

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): DIEGO ALEXIS APELLIDOS: INFANTE MARIÑO

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): GLORIA ESMERALDA APELLIDOS: SANDOVAL MARTÍNEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOSUSTENTABLE PARA OXIGENACIÓN DE ESTANQUES UTILIZADOS EN PISCICULTURA.

Este trabajo pretende realizar el diseño de un sistema autosustentable para oxigenación de estanques utilizados en piscicultura, mediante un sistema fotovoltaico, que permita al productor estar al tanto de las variables del proceso; por esto el diseño se limita hasta el cálculo de paneles solares para la carga instalada, en donde el mayor consumo es el motor y elementos del sistema de aireación. La variable más importante a controlar es el oxígeno del estanque y el actuador, se seleccionó una estrategia de control con histéresis ya que con esta se evita el encendido y apagado constante logrando a alargar la vida útil del motor y los altos picos de consumo energético para arrancar el motor. Se concluye que, al momento del cultivo piscícola es muy importante conocer los parámetros correctos de las variables físico químicas del estanque para un correcto crecimiento y desarrollo de los peces. Así mismo, la implementación de un sistema SCADA junto con un sistema de memoria interna brinda la seguridad necesaria para que el operario realice otras actividades, si este sistema falla, el sistema almacenamiento interno del microcontrolador EEPROM permite la continuidad del proceso al tener almacenado las variables del set Point de cada variable de proceso.

PALABRAS CLAVES: Sistema autosostenible, piscicultura, oxigenación, estanques.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 98 PLANOS: _____ ILUSTRACIONES: _____ CD ROOM: _____

*Copia No controlada**

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOSUSTENTABLE PARA OXIGENACIÓN DE
ESTANQUES UTILIZADOS EN PISCICULTURA

DIEGO ALEXIS INFANTE MARÍÑO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA ELECTROMECHANICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOSUSTENTABLE PARA OXIGENACIÓN DE
ESTANQUES UTILIZADOS EN PISCICULTURA

DIEGO ALEXIS INFANTE MARIÑO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Electromecánico

Director(a)

GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTÍNEZ

Esp. En Gerencia de Recursos Energéticos

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO
MODALIDAD TRABAJO DIRIGIDO**

FECHA: 16 de septiembre de 2021

HORA: 05:00 P.M

LUGAR: Sustentación Virtual

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO: "DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOSUSTENTABLE PARA OXIGENACIÓN DE ESTANQUES UTILIZADOS EN PISCICULTURA."

JURADOS: PhD: JOHNNY OMAR MEDINA DURAN

PhD: JAIME ANTONIO GONZÁLEZ CASTELLANOS

DIRECTOR MsC: GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ

APROBADA

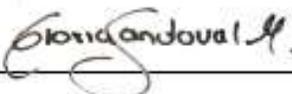
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACION
DIEGO ALEXIS INFANTE MARÍÑO	1091042	4.4

FIRMA DE LOS JURADOS:





VOBO. COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR



Mayerline Ch.

Resumen

Este trabajo pretende realizar el diseño de un sistema autosustentable para oxigenación de estanques utilizados en piscicultura, mediante un sistema fotovoltaico, que permita al productor estar al tanto de las variables del proceso; por esto el diseño se limita hasta el cálculo de paneles solares para la carga instalada, en donde el mayor consumo es el motor y elementos del sistema de aireación. La variable más importante a controlar es el oxígeno del estanque y el actuador, se seleccionó una estrategia de control con histéresis ya que con esta se evita el encendido y apagado constante logrando a alargar la vida útil del motor y los altos picos de consumo energético para arrancar el motor. Se concluye que, al momento del cultivo piscícola es muy importante conocer los parámetros correctos de las variables físico químicas del estanque para un correcto crecimiento y desarrollo de los peces. Así mismo, la implementación de un sistema SCADA junto con un sistema de memoria interna brinda la seguridad necesaria para que el operario realice otras actividades, si este sistema falla, el sistema almacenamiento interno del microcontrolador EEPROM permite la continuidad del proceso al tener almacenado las variables del set Point de cada variable de proceso.

Palabras claves: Sistema autosostenible, piscicultura, oxigenación, estanques.

Abstract

This work aims to design a self-sustainable system for oxygenation of ponds used in fish farming, using a photovoltaic system, which allows the producer to be aware of the variables of the process; for this reason the design is limited to the calculation of solar panels for the installed load, where the greatest consumption is the motor and elements of the aeration system. The most important variable to control is the oxygen in the tank and the actuator, a control strategy with hysteresis was selected as this avoids constant switching on and off, thus extending the life of the motor and the high peaks of energy consumption to start the motor. It is concluded that, at the time of fish farming, it is very important to know the correct parameters of the physical and chemical variables of the pond for the correct growth and development of the fish. Likewise, the implementation of a SCADA system together with an internal memory system provides the necessary security for the operator to carry out other activities. If this system fails, the internal storage system of the EEPROM microcontroller allows the continuity of the process by storing the set point variables of each process variable.

Keywords: Self-sustainable system, fish farming, oxygenation, ponds.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Problema	15
1.1 Título	15
1.2 Planteamiento del problema	15
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 Formulación del problema	18
1.5 Justificación	18
2. Referentes Teóricos	21
2.1 Antecedentes	21
2.2 Marco teórico	22
2.2.1 Radiación solar en Colombia	22
2.2.2 Principios de la energía fotovoltaica	23
2.2.3 Tipos de baterías	26
2.2.4 Inversores solares fotovoltaicos	26
2.2.5 Regulador de carga solar	27
2.2.6 Sistema aislado OFF GRID).	28

2.2.7 El Aireado	29
2.3 Marco legal	31
3. Metodología	33
3.1 Tipo de investigación	33
3.2 Universo de investigación	34
4. Resultados	35
4.1 Recopilación de información	35
4.1.1 Caracterización del cultivo	35
4.1.2 Aireadores usados en la piscicultura	37
4.1.3 Selección de componentes	38
4.2 Radiación solar	45
4.2.1 Incidencia solar	45
4.2.2 Horas solar pico	46
4.3 Estudio de cargas	46
4.3.1 Criterios para el diseño	48
4.3.2 Módulos fotovoltaicos	48
4.3.3 Controlador	50
4.3.4 Inversor	51
4.3.5 Baterías	52
4.3.6 Cálculo conductores y protecciones	54

4.3.7 Estructura para paneles	58
4.4 Estrategia de control	60
4.4.1 Diseño del algoritmo de programación	60
4.4.2 SCADA	61
4.4.3 Lógica de control	74
4.4.4 Sistema de control eléctrico	78
4.4.5 Costos del proyecto	82
4.5 Validación de parámetros	84
4.5.1 Validación del sistema de control	84
5. Conclusiones	92
6. Recomendaciones	94
Referencias Bibliográficas	95

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Características técnicas	36
Tabla 2. Matriz de pugh selección de aireador	39
Tabla 3. Matriz de pugh para selección de la tarjeta de adquisición de datos	41
Tabla 4. Matriz de pugh para selección de los sensores de temperatura y pH	43
Tabla 5. Matriz de pugh para sensores de voltaje y corriente	45
Tabla 6. Cuadro de cargas	47
Tabla 7. Calibre de conductores según el tramo del sistema fotovoltaico	57
Tabla 8. Perfiles para la construcción de la estructura	59
Tabla 9. Elementos para el sistema de control eléctrico para el aireador	80
Tabla 10. Costos para el sistema electrónico	82
Tabla 11. Costos para el sistema fotovoltaico	83
Tabla 12. Costos para el sistema de control eléctrico del aireador	83
Tabla13. Distribución entradas/salidas del arduino	85

Lista de Cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Cuadro comparativo de aireadores	38
Cuadro 2. Cuadro comparativo dispositivos para adquisición de datos	40
Cuadro 3. Cuadro comparativo de sensores de temperatura y pH del agua	42
Cuadro 4. Comparativa sensores de Voltaje y Corriente	44

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Radiación en el departamento norte de Santander	23
Figura 2. Montaje de una unidad de sistema Fv	24
Figura 3. Inversor fotovoltaico	27
Figura 4. Controlador de carga solar	28
Figura 5. Sistema OFF GRID	29
Figura 6. Aireadores de rueda de paletas, para acuicultura	29
Figura 7. Oxígeno Partes por millón (ppm)	30
Figura 8. Sensor de Oxígeno disuelto en el agua	30
Figura 9. Ejemplos de aireadores	37
Figura 10. Sensor de Oxígeno disuelto en el agua	42
Figura 11. Radiación en el departamento Norte de Santander	45
Figura 12. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado	47
Figura 13. Especificaciones eléctricas del panel solar	49
Figura 14. Especificaciones técnicas del controlador de carga	50
Figura 15. Especificaciones técnicas del inversor de voltaje	51
Figura 16. Especificaciones técnicas de la batería	53
Figura 17. Perdidas admisibles de voltaje del sistema fotovoltaico	54
Figura 18. Calibre en mm ² para conductores de la marca CENTELSA	55
Figura 19. Sistema fotovoltaico diseñada para el proyecto	57
Figura 20. Arreglo de paneles solares software SolidWorks	58
Figura 21. Paneles solares software SolidWorks	58

Figura 22. Estructura para los paneles solares software SolidWorks	59
Figura 23. Oxigenador y paneles fotovoltaicos software SolidWorks	60
Figura 24. Programación en el IDE de Arduino	61
Figura 25. Pantalla de inicio SCADA	62
Figura 26. Pantalla sensores	64
Figura 27. Supervisión del sistema fotovoltaico	67
Figura 28. Pantalla de SetPoints	68
Figura 29. Visualización Datalogger	71
Figura 30. Pantalla de información	72
Figura 31. Lógica de control	74
Figura 32. Diagrama general de todo el proceso de control	77
Figura 33. Factor de corrección de capacidad de transporte de corriente	79
Figura 34. Diagrama de control eléctrico para el aireador y alarmas	81
Figura 35. Diagrama unifilar del proyecto	82
Figura 36. Esquema para la simulación en el software de Proteus	85
Figura 37. Configuración de setpoints en el SCADA	86

Introducción

Las energías renovables son recursos provenientes de fuentes naturales virtualmente inagotables, que ayudan a favorecer el desarrollo de nuevas tecnologías y la creación de empleo. Además, de su disponibilidad para la captación en la generación de energía eléctrica, al mismo tiempo, tienen la capacidad de regenerarse sin la intervención del hombre, también su gran potencial, debido al impacto positivo al cuidado del medio ambiente. Es por ello, que la energía solar hace parte de estas, al transformar la radiación electromagnética procedente del sol, ya sea para producir energía eléctrica o térmica. Ahora bien, la producción de electricidad mediante la energía solar fotovoltaica, se presenta como una gran oportunidad, para el diseño de un sistema auto sostenible de oxigenación de estanques utilizados en piscicultura donde se implementa el cultivo de mojarra roja, por un lado, estando apartados o con acceso a la energía eléctrica convencional. La característica principal de este tipo de proyecto, es la implementación de nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente, fortaleciendo a los habitantes del municipio del Zulia, realizar explotaciones agropecuarias ecológicas, mediante el uso eficiente de las energías renovables.

Se plantea entonces el problema, de un diseño de un sistema autosustentable en la piscicultura, mediante un sistema fotovoltaico, que permita al productor estar al tanto de las variables del proceso; por esto el diseño se limita hasta el cálculo de paneles solares para la carga instalada, en donde el mayor consumo es el motor y elementos del sistema de aireación, como se manifiesta en las fases de desarrollo de este, teniendo en cuenta, además que el acuicultor debe de tener presente otras variables como la calidad del pH del agua, el plan de alimentación, entre otros.

1. Problema

1.1 Título

Diseño de un sistema autosustentable para oxigenación de estanques utilizados en piscicultura.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad los recursos naturales son la fuente de desarrollo a nivel global, en cuanto a generación de energía, mediante el uso de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas; cuyos efectos al ser utilizados por el hombre generan emisiones de CO₂, que, a su vez proporciona a la procreación de problemas medioambientales y el calentamiento global.

Situación que, de no ser mitigada, está colocando en riesgo la existencia o la calidad de vida de los seres vivos que habitan en el planeta.

En relación con este tema de la generación de energía tradicional, se presenta la oportunidad de la explotación de fuentes no convencionales de energía, tales como, la fotovoltaica, eólica, entre otras. Es por ello, que investigadores e ingenieros se han dado la tarea de innovar en el avance de nuevas tecnologías, que permitan la fácil captación y sustentación de éstas. Ahora bien, se entiende que éstas se encuentra presentes en el ambiente, inagotables y de auto regeneración sin intervención del ser humano; se debe enfrentar el reto de hacer de éstas lo más eficientes, ya se ha en la generación y conversión de energía, de la misma manera de reducir el consumo en vatios-hora de las cargas.

En función de lo planteado, Colombia se ha incursionado en la promoción del uso de estas tecnologías, que permitan la explotación de las fuentes de energías no convencionales, como una

solución no solo a problemas medioambientales, sino también como una propuesta para aquellos 2,5 millones de habitantes, que se encuentran desconectados de la red de distribución nacional, poder acceder de una manera aislada a la energía eléctrica y crear desarrollo en sectores como el educativo, salud, campo, servicios públicos e industrial. Visto de esta forma, se presenta como objeto de investigación la vereda astilleros del municipio del Zulia, lugar donde se delimitará dicho anteproyecto.

En esta zona rural se encuentra prácticas de piscicultura de una forma artesanal, que han venido con el transcurso de generaciones de moradores, que cuentan con las tierras y recursos naturales para su explotación; pero debido a problemas de mayor conocimiento técnico o profesional, no se realizan de forma supe intensiva o de gran escala a niveles de alta producción, en su gran mayoría, resultando ser un limitante en generación de empleo y economía del municipio.

De esta manera, el acuicultor de la zona se dedica a la cría de especies de cachama en estanques de 1000m², en dónde se puede identificar problemas como la mortalidad y bajo crecimiento de los peces, debido a un mal manejo de las variables de cultivo, como lo es la oxigenación del habitat de producción. Visto de esta forma, se ve la necesidad del uso de nuevas alternativas innovadoras, como el uso de mecanismos de aireación electromecánicos, en este caso de tipo paleta o aspas. Pero, en segundo lugar, se evidencia que en algunas producciones no se cuenta con energía eléctrica para alimentar elementos electromecánicos, por consiguiente, se hace necesario la utilización de un método de generación de energía aislado, y debido al gran potencial de captación de luz solar de la zona, lo ideal sería utilizar una planta fotovoltaica.

Cabe resaltar que, en explotaciones súper intensivas de piscicultura en la zona, de una manera profesional se han visto frustrados, ante el mal uso de los aireadores que saturan el oxígeno en los estanques, ocasionando baja productividad. Resultando claro, que esto se debe a la falta instrumentos de medida y la existencia de un plan automático, que permita oxigenar de una manera eficiente el habitat de cultivo y también la reducción de consumo de energía en las instalaciones.

En relación a la problemática expuesta, este trabajo propondrá un diseño de un sistema autosustentable de oxigenación del agua en estanques utilizados en la piscicultura, mediante la generación de energía fotovoltaica, como alimentación del sistema automático de aireación y oxigenación, ayudando a su vez, al uso eficiente de la energía en el sistema, para llegar a contribuir con el cuidado del medio ambiente y elevar la calidad de producción artesanal de peces, asimismo mejorar las condiciones de vida de estos campesinos al hacer uso de los recursos naturales disponibles a su alrededor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Diseñar de un sistema autosustentable para oxigenación de estanques utilizados en piscicultura.

1.3.2 Objetivos específicos. Determinar los aspectos técnicos de operatividad del sistema de aireación electromecánico instalado y las variables físicas químicas a controlar en la producción piscícola.

Definir una estrategia de control de las variables a intervenir en el cultivo.

Dimensionar el sistema fotovoltaico OFF GRID, para la alimentación de proceso de explotación piscícola.

Validar los parámetros necesarios del diseño que se obtienen en los objetivos anteriores, para una Interfax de operación con el usuario.

1.4 Formulación del problema

¿De qué manera se puede garantizar que un sistema de oxigenación de estanques utilizados en piscicultura, sea autosustentable mediante el uso de la energía solar fotovoltaica?

1.5 Justificación

Un desarrollo sustentable va de la mano del buen uso de los recursos naturales, en dónde la prioridad es el mínimo consumo de elementos artesanales derivados del petróleo u otra sustancia que cree un efecto invernadero, mejorará sin duda alguna el modo de vivir para el ser humano, sino también de garantizar cero alteraciones a ecosistemas. Es por esto, que muchas investigaciones actuales se ven enfocadas a desarrollar sistemas alternativos de generación, en dónde la premisa es la conservación de la vida y disminución de enfermedades o alteraciones medio ambientales por gases contaminantes en nuestra atmósfera.

Se observa que es necesario la intervención, de implementar nuevas alternativas de generación de energía renovable, cómo lo es la energía fotovoltaica, eólica, entre otras; ya que estas son muy promovidas por países desarrollados de una manera exitosa, lugar donde tiene un gran papel China, en dónde produce un alrededor de 130.4 gigavatios con paneles solares y su planta solar flotante, también Estados Unidos con un 85.3 gigavatios y entre otros, está Japón con 63.3 gigavatios y también más países que han implementado estas tecnologías como; India,

Italia, Reino Unido, Australia, Pakistán, que hacen parte de esta gran comunidad de las naciones más importantes en generación de energía solar. Por su parte, Colombia no está muy atrás, ya que se viene promoviendo a través de políticas del gobierno, obtenidas en los compromisos globales. Un ejemplo de esto sería, la Ley 1715 (2014), que permite al sistema de generación nacional la inclusión de nuevas fuentes no convencionales de generación de energía, por lo cual el ministerio de minas y energía, determina que para el 2022 al 2023 el país tendrá 1400 megas de capacidad instalada, para la generación de energía solar y eólica.

Es por ello que, esta nueva idea de generación alternativa no convencional impacta positivamente, en cuestiones de cobertura eléctrica a zonas aisladas como la rural, que es, donde se lleva a cabo nuestra investigación. Donde se puede fundamentar nuestra fuente de energía, gracias a la captación de radiación solar en la zona, cuyos datos son obtenidos por el IDEAM, en el atlas de radiación solar.

