} * V * t \quad (1)$$

Donde;

$D$ : Distancia que se encuentra el líquido tomando referencia de la posición del sensor

$V$ : Velocidad del sonido



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$t$ : Tiempo de vuelo, tiempo que demora en ir y volver la onda acústica

Como se puede observar en la Ecuación (1), se multiplica por la constante  $(\frac{1}{2})$  por que solo interesa saber el tiempo que toma la onda en ser reflejada por el líquido. Ahora, la velocidad del sonido depende en mayor medida de la temperatura del lugar. En Colombia, al no haber estaciones, el clima tiende a comportarse constante durante todo el año. En la Tabla 3, se evidencia el comportamiento de la velocidad del sonido a diferentes temperaturas

**Tabla 3.**

*Velocidad de propagación del sonido para diferentes temperaturas*

Temperatura [°C]	Velocidad en el aire [m/s]
0	332
10	338
20	344
30	349
40	355

Nota. Tomado de Página principal de Física Moderna (Física Moderna, 2014)

Ajustar y calibrar correctamente estas variables es esencial para obtener mediciones precisas y confiables del nivel de agua en el sistema.

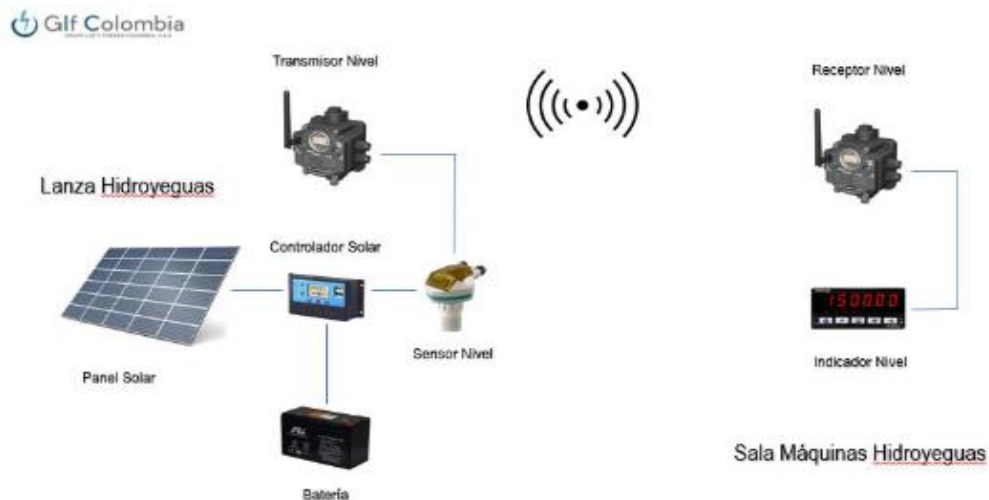
#### 4.2. Diseño del Sistema de Monitoreo

El sistema de monitoreo va a constar de los componentes que se pueden apreciar en la Figura 13. Se dará una explicación de cada componente y las razones por la cual se escogió el elemento a implementar.

**Figura 13.**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### Diseño propuesto para el sistema de monitoreo



Nota. A la izquierda, el diseño para la parte del tanque de carga (emisor) y a la derecha el sistema diseñado para la recepción de señal en casa de máquinas. Fuente: elaboración propia.

El sensor ultrasónico que se encuentra en el sector del tanque de carga mide el tiempo de vuelo que tarda en reflejar la onda acústica el líquido, dicha información la convierte en una señal eléctrica que va a hacer transmitida mediante ondas radiales al receptor que va estar ubicado en casa de máquinas y mediante un tablero display el operador sabe en tiempo real el nivel del agua determinado. Basado en la información que reciba el operador, manipula los inyectores que varían el flujo de agua que llegan a las turbinas Pelton. A continuación, se dará información sobre los componentes que comprenden el sistema

#### 4.2.1. Sensor Ultrasónico

A pesar de que existen diferentes tipos de sensores ultrasónicos, las partes básicas para su funcionamiento son las mismas.

- **Emisor:** Dentro de esta parte se encuentra un cristal piezoeléctrico que al introducirle una señal eléctrica empieza a vibrar, dicha vibración genera una onda acústica que viaja en dirección y sentido a la posición al que se encuentra dirigido el sensor.
- **Receptor:** Consta de un cristal piezoeléctrico que recibe el eco u onda acústica reflejada luego de haber chocado con la superficie de interés y la transforma en una señal eléctrica.



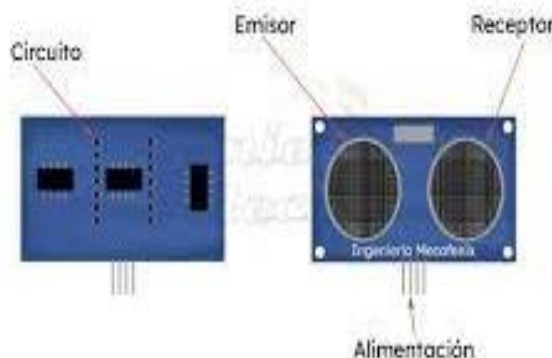
	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- **Alimentación:** Parte por la cual el sensor recibe energía para funcionar
- **Circuito eléctrico:** Encargado de transmitir la señal y traducir el tiempo en distancia

En la Figura 14, se ilustra un sensor ultrasónico en donde se pueden evidenciar las partes comentadas anteriormente.

**Figura 14.**

*Partes elementales de un sensor ultrasónico*



Nota. Tomado de (Mecafenix, 2023)

Según la 8ª edición del libro instrumentación industrial (Solé, 2011) el autor llega a una conclusión con respecto a los sensores ultrasónicos, determinando que las características principales que debería tener un buen sensor de este tipo de sensor son las siguientes:

- **Precisión:** Debe ofrecer mediciones precisas y consistentes en diferentes condiciones ambientales.
- **Amplio rango de medición:** Debe ser capaz de medir niveles de líquido en un rango amplio para adaptarse a diversas aplicaciones.
- **Fiabilidad:** Debe ser confiable a lo largo del tiempo, con una vida útil prolongada y mínima necesidad de mantenimiento.
- **Compatibilidad:** Debe poder integrarse fácilmente con diferentes sistemas de control y equipos existentes.
- **Robustez:** Debe ser resistente a condiciones ambientales adversas como polvo, humedad, vibraciones y cambios de temperatura.
- **Facilidad de instalación y configuración:** Deber ser fácil de instalar, configurar y operar sin necesidad de equipos o conocimientos especializados.
- **Precio competitivo:** Debe ofrecer un buen equilibrio entre precio y calidad para ser una opción atractiva en el mercado.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Basado en las características previas y la disponibilidad en el mercado nacional, se elige al sensor ultrasónico **UC6000-30GM-IUR2-V15, PEPPERL+FUCHS**, como el indicado para el sistema de control del nivel de agua en el tanque de carga de la central hidroeléctrica Yeguas. En la Figura 15, se visualiza el sensor seleccionado.