En cuanto a la explotación piscícola de la zona, se presenta la problemática de deficiencia de sistemas de aireación, por este hecho, se produce mortalidad temprana, menor crecimiento de peces debido a la falta de oxígeno, alterando el ciclo de vida que consiguientemente lleva a una baja producción, que solo mejorará con un buen uso del estanque manejando de forma automática las variables que intervienen en el proceso.

Para alcanzar este objetivo, se plantea presentar un diseño autosustentable, que partirá desde dimensionamiento del sistema fotovoltaico *OFF GRID* y se programará un control de gestión automático; que ayudará a regular el consumo eléctrico por parte de los motores del mecanismo de aireación, para poder así controlar el nivel de oxigenación dentro del estanque. Esta solución, permitirá incrementar la productividad en aspectos como:

- Disminución de muerte temprana de los peces.
- Mejorar las condiciones del habitat de producción.
- Mejorar la economía del acuicultor.
- Aumentar la productividad de la piscicultura en el sector.
- Uso eficiente de la energía eléctrica en la producción.

Cabe resaltar que el uso de un sistema renovable de alimentación por energía solar, brinda una buena solución a sitios alejados de la cobertura eléctrica convencional, ya que se toma una fuente limpia, inagotable, de bajo mantenimiento y amigable con el medio ambiente, contraria a los combustibles fósiles.

2. Referentes Teóricos

2.1 Antecedentes

May y Avila (2020), es su proyecto titulado “*Diseño de un sistema inteligente y auto sostenible de oxigenación de estanques utilizados en piscicultura*”. En esta investigación se propone el diseño de un sistema de aireación de agua alimentado con energía fotovoltaica y un plan de gestión de cargas o del consumo que permitan controlar el nivel de oxígeno del agua y regular el consumo de energía del sistema. Todo esto para contribuir con el medio ambiente y también para elevar la productividad en cultivos artesanales de peces que permitan a los campesinos mejorar sus condiciones de vida explotando adecuadamente los recursos naturales con que cuentan.

Contreras y Pérez (2019), en su investigación titulada “*Diseño e implementación de un sistema automatizado de oxigenación del agua del criadero acuícola Valle del Mar ubicado en Santa Marta*”; el cual fue implementado con el propósito de contribuir con la solución del problema planteado, permitiendo atender la demanda existente, y dando una mejor calidad de vida a los peces, gracias al diseño que contempla este estudio; aspecto que conllevará, hacia una mayor eficacia y eficiencia del sistema.

El criadero cuenta con 3 piscinas de 10 metros de diámetro, Cada piscina tiene un motor de 1.5Hp, denominados splash, que cumple la función oxigenar a los peces. También el criadero cuenta con un motor denominado blower que funciona como respaldo a los tres motores antes descritos. Sin embargo, para que se pueda aplicar efectivamente el respaldo al sistema actual, el accionar del mismo es Manual, lo que ha generado pérdidas en la producción de los peces porque el motor de respaldo lo hacen funcionar fuera de los tiempos establecidos para mantener el nivel

mínimo de oxigenación de los peces. Con la implementación del sistema automático el operario debe seleccionar las bombas a funcionar de acuerdo con la etapa de crecimiento de los peces y criaderos a utilizar. Cuando están funcionando los 3 motores (splash) y falla uno, se activa automáticamente el motor 4.

Hoyos (2019), en su trabajo de grado titulado “*Monitoreo y control de un estanque para producción piscícola*”. El presente proyecto de grado tiene como objetivo dar seguimiento al proceso de Diseño Mecatrónico realizado para la implementación de un sistema automatizado de monitoreo y control de las condiciones físico-químicas necesarias que se deben de considerar en un estanque dedicado a la producción y cría de peces; en función de optimizar la producción piscícola en el Valle del Cauca, y, particularmente, en el municipio de Tuluá. A través de un sistema de redes inalámbricas constituido por nodos tales como el de: control, actuación y sensado se logra generar soluciones inteligentes a problemas en ramas del sector rural que antes no se contemplaban para el desarrollo de productos automatizados.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Radiación solar en Colombia. Para el estudio de la radiación en Colombia se dispone de herramientas como el atlas de radiación solar; además de la disponibilidad de energía en el territorio nacional en cuanto a insolación y brillo solar, la cual toma sus datos estadísticos basado en informes presentados por medio de estaciones meteorológicas cuya información es radiométrica, lo cual conlleva a tener dichos datos basados en la irradiación de una región específica (teniendo en cuenta que no hay disponibilidad de instrumentos de medición en especial como el solarímetro). El atlas cuenta con 4 colecciones de 13 mapas sobre radiación solar y brillo solar, es generado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales – IDEAM, conjuntamente con la Unidad de planeación Minero Energética UPME; estableciendo niveles de Radiación e Irradiación promedio mensual y anual desde el año 1981, estos valores son expresados en kilovatios hora por metro cuadrado (kW/m²). Para efectos de estudio se tendrán en cuenta los siguientes datos estadísticos de la región de interés. (Ver graficas 1).

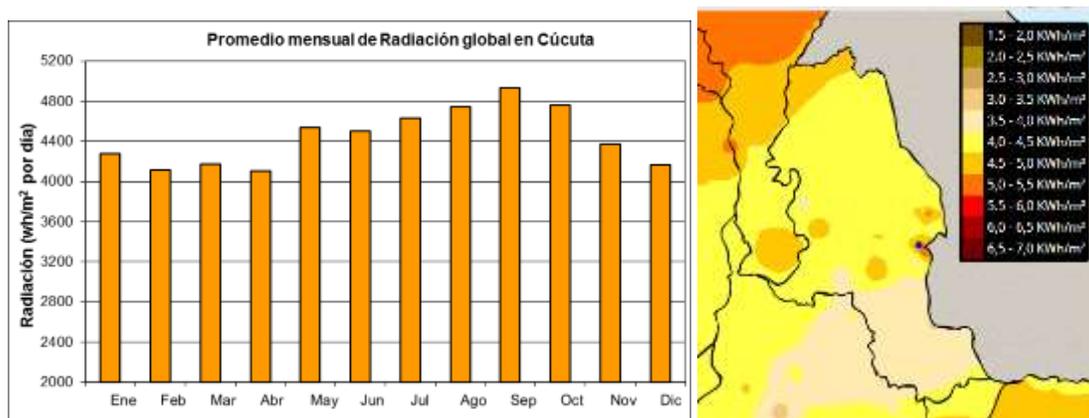


Figura 1. Radiación en el departamento norte de Santander.

Fuente: IDEAM, 2021.

2.2.2 Principios de la energía fotovoltaica. La radiación se expresa como una cantidad de watts por metro cuadrado (w/m²); lo que se describe también como una potencia que es medida en un valor promedio diario para cada mes. En un día claro, la radiación que golpea la Tierra es alrededor de 1000 W/m². Una irradiación de 1000W/m² es equivalente a una hora pico solar; esto permite describir la cantidad de energía solar disponible en el transcurso de un día por m², perpendicular a la posición del sol. Por ejemplo, si la energía recibida durante todo el día es igual a la energía recibida si el sol brillara durante 5 horas a 1 000 W/m², diríamos que son 5 horas sol pico = 5 kW/m².

En un sistema FV las celdas son aquellos dispositivos básicos de la unidad con un espesor cercano a 0,2 mm; los cuales al recibir la radiación del sol producen corriente eléctrica gracias al efecto fotovoltaico. Es importante destacar que cada unidad básica del sistema FV hace parte de un módulo FV que al conectarlas en serie o serie-paralelo en este pueden producir un voltaje y corrientes específicas en donde la gran mayoría de estas producen hasta 0,5V. Por lo tanto, un módulo típico de 36 celdas tendrá un voltaje de salida de 18 VCC, medido bajo condiciones estándar de prueba, STC (por sus siglas del inglés: Standard Test Conditions) y un voltaje o tensión nominal de 12V. La corriente de salida estará determinada por el área y la eficiencia de cada celda en el módulo. Un arreglo FV es un grupo de paneles conectados entre sí para producir los valores deseados de corriente y voltaje instalados sobre una estructura de montaje. Vea la Figura 2.

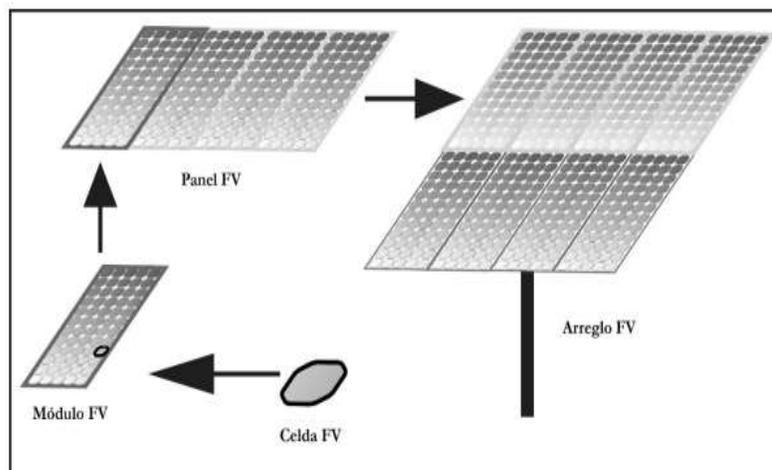


Figura 2. Montaje de una unidad de sistema Fv.

Fuente: Harris, 2015, p. 54.

Características módulos FV. Actualmente el mercado nos presenta diversos tipos de módulos, ya sean por su material de la celda, material de vidriado o conexiones eléctricas. Por ello vamos a presentar en cada módulo del sistema las siguientes características (Tecnosol, s.f.):

- **Intensidad de corto circuito (I_{cc} o I_{sc}):** La cual se produce por una tensión, que puede ser medida directamente en bornes mediante un amperímetro. Su valor podría variar en función de las condiciones atmosféricas de medida.
- **Tensión de circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}):** Es la tensión máxima del panel, se puede medir al no tener ninguna carga conectada directamente con un voltímetro, su valor dependerá en función de las condiciones atmosféricas.
- **Potencia máxima (P_{max}), medida en vatios pico (W_p):** Es la potencia máxima que puede suministrar el panel, es el punto donde el producto intensidad y tensión es máxima bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}):** es la corriente producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}):** es la tensión producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Eficiencia (%):** Este parámetro nos define la eficiencia de conversión (η), la cantidad de potencia radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica. (Rendimiento o eficiencia = W_p / W_r) Donde W_r es la potencia de radiación incidente sobre el panel solar.
- **Tolerancia (%):** En el proceso de fabricación no todos los paneles solares son idénticos, presentan una pequeña dispersión. En general los fabricantes garantizan que la potencia del módulo P^* está dentro de una banda; 63%, 65, 0+3%. También lo ideal es buscar paneles con tolerancias sólo positivas, así el fabricante nos garantiza cómo mínimo la potencia del panel declarada en la ficha de características.

- **TONC (°C):** Temperatura nominal de operación de la célula: es la temperatura que alcanzan las células cuando se le somete a una irradiación de 800W/m², temperatura ambiente de 20°C, una velocidad del viento de 1m/s y una distribución espectral AM 1,5.

2.2.3 Tipos de baterías. Son aquellos dispositivos que almacenan energía eléctrica de CC en forma química para un uso posterior. En un sistema FV, la energía se almacena no solo para ser usada en el día, también por la noche y durante períodos nublados donde no se puede obtener una buena radiación del sol en los paneles. Un sistema de almacenamiento con baterías es una fuente de energía relativamente estable frente a las variaciones propias de un sistema FV originadas en las variaciones de la radiación solar. Los siguientes tipos de baterías se usan comúnmente en sistemas FV (Harris, 2015):

- Baterías de ácido-plomo – de líquido ventilada (abierta) – selladas (ácido-plomo de válvula regulada, VRLA por sus siglas de Valve Regulated Lead Acid).
- Baterías alcalinas – Níquel cadmio (NiCd) – Níquel hierro (NiFe).

2.2.4 Inversores solares fotovoltaicos. El inversor es un componente electrónico que transforma la corriente y el voltaje de un sistema fotovoltaico, que es eléctricamente DC (12V, 24V o 48V) a AC (220-230V); lo que permite la utilización de consumos por parte de electrodomésticos. Sin embargo, no todos los inversores son iguales, es por esto que vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada y salida, la potencia máxima y la eficiencia.

Por esto, existen dos tipos: los inversores de onda senoidal pura e inversores trifásicos.

Los inversores solares para instalaciones aisladas los podemos clasificar en 4 tipos: Los de onda senoidal pura, de onda modificada, híbrido e inversores cargadores (Autosolar, 2021).



Figura 3. Inversor fotovoltaico.

Fuente: Areatecnología, s.f.

2.2.5 Regulador de carga solar. Este dispositivo electrónico permite realizar un control al proceso de carga y descarga que sucede en las baterías, aumentando así la vida útil de las misma, se destaca su sencillez y su bajo coste, comparado con el coste total de la instalación, a pesar de esto es fundamental para proteger la vida útil de las baterías y mejorar el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Estos se instalan entre los paneles solares y la batería para controlar el estado de carga (Aereatecnología, s.f.).

También hay que destacar que existen dos tipos de reguladores de carga (Autosolar, s.f.):

- **Regulador PWM**, que trabaja en el punto de máxima eficiencia de la producción fotovoltaica, limitan en amperaje la producción de los paneles solares, de esta forma el sistema no trabaja siempre en su punto de máxima eficiencia, si no que el regulador obtiene una potencia constante pudiendo no aprovechar en todo momento la máxima

producción fotovoltaica de los módulos solares instalados. Dicho en otras palabras, el regulador solar PWM reduce la potencia de entrada de los paneles solares a las baterías para que la tensión entre ambas partes sea igual y compatible, y limitará la intensidad de la instalación fotovoltaica en el amperaje del regulador.

- **Regulador de carga MPPT**, este tipo de regulador de carga o regulador de batería que además de cortar el paso de corriente de los paneles solares cuando la batería se encuentra a plena carga, estos tipos de reguladores de carga o regulador solar son capaces de adaptar el voltaje de salida del panel solar al voltaje de la batería. Utilizar este tipo de reguladores de carga o lo que es lo mismo, reguladores de carga solar, y resulta muy útil cuando disponemos de un panel solar que no es del voltaje de la batería.



Figura 4. Controlador de carga solar.

Fuente: Areatecnologia, s.f.

2.2.6 Sistema aislado OFF GRID. La principal característica de este sistema es su total independencia de la red eléctrica pública; ya que su única fuente de energía es la radiación solar, por esta razón, es una solución viable para surtir energía a lugares remotos de forma confiable y sostenible. Su funcionamiento e instalación son sencillos y requieren poco mantenimiento; en este sentido, se podrá suministrar energía a zonas montañosas, rurales, agrícolas, industriales y

cualquier población que tenga difícil acceso a la red. Esencialmente, un sistema aislado OFF GRID está compuesto por los siguientes elementos: paneles solares, baterías, regulador inversor (Zone Energy, 2016).

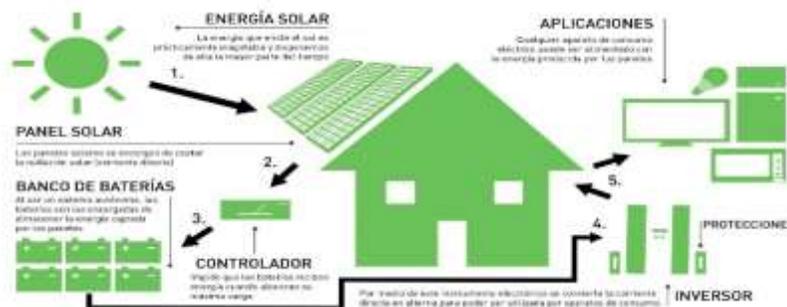


Figura 5. Sistema OFF GRID

Fuente: Greendipity, 2020.

2.2.7 El Aireador. La aireación u oxigenación es la transferencia de oxígeno puro o atmosférico al agua, maximizando el área del agua que está en contacto con la atmósfera, es considerado el primer factor limitante de la calidad del agua en la acuicultura. Los sistemas de aireación se pueden clasificar en dos: 1) Aireación mecánicas, de donde se tomará como objeto de estudio, el de superficie, el cual rompe la superficie del agua creando turbulencia en la superficie y produciendo una mayor área de contacto atmósfera – agua, se llega a emplear las paletas y el rocío (Pentairaes, 2018).



Figura 6. Aireadores de rueda de paletas, para acuicultura.

Fuente: Preemar, 2020.

Oxígeno Partículas por millón (ppm)	Efectos
0 a 0.3	Los peces pequeños sobreviven en cortos periodos.
0.3 a 2.0	Letal a exposiciones prolongadas
3.0 a 4.0	Los peces sobreviven pero crecen lentamente
Mayor de 4	Rango deseable para el crecimiento del pez.

Figura 7. Oxígeno Partes por millón (ppm).

Fuente: May y Avila, 2020.

Sensor de oxígeno. Al cultivo de peces se puede implementar un sensor que mida el oxígeno disuelto en un estanque como es el sensor DO1200/t el cual genera una señal de control en mili voltios de forma proporcional al porcentaje de oxígeno que se encuentra en el estanque del cultivo de los peces, o también se puede implementar el sensor de Oxígeno disuelto en el agua con salida análoga de 0-3V y referencia SEN0237-A el cual se puede apreciar en la siguiente ilustración (May & Avila, 2020).



Figura 8. Sensor de Oxígeno disuelto en el agua.

Fuente: Sigmaelectronica, 2019.

2.3 Marco legal

Ley 1715 (2014), tiene por objetivo promover el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.

Resolución 030 (2018), por la cual mediante esta resolución se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al sistema interconectado nacional, SIN.

GTC 114, Guía De Especificaciones de Sistemas Fotovoltaicos. Para suministro De Energía Rural Dispersa en Colombia por medio de esta norma se establecen las especificaciones y características técnicas que se tienen que tener en cuenta para sistemas solares fotovoltaicos de generación de energía en zonas rurales en el proceso de selección, instalación, operación y mantenimiento.

El Protocolo de Kyoto, tiene los mismos objetivos y principios que la Convención, pero la refuerza de manera significativa ya que a través de él las Partes incluidas en el anexo I se comprometen a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Los objetivos individuales para las Partes incluidas en el anexo I de la Convención se enumeran en el anexo B del Protocolo de Kyoto. Entre todos suman un recorte total de las emisiones de gases de efecto invernadero de al menos el 5% con

respecto a los niveles de 1990 en el período de compromiso de 2008-2012 (Minambiente, 2021a).

COP21; mediante el cual Colombia busca establecer compromisos nacionales ambiciosos a través de su INDC, abordar la problemática del cambio climático de la forma más balanceada posible, incluyendo la mitigación, la adaptación y los medios de implementación. Donde se constituyen referentes fundamentales para la definición de la INDC en materia de mitigación. El enfoque que ha tenido el proceso de consolidación de la INDC del país se basa en desligar el aumento progresivo de emisiones de GEI del crecimiento económico nacional, a través del diseño e implementación de medidas sectoriales de mitigación que buscan reducir las emisiones, maximizando la carbono-eficiencia de la actividad económica del país, y contribuyendo al desarrollo social y económico nacional (Minambiente, 2021b).

3. Metodología

3.1 Tipo de investigación

Para realizar este proyecto de grado se aplicó la investigación descriptiva, con un proceso de búsqueda e indagación para dar solución a cada una de las fases del anteproyecto, que se dividió en cinco:

La primera fase, correspondió a analizar los aspectos técnicos de aplicación de la piscicultura; donde se definió el tipo de piscicultura aplica y manejo dado por el hombre, además, se determinó el principio de operatividad del sistema de aireación electromecánico instalado, y las variables físico químicas a controlar donde se seleccionó los diversos equipos electrónicos para llevar acabo el sistema de monitoreo y control de cada una de las variables.

Segunda fase, se realizó una segunda fase donde se indago la capacidad de radiación solar, para la implementación y eficiencia de paneles solares en el municipio del Zulia.

La tercera fase fue definir una estrategia de control de las variables a intervenir en el cultivo, que fue mediante un sistema de medición y regulación de partes por millón de oxigenación en el agua del estanque; se implementó una programación con los diferentes elementos a utilizar, para recibir la señal de oxígeno en el estanque y determinar que rango se utilizara, para que funcione el sistema de mayor carga que es el motor del sistema de aireación.

Cuarta fase, es el dimensionamiento del sistema de alimentación, donde se identificó cuáles son las cargas de mayor consumo y de menor consumo, el cual va enlazado con las fases anteriores identificando las características de funcionamiento de los paneles solares según la

radiación solar; con esto se pudo determinar qué cantidad de paneles se utilizarán para poder suplir la carga que se instalara.

Quinta fase, en donde se simuló parámetros necesarios del diseño que se obtuvo mediante las anteriores fases para que el usuario lo opere de la manera correcta.

3.2 Universo de investigación

La población y muestra para el desarrollo del proyecto fue las personas dedicadas a la piscicultura en la zona rural del municipio de El Zulia ubicada en la zona de la Y de astilleros.

4. Resultados

4.1 Recopilación de información

4.1.1 Caracterización del cultivo. Para el desarrollo de la primera fase se hizo una descripción del proceso que se lleva a cabo, en la zona rural del municipio del Zulia más exactamente en Astilleros, donde se explica el proceso desde el inicio del ciclo con los alevines, hasta obtener las cachamas en peso adecuado para su comercialización.

La producción de cachama empieza en estanques de hasta 1000m^2 y tienen una profundidad máxima de 1 m, estos cultivos son de clase intensiva, esto quiere decir que se manejan densidades de 5-15 peces por m^2 , estos estanques están en tierra y no llevan recubrimiento en geomembrana, ya que la cachama es una especie de pez el cual tiene dientes y puede llegar a dañar este material.

El proceso de producción de cachama se lleva a cabo en dos etapas, la primera etapa de crecimiento o alevinaje, la cual se traen los alevinos desde el departamento de Córdoba o desde Villavicencio, esta etapa los alevinos llegan con un peso de entre 1-4 gr y va hasta cuando los peces llegan a un peso de 60 gr, esta etapa se hace en estanque pequeños para aumentar su eficiencia, y se alimentan con concentrado de 45-38% y biomasa en un 8% al principio hasta un 3.6% al final, cuando se termina esta etapa se pasa a la etapa de engorde.

La etapa de engorde se realiza en los estanques de mayor tamaño, lo cual son base de este estudio y el cual necesitan oxigenación para cumplir con éxito el crecimiento de la cachama, el concentrado usado es 32-24% y biomasa en un 3.6% al inicio hasta un 1.5% al final, además en esta etapa se usan alimentos suplementarios como el mango, la guayaba, hojas yuca, semillas de

maíz, trigo y soya; ya que esto también hace parte de la dieta alimentaria de la cachama. Este proceso se realiza hasta obtener peces de entre 600-700 gr lo cual se logra en un tiempo de entre 6 y 7 meses desde su inicio en la etapa de alevinaje.

En esta etapa se requiere el apoyo de sistemas de aireación forzada, la cual se hace con aireadores que aumentan el nivel de oxígeno en el agua el cual debe ser superior a 3mg/l o ppm; así se garantiza un crecimiento adecuado de los peces y a su vez se evita la mortandad de la especie, se debe tener en cuenta la temperatura del agua; que debe estar entre los 23°C y 30°C , así como el pH que debe estar entre 5.5 y 8, y por último la dureza; la cual debe ser superior a 25 ppm, con estos parámetros importantes se garantiza un cultivo de cachama óptimo; teniendo una tasa de mortalidad menor al 5%.

Durante el día con la ayuda de la fotosíntesis en las horas pico fotosintéticas (11 am a 3 pm), este proceso natural puede llegar a aportar 2mg/L hora; esto hace que no se requiera tanto el uso de los aireadores electromecánicos, ya cuando cae la noche o hay ausencia de luz solar, las reservas de oxígeno caen fácilmente al no ocurrir el proceso de fotosíntesis y la respiración de los peces; esto con lleva a que se requiera el constante uso de los aireadores para suplir este déficit de oxígeno en los estanques (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006).

De acuerdo a lo anterior y al proceso de investigación se realiza las siguientes tablas, con las características técnicas a tener en cuenta para el cultivo de cachama y los sensores; que deben ser capaces de medir las variables físicas y químicas para un correcto cultivo de esta especie.

Tabla 1. Características técnicas.

Temperatura	23°C – 30°C
Oxígeno	> 4mg/L o ppm
pH	5.5 – 8

4.1.2 Aireadores usados en la piscicultura. Para el sistema de aireador hay de diversos métodos para llevar el oxígeno al agua, empezando por sistemas de paletas que arrojan el agua al aire y a su vez la golpean para saturarla de oxígeno, como también sistemas de bombas blower que ingresan aire a presión al agua creando burbujas saturadas de oxígeno aumentando sus niveles en ella, y sistemas de bombas que succionan el agua desde el fondo del estanque para arrojarla al aire, la cual creara gotas que se saturan de oxígeno y cuando caen de nuevo al estanque, aumenta el nivel de oxígeno en el estanque. En la figura 9 se observan los diversos tipos de aireadores que son utilizados en la piscicultura.

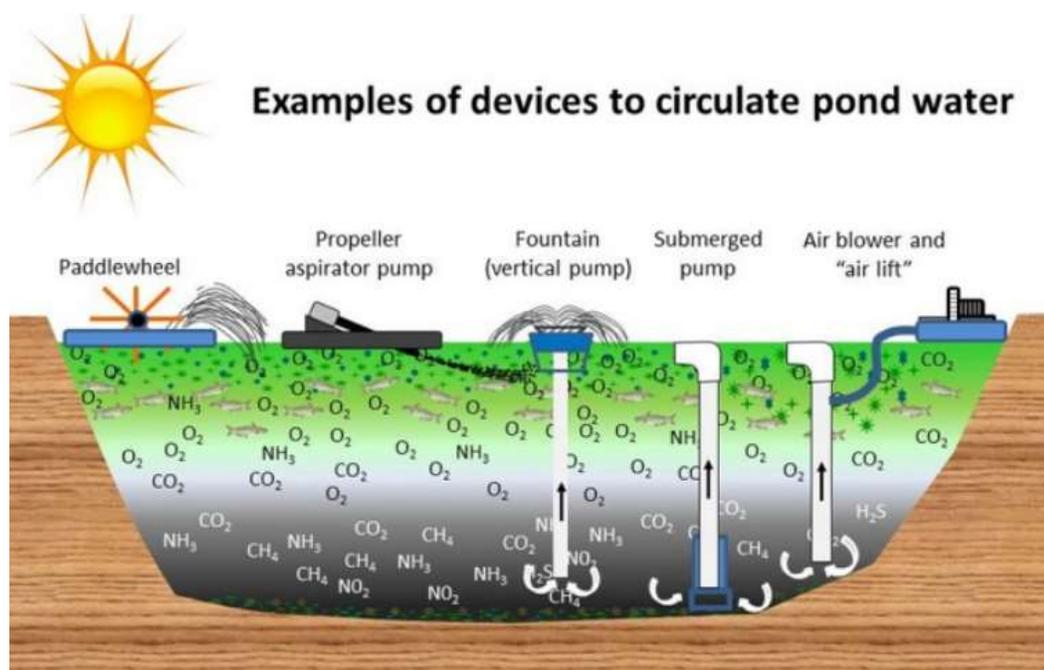


Figura 9. Ejemplos de aireadores.

Fuente: Senter, 2019.

En el desarrollo de esta fase también se plantea la investigación de los diversos aspectos técnicos de operatividad, que se necesitan para oxigenar las piscinas donde se encuentra el cultivo de cachama, estos recursos se van desde sistema de electromecánico como los aireadores,

mecanismos de control como contactores, relés; y a su vez del sistema electrónico el cual será el encargado de monitorear y controlar las variables físicas para un óptimo cultivo de cachama.

4.1.3 Selección de componentes. A continuación, se realiza un cuadro comparativo realizado de la investigación en el mercado de los diversos aireadores; donde se expondrá sus características principales, después se realiza la selección del más adecuado por medio de una matriz de pugh.

Cuadro 1. Cuadro comparativo de aireadores.

N°	Nombre del dispositivo	Características	Costo en peso colombiano COP
1	Aireador SPLASH ½ Hp marca Oxipez	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético: 110V-8.5A, 220V-3.8A. • Área de acción 100-600 m². • Caudal de 1870L/min o 112m³/h. • Estructura en polímero de alta resistencia la cual evita la producción de hongos. • Instalación media-alta. 	\$2'380.000 
2	Aireador SPLASH 1 Hp Montee	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético: 220V. • Caudal de 3200L/min. • Coeficiente de transferencia de oxígeno 1.9KgO₂/h. • Instalación media-alta. • 	\$2'100.000 
3	Aireador de paletas 1 Hp SuperPond	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético: 220V. • Coeficiente de transferencia de oxígeno 1.1KgO₂/h. • Eficiencia energética de 1.25KW/h. • Gran capacidad de movimiento de agua. • 2 paletas de alta resistencia. 	\$2'600.000 

		<ul style="list-style-type: none"> • Fácil instalación. • Área de acción 500-700 m² 	
4	Aireador de paletas 2 Hp SuperPond	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético: 220V. • Coeficiente de transferencia de oxígeno 1.9KgO₂/h. • Eficiencia energética de 1.25KW/h. • Fácil instalación. • 4 paletas de alta resistencia. • Área de acción 900m²-1500m² 	<p>\$3'400.000</p> 
5	Aireador de inyección SuperPond de 1Hp	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético: 220V. • Coeficiente de transferencia de oxígeno 0.7KgO₂/h. • Eficiencia energética de 0.82KW/h. • Fácil instalación. 	<p>\$2'300.000</p> 

Con la información planteada en el cuadro comparativo anterior, se procedió a realizar su respectiva matriz de pugh; la cual evalúa teniendo unos criterios y obteniendo un resultado donde se selecciona el aireador con la mayor suma.

Tabla 2. Matriz de pugh selección de aireador.

CRITERIO	PESO	AIREADOR				
		1	2	3	4	5
Costo (\$)	1	1	1	1	1	1
Coeficiente de transferencia	2	0	1	1	1	-1
Adaptabilidad	1	0	0	1	1	1
Rango de operación	2	1	1	0	1	0
Consumo energético	2	1	0	1	1	1
Suma pondera		5	5	6	8	2

De acuerdo a la anterior tabla se puede seleccionar los aireadores de paletas, ya que obtuvieron la mayor suma, se deja a criterio para su implementación el cual será indicado puesto que todo dependerá del factor económico. Al igual que la selección del aireador, se realizó una investigación sobre los microcontroladores que se encuentran en el mercado, el cual debe adquirir la señal de los sensores y enviarlos a un PC donde se visualizaran los datos obtenidos.

Cuadro 2. Cuadro comparativo dispositivos para adquisición de datos.

N°	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	COSTO EN PESO COLOMBIANO COP
1	Arduino nano	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de funcionamiento 5V, alimentación de 7-12V. • Entradas analógicas 8. • E/S digitales 16. • Comunicación con el PC fácil mediante puerto serial. • Conexión USB-micro USB. • No requiere pagar el entorno de programación. • Memoria flash de 16K, memoria EEPROM 1Kb. 	<p style="text-align: center;">\$17.000</p> 
2	Arduino mega	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de funcionamiento 5V, alimentación de 9-20V. • Entradas analógicas 16. • E/S digitales 54. • Memoria flash 256Kb, memorias EEPROM 4Kb. • No requiere pagar por el entorno de programación. • comunicación con el PC fácil mediante puerto serial. • Conexión USB. 	<p style="text-align: center;">\$51.000</p> 
3	DAQ 6009 National Instruments	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación 5V mediante el cable USB. • 8 entradas análogas, 2 salidas análogas. • E/S digitales 12. • Necesita el pagar por el software pago para su uso. • Cubrimiento plástico para más protección 	<p style="text-align: center;">\$550.000</p> 

Se realizó una matriz de pugh donde se proponen diversos criterios para su selección, la cual se muestra a continuación:

Tabla 3. Matriz de pugh para selección de la tarjeta de adquisición de datos.

CRITERIO	PESO	DISPOSITIVO		
		1	2	3
Costo (\$)	2	1	1	1
Comunicación	1	1	1	1
Adaptabilidad	1	0	1	1
Complejidad	1	1	1	0
Suma pondera		4	5	2

En la evaluación con la matriz de pugh se seleccionó el **arduino mega**; ya que tiene bajo costo y mejor adaptabilidad, además cuenta con mayor cantidad de entradas analógicas para el uso de sensores.

Para la medición del nivel de oxígeno en el estanque de las cachamas se usa el sensor **SEN0237**; este sensor de oxígeno disuelto en agua tiene un costo de \$833.000 pesos colombianos, el cual viene en un kit práctico ya adecuado para trabajar con arduino, se alimenta a 5V DC y su voltaje de salida es de 0-3V, por estas razones se seleccionó este sensor ya que nos facilita la calibración y linealización para trabajar con el microcontrolador arduino. Además, de soportar presiones de hasta 50 PSI, se debe aclarar que antes de usar este sensor se debe hacer una calibración con una solución de hidróxido de sodio para su correcto funcionamiento, este proceso se debe repetir cada 2-3 meses si el agua del estanque es turbia o cada 7 meses si el agua clara.



Figura 10. Sensor de Oxígeno disuelto en el agua.

Fuente: Sigmaelectronica, 2019.

Al igual que las selecciones anteriores se realiza un cuadro comparativo para los sensores de temperatura sumergibles o impermeables, y sensores de pH que se encuentran en el mercado.

Cuadro 3. Cuadro comparativo de sensores de temperatura y pH del agua.

N°	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	COSTO EN PESO COLOMBIANO COP
1	Sensor MAX6675	<ul style="list-style-type: none"> • Encapsulado impermeable. • Compensación de unión fría y digitalización de termopar tipo K. • Alimentación de 3.3V-5.5V. • Rango de operación 0-1024°C. • Resolución de 12 bits o 0.25°C. • Rango de operación de la tarjeta electrónica 20°C-85°C. • Compatible con arduino. 	\$33.000 
2	Sensor Ds18b20	<ul style="list-style-type: none"> • Encapsulado impermeable. • Alimentación de 3V-5.5V. • Rango de operación -55°-125°C. • Resolución de 0.5°C. • Compatible con arduino. 	\$11.000 
3	Sensor pH E201-BNC	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación de 5V. • Corriente de trabajo 5-10mA. • Tiempo de respuesta de 5s. • Rango de operación pH 0-14 y resolución de 0.2pH. • Temperatura de funcionamiento 10°C-50°C. 	\$125.400 

4	Sensor pH45	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación de 5V. • Corriente de trabajo 5-10mA. • Rango de operación 0-14 pH. • Temperatura de funcionamiento 10°C-50°C. 	<p style="text-align: right;">\$82.000</p> 
---	-------------	--	---

Del anterior cuadro comparativo de sensores se realizó la siguiente matriz de pugh, donde se evalúan diversos criterios para la selección de los componentes más adecuados.

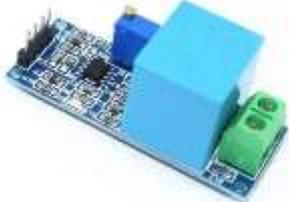
Tabla 4. Matriz de pugh para selección de los sensores de temperatura y pH.

CRITERIO	PESO	SENSOR			
		1	2	3	4
Costo (\$)	1	0	1	1	1
Adaptabilidad	2	1	1	1	0
Rango de operación	1	1	1	1	1
Suma ponderada		3	4	4	3

De la anterior matriz se seleccionó el sensor de temperatura **Ds18b20** y el sensor de pH **E201-BNC**, los cuales se cumplen los requisitos y se adaptan mejor a los requerimientos del sistema.

Al igual que las selecciones realizadas anteriormente se hace una comparativa para sensores de voltaje y corriente, esto con el fin de monitorear estas variables en el SCADA para tener un registro total de las potencias consumidas en todo el proceso de funcionamiento.

Cuadro 4. Comparativa sensores de Voltaje y Corriente.

N°	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	COSTO EN PESO COLOMBIANO COP
1	Sensor de corriente ACS712-12a	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de corriente AC o DC. • Soporta corriente de hasta 12A • Funcionamiento de 0-5A, alimentado de 5V y salida análoga adecuada para uso con arduino o microcontroladores. • Soporta sobre picos de hasta 5 veces la corriente nominal 	\$10.000 
2	Sensor de corriente ACS712-05a	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de corriente AC o DC. • Sensor de funcionamiento con efecto hall de bajo offset. • Funcionamiento de 0-5A, alimentado de 5V y salida análoga adecuada para uso con arduino o microcontroladores. • Soporta sobre picos de hasta 5 veces la corriente nominal. 	\$8.500 
3	Sensor de voltaje Zmpt101b	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de voltaje 250V-AC con salida análoga adecuada para arduino o microcontroladores. • Cuenta con un transformador de voltaje para mayor aislamiento entre el voltaje de entrada y etapa de medida. • No requiere circuito adicional para el voltaje de entrada. 	\$25.000 
4	Sensor de voltaje Fz0430	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de 0-25V DC con salida análoga adecuada para arduino o microcontroladores. • Sistema con divisor de tensión resistiva. • Necesita un sistema para adecuar la señal AC de 120V a 25V DC para su funcionamiento. 	\$6.500 

Con la información anterior se realizó la siguiente matriz de pugh para escoger son los sensores más adecuados.