**Figura 15.**

*Sensor ultrasónico UC6000-30GM-IUR2-V15, PEPPERL+FUCHS*



**Nota.** Tomado de (PEPPERL+FUCHS, 2022)

El sensor ultrasónico UC6000-30GM-IUR2-V15 es un sensor fabricado por la empresa Pepperl+Fuchs, tiene un haz estrecho que le permite una alta precisión en la detección de objetos y un alcance máximo de detección de 6 metros con una precisión de  $\pm 1\%$ . Cuenta con protección contra cortocircuitos y polaridad inversa, adicional a esto, tiene un grado de protección IP67, lo que significa que es resistente al polvo y al agua. También, Puede ser montado en diferentes posiciones, lo que lo hace versátil para diferentes aplicaciones y con un valor aproximado de 1000 USD cumple satisfactoriamente con los requisitos mínimos para la selección.

**4.2.2. Transmisor y Receptor de Señal**

Un transmisor es un dispositivo electrónico que convierte la señal eléctrica que recibe del sensor ultrasónico en ondas electromagnéticas para su transmisión a través del aire. Internamente, la señal de entrada se modula en una onda portadora de alta frecuencia. Luego, la señal modulada se amplifica para aumentar su potencia a un nivel adecuado para la transmisión. Por último, la señal amplificada se transmite a través de una antena, que convierte la señal eléctrica en ondas electromagnéticas.

El proceso que se realiza en el receptor de un sistema de comunicación inalámbrica es fundamentalmente el inverso al del transmisor. El receptor recibe las ondas

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

electromagnéticas transmitidas a través del aire por el transmisor. Estas ondas son captadas por la antena del receptor. La antena convierte las ondas electromagnéticas en señales eléctricas que representan la información transmitida. Estas señales eléctricas son entonces enviadas al circuito de radiofrecuencia del receptor. En el circuito de radiofrecuencia, las señales eléctricas recibidas son filtradas para eliminar ruidos y otras interferencias no deseadas. Luego, son amplificadas para aumentar su amplitud y hacer que la señal sea más fácilmente procesable. Una vez que la señal ha sido filtrada y amplificada, se procede a la demodulación. Este proceso varía dependiendo del tipo de modulación utilizado en el transmisor (AM, FM, etc.). La demodulación tiene como objetivo extraer la información original de la señal modulada. Ahora, cuando la señal ha sido demodulada, se obtiene la información original transmitida.

Para la selección tanto del transmisor como del receptor, se tuvieron en cuenta las siguientes características fundamentales:

- **Frecuencia de operación adecuada:** Deben operar en una frecuencia adecuada que minimice la interferencia y maximice el alcance y la penetración de la señal a través del aire.
- **Antenas eficientes:** Deben contar con antenas eficientes que puedan transmitir y recibir señales de manera efectiva, tanto en términos de alcance como de calidad de la señal.
- **Protocolos de comunicación robustos:** Deben utilizar protocolos de comunicación robustos que garanticen la integridad de los datos transmitidos y proporcionen una comunicación confiable incluso en entornos con interferencia.
- **Seguridad y privacidad:** Deben contar con medidas de seguridad y privacidad para proteger la información transmitida de accesos no autorizados y garantizar la confidencialidad de la comunicación.
- **Portabilidad y facilidad de uso:** Deben ser portátiles, fáciles de configurar y operar, lo que permita su implementación en una variedad de aplicaciones y entornos.
- **Robustez y resistencia ambiental:** Deben ser resistentes a condiciones ambientales adversas como humedad, polvo, vibraciones y temperaturas extremas, para garantizar un funcionamiento confiable en diferentes entornos.

Después de una investigación en el mercado nacional, se decidió que la mejor opción para las condiciones y requerimientos de la hidroeléctrica es el módulo de comunicación

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

inalámbrica DX80K9M6-PM2 de la empresa Banner Engineering ya que es una solución robusta y confiable para aplicaciones industriales que requieran comunicación a larga distancia. Con un alcance de hasta 3.2 kilómetros en condiciones óptimas y operando en la banda de frecuencia de 900 MHz, estos dispositivos utilizan el protocolo FHSS para asegurar una comunicación segura y resistente a la interferencia en entornos industriales. Equipado con opciones de entrada/salida digital y analógica, una antena externa desmontable, y una carcasa resistente con clasificación IP67, el DX80K9M6-PM2 es fácilmente configurable y monitoreable a través de software proporcionado por Banner Engineering, lo que lo hace ideal para una variedad de aplicaciones, como monitoreo de procesos y control de máquinas. En la

Figura 16, se observa el transmisor y receptor seleccionados.

**Figura 16.**

*Transmisor y receptor seleccionados*




Nota. En la parte izquierda de la

Figura 16 se puede detallar el transmisor. Así como, en la parte derecha el receptor. Tomado de (MOUSER ELECTRONICS, 2023)

#### 4.2.3. Conexión de Componentes

En este sistema, las conexiones desempeñan un papel crucial en la transmisión de energía y datos. Los paneles solares son la fuente de alimentación inicial, suministrando energía a la fuente de 24 voltios de corriente directa. Esta fuente de alimentación proporciona una corriente constante al sensor ultrasónico, que opera dentro de un rango de voltaje seguro. El sensor ultrasónico, a su vez, convierte los datos ambientales en una señal de corriente entre 4 y 20 mA, que representa la distancia a la que se encuentra de la superficie del agua. Para garantizar la integridad de la señal entre el sensor y el transmisor, se inserta un

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

regulador en el camino de la conexión, este regulador actúa como un intermediario crucial, ajustando la señal eléctrica proveniente del sensor para que sea óptima y estable antes de llegar al transmisor. Su presencia en este punto crítico de la cadena garantiza una transmisión de datos precisa y fiable entre el sensor y el transmisor, optimizando así el rendimiento general del sistema. Esta señal es luego enviada al transmisor, que amplifica y transforma la señal eléctrica en una onda electromagnética. Esta onda es emitida por la antena del transmisor y se dirige hacia la casa de máquinas. En la

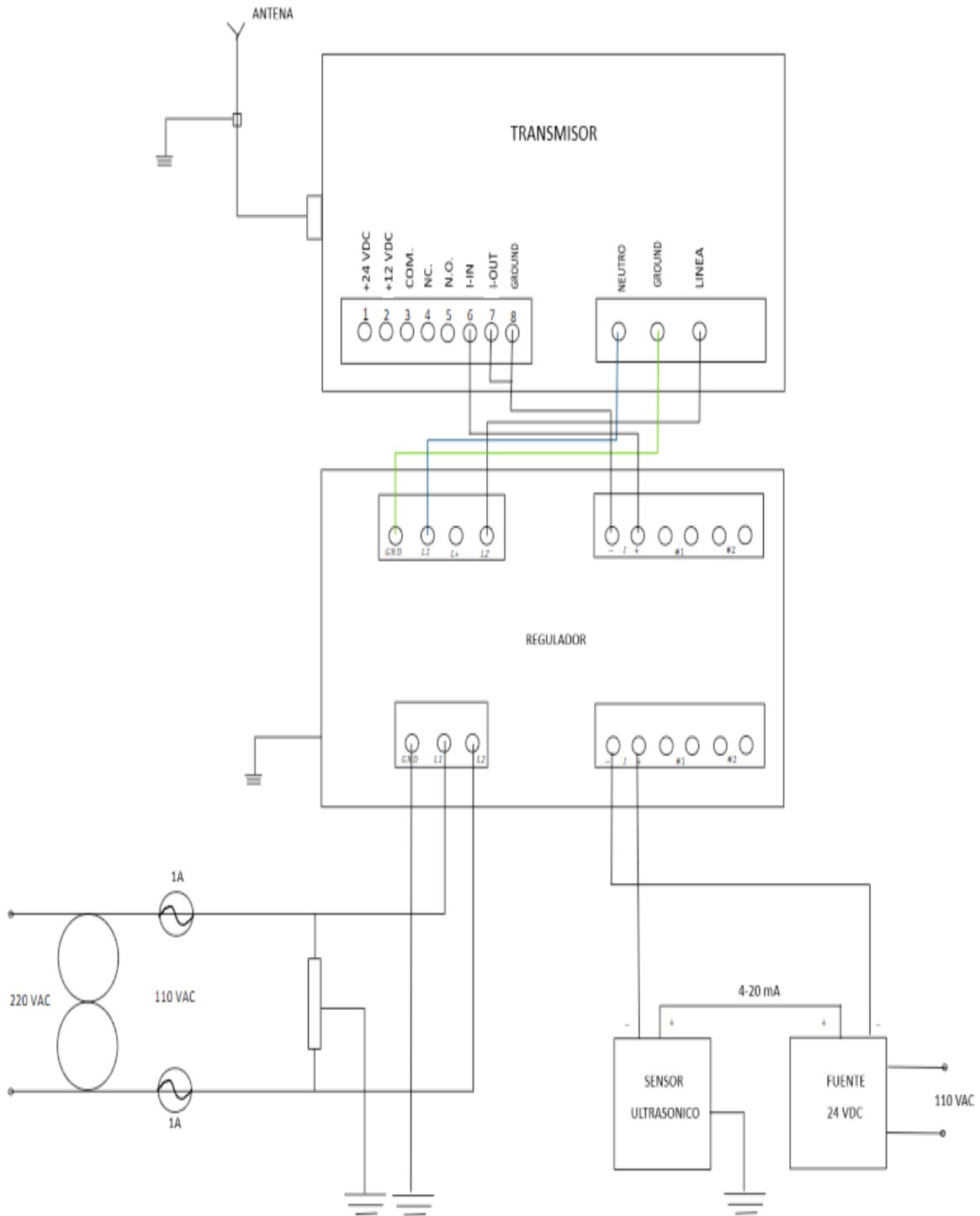
**Figura 17**, se puede observar las conexiones necesarias para el funcionamiento del transmisor ubicado en el tanque de carga.

En la casa de máquinas, el receptor capta la señal emitida por la antena y la convierte de onda electromagnética a una señal eléctrica. Una vez dentro del receptor, la señal se somete a un proceso de filtrado para eliminar cualquier ruido o interferencia no deseada. Posteriormente, la señal filtrada pasa nuevamente a través de un regulador. Esta señal regulada se divide en dos rutas: una llega un display que proporciona información visual sobre el nivel del agua, mientras que la otra se dirige hacia una alarma. Los dos dispositivos anteriormente mencionados también alimentados por una fuente de 24 V. La alarma está programada para activarse únicamente cuando los valores visualizados en el display indiquen un descenso crítico del nivel del agua. Este mecanismo asegura que el operario sea alertado en caso de una situación de emergencia, permitiéndole tomar las medidas necesarias, como reducir el caudal de los inyectores de las turbinas, para evitar cualquier problema o daño en el sistema. En la Figura 17, se visualiza la conexión realizada para la recepción de la señal.

**Figura 17.**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Conexión del transmisor



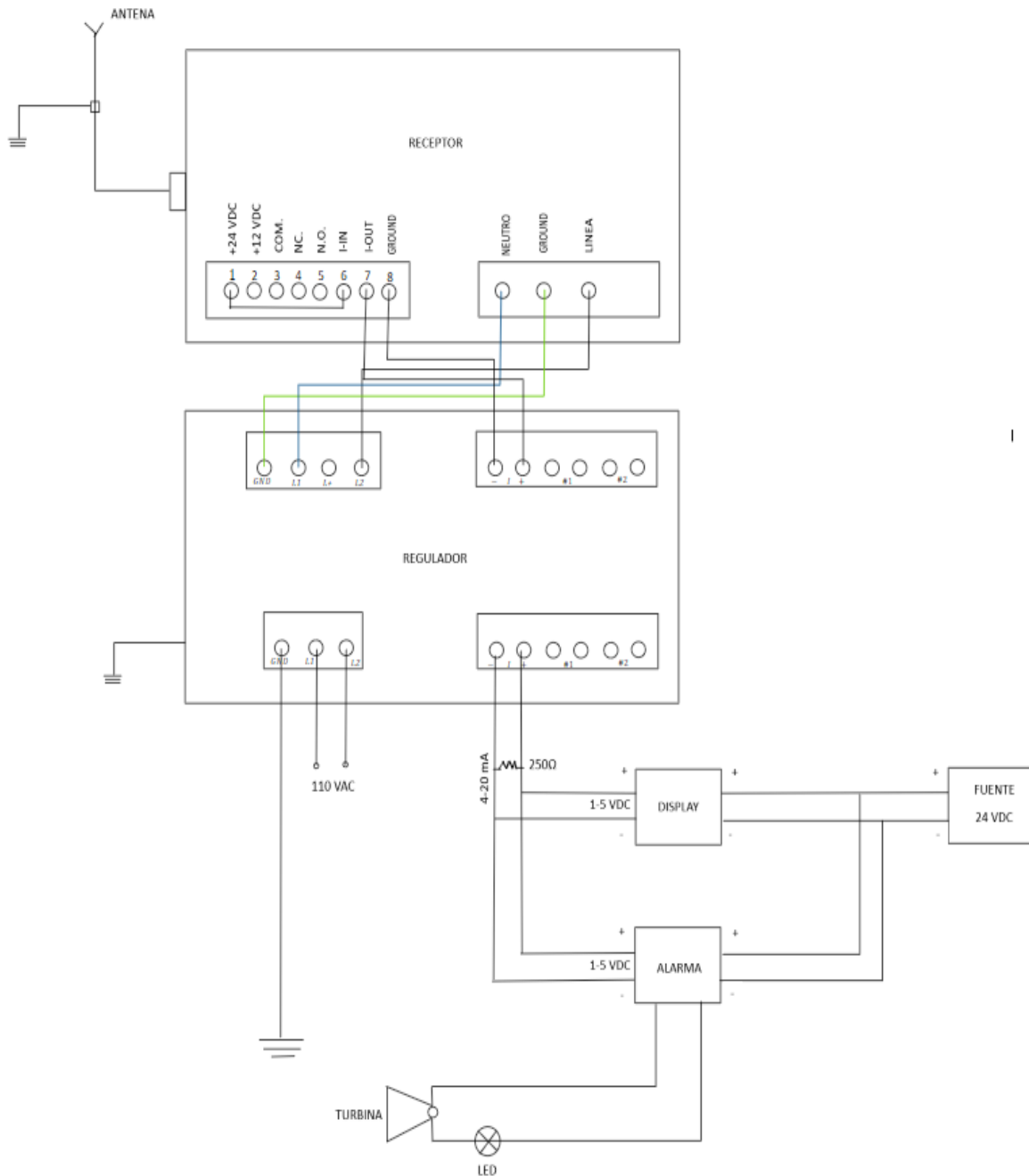
Nota. Los colores para identificar los conductores de la

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 17 son: Línea (negro), neutro (azul) y tierra (verde)

Figura 18.