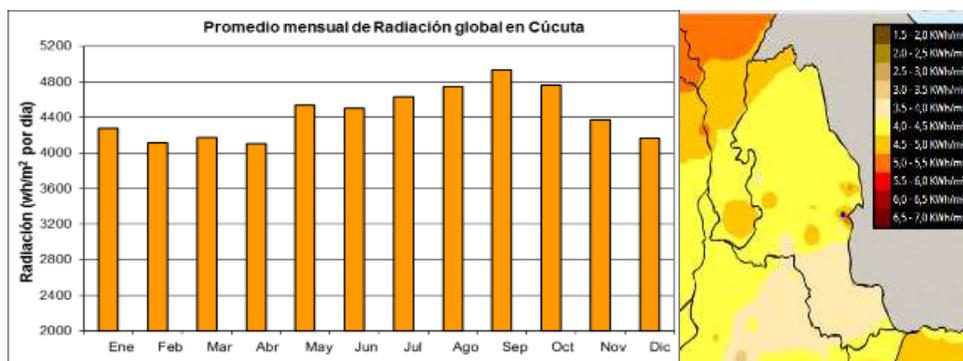
Tabla 5. Matriz de pugh para sensores de voltaje y corriente.

CRITERIO	PESO	SENSOR			
		1	2	3	4
Costo (\$)	1	1	1	0	1
Adaptabilidad	2	1	-1	1	-1
Rango de operación	2	1	0	1	0
Suma ponderada		5	0	4	-1

De la anterior matriz se seleccionó el sensor de corriente ACS712-12 y el sensor de voltaje Zmpt101b, los cuales cumplen los requisitos y mejor se adaptan al sistema.

4.2 Radiación solar

4.2.1 Incidencia solar. Como ya se mencionó anteriormente en la radiación solar en Colombia se mide anualmente y EL IDEAM se encarga de hacer un atlas solar donde se consultó la radiación solar en el departamento de Norte de Santander y va desde 3.5KWh/m² hasta los 5.5KWh/m² en las zonas con mayor incidencia solar, para nuestro caso de estudio que es la zona rural del municipio de El Zulia se tiene un índice solar de 4.0 KWh/m² en los meses con menor radiación que son los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril; hasta un máximo de incidencia solar de 4.5KWh/m² en los meses restantes del año.

**Figura 11.** Radiación en el departamento Norte de Santander.

Fuente: IDEAM, S.f.

Con estos datos obtenidos del atlas solar del IDEAM podemos obtener un máximo rendimiento de nuestros paneles solares, además, podemos obtener la energía requerida para nuestro sistema fotovoltaico con una menor cantidad de paneles solares.

4.2.2 Horas solar pico. Otro factor importante en el diseño de sistemas fotovoltaico son las horas solares pico (HSP), estas son la cantidad de horas donde el sol está en el punto más óptimo y obtenemos la mayor cantidad de radiación solar en nuestro sistema, para la región de Cúcuta y su área metropolitana que es nuestro interés; ya que en esta se ubica la zona rural de El Zulia, tenemos un HSP de 4.7 en la época del año con menor incidencia solar, y un HSP máximo de 5.2 en la época del año con mayor incidencia solar. Para el diseño del sistema fotovoltaico se tiene en cuenta en HSP menor que es de 4.7, ya que así aseguramos la generación de energía en los menos con un menor HSP.

4.3 Estudio de cargas

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico OFF GRID o aislado, se tiene en cuenta primero las cargas eléctricas las cuales se debe suplir la demanda energética, y para esto el principal elemento son los paneles o módulos fotovoltaicos; los cuales cargaran las baterías que almacenaran la energía para el sistema, esta carga se realiza con un controlador el cual nos garantiza primero la seguridad y cuidado de las batería, como del sistema, además, nos permite sacar el máximo provecho de la energía para obtener la mayor eficiencia posible; esta energía será almacenada en baterías especiales, las cuales disponen energía para cuando se necesite en el inversor para convertir la energía CC a CA, la cual será por el sistema de aireación para el cultivo de cachama.

Con los datos del aireador seleccionado que cuenta con un motor de 2HP de 220V bifásico y del sistema de control el cual es una fuente suicheada de 12V, 2A; con a la anterior información realizamos el cuadro de cargas siguientes:

Tabla 6. Cuadro de cargas.

CONSUMO DIARIO	DEMANDA MÁXIMA
Para el consumo diario se tiene en cuenta en tiempo el cual va a estar encendido el motor, el cual es de 12h y el sistema de monitoreo electrónico el cual va a funcionar las 24h del día.	La demanda máxima de energía es el consumo en el ínstate cuando el sistema está en funcionamiento, para este caso especial se tiene en cuenta la potencia del motor la cual es de 1500w, y la potencia requerida para el sistema electrónico la cual es de 24w.
$Cd=(1500w*12)+(24*24)$ $Cd=18576W/día$	$Dm=1500w +24w$ $Dm=1524w$

Estos datos de Consumo diario (Cd) y demanda máxima (Dm) son los datos para empezar a dimensionar el sistema fotovoltaico, para este tipo de sistema OFF GRID el sistema se compone por cuatro etapas o componentes los cuales son los paneles solares, el controlador de carga, las baterías y el sistema inverso. Para el dimensionamiento se tomó de referencia el webinar de Centre (2019), llamado calculo y diseño de sistemas aislados, así como la información ofrecida en página web, esta empresa colombiana lleva en el mercado desde 1986 ofreciendo soluciones de energía solar, por esta razón se basó en su información ya que tiene la experiencia para estos tipos de diseño fotovoltaico.



Figura 12. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.

Fuente: Centre, 2019.

4.3.1 Criterios para el diseño. El primer criterio es el factor de seguridad F_{sg} el cual es recomendable de 1.3 o un 30% más, el cual se aplica al consumo diario.

$$CD = Cd * F_{sg} \quad (1)$$

Dónde: Cd es el consumo diario; F_{sg} es el factor de seguridad.

Aplicando la formula (1) se obtiene como resultado: $CD = 24148.8w/dia$

El segundo criterio es la selección del voltaje con que trabaja el sistema, el cual se tiene en cuenta la demanda máxima (D_m)

- $D_m=1-2000$ w/h sistema de 12V.
- $D_m=2001-4000$ w/h sistema de 24V.
- $D_m=$ mayor a 4001 w/h sistema de 48V.

Una condición a tener en cuenta en este criterio es que cuando se manejan cargas altamente inductivas como es el caso, se recomienda usar el voltaje del sistema siguiente al seleccionado con base en a la D_m .

Según el anterior criterio para el sistema de aireación el $D_m=1524W$ se usaría el sistema de voltaje de 12V, pero al tener en cuenta la condición de cargas inductivas se selecciona el siguiente voltaje del sistema siendo 24V.

4.3.2 Módulos fotovoltaicos. Para determinar la cantidad de módulos fotovoltaicos se tiene en cuenta la potencia real de la carga con su factor de seguridad, las horas solares efectivas en la zona rural del municipio de El Zulia la cual es de 8 horas en promedio de todo el año; y la

potencia del panel solar seleccionado.

Una investigación en el mercado colombiano se seleccionó el panel solar de la marca GCL de la referencia M6/72 de 400W.

Electrical Specification (STC*)

Maximum Power	P _{max} (W)	365	370	375	380	385	390	395	400
Maximum Power Voltage	V _{mp} (V)	39.20	39.40	39.60	39.80	39.98	40.17	40.35	40.53
Maximum Power Current	I _{mp} (A)	9.31	9.39	9.47	9.55	9.63	9.71	9.79	9.87
Open Circuit Voltage	V _{oc} (V)	47.60	47.80	48.00	48.20	48.40	48.60	48.80	49.00
Short Circuit Current	I _{sc} (A)	9.89	9.97	10.05	10.13	10.21	10.29	10.37	10.45
Module Efficiency	(%)	18.8	19.1	19.3	19.6	19.8	20.1	20.4	20.6
Power Output Tolerance	(W)	0~+5							

* Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25°C, Air Mass 1.5

Figura 13. Especificaciones eléctricas del panel solar.

Fuente: Enfsolar, 2015.

El cual los datos importantes para el diseño son:

- Potencia nominal W_p: 400W
- Voltaje de circuito abierto
- Voc: 49V Corriente de corto circuito: 10.45A

Con la anterior información se procede aplicar la formula

$$\#modulos = \frac{CD}{0.9 \cdot (W_p \cdot HES)} \quad (2)$$

Dónde: CD es el consumo diario con el factor de seguridad; HES son las horas solares efectiva; W_p la potencia nominal del panel.

Aplicando la ecuación anterior se obtiene como resultado: $\#modulos = 8.38$ al ser un número decimal, se aproxima al siguiente número entero por esta razón son 9 módulos fotovoltaicos. En este caso es una cantidad de paneles aproximado para el sistema de aireación, ya que depende del arreglo serie y paralelo para obtener la cantidad exacta.

4.3.3 Controlador. Para el criterio de selección del controlador se tuvo en cuenta el voltaje del sistema que se seleccionó anteriormente, el cual es a 24V y la demanda máxima D_m ; por estos criterios se consultó en el mercado un controlador que satisfaga estos requerimientos, seleccionando el controlador Conext MPPT 60 150 de la marca Schneider Electric, con las siguientes características:

Device short name	Conext™ MPPT 60 150
Electrical specifications	
Nominal battery voltage	12, 24, 36, 48, 60 V
Battery voltage operating range	0 Vdc to 80 Vdc
PV array operating voltage	140 V
Max. PV array open circuit voltage	150 V including temperature correction factor
Max. array short-circuit current	60 A (48 A @ STC)
Max. charge current	60 A (for all battery voltages except 60 V)
Max. and min. wire size in conduit	#6 AWG to #14 AWG (10 to 2.5 mm ²)
Max. output power	3500 W
Charger regulation method	Three-stage (bulk, absorption, float) plus manual equalization Two-stage (bulk, absorption) plus manual equalization
Supported battery types	Flooded, GEL, AGM, Custom
Efficiency	
Max. power conversion efficiency	93% (nominal 12 V), 96% (nominal 24 V), 97% (nominal 36 V), 98% (nominal 48 V), 99% (nominal 60 V)

Figura 14. Especificaciones técnicas del controlador de carga.

Fuente: S. Electric, 2018.

El cual los datos importantes para el diseño son:

- V_{max} de entrada: 140VDC
- Corriente máxima: 48A
- Voltaje de baterías: 24V

- Control MMPT el cual maximiza el aprovechamiento de la energía.

Con estas características del controlador y las del panel solar, se hace un arreglo de 3 series de 3 paneles, en otras palabras 3 paneles conectados en serie con un arreglo de 3 en paralelo lo cual nos da una cantidad de 9 paneles fotovoltaicos para el sistema autónomo, dando como resultado un voltaje de 147VDC y una corriente de 31.35A la cual soporta nuestro controlador.

4.3.4 Inversor. Para la selección del inversor debe ser trifásico a 220V ya que este es el voltaje de trabajo del aireador seleccionado anteriormente, además debe trabajar con el voltaje del sistema de 24V; con estas características se consultó en el mercado colombiano que se ofrece y se llegó a selección del inversor Compact, 2600-24 con las siguientes características:

	1600-12	2600-24	4000-48
Funcionamiento			
Tensión del sistema	12 V	24 V	48 V
Potencia continuo	1.300 VA	2.300 VA	3.500 VA
Potencia 30 min.	1.600 VA	2.600 VA	4.000 VA
Potencia 5 sec.	3.900 VA	6.900 VA	10.500 VA
Eficiencia máxima	94 %	95 %	95 %
Consumo propio standby / ON	0,6 W / 6 W	0,9 W / 9 W	1,4 W / 12 W
Datos de entrada			
Tensión de entrada	ajustable: 150 V CA ... 230 V CA		
Corriente de carga ajustable	0 A ... 55 A	0 A ... 55 A	0 A ... 50 A
Corriente máx. en el sistema de transferencia	16 A		
Tiempo de conmutación	< 40 ms		
Datos de la batería			
Tensión de la batería	9,5 V ... 16 V	19 V ... 32 V	38 V ... 64 V
Monitorización de la batería	descarga profunda, tensión final de carga, no contacto a tierra y tensión de compensación ajustables por el usuario		
Datos de salida CA			
Tensión de salida	230 V CA +0 / -10 % (onda senoidal pura)		
Frecuencia de salida	50 Hz +/-0,05 % (controlada por cristal)		
Detección de consumidor (standby)	ajustable: 1 W ... 25 W		

Figura 15. Especificaciones técnicas del inversor de voltaje.

Fuente: Steca Elektronik, 2016.

Donde se resalta las principales características para el diseño:

- Voltaje del sistema: 24V
- Potencia continua: 2300VA
- Potencia en 5 Seg: 6900VA
- Tensión de las baterías: 38V-64V
- Voltaje de salida ajustable: 150V-230V CA.
- Eficiencia:95%

Se resalta este inversor ya que ofrece una potencia de 6900VA en los primeros 5seg; llegado el caso siendo útil para el arranque del motor del aireador y así evitar que este se bloquee o entre en autoprotección, cuando se le exige el pico de corriente de arranque.

4.3.5 Baterías. Para determinar la cantidad de baterías se deben tener en cuenta es la eficiencia del inversor, el voltaje del sistema y el consumo diario; con estos datos aplicamos la siguiente formula:

$$Ah/dia = \frac{CD/\eta}{Vsistema} \quad (4)$$

Dónde: CD es el consumo diario con el factor de seguridad, η es la eficiencia del inversor, Vsistema.

Aplicando la ecuación (4) se obtiene un Ah/día= 1059.15Ah, ahora se busca en el mercado y se selecciona una batería; la cual se seleccionó la batería LPS12-285 con las siguientes características:

Specification		
Nominal Voltage	12V	
Nominal Capacity(100HR)	287.5AH	
Dimension	Length	522 ± 3mm (20.55 inches)
	Width	268 ± 3mm (10.55 inches)
	Container Height	220 ± 3mm (8.66 inches)
	Total Height (with Terminal)	226 ± 3mm (8.90 inches)
Approx Weight	Approx 74.0 Kg (163.2 lbs)	
Terminal	T11	
Container Material	ABS	
Rated Capacity	287.5 AH/2.88A	(100hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	262.0 AH/13.1A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	250.0 AH/25.0A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	218.0 AH/43.6A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	151.9 AH/151.9A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C/77°F)

Figura 16. Especificaciones técnicas de la batería.

Fuente: Leoch, 2018.

Para el cálculo de la cantidad de baterías en paralelo se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- #días de autonomía: 1
- Ah/día
- Profundidad de descarga: 50%
- Capacidad de la batería 287.5Ah

Aplicamos la siguiente formula:

$$B_p = \frac{\frac{Ah \cdot \#días \text{ autonomía}}{día}}{\frac{profundidad \text{ descarga}}{capacidad \text{ batería}}} \quad (5)$$

Resolviendo la ecuación (5) se obtuvo como resultado B_p : 7.37 l cual se aproxima al siguiente número entero el cual nos da una cantidad de 8 baterías en paralelo.

Como la entrada del inversor es de 24V se debe hacer el arreglo de 2 baterías en serie de 12V para llegar al voltaje del sistema, por lo tanto, se 2 baterías en serie por 8 arreglos en paralelo dan un total de 16 baterías.

4.3.6 Cálculo conductores y protecciones. Para el cálculo del cableado para el sistema fotovoltaico se rige a la normativa técnica colombiana NTC2050 sección 690 SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS.

Para la conexión de los paneles solares al controlador de carga los conductores deben ser unipolares con protección a los rayos UV, soportar temperaturas de 70°C a 90°C con aislamiento termoplástico o termoestables y deben estar certificados para su uso y tener la sigla PV o nomenclatura que los identifica para uso en sistemas fotovoltaicos, además, no se debe superar la máxima caída de tensión permitida entre dos puntos indicada en el siguiente gráfico.

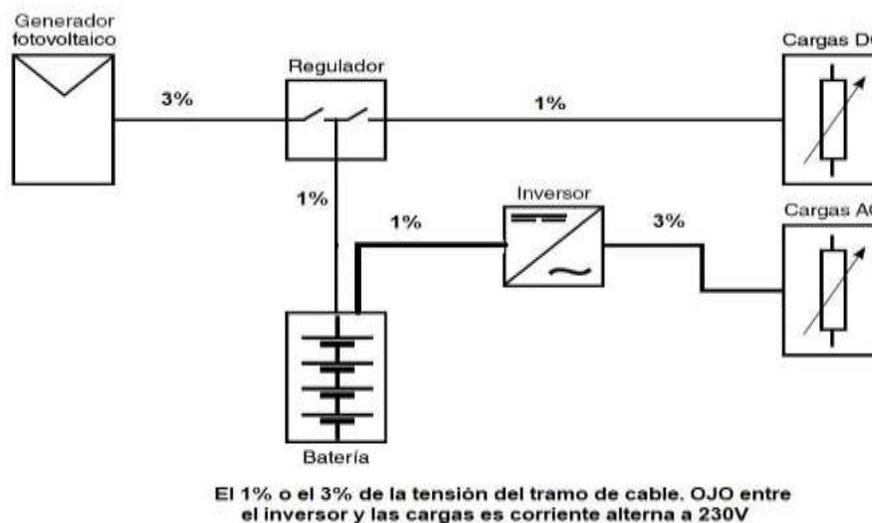


Figura 17. Perdidas admisibles de voltaje del sistema fotovoltaico.

Fuente: Nexans, 2015.

Para calcular el calibre de los conductores se aplica la siguiente ecuación

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\rho \cdot \Delta V} \quad (6)$$

Dónde: I es la corriente en A; L la longitud del cable en m; ρ es la conductividad del conductor; ΔV es la caída de tensión permitida entre dos puntos.