Conexión del receptor



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Nota. Los colores para identificar los conductores de Figura 18 son: Línea (negro), neutro (azul) y tierra (verde)

Basados en estos esquemas se hizo la implementación en la central hidroeléctrica.

### 4.3. Implementación en la Central Hidroeléctrica

La primera problemática que se quiso cubrir fue el suministro de energía para alimentar al sensor ultrasónico, como se dijo anteriormente, se decidió el método de generación de energía por medio de un sistema fotovoltaico. Para este proyecto se adquirió tres paneles solares que se pueden apreciar en la Figura 19.

#### Figura 19.

*Paneles solares de la central hidroeléctrica Yeguas.*



Nota. Instalados con un ángulo acimutal de  $10^{\circ}$  para optimizar el rendimiento de los paneles

Los paneles que se ven en la Figura 19 son de la marca ZNSHINESOLAR modelo ZXM6-LD72-375/M. El modelo infiere que este panel tiene una potencia nominal de 375 vatios. En la Figura 20, se observa la placa de datos técnicos destacados de este panel.



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 20.**

*Placa de datos del panel*



Nota. Garantía de 12 años por defectos de fábrica, potencia garantizada 30 años

Como se pudo constatar en la Figura 12, el sistema fotovoltaico comprende otros componentes para lograr el objetivo de alimentar el sensor ultrasónico. En la Figura 21 se puede visualizar el cuarto de control construido para proteger los dispositivos que lo conforman.

**Figura 21.**

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Cuarto de control*



Nota. Como se ve en la Figura 21, en la parte superior del cuarto de control se encuentran ubicados los paneles solares

EL cuarto de control es contiguo al tanque de carga y dentro de él se encuentra elementos necesarios tales como: La batería, el inversor, cableado, entre otros. En la Figura 22, se puede detallar la parte interna del cuarto de control.

**Figura 22.**

*Interior del cuarto de control*



Nota. El dispositivo de color naranja es la batería que se usa para almacenar la energía y el dispositivo color negro es el inversor de voltaje

La energía proporciona una alimentación constante al sensor ultrasónico el cual fue instalado en la almenara. Como se puede detallar en la Figura 11 , la almenara es un tubo vertical abierto que contiene agua, el nivel del agua que contiene la almenara está a la

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

misma altura que el nivel en el tanque de carga. En la Figura 23 se puede apreciar la almenara perteneciente a la central hidroeléctrica Yeguas.

**Figura 23.**

*Almenara de la central hidroeléctrica Yeguas*



Nota. Para detalles sobre el dimensionamiento de la almenara, ver Figura 10

El sensor fue instalado en la almenara y no directamente en el tanque de carga, debido a que en el tanque la turbulencia generada por el canal de conducción provocaría errores de lectura. Al pasar el fluido a través de un cono de aducción en el inicio de la tubería principal (ver Figura 10) se reduce la turbulencia y al estar, la tubería principal conectada con la almenara, el fluido contenido allí contará con una turbulencia despreciable. La almenara al contener en su interior el mismo nivel de agua (distancia vertical) que el tanque de carga es ideal para la instalación del sensor, ya que, al reducirse la problemática de la turbulencia, los datos tomados tendrán una mayor precisión. En la Figura 24 se puede apreciar la instalación en la almenara del sensor ultrasónico seleccionado.

**Figura 24.**

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Sensor ultrasónico instalado*



Nota. El sensor traduce la distancia a la que se encuentra de la superficie líquida y la transforma en una señal eléctrica. Fuente:

El sensor envía una señal eléctrica que pasa por el regulador y luego por el transmisor el cual transforma mediante su circuito interno esta variable en una onda electromagnética. En la

**Figura 25**, se observa la tarjeta del transmisor seleccionado.

**Figura 25.**

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Tarjeta del transmisor*



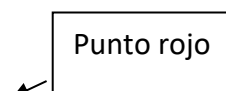
Nota. A la izquierda de la

**Figura 25** se aprecia el circuito contenido del transmisor. A la derecha, un acercamiento para ver detalles que no se pueden apreciar en la parte izquierda

El transmisor de la

**Figura 25** tiene conectada una antena marca PCTEL modelo BGYD890K que es una antena tipo Yagi, es apta para montajes en exteriores y posee un conector N hembra. Entre sus especificaciones eléctricas cuenta con una ganancia de 10 dB, un rango de frecuencia entre 890 y 960 MHz y una potencia máxima de 200 vatios. En la Figura 26, se puede observar la antena utilizada para la mejora.

**Figura 26.**





	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Antena del transmisor*



Nota. En la instalación, se debe tener en cuenta que el punto rojo que tiene la antena debe estar en la parte superior, con esto se garantiza un rendimiento adecuado de la antena. Tomado de (PCTEL, 2024)

La onda electromagnética viaja por el aire hasta llegar a casa de máquinas en donde la antena del receptor que es de la misma marca y referencia del de la Figura 26 la percibe y conduce hacia el receptor que la decodifica, filtra y convierte de nuevo en la señal eléctrica que envió el transmisor. En la Figura 27, se ve la antena y el receptor ubicado en casa de máquinas.

**Figura 27.**

*Antena y receptor de casa de máquinas*



Nota. Colocar la antena en la parte más alta de casa de máquinas ayuda a maximizar la calidad de la señal, reducir las interferencias y mejorar el rendimiento de la comunicación inalámbrica en general

Al pasar por el regulador y asegurar la estabilidad de la magnitud eléctrica, la señal llega al display y a la alarma como se pudo observar en la

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 18. El display muestra la información de manera visual, transformando la señal eléctrica en los datos del nivel de agua al que se encuentra el tanque de carga. Por su parte, la alarma se puede dividir en dos: un dispositivo visual (baliza) y otro acústico (sirena) que se activaran al percibir alguna anomalía con la señal recibida. En la Figura 28, se contempla la ubicación de la alarma y display en la casa de máquinas.

**Figura 28.**  
*Sistema de display y alarmas*



Nota. En la parte izquierda se detalla el display y la baliza ( alarma visual), el display deja ver que el tanque de carga está a 40 decímetros o 4 metros. En la parte derecha, se visualiza la alarma acustica que se encuentra en la parte superior del display y la baliza

Este es el conjunto de dispositivos y elementos que se implementaron en la central hidroeléctrica Yeguas para el mejoramiento en la eficiencia de la generación de energía eléctrica. A continuación, se detalló los umbrales con los que trabaja el sensor ultrasónico.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

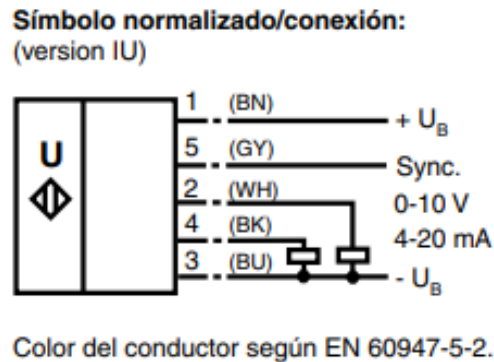
#### 4.4. Definición de Umbrales y Protocolos de Notificación

##### 4.4.1. Definición de Umbrales

El sensor escogido que se vio en la Figura 15 cuenta con dos salidas análogas, una salida de 4-20 mA y otra de 0-10 V. Trae su alimentación por los terminales 1 y 3 y un pin de sincronización en caso de querer colocar varios sensores ultrasónicos a la vez. En la Figura 29, se observa la distribución de los terminales.

**Figura 29.**

*Distribución de terminales*



Nota. Tomado de (PEPPERL+FUCHS, 2022)

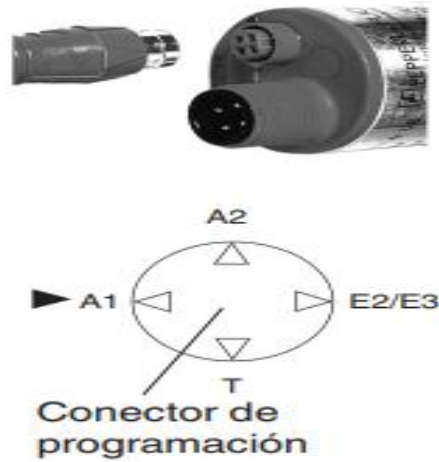
El sensor cuenta con un conector, el cual es la herramienta fundamental para configurar los rangos mínimo, máximo y el modo de operación de trabajo. En la Figura 30, el manual de fabricante señala los parámetros que son configurados.

**Figura 30.**



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Conector de configuración del sensor*



Nota. La posición A1 es para configurar el rango mínimo, A2 el rango máximo, E2/E3 el método de operación (Ascendente o descendente), como se puede ver el parámetro que este junto a la flecha negra, es el parámetro que será configurado. Tomado de (PEPPERL+FUCHS, 2022)

Para definir los umbrales, lo primero que se hace es des energizar el sensor con el conector unido, luego, se quita el conector y se vuelve a energizar el sensor. En ese instante el dispositivo entra en modo configuración. En la Figura 31, se puede visualizar el modo configuración del sensor.

**Figura 31.**

*Modo configuración del sensor*



Nota. Al entrar en modo configuración el led que se encuentra ubicado en la mitad del sensor se caracteriza por ser de color rojo. Los leds de lado izquierdo y derecho son los leds pertenecientes al rango mínimo y máximo respectivamente

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Después de entrar a configuración se vuelve a utilizar el conector y se une con el sensor en la posición que se quiera configurar. En la Figura 32, se ve el procedimiento ocurrido durante una configuración.

**Figura 32.**

*Configuración de parámetros*



Nota. En la parte izquierda, se ubica el sensor a la distancia correspondiente y se determina el rango que se quiere configurar. Luego se une y como se ve en la parte derecha, el led correspondiente al parámetro configurado parpadeará reiteradas veces en color verde, siendo está la señal de que la configuración se guardó

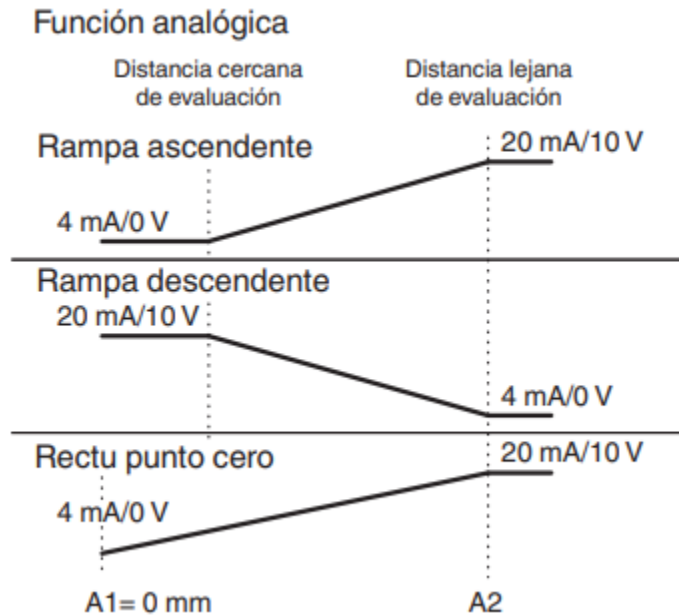
El procedimiento de configuración de la Figura 32 es el proceso que se utiliza para cada uno de los parámetros.

La central hidroeléctrica, decidió que el valor máximo del nivel de agua debe ser de 4 metros con respecto a la base del tanque de carga y el valor mínimo de 2,6 m. La almenara está a la misma altura del tanque (4,12 m) y contendrá al sensor ultrasónico en su parte superior. Por lo cual, la distancia mínima medida será 0,12 m y la máxima 1,52 m. Respecto al modo de operación del sensor, se programó que la salida analógica sea en rampa ascendente, donde el valor mínimo tendrá un valor de 4 mA y el máximo de 20 mA. En la Figura 33, se explica de mejor manera la salida analógica escogida.