Para el primer tramo de los paneles fotovoltaicos al regulador de carga se tiene una corriente de $I=31.35$, un voltaje de 147VDC y se asume una caída de 1% por tanto el $\Delta V = 1.47V$, y una longitud L de 6m con estos datos se aplica la ecuación 6. Dando como resultado $S=4.34\text{mm}^2$.

Conductor		Aislamiento		Ampacidad ⁽¹⁾		
Calibre	Resistencia Eléctrica DC a 20 °C	Espesor Nominal	Diámetro Aproximado	Un Cable al Aire	Un Cable Sobre una Superficie	Dos Cables en Contacto Sobre Superficie
mm ²	Ω/km	mm	mm	A		
1,5	13,2980	0,70	3,06	30	29	24
2,5	7,9693	0,70	3,53	41	39	33
4	4,9408	0,70	4,08	55	52	44
6	3,2906	0,70	4,66	70	67	57
10	1,8928	0,70	5,65	98	93	79
16	1,2036	0,70	6,54	132	125	107
25	0,7717	0,90	8,21	176	167	142
35	0,5484	0,70	9,38	218	207	176
50	0,3815	1,00	11,08	276	262	221
70	0,2689	1,10	13,05	347	330	278
95	0,2038	1,10	15,24	416	395	333
120	0,1592	1,20	17,26	488	464	390
150	0,1281	1,40	19,31	566	538	453
185	0,1048	1,60	21,40	644	612	515
240	0,0793	1,70	27,77	775	736	620

Figura 18. Calibre en mm² para conductores de la marca CENTELSA

Con la ayuda de la tabla 20 se selecciona el calibre superior el cual es de calibre 6mm^2 o 10AWG, el cual es fabricado por CENTELSA de referencia cable fotovoltaico H1Z272-K el cual cumple todos los requerimientos de seguridad.

Para el tramo entre el regulador y las baterías la corriente de carga de las baterías esta limita por la salida máxima de corriente del controlador el cual es de 60A, con este dato aplicamos la ecuación 6, donde la longitud L de las baterías al controlador es de 2m. Obteniendo como resultado $S=4.07\text{mm}^2$ y revisando la tabla ## se selecciona un calibre de 6mm^2 o 11 AWG para el conductor.

Para el cálculo del tramo entre baterías e inversor primero se determinar la corriente de descarga de las baterías, esto se hace con la máxima potencia demanda por el inversor dividida por el voltaje del arreglo de las baterías, para determinar la corriente se aplica la siguiente ecuación:

$$P_{inv} = V_{bat} * I_{des} \quad (8)$$

Dónde: La potencia máxima demandada por el inversor es de $P_{inv}=2300\text{W}$; el voltaje del arreglo de baterías es $V_{bat}=24\text{V}$; y I_{des} es la corriente de descarga de las baterías.

Aplicando la ecuación 8, se obtiene la corriente de descarga $I_{des}=95.83\text{A}$, con este valor de corriente aplicamos la ecuación 6, donde la longitud de las baterías al inversor L es de 2m. Obteniendo como resultado $S=10.83\text{mm}^2$ y revisando la tabla ## se selecciona un calibre de 16mm^2 o 6 AWG para el conductor.

Determinados los calibres de los conductores podemos determinar las protecciones para cada tramo del sistema fotovoltaico ya que se conoce la corriente en cada uno de ellos, para el

primer tramo entre el arreglo de paneles y el controlador de carga en la cual la corriente continua es de 31.35A, se consulta y selecciona un breaker de 32A y 440V en DC.

Para el siguiente tramo el cual es entre el controlador de carga y las baterías se maneja una corriente máxima de carga de 60A en continua, se consulta y se selecciona un breaker de 63A y 150V en DC. Y como último tramo entre el arreglo de baterías y el inversor se tiene una corriente de descarga de 95.83A, por esta razón se determina el uso de un breaker de 100A a 24VDC.

Tabla 7. Calibre de conductores según el tramo del sistema fotovoltaico.

TRAMO	V/I	CALIBRE CONDUCTOR MM ² /AWG	PROTECCIÓN
Paneles solares- regulador de carga	147V/31.35A	6mm ² /10AWG	32A/440VDC
Regulador de carga- Baterías	28.8V/60A	6mm ² /11AWG	63A/150VDC
Baterías - Inversor	24V/95.83A	16mm ² /6AWG	100A/80VDC

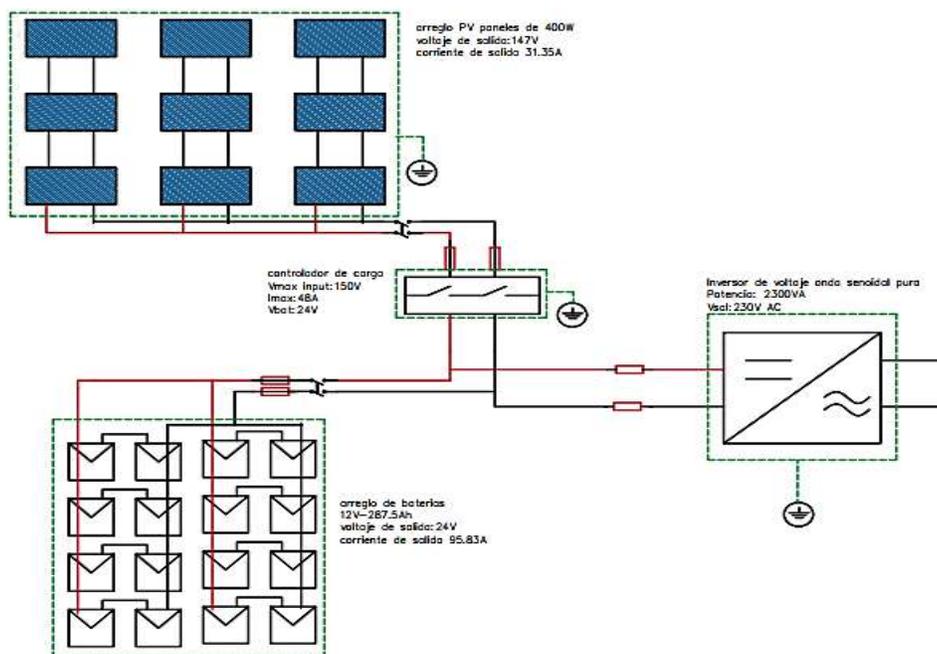


Figura 19. Sistema fotovoltaico diseñado para el proyecto.

4.3.7 Estructura para paneles. A continuación, se presenta un diseño realizado en SolidWorks para la implementación de los paneles solares sobre una construcción que se encuentra en la granja piscícola, el diseño se observa cómo están acomodados los paneles y la estructura sobre la cual se fijan dichos paneles.



Figura 20. Arreglo de paneles solares software SolidWorks.

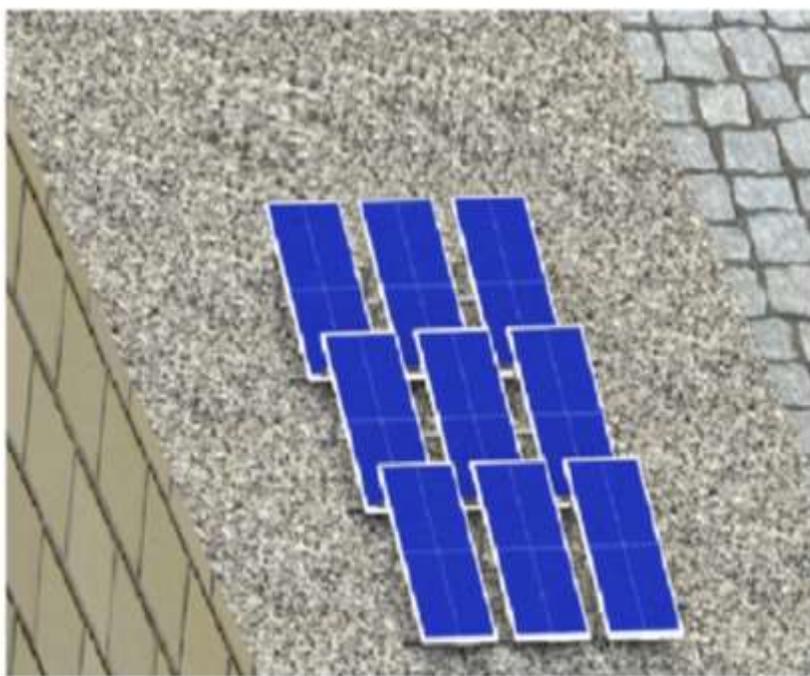


Figura 21. Paneles solares software SolidWorks.

Como se puede observar en las figuras 22 y 23 se ve el conjunto de paneles solares instalados en el techo del cuarto donde se encuentra el sistema de baterías y control del aireador para el estanque de cultivo de cachama.

Para la instalación de los paneles se diseñó una estructura a la medida en el programa de SolidWorks como se observa en la figura 24, el cual recomienda el uso de perfil de aluminio ranurado de 60*20 para mayor resistencia y durabilidad de la estructura.

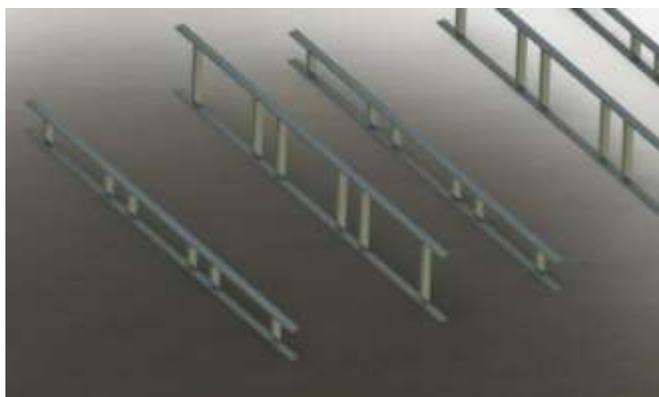


Figura 22. Estructura para los paneles solares software SolidWorks

De acuerdo al diseño de la estructura cuenta con un largo 3.7 metros de largo y las uniones entre los diferentes perfiles son soldados para mayor rigidez y resistencia, para armar la estructura se usan la siguiente cantidad de perfiles 60*20 especificadas con las distancias para su armado.

Tabla 8. Perfiles para la construcción de la estructura.

	cantidad (unidades)	medida (m) largo
Perfiles de aluminio	16	3,7
	24	0,25
	24	0,6

De acuerdo a la cantidad de perfiles usado, es necesario la compra de 80m para armar la estructura para los paneles solares.



Figura 23. Oxigenador y paneles fotovoltaicos software SolidWorks.

4.4 Estrategia de control

4.4.1 Diseño del algoritmo de programación. Como se definió anteriormente se seleccionó el microcontrolador Arduino Nano por esta razón el entorno de programación es el IDE de ARDUINO (figura 22) en el cual se tomaron las lecturas de los sensores de oxigenación, pH y temperatura, todos estos seleccionados en las actividades anteriores, esto se evidencia en la figura siguiente.

```

CodigoArduinoscadaDiego  Tablero  Sensor
#include <Separador.h>
#include <EEPROM.h>
#include <OneWire.h> // Libreria para comunicar con el arduino dispositivos de forma parasite
#include <DallasTemperature.h> // Libreria correspondiente al sensor de temperatura DS18B20
//Variables Sensor de Temperatura Tanco
const int pinDatosDQ = 9; // Pin de Conexion sensor de temperatura
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

//Variables Sensor de Voltaje ZMPT101B
#define sampling 300
#define Amplitud 411
#define RealV 232
int adc_max, adc_min;
int adc_vpp;
//Variable asignada libreria Separador comunicacion Serial
Separador s;

String inputString = ""; // a String to hold incoming data
bool stringComplete = false; // whether the string is complete

int temp;
int oxi;
int ph;
int I1, I2, I3, Volt1, Volt2, Volt3, estadoMotor;

int OxigenoBase, PhBase, TemperaturaBase, HisteresisOxigeno, HisteresisTemp, HisteresisPh;
int OxigenoBase1, PhBase1, TemperaturaBase1, HisteresisOxigeno1, HisteresisTemp1, HisteresisPh1;

```

Figura 24. Programación en el IDE de Arduino.

En la programación del microcontrolador se realiza la lectura de cada uno de los sensores, donde después se realiza una linealización para una correcta interpretación y toma de decisiones ya que en el algoritmo se toma la decisión de encendido y apagado automático del aireador, esto partiendo del uso del sensor de oxígeno para el estanque, donde una oxigenación igual o inferior al 4ppm de oxígeno da una salida de un uno (1) lógico o 5V en un pin del arduino donde esta activara el aireador previamente a una etapa de potencia, donde el aireador encendido aumentara el nivel de oxígeno en el agua hasta llegar a niveles iguales o superiores a **10ppm** donde el microcontrolador lo interpreta y da un cero (0) lógico en el pin de control del arduino donde apaga el aireador; este proceso se realiza cíclicamente en estos niveles de oxígeno.

4.4.2 SCADA. Además, el arduino se comunica con un PC por medio del puerto USB o por medio de un puerto serie virtual, como es el caso del proyecto para simular las variables y tener la comunicación con el sistema de visualización, donde se realiza una comunicación serie

con una interfaz gráfica HMI que hace de SCADA donde se visualiza la información de cada una de las variables, así como el estado del aireador donde puede estar encendido o apagado, a su vez indicara por medio de alarmas visuales cuando la temperatura y el pH esta fuera de los límites permitidos para el crecimiento adecuado de la cachama, como se observa en la figura a continuación:

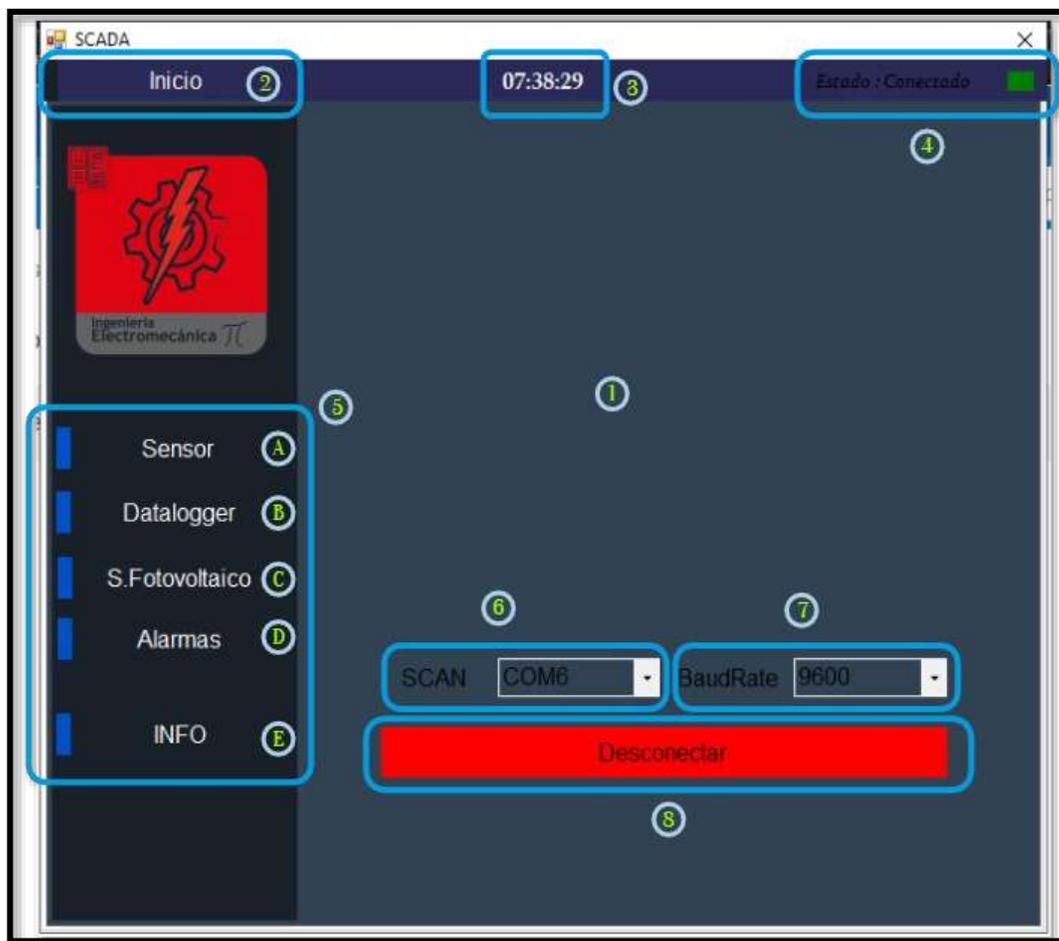


Figura 25. Pantalla de inicio SCADA

A continuación, se describe cada uno de los componentes de la pantalla del SCADA:

1. Pantalla de INICIO

2. **Botón de Inicio:** Al presionar el mencionado redirige hacia la pantalla de INICIO.

3. **Hora:** Enseña la Hora respectiva actual.
4. **ESTADO:** Señala el estado de la comunicación entre el Microcontrolador y el SCADA (Verde. Conectado – Rojo. Desconectado).
5. **Pestañas de Herramientas:** Contiene los accesos a diferentes partes del SCADA.
 - a. **Sensor:** Enseña la Pantalla de Sensores donde se muestran información de las mediciones respectivas setpoints y estados de alarma.
 - b. **Datalogger:** Enseña la pantalla de Datalogger donde se muestran las gráficas respectivas para las variables de Oxígeno, temperatura y pH respecto al tiempo.
 - c. **S. Fotovoltaico:** Enseña la pantalla de Variables del Sistema Fotovoltaico, corriente, voltaje de L1, L2, L3 y la potencia Activa además del estado del oxigenador (On/Off).
 - d. **Alarmas:** Enseña la Pantalla de ajuste de SetPoints e Histéresis para la respectiva generación de estados de alarma y activación de actuadores.
 - e. **Info:** Enseña la Pantalla de información relevante al SCADA y proyecto ejecutado.
6. **SCAN:** Este botón al presionarse enseña los puertos COM habilitados en el equipo verificar el puerto que este en modo PAR con el microcontrolador.
7. **BaudRate:** En esta Lista selecciona la velocidad de comunicación respectiva. Debe ser igual a la velocidad preestablecida de envío de datos por parte del microcontrolador.
8. **Conectar/Desconectar:** Este botón permite realizar el proceso de conexión o desconexión de la comunicación serial.