**Figura 33.**

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Programación de la salida analógica*



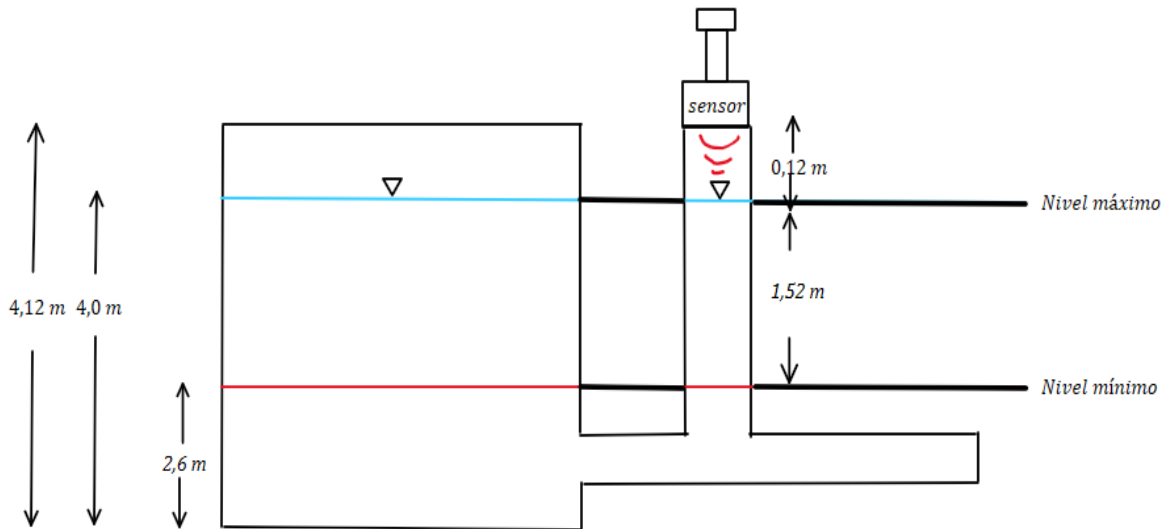
Nota. Para la salida tipo rampa ascendente, el rango mínimo (A1) toma el valor de 4 mA y el rango máximo (A2) el de 20 mA. Tomado de (PEPPERL+FUCHS, 2022)

Para tener una mayor claridad sobre lo que se dijo anteriormente, en la Figura 34 se observan las dimensiones a tener en cuenta en esta investigación.

**Figura 34.**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Distancia máxima y mínima que mide el sensor*



Nota. El nivel mínimo debe estar por encima de la tubería principal, ya que no puede ingresar aire al sistema de conducción a casa de máquinas, efectos como golpe de ariete y disminución de la eficiencia son consecuencias de aire en las tuberías

Por lo tanto, la señal aumenta de intensidad al disminuir el nivel del agua en el tanque de carga. En la Tabla 4, se encuentra la relación de como varía la señal con respecto al nivel del tanque (medido desde la perspectiva del sensor ultrasónico)

**Tabla 4.**  
*Relación entre la señal de salida y la distancia medida*

Distancia [m]	Señal [mA]
0,12	4
0,2075	5
0,295	6
0,3825	7
0,47	8
0,5575	9
0,645	10
0,7325	11
0,82	12
0,9075	13
0,995	14
1,0825	15

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Distancia [m]	Señal [mA]
1,17	16
1,2575	17
1,345	18
1,4325	19
1,52	20

Nota. En casa de máquinas, la información visual que se plasma en el display es la medición desde la base del tanque hasta donde se encuentra el nivel de agua. Es decir, la diferencia entre la altura total del tanque (4,12 m) y los datos suministrados en la Tabla 4

Considerando esto que se acabó de decir en la nota anterior, en la Tabla 5 se pueden ver los valores que se interpretan en casa de máquinas para una señal enviada desde el tanque de carga.

**Tabla 5.**  
*Niveles interpretados en casa de máquinas*

Distancia [m]	Señal [mA]
4	4
3,9125	5
3,825	6
3,7375	7
3,65	8
3,5625	9
3,475	10
3,3875	11
3,3	12
3,2125	13
3,125	14
3,0375	15
2,95	16
2,8625	17
2,775	18
2,6875	19
2,6	20

Nota. El display tiene una precisión de 0,1 por lo cual redondea y aproxima al valor más cercano los datos entregados por la señal

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

#### 4.4.2. Protocolos de Notificación

Como se pudo observar en la Figura 28, la mejora cuenta con sistema de alarma compuestos por una alarma visual y otra acústica. Cuando el nivel del agua supera los 4 metros el exceso de agua es conducido al aliviadero que retorna sus aguas a la quebrada Yeguas. Sin embargo, cuando el nivel del agua es inferior al mínimo establecido, las alarmas tanto visual como acústica se activan, avisando de esta forma al operario que debe reducir el caudal de los inyectores de las turbinas hasta que llegue a niveles aceptables. En la Figura 35, se aprecia el momento en donde el nivel del agua es inferior al estipulado.

**Figura 35.**

*Sistema de alarmas en funcionamiento*



Nota. Se evidencia que el nivel del tanque es inferior a 2,6 m. Inmediatamente se activa la baliza de un color rojo y la sirena de 100 dB. El operario encargado debe controlar el flujo de entrada a la turbina para que el nivel del tanque de carga vuelva a los rangos establecidos para el sensor ultrasónico

#### 4.5. Evaluación del Sistema y Propuesta de Mejoras

##### 4.5.1. Evaluación del Sistema

En la Figura 3 se analizó como los tiempos en el que se demora el tanque para llegar a su nivel máximo y poder generar una potencia nominal de 7000 kWh afecta la generación de energía. Esto se debe a que para volver a tener el tanque al tope máximo se debe reducir el flujo que es conducido a las turbinas, produciendo pérdidas en la eficiencia. La causa

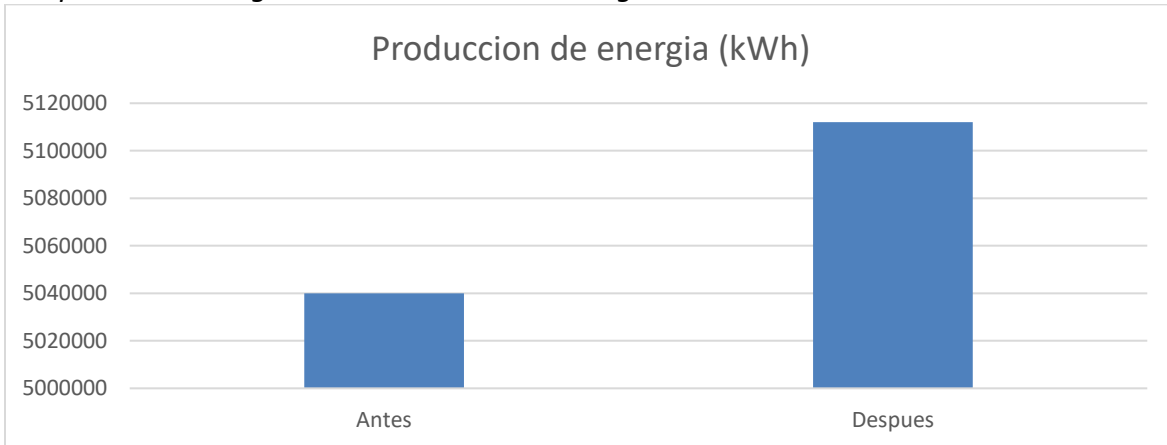
	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

principal de los bajos niveles en el tanque es que al ser la quebrada Yeguas fuente principal de proyectos hidroeléctricos, las pequeñas y medianas centrales de generación de energía que aprovechan sus aguas, al tener problemas de infraestructura afectan el curso de la quebrada aguas arriba por minutos u horas. Estas anomalías afectan directamente a la central hidroeléctrica Yeguas, ya que debido a estas irregularidades el caudal de la quebrada disminuye. Con la implementación del sistema de control en el tanque de carga, ya no es necesario que el tanque se llene al máximo para evitar que la tubería principal se exponga a la entrada de aire por su conducto, la información del nivel del tanque de carga que se puede monitorear en tiempo real a través del display en casa de máquinas, da confiabilidad al proceso de generación de energía eléctrica.

Datos suministrados por reportes de la central hidroeléctrica, notaron un aumento de la producción en promedio de 100 kWh. En la Figura 36, se hizo una comparación en la producción mensual de energía antes y después de la implementación.

**Figura 36.**

*Comparación en la generación mensual de energía*



Nota. Antes de la implementación, la producción mensual de energía en casa de máquinas en promedio era 5040000 kWh. Actualmente, es de 5112000 kWh

El porcentaje de mejora en la producción de energía que se observó en la Figura 36 se puede definir mediante la siguiente ecuación.

$$\%mejora = \frac{\text{nuevo valor} - \text{valor original}}{\text{valor original}} * 100$$

$$\%mejora = \left( \frac{5112000 - 5040000}{5040000} \right) * 100$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$\%mejora = 1,43$$

El resultado muestra un aumento en la producción mensual de energía de 72000 kWh, lo que se traduce en un aumento en la eficiencia de 1,43% en promedio.

#### 4.5.2. Propuesta de Mejoras

La problemática principal que impide una mayor productividad de la central hidroeléctrica es las fallas en la infraestructura de las PCH que se encuentran aguas arriba de la quebrada. Una sugerencia que se propone es la reunión de todas las centrales hidroeléctricas que comprenda la quebrada Yeguas para establecer un cronograma regular de reuniones, crear un comité de colaboración, implementar un sistema de intercambio de mejores prácticas, fomentar la cooperación en proyectos de infraestructura compartida, involucrar a las autoridades locales y la comunidad, y evaluar el impacto ambiental y social de las mejoras. Con esto no solo se busca el aumento en la eficiencia de la central hidroeléctrica Yeguas, también se busca una alianza entre las distintas PCH que puedan aportar al desarrollo económico del municipio de Abejorral.

Con respecto a la implementación es importante la calibración del sensor ultrasónico, por lo que se aconseja establecer un programa de calibración regular para el sensor a fin de garantizar mediciones precisas y confiables del nivel de agua en el tanque. La calibración periódica ayuda a mantener la exactitud de los sensores a lo largo del tiempo y a minimizar posibles errores de medición. También, al estar el sensor a la intemperie y en un lugar remoto la instalación de sistemas automáticos de limpieza podría evitar la acumulación de suciedad, residuos o incrustaciones que puedan afectar su rendimiento y precisión. La limpieza regular de los sensores influye en una mejor funcionalidad y prolongar su vida útil.



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Al desarrollar el sistema de monitoreo de nivel para el tanque de carga en la central hidroeléctrica Yeguas utilizando sensores ultrasónicos, se ha dado un paso importante hacia la mejora de la eficiencia en la generación eléctrica, el porcentaje de mejora mensual de la implementación propuesta es de 1,43%. El sensor ultrasónico seleccionado (UC6000-30GM-IUR2-V15) ha proporcionado una herramienta invaluable para la detección temprana de posibles problemas relacionados con el nivel de agua en el tanque de carga, lo que permite una respuesta rápida y eficaz para evitar interrupciones en la operación y maximizar la producción de energía.

El análisis inicial realizado es crucial para identificar los puntos críticos que requieren intervención, determinar la ubicación óptima para la instalación del sensor ultrasónico y establecer los parámetros de operación clave que deben ser supervisados. Al comprender completamente el contexto y las necesidades técnicas del proyecto, se sienta una base sólida para el diseño e implementación efectiva del sistema de monitoreo de nivel para el tanque de carga en la hidroeléctrica. Esto garantiza que el sistema desarrollado sea adecuado, confiable y capaz de proporcionar alertas tempranas que contribuyan a mejorar la eficiencia de la generación eléctrica.

El diseño propuesto ha sido cuidadosamente elaborado, considerando una variedad de componentes y criterios técnicos. La selección del sensor ultrasónico UC6000-30GM-IUR2-V15 de Pepperl+Fuchs y del módulo de comunicación inalámbrica DX80K9M6-PM2 de Banner Engineering se basó en características como precisión, alcance, robustez y facilidad de integración, lo que asegura una solución confiable y duradera para las necesidades específicas de monitoreo de la central hidroeléctrica. Además, la conexión de los componentes, la transmisión de la señal entre el sensor en el tanque de carga y el receptor en la casa de máquinas, así como la implementación de medidas de seguridad y alarma, garantizan una supervisión efectiva y oportuna del nivel de agua, permitiendo una respuesta rápida ante posibles situaciones de emergencia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La implementación del sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica Yeguas representa un avance crucial hacia la mejora de la eficiencia en la generación de energía eléctrica. Mediante el uso de paneles solares para alimentar el sensor ultrasónico y una cuidadosa selección de componentes, incluyendo el sensor mismo, el transmisor, la antena y dispositivos de alarma, se asegura una supervisión precisa del nivel de agua en los tanques de carga. La ubicación estratégica del sensor en la almenara, junto con la comunicación inalámbrica entre el sensor y la casa de máquinas, garantiza lecturas confiables y una respuesta rápida ante cualquier anomalía detectada, demostrando un compromiso con la innovación y la eficiencia operativa en la planta hidroeléctrica.

La definición precisa de umbrales para el sensor ultrasónico establece un nivel máximo de agua de 4 metros y un mínimo de 2,6 metros, junto con la implementación de protocolos de notificación mediante alarmas visuales y acústicas, asegura un monitoreo efectivo y una respuesta inmediata ante cualquier desviación en los niveles de agua. Esta configuración, que incluye una señal analógica tipo rampa ascendente, permite una gestión óptima del sistema hidroeléctrico, garantizando la seguridad operativa y maximizando la eficiencia en la generación de energía eléctrica.

La implementación del sistema de control en el tanque de carga de la Central Hidroeléctrica Yeguas ha demostrado ser efectiva en la mejora de la eficiencia operativa y la generación de energía eléctrica. Gracias a la monitorización en tiempo real del nivel de agua, se ha logrado optimizar el flujo de agua hacia las turbinas, evitando pérdidas de eficiencia y aumentando la producción de energía.

Se recomienda llevar a cabo una exhaustiva evaluación financiera para determinar la rentabilidad de la implementación del sistema. Esta evaluación permitirá analizar detalladamente el retorno de la inversión en relación con el porcentaje de mejora observado en la producción de energía. Al examinar los costos asociados con la instalación, calibración y mantenimiento del sistema en comparación con los beneficios derivados del aumento en la eficiencia operativa, se podrá tomar una decisión fundamentada sobre la viabilidad financiera de la implementación. Además, esta evaluación financiera proporcionará una visión clara de los posibles ahorros a largo plazo y ayudará a determinar si se justifica continuar con el proyecto.