Figura 26. Pantalla sensores

1. **Pantalla de SENSORES.**
2. **Botón de Inicio:** Al presionar el mencionado redirige hacia la pantalla de INICIO.
3. **Hora:** Enseña la Hora respectiva actual.
4. **ESTADO:** Señala el estado de la comunicación entre el Microcontrolador y el SCADA (Verde. Conectado – Rojo. Desconectado).
5. **Indicador Nivel de Oxígeno:** Señala el Nivel de oxígeno en ppm (partes por millón) de 0 a 20 respectivamente.
6. **Indicador Nivel de Temperatura:** Señala el valor de temperatura °C de 0 a 100 respectivamente.
7. **Indicador Nivel de pH:** Señala el coeficiente de pH muestreado de 0 a 14.

- 8. Leyenda Colores y tipo de alarma:** Señala el color respectivo al tipo de alarma señalado.
- 9. Estado de Variable Oxígeno:** apartado que destaca el estado de alarma, nivel de oxígeno, SetPoint almacenado, SetPoint mínimo y SetPoint máximo para el respectivo sistema de control por histéresis.
- a. Piloto:** Indica por color el grado de oxígeno (Amarillo = Bajo, Verde =Medio, Rojo = Alto.
 - b. SetP:** Indica el valor del SetPoint almacenado al cual se desea llegar este valor se puede modificar.
 - c. SpMin:** Indica el valor de oxígeno mínimo permisible al que se activa el oxigenador este valor no se puede modificar; Esta relacionado con el valor de Histéresis almacenado.
 - d. SpMax:** Indica el valor de oxígeno máximo permisible al que se desactiva el oxigenador este valor no se puede modificar; Esta relacionado con el valor de Histéresis almacenado.
- 10. Estado de Variable Temperatura:** apartado que destaca el estado de alarma, nivel de temperatura, SetPoint almacenado, SetPoint mínimo y SetPoint máximo para la respectiva generación de alarma
- a. Piloto:** Indica por color el nivel de Temperatura (Verde = Bajo, Amarillo =Medio, Rojo = Alto.
 - b. SetP:** Indica el valor del SetPoint almacenado al cual se desea llegar este valor se puede modificar.

- c. SpMin:** Indica el valor de Temperatura mínimo permisible al que se activa la alarma este valor no se puede modificar; Esta relacionado con el valor de Histéresis almacenado.
 - d. SpMax:** Indica el valor de Temperatura máximo permisible al que se desactiva la alarma este valor no se puede modificar; Esta relacionado con el valor de Histéresis almacenado.
- 11. Estado de Variable pH:** apartado que destaca el estado de alarma, nivel de pH si esta acido, neutro o alcalino, SetPoint almacenado, SetPoint mínimo y SetPoint máximo para la respectiva generación de alarma.
- a. Piloto:** Indica por color el grado de pH (Rojo = Acido, Verde = Neutro, Azul = Alcalino).
 - b. SetP:** Indica el valor del SetPoint almacenado al cual se desea llegar este valor se puede modificar.
 - c. SpMin:** Indica el valor de pH mínimo permisible al que se activa la alarma este valor no se puede modificar; Esta relacionado con el valor de Histéresis almacenado.
 - d. SpMax:** Indica el valor de pH máximo permisible al que se desactiva la alarma este valor no se puede modificar; Esta relacionado con el valor de Histéresis almacenado.



Figura 27. Supervisión del sistema fotovoltaico.

1. **Pantalla de SISTEMA FOTOVOLTAICO.**
2. **Botón de Inicio:** Al presionar el mencionado redirige hacia la pantalla de INICIO.
3. **Hora:** Enseña la Hora respectiva actual.
4. **ESTADO:** Señala el estado de la comunicación entre el Microcontrolador y el SCADA (Verde. Conectado – Rojo. Desconectado).
5. **Estado Actuador:** Enseña el estado actual del Oxigenador si este esté encendido o apagado además de señalar los estados por colores.
 - a. **Oxigenador indicativo:** Señala por color el estado del motor del oxigenador (Gris = Inactivo y Verde = Operativo).

- b. **Estado:** Enseña el estado del Oxigenador Operativo o Inactivo.
6. **Cuadro de Variables del sistema fotovoltaico:** Contiene los valores respectivos de los sensores de corriente y voltaje que analizan el sistema fotovoltaico.
- a. **Corriente de línea 1 (Amperios).**
 - b. **Corriente de línea 2 (Amperios).**
 - c. **Corriente de línea 3 (Amperios).**
 - d. **Voltaje de línea 1 (Voltios).**
 - e. **Voltaje de línea 2 (Voltios).**
 - f. **Voltaje de línea 3 (Voltios).**
 - g. **Potencia Activa (Kilowatts).**



Figura 28. Pantalla de SetPoints.

1. **Pantalla ALARMAS**
2. **Botón de Inicio:** Al presionar el mencionado redirige hacia la pantalla de INICIO
3. **Hora:** Enseña la Hora respectiva actual.
4. **ESTADO:** Señala el estado de la comunicación entre el Microcontrolador y el SCADA (Verde. Conectado – Rojo. Desconectado)
5. **Ingreso de SetPoints:** Apartado donde el USUARIO ingresa los valores respectivos para cada variable, valores de setPoint e Histéresis. El valor de SetPoint se toma como el valor medio o valor ideal, el valor de histéresis asigna ese valor por encima y por debajo del valor de setpoint almacenado.

$$\mathbf{SetPoint}_{Minimo} = \mathbf{SetPoint} - \mathbf{Histeresis}$$

$$\mathbf{SetPoint}_{Maximo} = \mathbf{SetPoint} + \mathbf{Histeresis}$$

- a. **SetPoint Temperatura:** Valor permisible de Temperatura.
 - b. **SetPoint Oxigeno:** Valor permisible de Oxígeno.
 - c. **SetPoint pH:** Valor permisible de pH.
 - d. **Histéresis de Temperatura:** Valor de Histéresis permisible tener en cuenta que este valor suma y resta al valor de SetPoint asignado.
 - e. **Histéresis de Oxigeno:** Valor de Histéresis permisible tener en cuenta que este valor suma y resta al valor de SetPoint asignado.
 - f. **Histéresis de pH:** Valor de Histéresis permisible tener en cuenta que este valor suma y resta al valor de SetPoint asignado.
6. **Botón GUARDAR:** Al pulsar el botón guardar el SCADA realiza las siguientes acciones:

- a.** Almacena en la memoria del PC los datos ingresados, de esta forma al reiniciarse el SCADA se mantendrán los datos almacenados.
- b.** Envía por el canal Serial, una trama de datos hacia el microcontrolador que contiene los valores ingresados por el usuario junto con un terminador; En el microcontrolador estos valores al ser recibidos son almacenados en la memoria EEPROM del mismo, de esta forma al reiniciar, apagar o en el caso no contar con el SCADA el microcontrolador es autónomo en la toma de decisiones y activación de actuadores.
- c.** Enseña en la pantalla de SENSORES los valores almacenados.

Para la pantalla de alarmas se tiene en cuenta el uso de la histéresis esto para evitar el sistema ON/OFF del aireador de esta manera se alarga la vida útil del sistema, la histéresis se tiene en cuenta para el nivel de oxigenación del estanque de cultivo de cachama este nivel nunca debe ser inferior a 4ppm y estar en un máximo de 10 a 12 ppm como ya se ha mencionado anteriormente en el documento a la hora de cultivar cachama.



Figura 29. Visualización Datalogger.

1. Pantalla DATALOGGER

2. **Botón de Inicio:** Al presionar el mencionado redirige hacia la pantalla de INICIO.

3. **Hora:** Enseña la Hora respectiva actual.

4. **ESTADO:** Señala el estado de la comunicación entre el Microcontrolador y el SCADA (Verde. Conectado – Rojo. Desconectado).

5. **Graficas:** Apartado donde el Usuario visualiza las variables de forma intuitiva con respecto al tiempo al posicionarse sobre los ClickPoints enseña el valor puntual de la variable en ese instante de tiempo cada punto se actualiza cada 2 segundos, esto debido a

que cada 2 segundos se recibe él envió de la trama de datos proveniente del microcontrolador.

- a. **Grafica Temperatura:** Enseña el valor de Temperatura con respecto al Tiempo.
- b. **Grafica Temperatura:** Enseña el valor de Oxigeno con respecto al Tiempo.
- c. **Grafica Temperatura:** Enseña el valor de pH con respecto al Tiempo.

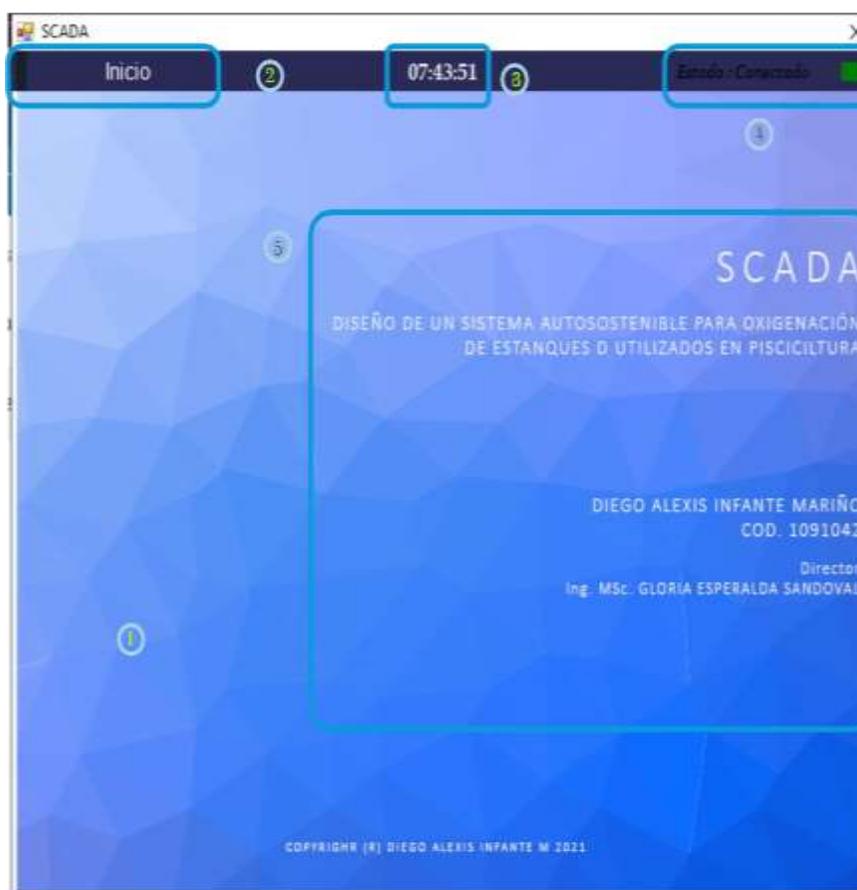


Figura 30. Pantalla de información.

1. **Pantalla INFO**
2. **Botón de Inicio:** Al presionar el mencionado redirige hacia la pantalla de INICIO
3. **Hora:** Enseña la Hora respectiva actual.

4. **ESTADO:** Señala el estado de la comunicación entre el Microcontrolador y el SCADA (Verde. Conectado – Rojo. Desconectado)
5. **Información:** Apartado donde el usuario visualiza la información respectiva al proyecto, información del ingeniero diseñador y derechos de autor del mencionado anteriormente.

Como se puede ver en las diversas pantallas con que cuenta el SCADA se tiene la información precisa de cada una de las variables ya sean del sistema de monitoreo del agua en el estanque de cachama, como el sistema de potencia del aireador, además, cuenta con un registro de las variables en la pantalla DATALOGGER en el cual se observa el comportamiento segundo a segundo del estado del agua en el estanque.

Además, tiene una opción muy importante que es la de setpoints donde se puede seleccionar donde se activan y se desactivan las alarmas y actuadores teniendo en cuenta la histéresis para ser un sistema más suave y duradero ya que evita el clásico sistema de control ON/OFF.

El SCADA se desarrolló en el software de visual studio el cual es de licencia libre, gracias a este potente software se pueden desarrollar interfaz graficas muy potentes y completas gracias a las diversas herramientas con el cual cuenta.

4.4.3 Lógica de control

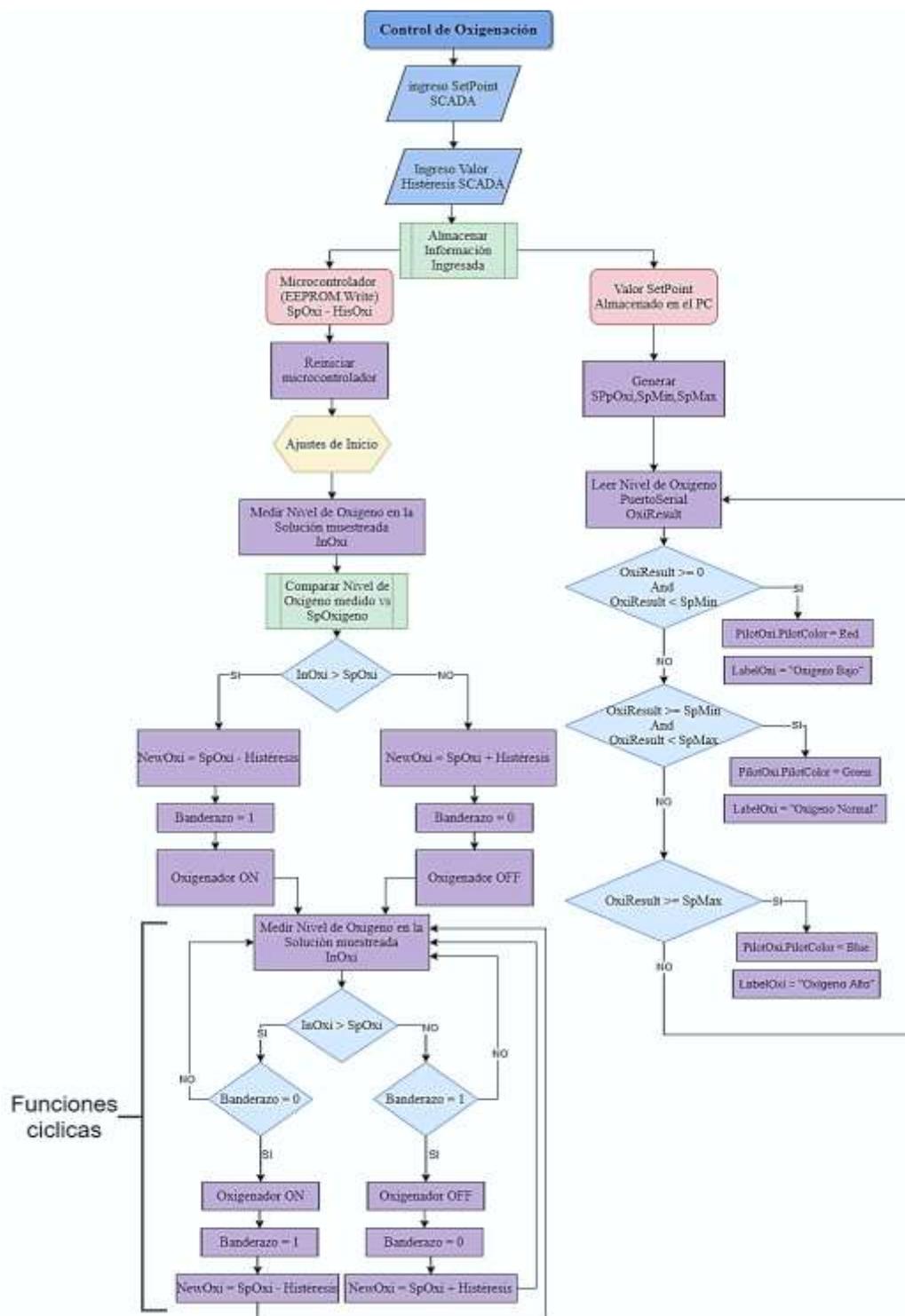


Figura 31. Lógica de control.

El control de Oxígeno aplicado es un control por Histéresis On/Off, inicia ingresando el valor del SetPoint e Histéresis deseado por el usuario en el SCADA es así que al proceder a guardar dicha información ingresada el SCADA, almacena la misma en la memoria del Equipo o PC de esta forma al reiniciar el SCADA la información digitada se mantendrá almacenada. De igual forma al realizar la acción anterior mencionada se envía una trama de datos junto a un terminador hacia el microcontrolador por medio de la comunicación serial, el terminador sirve para identificar que la trama de datos es la correspondiente a los valores de SetPoints y garantiza que la trama este completa.

Obtenido el valor de SetPoint en el microcontrolador el Usuario debe proceder a reiniciar el microcontrolador una sola vez de esta forma se garantiza el almacenamiento de la data recibida en la memoria EEPROM del mismo.

A partir del inicio del microcontrolador en la etapa de configuración o VoidSetup el microcontrolador compara el valor almacenado de SetPoint Oxígeno en la EEPROM aplicando el valor de histéresis almacenado en la misma con el valor obtenido del sensor ubicado en campo de Oxigenación. El actuador (Oxigenador) se activará solo si el valor de Oxígeno leído es menor al valor de SetPoint a demás generara un banderazo que indicara el próximo valor al que debe apagarse el oxigenador para este caso será SetPoint_Max ($\text{SetPoint_Max} = \text{SetPoint} + \text{Histéresis}$), de lo contrario el actuador se mantendrá apagado y genera un banderazo igual a 1 indicando que el oxigenador se debe encender, no al llegar al SetPoint si no al llegar al SetPoint_Min ($\text{SetPoint_min} = \text{SetPoint} - \text{Histéresis}$) de esta forma se evita la constante activación del actuador.

Si es el caso en que se active el actuador se generan dos nuevas variables (NewOxi y Banderazo); la primera esta expresada por la ecuación denotada en la figura (Figura Diagrama), donde al valor de SetPoint inicial se le resta una constante de Histéresis obteniendo un nuevo valor de oxígeno base (NewOxi), la segunda es de tipo booleano y tiene como función actuar como memoria, de esta forma se determina el estado actual del actuador si este está apagado (Banderazo = 1) o si esta encendido (Banderazo = 0).

De lo anterior, parte el ciclo repetitivo o función principal la cual, se repite en función de milisegundos en esta función se pregunta por el valor medido con respecto al valor nuevo de Oxigeno base (NewOxi) y la variable Banderazo de esta forma se determina si el próximo valor de oxígeno apaga o enciende el oxigenador evitando así las constantes activaciones del mismo.