En un trabajo a futuro, sería conveniente integrar pronósticos meteorológicos al sistema podría permitir ajustes proactivos en la operación de las turbinas frente a variaciones en la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

disponibilidad de agua, optimizando aún más la gestión de recursos hídricos y el rendimiento del sistema de generación de energía. Esta dirección para trabajos futuros subraya la importancia de la adaptabilidad y la anticipación en la gestión de la generación hidroeléctrica.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## REFERENCIAS

---

- Google Earth. (2024). *Google Earth*. Retrieved from <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Universidad de los Andes. (2023, septiembre 21). *Domina La Metodología de La Investigación: Claves Para El Éxito*. Retrieved from <https://programas.uniandes.edu.co/blog/metodologia-de-la-investigacion>
- Bookdown. (2024). *Introducción a la automatización industrial*. Retrieved from [https://bookdown.org/alberto\\_brunete/intro\\_automatica/](https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/)
- Comisión económica para América Latina y el Caribe. (2021, noviembre 10). *Introducción a los sistemas de monitoreo y evaluación*. Retrieved from [https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/introduccion\\_sistemas\\_monitoreo\\_y\\_evaluacion.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/introduccion_sistemas_monitoreo_y_evaluacion.pdf)
- DirectIndustry. (2018). *Qué sensor de nivel elegir*. Retrieved from <https://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-nivel-elegir/>
- Domínguez, E., & Logroño, D. (2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO Y MONITOREO DEL NIVEL DEL EMBALSE EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN*. Quito - Ecuador: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Endesa. (2020). *Endesa*. Retrieved from <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/centrales-renovables/central-hidroelectrica>
- Enel. (2021). *Enelgreenpower*. Retrieved from <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/ventajas>
- Física Moderna. (2014). *Física Moderna*. Retrieved from <https://fisicamoderna8.wordpress.com/>
- glf. (2022). *Grupo Luz y Fuerza Colombia*. Retrieved from <https://glf.com.co/>
- GLFC S.A.S. (2023, Julio 20). *Emis*. Retrieved from [https://www.emis.com/php/company-profile/CO/Grupo\\_Luz\\_y\\_Fuerza\\_Colombia\\_SAS\\_es\\_8191485.html](https://www.emis.com/php/company-profile/CO/Grupo_Luz_y_Fuerza_Colombia_SAS_es_8191485.html)
- GM Colombian Hydro. (2018). *Proyectos Hidroeléctricos*. Retrieved November 23, 2023, from <https://www.colombianhydro.com/es/proyectos>
- Gómez, G., & Méndez, G. (2011). *PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA*. Ocaña - Colombia: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Iberdrola. (2021). *Iberdrola*. Retrieved from <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-hidroelectrica>
- Loaiza, J. (2021). *Proyecto hidroeléctrico para el municipio de Abejorral*. Abejorral - Colombia: Generadora La Cascada S.A.S.
- Magnetrol. (2023, Abril 24). *Control de Nivel*. Retrieved from <https://www.magnetrol.com/es/productos/control-de-nivel>
- Malásquez, D. (2018). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO ELÉCTRICO Y FLUVIAL BASADO EN TECNOLOGÍA GSM PARA UNA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA*. Lima - Perú: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Mecafenix. (2023). *Ingeniería Mecafenix*. Retrieved from <https://www.ingmecafenix.com/>
- MEDITECNA. (2022, febrero 26). *Sensormanía*. Retrieved from <https://sensormanía.org/sensor-de-nivel>
- Meza, E. (2019). *SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE NIVEL DE AGUA EN LA CÁMARA DE CARGA BASADO EN LA LÓGICA DIFUSA PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU*. Cusco - Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.
- MOUSER ELECTRONICS. (2023, Noviembre 16). *MOUSER ELECTRONICS*. Retrieved from <https://co.mouser.com/datasheet/2/1437/182639-3107867.pdf>
- Muhamad, A., Othman, S., Inzarulfaisham, R., Muhammad, Q., & Mohammad, Z. (2021). *Sistema automático de irrigación y drenado de agua para cultivo de arroz en Malasia*. Malasia.
- PCTEL. (2024). *PCTEL*. Retrieved from <https://d3dqzy9ky05fbv.cloudfront.net/wp-content/uploads/2020/06/BGYD-Series.pdf>
- PEPPERL+FUCHS. (2022). *PEPPERL+FUCHS*. Retrieved from [https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid\\_186.htm?view=productdetails&prodid=4223](https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_186.htm?view=productdetails&prodid=4223)
- Portillo, M. P., Pérez, V. H., & Rodríguez, J. d. (2022). Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 17.
- Sanchis, R., Poler, R., Mula, J., & Piedro, D. (2010). Análisis del Impacto del Mantenimiento Productivo Total en la Fabricación de alto rendimiento. *Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción*, 10.
- SIB. (2019, Septiembre 12). *PH YEGUAS (ABEJORRAL)*. Retrieved from [https://ipt.biodiversidad.co/cr-sib/resource.do?r=112-3276\\_yeguas\\_130821](https://ipt.biodiversidad.co/cr-sib/resource.do?r=112-3276_yeguas_130821)
- Solé, A. C. (2011). *Instrumentación industrial*. Mexico D.F.: Alfaomega.
- SUHISSA. (2018, 12 27). *SUHISSA*. Retrieved from <https://suhissa.com.mx/sistemas-de-monitoreo-tecnologia-clave-para-la-optimizacion-de-recursos%E2%82%AC%80/>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Toledo, D. (2016). *Diseño de un sistema de achique para las excedencias del estopero del escudo inferior de la turbina Tipo Francis, con 180 Megawatts de potencia de generación de la Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez*. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ.
- Valdivielso, A. (2018). *iagua*. Retrieved from <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-y-como-funciona-central-hidroelectrica>
- Valle, J. (2013). *Dimensionamiento del Tanque de Carga, Tubería de Presión, Casa de Máquinas y la descarga para la micro central hidroeléctrica en la estación científica amazónica JURI KAWSAY de la Universidad Central del Ecuador*. Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Van Atteveldt, N., Tijmsa, G., Janssen, T., & Kupper, F. (2019). Responsible Research and Innovation as a Novel Approach to Guide Educational Impact of Mind, Brain, and Education Research. *Wiley*, 15-20. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/mbe.12213>
- Vargas, J. P., & Navia, G. (2015). DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA CAPTURA Y MEDICIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA Y CURVA CARACTERÍSTICA I-V EN TIEMPO REAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZANDO LABVIEW® Y ARDUINO. *Scielo*, 16.
- Vargas, J., López, J., & Conde, L. (2015). *Sistema de instrumentación y Control para Tanques de Almacenamiento de Agua Potable*. *Ingeniare*. Retrieved from <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.17.563>
- Villalba, J. (2021). *MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO NSAE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO*. Ambato - Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES	javier villacob
	Jhon Jaramillo
	<i>Robinson L</i>
FIRMA ASESORES	<i>A J T</i>
	<i>Henry</i>
FECHA ENTREGA: 04/06/2024	