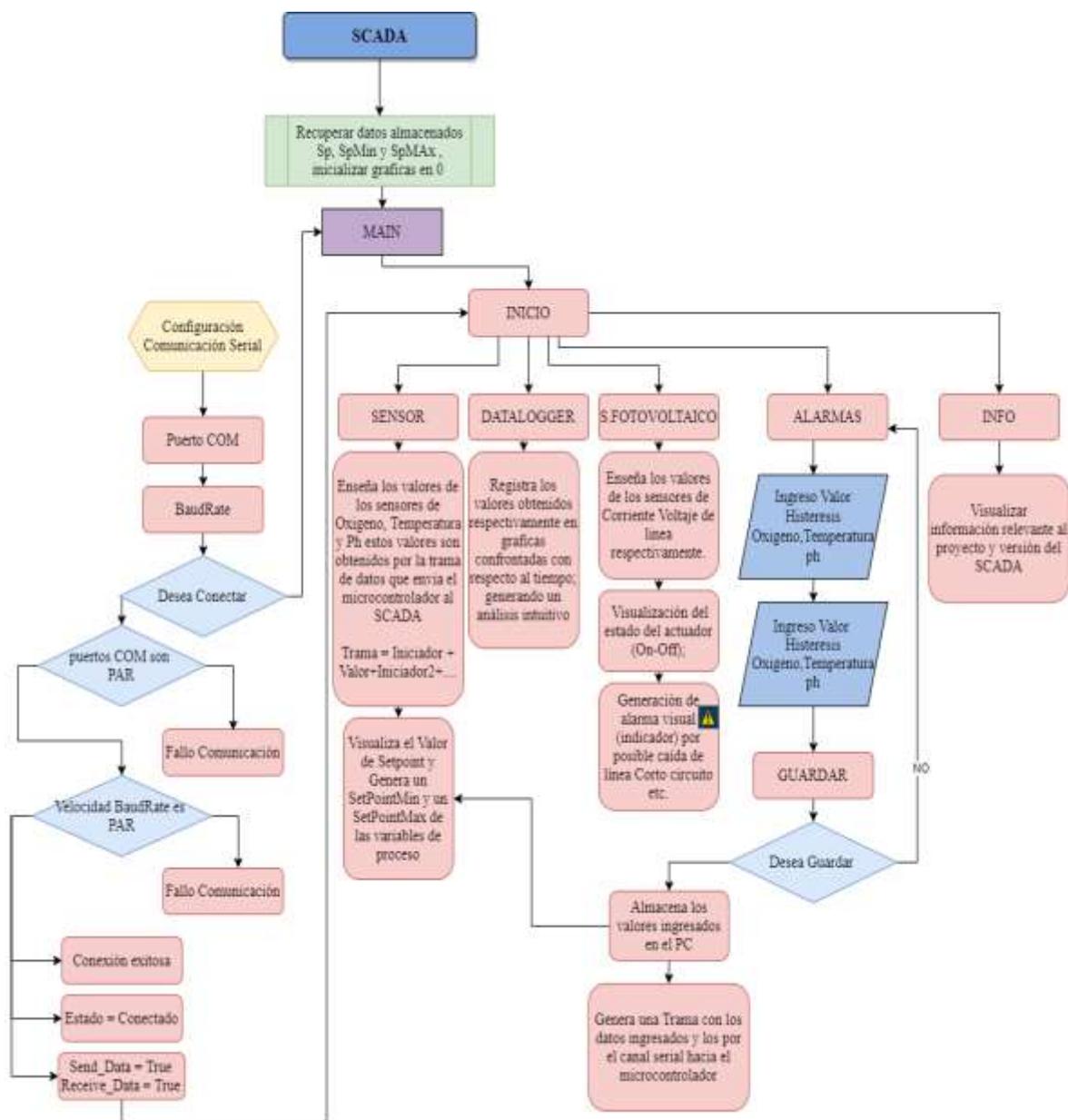


Figura 32. Diagrama general de todo el proceso de control.

Diagrama general del sistema de control el cual integra el microcontrolador como es el caso de Arduino el cual es el encargado de adquirir, procesar y adecuar la información recibida por los sensores para enviarla por puerto serial (COM) para realizar la respectiva comunicación con el SCADA y visualizar los datos de cada una de las variables, así como determinar la histéresis para el sistema de control del oxigenador.

Controlado por las señales de control generadas por el microcontrolador es el expuesto anteriormente. Para la activación del oxigenador este cuenta con un sistema manual y automático comandado por una perilla de tres posiciones donde en el modo manual el operario puede activar o desactivar por medio de pulsadores el oxigenador según sea su criterio, en el modo automático está vinculado con las señales de control comandadas por el microcontrolador que en retroalimentación con el nivel de oxígeno medido y el sistema de control de histéresis define la activación del mismo de igual forma la generación de las alarmas auditivas para el nivel de pH y temperatura.

4.4.4 Sistema de control eléctrico. Para el sistema de control eléctrico del aireador se hace el respectivo diseño unifilar siguiendo la normativa técnica colombiana NTC, como son las respectivas protecciones termomagnéticas definidas según la carga eléctrica que le corresponde respectivamente.

Criterio selección de conductor eléctrico para la alimentación del oxigenador según al a características de la Carga:

- Voltaje de línea: 220v Ac
 - Potencia Hp = 2 Hp
 - Potencia W = 1491.4 W
 - Amperaje = 6.779 A
1. Número de conductores: 4 (L1,L2,L3 y PE)
 2. $I_{conductor} = I_{Nominal} * 1.25$

3. La corriente del conductor para redes de baja tensión se calcula con un margen de seguridad del 25%. Nota: valor de seguridad tomado de la Norma NTC 2050 - Sección 220, Artículo 220-3

$$I_{conductor} = 6.779 * 1.25$$

$$I_{conductor} = 8.47A$$

4. $I = F_n \times F_t \times I_t$

Donde:

I: Corriente admisible corregida (A)

f_n : Factor de corrección por cantidad de conductores.

f_t : Factor de corrección por temperatura.

I_t : Corriente admisible por sección de conductor según tablas (A). Los planos detallados para cada circuito se encuentran en anexos

Cantidad de Conductores	Factor de Corrección (f_n)	Temperatura Ambiente [°C]	Factor de Corrección f_t		
			Factor de Servicio del Conductor [°C]		
			60	75	90
4 a 6	0,8	26-30	1,00	1,00	1,00
7 a 24	0,7	36-40	0,82	0,88	0,91
25 a 42	0,6	46-50	0,58	0,75	0,82
sobre 42	0,5	56-60	-	0,58	0,71
		71-80	-	-	0,41

Figura 33. Factor de corrección de capacidad de transporte de corriente.

Fuente: Nexans, 2015.

Se selecciona en primera instancia un cable THHN 90°C AWG 12 el cual soporta una corriente de 24 A (i_t).

$$I = 0.8 * 0.91 * 24$$

$$I = 17.47200A$$

Lo anterior quiere decir que este conductor soporta 17.47A con las condiciones mencionadas

$$I_{conductor} = 8.47$$

$$I > I_{conductor}$$

Al ser la corriente que soporta el conductor superior a la corriente que circula por la carga se define como el conductor adecuado para la carga establecida.

A continuación, se presenta una tabla correspondiente a los elementos usados para el sistema de control con sus respectivos nombres, referencias y costos.

Tabla 9. Elementos para el sistema de control eléctrico para el aireador.

Elemento	Amperaje	Voltaje	Otros
Guarda motor	5,5-8	220	Ajustar en 6A
Contactador	9	220	Bobina 220V - 60Hz
Relé Térmico	5,5-8	220	Ajustar en 6A
Termo magnético Bipolar	5	220	
Termo magnético Bipolar	10	220	
Piloto Verde	0,02	220	verde
Piloto Rojo	0,02	220	Rojo
Muletilla de 3 Posiciones	-	220	3 Posiciones NO
Interruptor Parada de Emergencia	10	220	1 NO y 1 NC
Pulsador de Marcha	6	220	Verde 1 NO
Pulsador de Parada	6	220	Rojo 1 NC
Cofre Metálico	-	-	40x40x15 certificado RETIE
Borneras	24	600	Doble Piso 2,5mm ²
Borneras	24	600	Simple 2,5mm ²
Cable AWG 12 THHN	24	600	100,0 m
Cable AWG 18	10	600	100,0 m

A continuación, se presenta el diagrama de control eléctrico para el aireador con cada uno de los elementos mencionados anteriormente para la correcta activación del motor del aireador con sus respectivas protecciones y activación de cada una de las alarmas cuando se presenten.

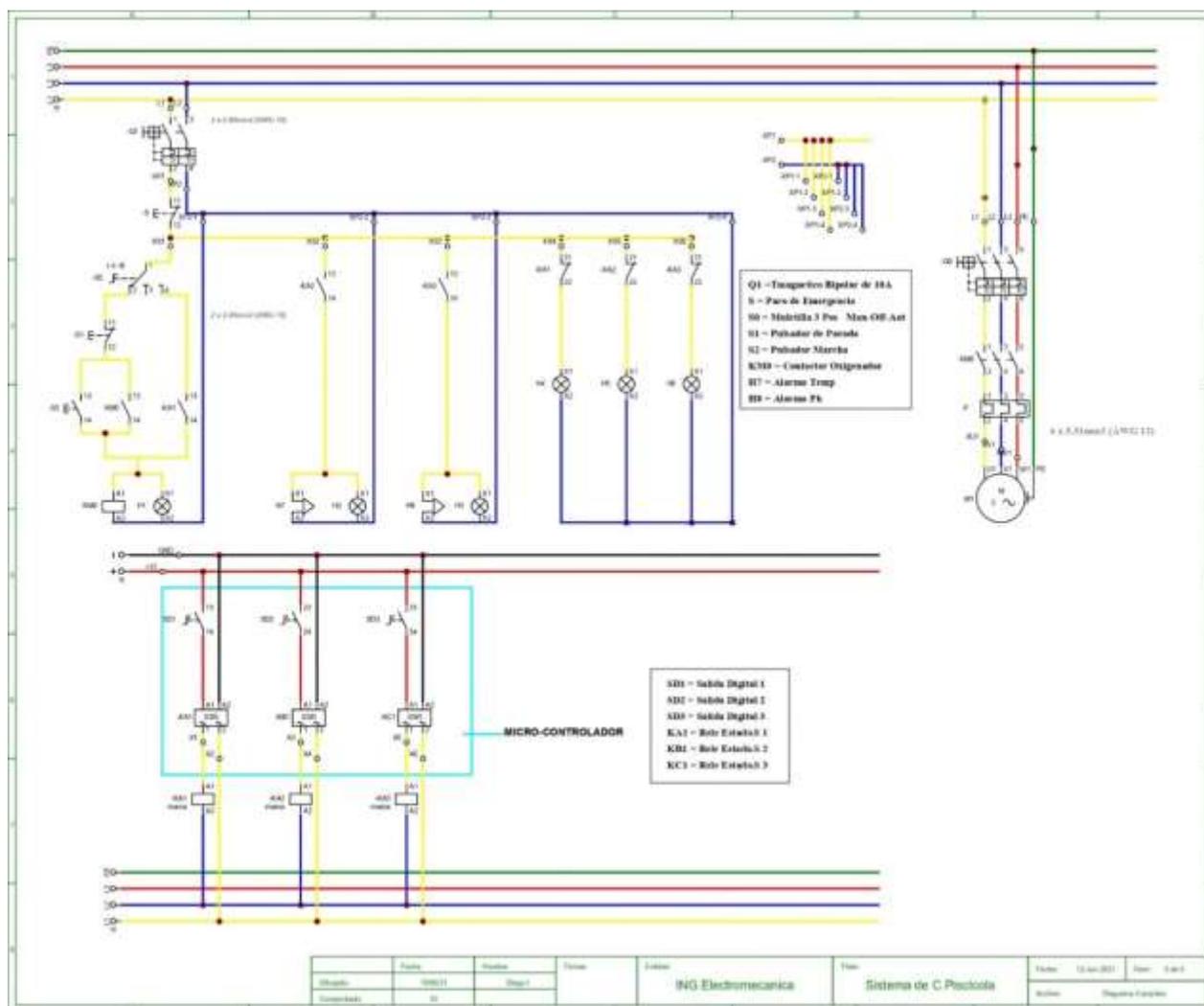


Figura 34. Diagrama de control eléctrico para el aireador y alarmas.

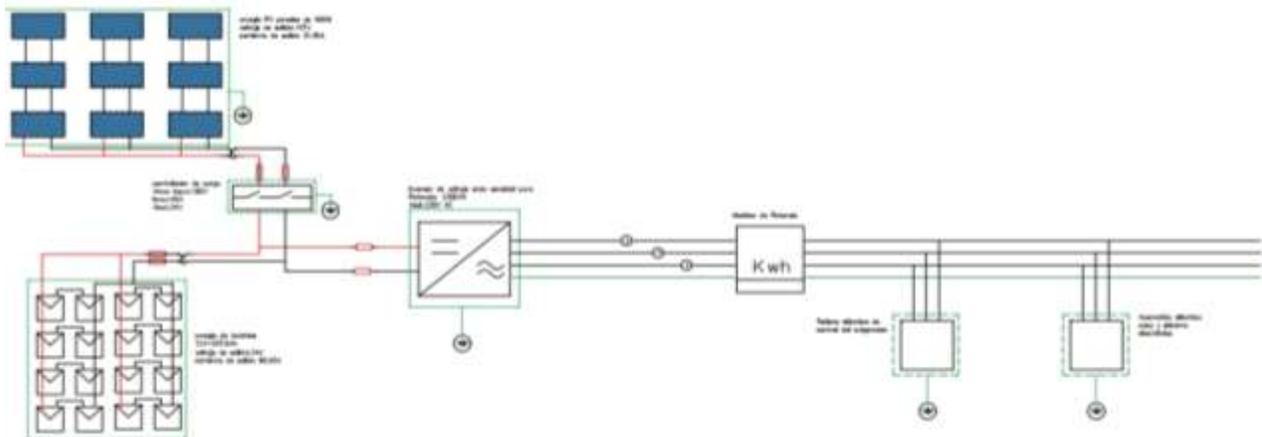


Figura 35. Diagrama unifilar del proyecto.

4.4.5 Costos del proyecto. De acuerdo con los materiales requeridos se realizaron cuadros de costo respecto a cada uno de los sistemas requeridos como son el sistema fotovoltaico, el sistema electrónico de adquisición de datos y el sistema eléctrico de control del aireador.

Tabla 10. Costos para el sistema electrónico.

Artículo	cantidad	Precio unitario (COP)	precio total (COP)
arduino mega	1	\$ 51.000	\$ 51.000
sensor de oxigeno	1	\$ 833.000	\$ 833.000
sensor temperatura	1	\$ 11.000	\$ 11.000
sensor pH	1	\$ 125.400	\$ 125.400
sensor de corriente	3	\$ 10.000	\$ 30.000
sensor de voltaje	3	\$ 25.000	\$ 75.000
oxigenador	1	\$ 3.400.000	\$ 3.400.000
TOTAL			\$ 4.525.400

La tabla anterior se detalla la cantidad y el costo de los componentes electrónicos para llevar la etapa de adquisición, procesamiento de las variables y posterior envío al SCADA.

Tabla 11. Costos para el sistema fotovoltaico.

Artículo	Precio unitario (COP)	Cantidad	Precio total (COP)
panel solar 400W	\$ 560.000	9	\$ 5.040.000,00
controlador carga	\$ 4.797.975	1	\$ 4.797.975,00
inversor	\$ 7.327.000	1	\$ 7.327.000,00
batería	\$ 1.589.205	16	\$ 25.427.280,00
cable 10AWG	\$ 6.100	20	\$ 122.000,00
cable 6AWG	\$ 5.800	6	\$ 34.800,00
protección 32A	\$ 125.900	2	\$ 251.800,00
protección 63A	\$ 133.990	2	\$ 267.980,00
protección 100A	\$ 57.000	2	\$ 114.000,00
dps 150Vdc	\$ 169.000	4	\$ 676.000,00
	TOTAL		\$ 44.058.835,00

La tabla anterior se detalla el costo y la cantidad de componentes para realizar el sistema fotovoltaico aislado para el sistema de aireación autónomo en el estanque del cultivo de cachama.

Tabla 12. Costos para el sistema de control eléctrico del aireador.

Elemento	Precio UND (COP)	Cantidad	Precio total (COP)
Guardamotor	\$ 141.424	1	\$ 141.424
Contactador	\$ 79.671	3	\$ 239.013
Relé Térmico	\$ 108.001	1	\$ 108.001
Termomagnético Bipolar	\$ 20.263	1	\$ 20.263
Termomagnético Bipolar	\$ 20.263	1	\$ 20.263
Piloto Verde	\$ 8.000	3	\$ 24.000
Piloto Rojo	\$ 8.000	3	\$ 24.000
Muletilla de 3 Posiciones	\$ 14.000	1	\$ 14.000
Interruptor Parada de Emergencia	\$ 18.000	1	\$ 18.000
Pulsador de Marcha	\$ 8.000	1	\$ 8.000
Pulsador de Parada	\$ 8.000	1	\$ 8.000
Cofre Metálico	\$ 150.000	1	\$ 150.000
Borneras	\$ 7.414	8	\$ 59.312
Borneras	\$ 1.916	12	\$ 22.992
Cable AWG 12 THHN	\$ 212.900	1	\$ 212.900
Cable AWG 18	\$ 109.000	1	\$ 109.000
	TOTAL		\$ 1.179.168

Tabla de costos para la implementación del sistema de control eléctrico del aireador desglosada con la cantidad y costos de cada componente usado para un correcto funcionamiento y protección del sistema.

4.5 Validación de parámetros

4.5.1 Validación del sistema de control. Para la validación de los parámetros del diseño de control de oxigenación en el estanque del cultivo de cachama, se realizó la simulación de cada una de las variables de Oxígeno, Temperatura y pH; para la simulación se desarrolló el sistema electrónico en el software de Proteus donde se simula el arduino mega con cada una de las entradas de las variables de los sensores para este caso se usan potenciómetros ya que Proteus no cuenta con las librerías de los sensores de Oxígeno, temperatura y pH. Se usa la comunicación serial mediante un emulador de Puesto Serie, el cual permite la comunicación entre Proteus y el SCADA el cual recibe las variables ya adecuadas para su visualización.

En el software de Proteus permite simular cuando se enciende y apaga el aireador de acuerdo a la variable de oxígeno en el estanque para este caso se usa un potenciómetro, y la activación y desactivación de alarmas sonoras para la temperatura y pH se encuentran fuera de los límites permitidos para el adecuado desarrollo de la cachama en el estanque, estas variables de temperatura y pH también son simuladas con potenciómetros para la validación de los parámetros adecuados para el proyecto.

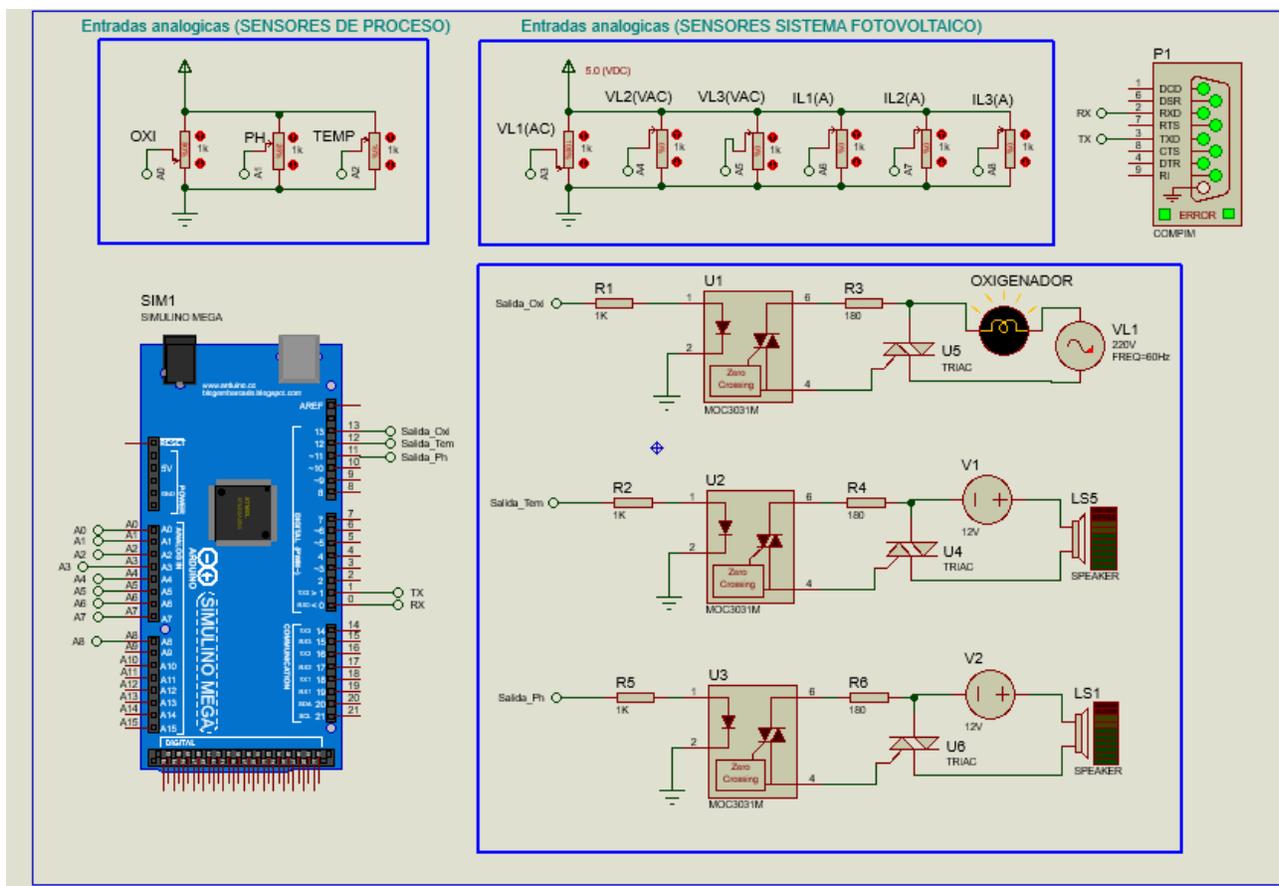


Figura 36. Esquema para la simulación en el software de Proteus.

Como se observa en la figura 38 la distribución de los elementos del software para su simulación y validación de parámetros para el correcto funcionamiento del sistema de control del aireador, para el desarrollo se utilizó la siguiente distribución de las entradas y salidas en el arduino Mega:

Tabla13. Distribución entradas/salidas del arduino.

Nombre	Tipo	Numero
Sensor Oxigeno	Entrada Analógica	A0
Sensor Ph	Entrada Analógica	A1
Sensor Temperatura	Entrada Analógica	A2
Sensor Voltaje L1	Entrada Analógica	A3
Sensor Voltaje L2	Entrada Analógica	A4
Sensor Voltaje L3	Entrada Analógica	A5

Sensor Corriente L1	Entrada Analógica	A6
Sensor Corriente L2	Entrada Analógica	A7
Sensor Corriente L3	Entrada Analógica	A8
Pin Transmisor	Salida	TX
Pin Receptor	Entrada	RX
Salida Oxigenador	Salida Digital	D13
Alarma Temperatura	Salida Digital	D12
Alarma Ph	Salida Digital	D11

4.5.2 Validación del SCADA

SCADA

Inicio 03:24:55 Estado : Desconectado

SetPoints

SetPoint Temperatura

Histeresis Temperatura

SetPoint Oxigeno

Histeresis Oxigeno

SetPoint Ph

Histeresis Ph

Guardar

Figura 37. Configuración de setpoints en el SCADA.

Para garantizar un adecuado desarrollo y crecimiento es necesario definir de forma correcta las variables fisicoquímicas respectivas del estanque donde se encuentra el cultivo de cachama.

Estas variables son en específico, Temperatura, nivel de Oxigenación y Nivel de pH en el estanque, los valores adecuados para el cultivo de cachama se rigen a partir de la Tabla 1 (características técnicas).

Criterio de Selección de SetPoint e Histéresis para la variable Temperatura:

De acuerdo a la tabla anterior el rango adecuado de Temperatura oscila entre los 23°C y 30°C es por esto que el valor de SetPoint debe ser un valor intermedio entre los dos anteriores que garantice que el estanque mencionado se encuentre en un valor idóneo.

Para la selección del valor de histéresis es necesario regirse por el valor mínimo y máximo permisible en el estanque del cultivo de cachama. El valor mínimo permitido (SetPoint_Min) debe ser igual a 23°C, el valor máximo permitido debe ser el valor de SetPoint más el valor de Histéresis este valor debe ser menor al valor máximo permisible el cual es de 30°C de esta forma se detalla matemáticamente la selección de los valores idóneos es así que:

$$V_{min} = 23^{\circ}C$$

$$V_{Max} = 30^{\circ}C$$

$$V_{SetPoint} = 26^{\circ}C$$

$$V_{SetPointMin} = V_{Min}$$

$$V_{Min} = V_{SetPoint} - V_{Histeresis}$$

Despegamos $V_{Histeresis}$

$$V_{Histeresis} = V_{SetPoint} - V_{Min}$$

$$26^{\circ}C - 23^{\circ}C = 3^{\circ}C$$

De lo anterior se define como valor de Histeresis $3^{\circ}C$

$$V_{SetPointMax} = V_{SetPoint} + V_{Histeresis}$$

$$V_{SetPointMax} = 26^{\circ}C + 3^{\circ}C$$

$$V_{SetPointMax} = 29^{\circ}C$$

$$V_{SetPointMax} = 29^{\circ}C < V_{Max} = 30^{\circ}C$$

$$V_{SetPointMin} = 23^{\circ}C \geq V_{Min} = 23^{\circ}C$$

Los Datos ingresados en el SCADA para la variable de Temperatura seran

$$V_{Histeresis} = 3 \text{ y } V_{SetPoint} = 26^{\circ}C$$

Criterio de Selección de SetPoint e Histéresis para la variable Oxígeno:

De acuerdo a la tabla el nivel de oxígeno debe ser mayor de 4.0 ppm sobre este valor se debe garantizar el nivel en el estanque es por lo anterior que el valor de SetPoint debe ser un valor superior al valor mínimo crítico de 4.0 ppm permitiendo así una rica oxigenación en el estanque.

Para la selección del valor de histéresis es necesario regirse por el valor mínimo crítico permisible en el estanque del cultivo de cachama. El valor mínimo crítico permitido (SetPoint_Min) debe ser mayor o igual a 4.0 ppm, el valor máximo estará regido por el valor de SetPoint más el valor de histéresis al anterior no se le asigna un valor en específico ya que entre

más oxigenación en el estanque se garantiza un mejor crecimiento y desarrollo de la especie (Cachama) esta forma se detalla matemáticamente la selección de los valores idóneos es así que:

$$V_{min} = 4.0 \text{ ppm}$$

$$V_{Max} = V_{SetPoint} + V_{Histeresis}$$

$$V_{SetPoint} = 8.0 \text{ ppm}$$

$$V_{SetPointMin} = V_{Min}$$

$$V_{Min} = V_{SetPoint} - V_{Histeresis}$$

Despegamos $V_{Histeresis}$

$$V_{Histeresis} = V_{SetPoint} - V_{Min}$$

$$8.0 \text{ ppm} - 4.0 \text{ ppm} = 4.0 \text{ ppm}$$

De lo anterior se define como valor de Histeresis 4.0 ppm

$$V_{SetPointMax} = V_{SetPoint} + V_{Histeresis}$$

$$V_{SetPointMax} = 8.0 \text{ ppm} + 4.0 \text{ ppm}$$

$$V_{SetPointMax} = 12.0 \text{ ppm}$$

$$V_{SetPointMax} = 12.0 \text{ ppm}$$

$$V_{SetPointMin} = 4.0 \text{ ppm} \geq V_{Min} = 4.0 \text{ ppm}$$

Los Datos ingresados en el SCADA para la variable de Oxigeno seran

$$V_{Histeresis} = 4.0 \text{ y } V_{SetPoint} = 8.0 \text{ ppm}$$

Criterio de Selección de SetPoint e Histéresis para la variable pH:

De acuerdo a la tabla anterior el rango adecuado de pH oscila entre los 5.5 y 8 es por esto que el valor de SetPoint debe ser un valor intermedio entre los dos anteriores que garantice que el estanque mencionado se encuentre en un valor idóneo.

Para la selección del valor de histéresis es necesario regirse por el valor mínimo y máximo permisible en el estanque del cultivo de cachama. El valor mínimo permitido (SetPoint_Min) debe ser igual a 5.5, el valor máximo permitido debe ser el valor de SetPoint más el valor de Histéresis este valor debe ser menor al valor máximo permisible el cual es de 8 de esta forma se detalla matemáticamente la selección de los valores idóneos es así que:

$$V_{min} = 6$$

$$V_{Max} = 8$$

$$V_{SetPoint} = 7$$

Se debe resaltar que el SCADA acepta números enteros solamente para este caso se toma el valor de SetPoint mínimo (Vmin) como 6 para manejar números netamente enteros:

$$V_{SetPointMin} = V_{Min}$$

$$V_{Min} = V_{SetPoint} - V_{Histeresis}$$

$$\text{Despegamos } V_{Histeresis}$$

$$V_{Histeresis} = V_{SetPoint} - V_{Min}$$

$$7 - 6 = 1$$

De lo anterior se define como valor de Histeresis 1

$$V_{SetPointMax} = V_{SetPoint} + V_{Histeresis}$$

$$V_{SetPointMax} = 7 + 1$$

$$V_{SetPointMax} = 8$$

$$V_{SetPointMax} = 8 \leq V_{Max} = 8$$

$$V_{SetPointMin} = 6 \geq V_{Min} = 6$$

Los Datos ingresados en el SCADA para la variable de pH seran

$$V_{Histeresis} = 1 \text{ y } V_{SetPoint} = 7$$

Para la demostración de la validación de los parámetros del SCADA y la comunicación con el sistema electrónico desarrollado en Proteus se realizó un video donde se observa el funcionamiento del sistema donde se valida las alarmas de temperatura y pH, y la principal característica la cual es la del control de encendido y apagado del aireador esto dependiendo de la variable de oxigenación del estanque.

5. Conclusiones

Se concluyó que, al momento del llevar a cabo un cultivo piscícola intensivo; el acuicultor debe conocer los parámetros correctos de las variables físico químicas del estanque para un correcto crecimiento y desarrollo de los peces, debido a que cada tipo de especie a cultivar tiene que tener ciertas condiciones de oxigenación, temperatura del estanque y pH del agua, para una correcta comercialización.

Después de realizada la investigación se determinó que la variable de oxigenación; es la más importante y por tal motivo se hace necesario la existencia de un control de ella, ya que esta interviene en mayor parte en la capacidad de crecimiento y desarrollo del pez.

Como resultado de esta investigación, la variable más importante a controlar es el oxígeno presente en el estanque de cultivo y el actuador (motor trifásico), se seleccionó una estrategia de control con histéresis; ya que con esta se evita el encendido y apagado constante, logrando alargar la vida útil del motor, sistema control y evitar los altos picos de consumo energético al arrancar este.

Se resalta la ubicación de la granja piscícola; ya que cuenta con un excelente índice de radiación solar, donde se obtendrá mayor captación de los rayos solares para producir energía con una menor cantidad de paneles y menor tiempo, a diferencia de otras zonas donde es menor este índice de HSP. Con esto se logró una autonomía con una cantidad moderada de baterías con una gran capacidad; así evitando instalaciones de almacenajes demasiado grandes o extensas.

Se concluye que la implementación de un sistema SCADA, junto con un sistema de memoria interna brinda la seguridad necesaria para que el operario realice OTRAS actividades,

ya que en caso de fallar en sistema SCADA; el sistema almacenamiento interno del microcontrolador EEPROM, permite la continuidad del proceso al ya tener almacenado los Set Point preestablecidos de cada variable de proceso.

Usar visual Basic como entorno de desarrollo del SCADA, permitió crear un programa libre versátil y económico para el usuario final permitiendo la reproducción del mismo en diferentes sistemas piscícolas.

6. Recomendaciones

Es necesario para la implementación de este sistema, la ejecución del módulo o chip MAX232 ya que, en el campo de trabajo, la comunicación serial sería larga distancia. De esta forma se garantiza la correcta comunicación en tramos largos entre el esclavo; el cual es el microcontrolador ubicado en campo, y el maestro el cual; es el SCADA el cual se ubica en cuarto de control.

Se recomienda en próximas versiones del SCADA, implementar un modelo de almacenamiento de datos captados, en plataforma como Excel Google sheets o bases de datos en la nube como Firebase de Google.

Es recomendable realizar el SCADA en una plataforma como java para hacer del mismo una aplicación multiplataforma y poder ser compatible tanto en Linux como en Mac.

Referencias Bibliográficas

Areatecnologia. Inversor Fotovoltaico [En línea]. Available:

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>

Areatecnologia. *Regulador de carga solar*. [En línea]. Available:

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>

Autosolar. (2021). *Autosolar* [En línea]. Available: <https://autosolar.es/inversores>.

Autosolar. (s.f.). *Reguladores de carga* [En línea]. Available: <https://autosolar.es/reguladores-de-carga>

Center, S. (2019). Cálculo y diseño de sistemas autónomos.

<https://www.youtube.com/watch?v=Viqv4th6nkQ>

Congreso de la República de Colombia. (2014, 13 de mayo). *Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Diario Oficial No. 49.150.

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

Contreras, P. D., & Pérez, M. A. (2019), en su investigación titulada “*Diseño e implementación de un sistema automatizado de oxigenación del agua del criadero acuícola Valle del Mar ubicado en Santa Marta*.” (Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia.

Repositorio Institucional UCC.

https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16514/2/2019_dise%C3%B1o_agua_sistema.pdf

Enfsolar. (2015). GCL, *Bringing Green Power to Life*. [En línea]. Available: <https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/43091>.

Greendipity. (2020). *Sistema Aislado (Off Grid)*. [En línea]. Available: <https://www.greendipity.co/energia-solar/hogar-paneles-solares/sistema-aislado-off-grid/>

Icontec (2004). *GTC 114, Guía De Especificaciones de Sistemas Fotovoltaicos*. <https://tienda.icontec.org/gp-guia-de-especificaciones-de-sistemas-fotovoltaicos-para-suministro-de-energia-rural-dispersa-en-colombia-gtc114-2004.html>

Harris, M. (2015). *Fotovoltaica, manual de diseño e instalación, una panorámica de la energía fotovoltaica*. Solar Energy International.

IDEAM. Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.

Leoch Bateria solar serie LSP12-285. (2018). Foothil Rachh.

May, D. D., & Avila, J. E. S. (2020). *Diseño de un sistema inteligente y auto sostenible de oxigenación de estanques utilizados en piscicultura*. (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33265/Jeavilav.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Minas y Energía. (2018, 26 de febrero). *Resolución 030 de 2018. Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en*

el Sistema Interconectado Nacional.

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). *Guía práctica de piscicultura en Colombia*.
Incoder

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021a). *Protocolo de Kioto (pK)*.
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021b). *Colombia Hacia la COP 21*.
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/colombia-hacia-la-cop-21-cop-22>

Nexans (2015). *Cables electricos, Nexans Chile*. [En línea]. Available:
<http://themad.website/sites/cableselectricos/articulos/como-seleccionar-el-conductor-electrico-apropiado-para-cada-proyecto/>.

Pentairaes. (2018). *Soluciones de agua inteligentes y sostenible*. [En línea]. Available:
<https://pentairaes.com/paddlewheel-aerators-for-aquaculture-waste-water.html>.

Preemar (2020). *Aireación en la acuicultura*. [En línea]. Available:
<https://preemar.com/preemar/aireacion-en-la-acuicultura/>

Sigmaelectronica (2019). *SEN0237-A*. [En línea]. Available:
<https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0237-a/>.

S. Electric (2018). Conext MPPT 60 150 Solar charge controlle.

Steca Elektronik (2016). *Steca*. [En línea]. Available: <https://www.steca.com/index.php?Grid-inverters-for-residential-systems>

Tecnosol Blog, «tecnosolab,» 05 ABRIL 2017. [En línea]. Available: <https://tecnosolab.com/noticias/blog/aspectos-tecnicos/>

Zone Energy. (2016). *¿Qué es un Sistema Aislado Off Grid?* [En línea]. Available: <http://zone-energy.com.mx/que-es-un-sistema-aislado-off-grid/#:~:text=Un%20Sistema%20Aislado%20Off%20Grid%20es%20una%20instalaci%C3%B3n%20fotovoltaica%20independiente>